



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

Grundlagen für die Operationalisierung von PALM-4U – Praktikabilität und Verstetigungsstrategie (ProPolis)

# Evaluationsbericht zur Praxistauglichkeit

Finale Version // Stand: Februar 2023

*Eingangsdaten aufwendig → Arbeitsteilung*

*Verfahrensentscheidung*

*Einbettung in bestehende Strukturen*

*Unterstützung von Kolleg:innen*

*Validierungsstatus kommuniziert*

*Ressourcen aus mehreren Fachbereichen*

*Kostentransparenz & Anwendung*

*Für Vergabe eigene Kenntnis erforderlich*

*Viele Anwendungsfälle + Ressourcenklarheit → Politik überlegen*

*Selbstriauierung ist Voraussetzung*

*Cloud-basierte Nutzung*

*Beratung, Service + Support für Set-up + Nachgang*

*Besondere Rahmenbedingungen für Haushalts sicherungskommunen*

*Schnittstellen unterschiedlicher Fachabteilungen*

*eigene Hardware + Unterstützung dazu*

*Mittel für Cloud-Lösung wo einstellen?*

*eigene Hardware ↔ städtisches Netz (unterschiedl. Anforderungen IT)*

*Fachbereich Geo-daten einbinden*

**Dieser Bericht wurde im Rahmen des Arbeitspakets 2.4 Evaluierung der Praktikabilität erarbeitet.**

Bearbeitung: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) (Leitung), Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), GEO-NET Umweltconsulting GmbH, HEREON, Climate Service Center Germany (GERICS), TU Dortmund/sfs

Deliverable 2.1: Evaluationsbericht zur Praxistauglichkeit

**Autor:innen:**

**Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)**

Karen Busche, Vera Völker, Björn Weber, Luise Willen

**Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)**

Matthias Winkler

**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Dr. Cornelia Burmeister

**HEREON, Climate Service Center Germany (GERICS)**

Antonina Krüger, Alexander Reinbold, Dr. Claas Teichmann

**TU Dortmund/sfs**

Dr. Irina Heese

**Zitierhinweis:** Burmeister, C.; Busche, K.; Heese, I.; Krüger, A.; Reinbold, A.; Teichmann, C.; Völker, V.; Weber, B.; Willen, L.; Winkler, M. (2023): Evaluationsbericht zur Praxistauglichkeit. Grundlagen für die Operationalisierung von PALM-4U – Praktikabilität und Verstetigungsstrategie (ProPolis). [UC]<sup>2</sup> - Stadtklima im Wandel – Phase 2 // Modul C. Online verfügbar unter: <https://www.uc2-propolis.de/palm-4u-evaluation-praxistauglichkeit>

**Coverfoto:** Erkenntnisse aus dem ExLab Evaluation beim ProPolis-Abschlusstreffen © Difu (2023); PALM-4U Eingangsdaten © GERICS (2022)

ProPolis in der Fördermaßnahme „Stadtklima im Wandel“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit“ (FONA) mit dem Förderkennzeichen 01LP1913 A-E gefördert

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
1 Einleitung.....	7
2 Evaluationsansatz.....	10
2.1 Definition der Modellpraktikabilität.....	11
2.2 Herleitung der Evaluationskriterien.....	12
2.3 Operationalisierung der Evaluation.....	13
3 Methodischer Ansatz.....	17
3.1 ExLabs als zentrale Veranstaltungsformate.....	17
3.1.1 Thematische ExLabs.....	19
3.1.2 Individuelle ExLabs.....	19
3.2 Umfragen.....	23
3.2.1 Umfragen in den ExLabs der DLE.....	23
3.2.2 Umfragen in den ExLabs der ASN.....	24
3.2.3 Umfragen zu Schulungen, Service- und Supportangeboten.....	24
3.3 Bewertung der Anforderungen durch Expert:innen aus dem Konsortium (KOEXP).....	24
3.3.1 Zusammenarbeit von Praxispartner:innen und ProPolis-Konsortium.....	25
3.3.2 Learning Labs zur modulübergreifenden Zusammenarbeit.....	26
4 Ergebnisse und Empfehlungen.....	27
4.1 Gegenwärtig und zukünftig relevante stadtklimatologische Fragestellungen.....	28
4.1.1 Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt.....	29
4.1.2 Anwendungsfeld Windkomfort.....	34
4.1.3 Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung.....	37
4.2 Wissenschaftliche Belastbarkeit der Modellergebnisse.....	39
4.2.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch).....	40
4.2.2 Ergebnisse weiterer Methoden.....	41
4.2.3 Empfehlungen.....	41
4.3 Weiterentwicklung und Konfiguration der praktischen Anwendung.....	42
4.3.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch).....	42
4.3.2 Ergebnisse weiterer Methoden.....	43
4.3.3 Empfehlungen.....	43

4.4	Dauerhafte Zugänglichkeit .....	45
4.4.1	Bewertung der Anforderungen (tabellarisch) .....	45
4.4.2	Ergebnisse weiterer Methoden .....	46
4.4.3	Empfehlungen .....	47
4.5	Nutzerfreundliche grafische Benutzeroberfläche (GUI).....	47
4.5.1	Bewertung der Anforderungen (tabellarisch) .....	48
4.5.2	Ergebnisse weiterer Methoden .....	57
4.5.3	Empfehlungen .....	58
4.6	Qualifizierung der Nutzer:innen.....	58
4.6.1	Bewertung der Anforderungen (tabellarisch) .....	60
4.6.2	Ergebnisse weiterer Methoden .....	65
4.6.3	Empfehlungen .....	66
4.7	Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe .....	68
4.7.1	Bewertung der Anforderungen (tabellarisch) .....	68
4.7.2	Ergebnisse weiterer Methoden .....	69
4.7.3	Empfehlungen .....	72
5	Reflexion und Ausblick.....	73
6	Quellenverzeichnis.....	80
7	Literaturverzeichnis .....	82

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	[UC] <sup>2</sup> – Urban Climate Under Change – Projektstruktur.....	7
Abbildung 2:	Prozess der Evaluation von PALM-4U .....	9
Abbildung 3:	Übersicht der Praxispartner:innen in ProPolis nach Nutzertyp .....	10
Abbildung 4:	Strategische Ziele von ProPolis .....	11
Abbildung 5:	Definition der Modellpraktikabilität .....	12
Abbildung 6:	Anzahl Anforderungen je Kategorie .....	13
Abbildung 7:	Drei Schritte der Evaluation .....	14
Abbildung 8:	Ordinalskala erfüllt/teilweise erfüllt/nicht erfüllt.....	14
Abbildung 9:	Abnahmekriterien .....	14
Abbildung 10:	Likert-Skala.....	15
Abbildung 11:	Bewertung der Anforderungen mit unterschiedlichen Skalen .....	15
Abbildung 12:	Bewertung der Anforderungen durch ASN und/oder KOEXP .....	16
Abbildung 13:	Methodischer Ansatz zur Evaluation der Praxistauglichkeit .....	17
Abbildung 14:	Überblick der ExLabs in ProPolis (1) .....	18
Abbildung 15:	Überblick der ExLabs in ProPolis (2).....	19
Abbildung 16:	Anwendungsfälle im Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt.....	21
Abbildung 17:	Anwendungsfälle im Anwendungsfeld Windkomfort.....	22
Abbildung 18:	Anwendungsfälle im Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung .....	22
Abbildung 19:	Verwendete Quellen .....	27
Abbildung 20:	Gesamt-Evaluation im Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt.....	31
Abbildung 21:	Gesamt-Evaluation im Anwendungsfeld Windkomfort .....	35
Abbildung 22:	Gesamt-Evaluation im Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung .....	38
Abbildung 23:	Schema zur Koordinationsstruktur des PALM-4U Community Modells .....	44
Abbildung 24:	Bewertung der Anforderungen gesamt .....	73
Abbildung 25:	Bewertung der Anforderungen in allen 7 Kategorien.....	73

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beispiel tabellarische Darstellung zur Bewertung der Anforderungen .....	28
Tabelle 2:	Anforderungen Kategorie 1 Stadtklimatologische Fragestellungen, Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt .....	29
Tabelle 3:	Anforderungen Kategorie 1 Stadtklimatologische Fragestellung, Anwendungsfeld Windkomfort.....	34
Tabelle 4:	Anforderungen Kategorie 1 Stadtklimatologische Fragestellung, Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung .....	37
Tabelle 5:	Anforderungen Kategorie 2 Wissenschaftliche Belastbarkeit der Modellergebnisse .....	40
Tabelle 6:	Anforderungen Kategorie 3 Weiterentwicklung und Konfiguration der praktischen Anwendung .....	42
Tabelle 7:	Anforderungen Kategorie 4 Dauerhafte Zugänglichkeit .....	45
Tabelle 8:	Anforderungen Kategorie 5 Nutzerfreundliche grafische Benutzeroberfläche (GUI) .....	48
Tabelle 9:	Anforderungen Kategorie 6 Qualifizierung der Nutzer:innen (Likert-Skala).....	60
Tabelle 10:	Anforderungen Kategorie 6 Qualifizierung der Nutzer:innen.....	61
Tabelle 11:	Anforderungen Kategorie 7 Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe (Likert-Skala) .....	68

## Abkürzungsverzeichnis

ASN	Assistierte Selbstnutzer (Nutzertyp)
AUSN	Autonome Selbstnutzer (Nutzertyp)
CoP	Community of Practice
DLE	Dienstleistungsempfänger (Nutzertyp)
DWD	Deutscher Wetter Dienst
ENVI-met	3D- Stadtklimamodell
ExLab	Experimentierlabor (=Experimentierraum)
FITNAH	Flow Over Irregular Terrain With Natural And Anthropogenic Heat Sources (meteorologisches nicht-hydrostatisches Mesoskala-Modell zur Simulation von Windfeldern)
GIS	Geographische Informationssysteme
GRZ	Grundflächenzahl
GUI	Grafische Benutzeroberfläche (Grafical User Interface)
KliMoPrax	Klimamodelle für die Praxis (BMBF gefördertes Forschungsprojekt), Laufzeit von 2016-2019)
KOEXP	Konsortiums-Expert:innen
LL	Learning Labs
NAK	Nutzer- und Anforderungskatalog
nSKM	Neues Stadtklimamodell
OSM	OpenStreetMap
PALM-4U	Parallelized Large Eddy Simulation Model for Urban Application
PET	Physiologisch Äquivalente Temperatur
PMV	Predicted Mean Vote
[UC] <sup>2</sup>	BMBF-Förderprogramm Urban Climate Under Change
UseUclim	Überprüfung der Praxis- und Nutzertauglichkeit von Stadtklimamodellen (BMBF gefördertes Forschungsprojekt, Laufzeit von 2016-2019)
VALMS	Validierungsdurchläufe
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WMS	Web Map Services

# 1 Einleitung

Im Rahmen der Fördermaßnahme „Stadtklima im Wandel“ – Urban Climate Under Change [UC]<sup>2</sup> wird ein innovatives Stadtklimamodell entwickelt, mit dem atmosphärische Prozesse für gesamte Stadtgebiete gebäudeauflösend modelliert werden sollen. [UC]<sup>2</sup> wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit“ (FONA) gefördert.

Seit der ersten Förderphase (Juni 2016 – Mai 2019) besteht der [UC]<sup>2</sup>-Verbund aus drei Modulen: Modul A (Modellentwicklung, MOSAIK, später MOSAIK 2), Modul B (Modellvalidierung, 3DO, später 3DO+M) und Modul C (Operationalisierung von PALM-4U, KliMoPrax und UseUClim, später ProPolis). Der Forschungsverbund hat das Modell PALM-4U in der ersten Förderphase entwickelt (siehe dazu weiterführend Halbig et al. 2019; Schlumberger et al. 2019), in der zweiten Phase zu einem **praxistauglichen Produkt** weiterentwickelt und wird es nach der zweiten Förderphase in den operativen Betrieb überführen (siehe dazu weiterführend Cortekar et al. 2020a). In der **zweiten Förderphase** bildet das **Projekt ProPolis das Modul C**. Das ProPolis-Konsortium ist aus dem Climate Service Center Germany (GERICS), dem Deutschen Institut für Urbanistik (Difu), dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), der GEO-NET Umweltconsulting GmbH und der Sozialforschungsstelle der Technischen Universität Dortmund zusammengesetzt. Das Forschungsprojekt ist vom Fördergeber als Verbundprojekt angelegt, in dem die drei Module gemeinsam an der Zielsetzung arbeiten, ein praxistaugliches Stadtklimamodell zu entwickeln, das sowohl den Bedürfnissen von Kommunen und anderen Praxisanwender:innen entspricht als auch für die wissenschaftliche Forschung geeignet ist. Die nachfolgende Grafik zeigt die Projektstruktur beider Phasen in der Übersicht (Abbildung 1).

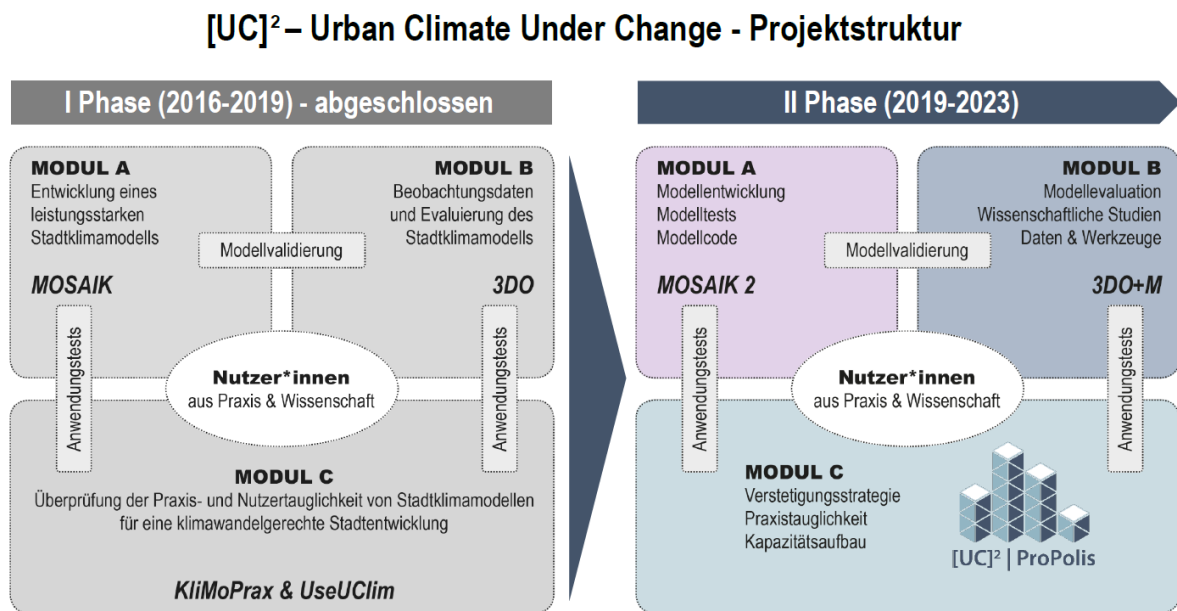


Abbildung 1: [UC]<sup>2</sup> – Urban Climate Under Change – Projektstruktur



### Evaluation

Nach Mertens (1998) ist eine Evaluation die **systematische** Untersuchung des Wertes eines Objektes mit dem Ziel, Unsicherheit bei der Entscheidungsfindung über dieses Objekt zu verringern. Damit ist die Evaluation ein wichtiges Instrument zur Generierung von **Erfahrungswissen** durch die Verknüpfung mit einer Bewertung. Sie erfolgt in einem Dreischritt: Es werden Informationen gesammelt, bewertet und auf Basis dieser Entscheidungen abgeleitet (Stockmann 2022). Zu Beginn wird der **Evaluationsgegenstand** definiert sowie **Kriterien** bestimmt, anhand derer eine Bewertung erfolgt – wie, von wem was anhand welcher Kriterien evaluiert wird, hat dabei entscheidenden Einfluss auf das Evaluationsergebnis (ebd.).

Mit der **Evaluation zur Praxistauglichkeit**, deren Ergebnisse im vorliegenden Evaluationsbericht dokumentiert sind, wird im Projekt ProPolis die Zielsetzung verfolgt, das Stadtklimamodell PALM-4U auf seine **Praxistauglichkeit** (=Praktikabilität) zu überprüfen. Es werden **Anforderungen an die Modellpraktikabilität** evaluiert und auf Grundlage dessen Empfehlungen formuliert, die in die zukünftige Weiterentwicklung des Stadtklimamodells einfließen sollen. Stand der Evaluation des Modells PALM-4U ist **Dezember 2022**.

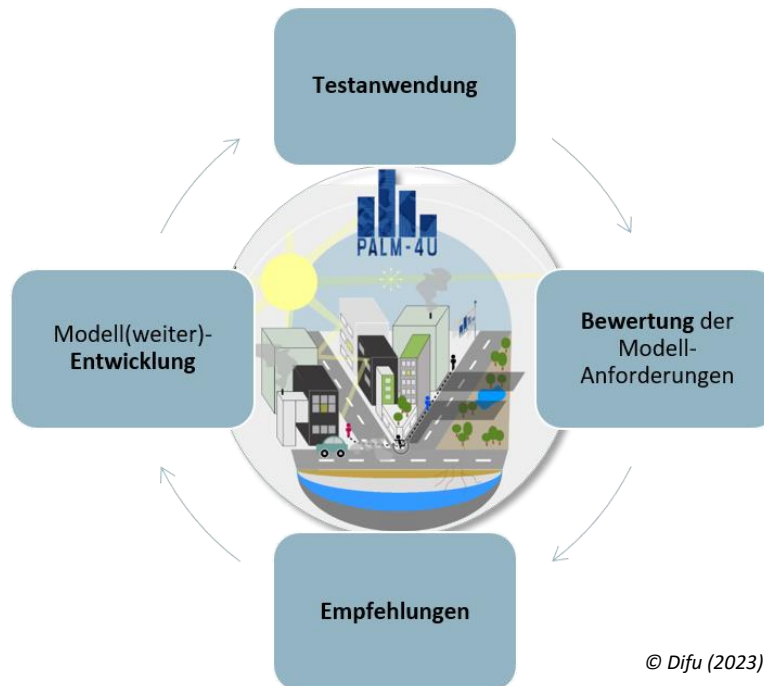
### Transdisziplinäre Forschung

Die Forderung an die Wissenschaft nach einer Ausrichtung am **gesellschaftlichen Nutzen** und der **Einbindung von Praxisakteur:innen** macht es notwendig, neue und integrative Forschungsansätze zu verfolgen. Insbesondere in der angewandten Forschung, bei der es um **die Lösung realweltlicher Probleme** geht, werden transdisziplinäre Forschungsansätze verfolgt – so auch im Bereich der kommunalen Klimaanpassung (Brinkmann et al. 2015).

Ein transdisziplinärer Forschungsansatz bietet einen Rahmen, in dem **Wissen aus Forschung und Praxis integriert** werden und in dem durch einen **gemeinsamen Lern- und Forschungsprozess** ein besseres Verständnis komplexer realweltlicher Probleme und darauf **aufbauende praxistaugliche Lösungen** entwickelt werden (Heinrichs und Michelsen 2014).

Im ProPolis-Projekt wird die Zusammenarbeit mit Praxispartner:innen aus der ersten Phase von [UC]<sup>2</sup> fortgesetzt und ausgebaut. Eingebunden in einen intensiven Anwenderdialog sind 11 kommunale Praxispartner:innen – Groß- und Mittelstädte aus ganz Deutschland – und ein Dienstleistungsunternehmen. Alle Praxispartner:innen haben zu Beginn des Projekts einen stadtklimatologischen Anwendungsfall definiert, der entweder von den Modellierenden aus dem ProPolis-Konsortium (Praxispartner:in = Dienstleistungsempfänger (DLE)) oder von den Praxispartner:innen selbst (Praxispartner:in = Assistierter Selbstnutzer (ASN)) bearbeitet wurde. Die Anwendungsfälle decken die drei in ProPolis als zentral identifizierten Anwendungsfelder „Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt“, „Windkomfort“ und

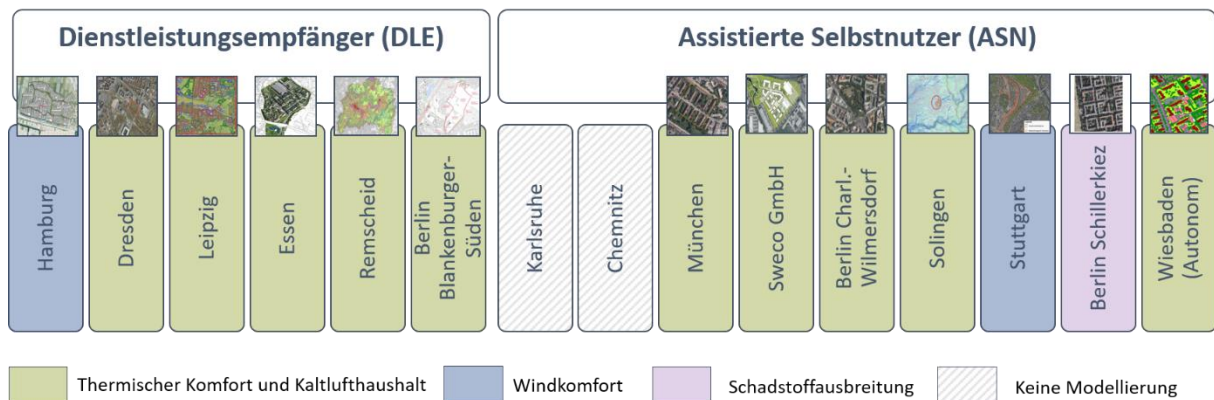
„Schadstoffausbreitung“ ab (siehe dazu ProPolis Anwendungskatalog, Burmeister et al. 2023). **Die Modellierungen der Anwendungsfälle bilden als sogenannte Testanwendungen die Basis für die Evaluation der Modellpraktikabilität** (siehe Abbildung 2).



© Difu (2023)

Abbildung 2: Prozess der Evaluation von PALM-4U

Durchgeführt wird die Evaluation dabei im engen Zusammenspiel von den Expert:innen des ProPolis-Konsortiums (im Folgenden KOEXP genannt) und den Praxispartner:innen. Für die Städte Dresden, Leipzig, Essen, Hamburg, Remscheid und Berlin Blankenburger-Süden wurden die Testanwendungsfälle von den Modellierenden des ProPolis-Konsortiums bearbeitet. Die Praxispartner:innen Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf, Berlin Schillerkiez, München, Solingen, Stuttgart und Sweco haben ihre Modellierungen eigenständig auf der GUI mit Hilfe der Schulungen und beratender Unterstützung durch die Modellierenden durchgeführt. Die Städte Chemnitz und Karlsruhe nehmen eine Sonderrolle ein, da für beide Städte keine Modellierungen durchgeführt werden konnten. Die Stadt Wiesbaden ist erst spät im Projekt als „assozierte Praxispartner:in“ hinzugekommen. Ihre Expertise in der Anwendung der GUI dient als zusätzlicher wertvoller Impulsgeber im Rahmen der Evaluation und findet bei den Empfehlungen Berücksichtigung. Die nachfolgende Abbildung zeigt alle Praxispartner:innen in der Übersicht (Abbildung 3).



© Difu (2023)

Abbildung 3: Übersicht der Praxispartner:innen in ProPolis nach Nutzertyp

Im Folgenden wird mit dem **Evaluationsansatz** (siehe Kapitel 2) die Herangehensweise an die Evaluation erläutert sowie anschließend der **methodische Ansatz** im Sinne von Methoden und Instrumenten dargestellt, die zur Evaluation angewandt und implementiert wurden (siehe Kapitel 3). Den zentralen Teil des Evaluationsberichts bilden die **Ergebnisse und Empfehlungen** (siehe Kapitel 4), die die Bewertung der Anforderungen enthalten sowie Empfehlungen für die Weiterentwicklung von PALM-4U. Abschließend werden in der **Reflexion und im Ausblick** (siehe Kapitel 5) die zentralen Aussagen der Evaluation reflektiert und mit Blick auf die zukünftige Entwicklung und Operationalisierung von PALM-4U interpretiert als auch ein Ausblick gegeben.

## 2 Evaluationsansatz

Zur Weiterentwicklung des Stadtklimamodells PALM-4U zu einem **praxistauglichen Produkt** wird im Projekt ProPolis der Fokus auf die Bedarfe und Anforderungen von Kommunen und anderen Anwender:innen an das Modell gelegt – es geht um die Prüfung der **Modellpraktikabilität**. Gleichzeitig soll das Modell auch für wissenschaftliche Forschung eingesetzt und dafür entsprechend weiterentwickelt werden.

Die Sicherstellung und im Zuge dessen die Testung und Evaluation der **Praxistauglichkeit** des Modells ist eines von drei strategischen Zielen von ProPolis. Zusammen mit der Verstetigungsstrategie und dem Kapazitätsaufbau gehört die Evaluation der Praxistauglichkeit zu den erforderlichen Grundlagen für die Weiterentwicklung und die angestrebte Überführung des PALM-4U Modells in den langfristigen operationellen Betrieb nach Projektende (siehe Abbildung 4). Die Evaluation von PALM-4U führt die Evaluation der ersten Projektphase (Steuri und Heese 2019; Cortekar et al. 2020b; Weber et al. 2019b) weiter und erweitert den Blick auf Modellpraktikabilität und Praxistauglichkeit über technische Aspekte hinaus.



© Difu (2023)

Abbildung 4: Strategische Ziele von ProPolis

Im Projekt ProPolis entspricht der Evaluationsansatz einer sog. „**anwendungsorientierten**“ Evaluation, bei der die Evaluation aus Sicht der Anwender:innen durchgeführt wird. Die Evaluation fokussiert dabei vor allem den Einsatz von PALM-4U im kommunalen Arbeitsumfeld. Die Kriterien der Evaluation wurden aus den Nutzeranforderungen generiert, die von den Praxispartner:innen bereits während der ersten Projektphase (KliMoPrax und UseUclim) benannt wurden und noch nicht erfüllt wurden bzw. noch nicht überprüft werden konnten (siehe dazu Steuri und Heese 2019) sowie Ergänzungen („neue Anforderungen“) aus der zweiten Projektphase, welche aus dem direkten Austausch mit und mithilfe von Umfragen unter den Anwender:innen im Rahmen des Forums und der Experimentierlabore (ExLab)-Veranstaltungen gesammelt wurden. Alle Anforderungen wurden erneut in einem Nutzer- und Anforderungskatalog (NAK) gesammelt, katalogisiert und nach Prüfkriterien bewertet. Der Nutzer- und Anforderungskatalog aus Phase 1 (siehe Weber et al. 2019a) wurde in ProPolis in aktualisierter Form weitergeführt.

Stand der Evaluation des Modells PALM-4U ist *Dezember 2022*. Dies bedeutet, Anforderungen können u. U. zu diesem Zeitpunkt als nicht bewertbar evaluiert worden sein, obwohl zum geplanten Ende des ProPolis Projektes in 2023 eine eindeutige Einschätzung möglich sein wird. Dies ist insbesondere bei Anforderungen relevant, die sich auf geplante Funktionen und Produkte beziehen, die zum Zeitpunkt dieses Evaluationsberichtes aufgrund unterschiedlicher (Teil-)Projektlaufzeiten nicht umgesetzt werden konnten.

## 2.1 Definition der Modellpraktikabilität

Der Evaluation der **Modellpraktikabilität** liegt ein gemeinsames Verständnis über die Praktikabilität des Stadtklimamodells PALM-4U zugrunde, welches im Projekt ProPolis vom Konsortium und den Praxispartner:innen entwickelt, mit den anderen Modulen MOSAIK 2 und 3DO+M reflektiert und als ein Meilenstein vereinbart wurde und nach dessen **Kriterien** PALM-4U evaluiert wird.

ProPolis definiert dahingehend die Praktikabilität des Modells in drei übergeordneten Dimensionen: in Bezug auf Modellfunktionalitäten, die grafische Benutzeroberfläche (GUI) sowie die Anwendungsumgebung in Form von Voraussetzungen und Arbeitsbedingungen der anwendenden Organisationen (siehe Abbildung 5). Die Untersuchung der Praxistauglichkeit des Modells geht damit über eine rein technische Sicht hinaus und nimmt zudem die tatsächliche Anwendung in der (kommunalen) Praxis mit in den Blick. Dies ist essenziell, „*denn auch wenn das Modell technisch reibungslos funktioniert, könnten andere mögliche Hemmnisse der tatsächlichen Anwendung in der (kommunalen) Praxis im*

Weg stehen“ (Steuri und Heese 2019, S. 48), so wurde es bereits im Evaluationsbericht der 1. Projektphase erkannt.

### Definition der Modellpraktikabilität

Hinsichtlich der Modellfunktionalitäten ist das Modell praxistauglich, wenn es für die anwendende Organisation **gegenwärtig und zukünftig relevante stadtklimatologische Fragestellungen** beantworten kann (1). Darüber hinaus sind die Modellergebnisse **wissenschaftlich belastbar** (2). Ebenso ist die Möglichkeit gegeben, auch nach Projektende das Modell für die praktische Anwendung **weiterzuentwickeln und zu konfigurieren** (3). Zusätzlich ist eine dauerhafte Zugänglichkeit gegeben (4). Das Modell verfügt darüber hinaus über eine **nutzerfreundliche grafische Benutzeroberfläche (GUI)** (5). Zudem wird im Hinblick auf die Anwendungsumgebung eine **Qualifizierung der Nutzer:innen** zur Bedienung der GUI und Interpretation der Ergebnisse ermöglicht (6) sowie eine **praktische Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe** gewährleistet (7).

Aus dieser Definition hat ProPolis insgesamt **sieben Kategorien** abgeleitet, denen unterschiedliche **Anforderungen** an das PALM-4U Modell zugeordnet sind, die als Evaluations-**Kriterien** dienen. Die sieben Kategorien, die auch das Ergebniskapitel strukturieren, sind in Abbildung 5 dargestellt und hier den drei übergeordneten Dimensionen zugeordnet. Um die Inhalte der einzelnen Kategorien genauer zu skizzieren, wird für jede Kategorie ein „**Gegenstand**“ formuliert, der am Anfang jedes Kategorie-Kapitels (siehe Kapitel 4) aufgegriffen wird.

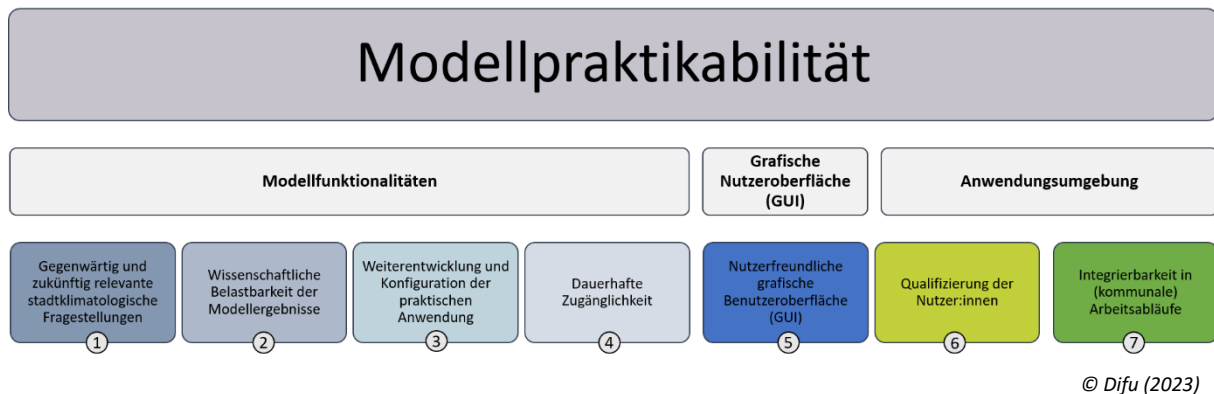


Abbildung 5: Definition der Modellpraktikabilität

## 2.2 Herleitung der Evaluationskriterien

Die Grundlage für die hier angewendeten Evaluationskriterien bildet der NAK (Weber et al. 2019a). 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. Für die in ProPolis durchgeführte Evaluation der Praxistauglichkeit des weiterentwickelten PALM-4U einschließlich der neu aufgesetzten GUI sind diejenigen Anforderungen aus Phase 1 (siehe dazu auch Dankwart-Kammoun et al. 2019, Steuri et al. 2018, Steuri und Heese

2019) erneut herangezogen worden, die nicht oder nur teilweise erfüllt waren sowie bisher noch nicht bewertet werden konnten. Diese wurden in die neue Sortierung – sieben Kategorien der Modellpraktikabilität (siehe Kapitel 2.1) – überführt. In einem nächsten Schritt erfolgten die Identifikation und Formulierung neuer Anforderungen für diejenigen Kategorien, die in der ersten Phase nicht berücksichtigt wurden. Dies sind insbesondere Anforderungen zur Qualifizierung der Nutzer:innen und Anwendungsumgebung. Der dritte Schritt umfasst die Integration einiger weniger zusätzlicher Anforderungen, die im Rahmen der ersten thematischen ProPolis-Veranstaltungen von den Praxispartner:innen genannt wurden. Insgesamt werden so der Evaluation 293 Anforderungen zugrunde gelegt, die in der nachfolgenden Grafik je Kategorie dargestellt sind (Abbildung 6).

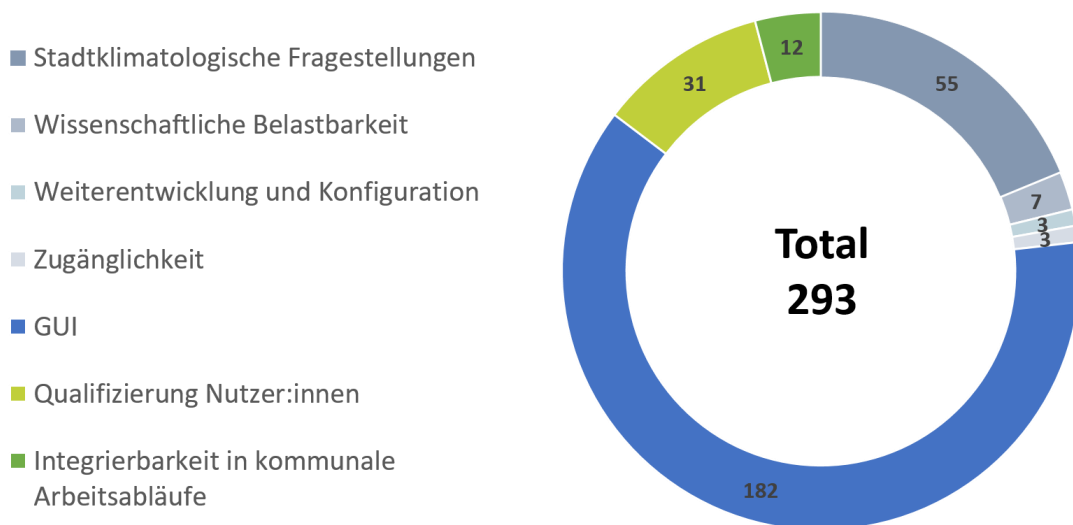


Abbildung 6: Anzahl Anforderungen je Kategorie

© Difu (2023)

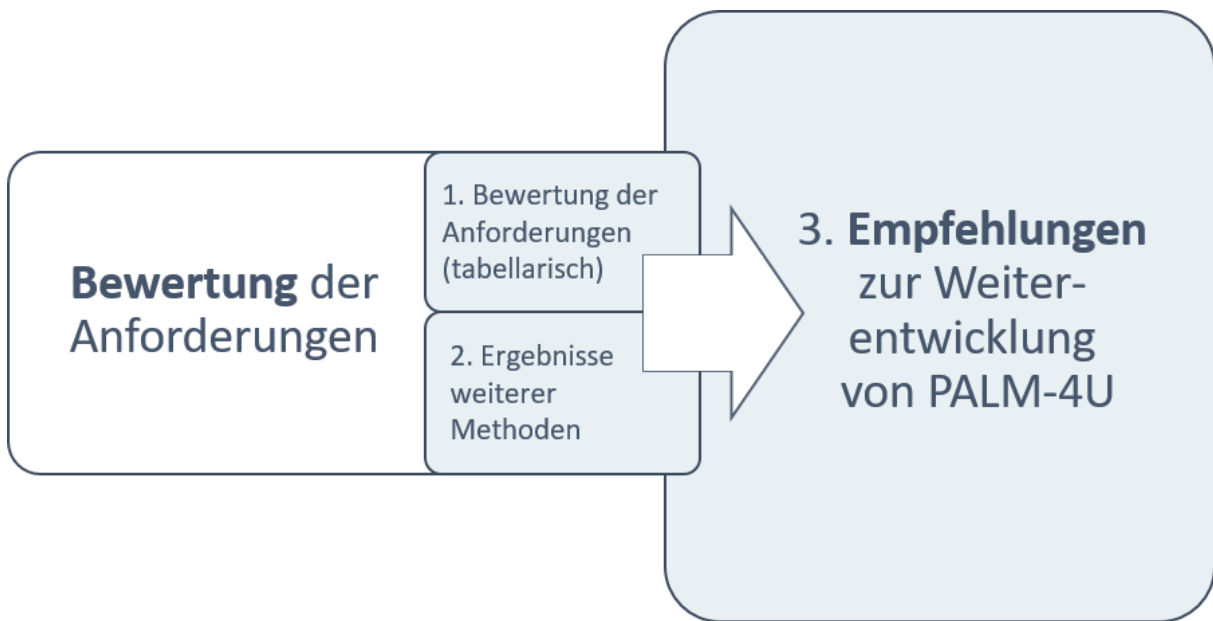
Jeder Anforderungskategorie wurden mehrere Anforderungen, also Evaluationskriterien, mit einer entsprechenden Beschreibung zugeordnet: „PALM-4U/die GUI/die Schulung [...] muss [...] können.“ Diese wurden operationalisiert zu Anforderungen mit einem oder mehreren gebündelten **Abnahmekriterien**: „PALM-4U/die GUI /die Schulung [...] ist in der Lage, [...]“. In einer umfangreichen Matrix wurden zunächst alle Anforderungen mit ihren Quellen gesammelt.

## 2.3 Operationalisierung der Evaluation

Neben der Definition der Modellpraktikabilität und der Aufstellung der Anforderungen zur Evaluation als wichtige Grundlagen ist die **Operationalisierung** der Evaluation ein wesentlicher Teil des Evaluationsansatzes. Darunter wird festgelegt, wie die Evaluation der Anforderungen letztendlich vorgenommen wurde.

Die Evaluation in den sieben Kategorien erfolgt in **drei Schritten** (siehe Abbildung 7):

1. Bewertung der Anforderungen (tabellarisch),
2. Ergebnisse weiterer Methoden und
3. Empfehlungen.



© Difu (2023)

Abbildung 7: Drei Schritte der Evaluation

Zentraler Teil der Operationalisierung ist die in Kapitel 4 für jede Kategorie einzeln aufgeführte **Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)**. In den Tabellen werden die einzelnen Anforderungen auf Ordinalskalen bewertet. Hier werden zwei Skalenarten unterschieden: Der Großteil der Anforderungen wird mit einer dreistufigen Skala (*erfüllt/teilweise erfüllt/nicht erfüllt*) bewertet (siehe Abbildung 8). In den Kategorien 6 und 7 werden ausgewählte Anforderungen auf einer Likert-Skala mit einem fünfstufigen Bewertungsbereich von *stimme zu* bis *stimme nicht zu* bewertet (siehe Abbildung 10). Bei beiden Skalenarten ist „keine Bewertung durch die evaluierende Instanz möglich“ eine Antwort-Option. Die Bedeutung der einzelnen kategorialen Merkmale der Abnahmekriterien lassen sich aus Abbildung 9, die Anzahl der durch die jeweilige Skalenart bewerteten Anforderungen der Abbildung 11 entnehmen.

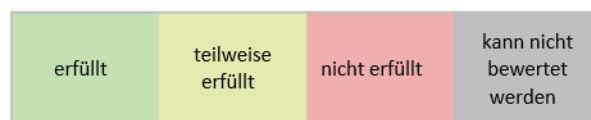


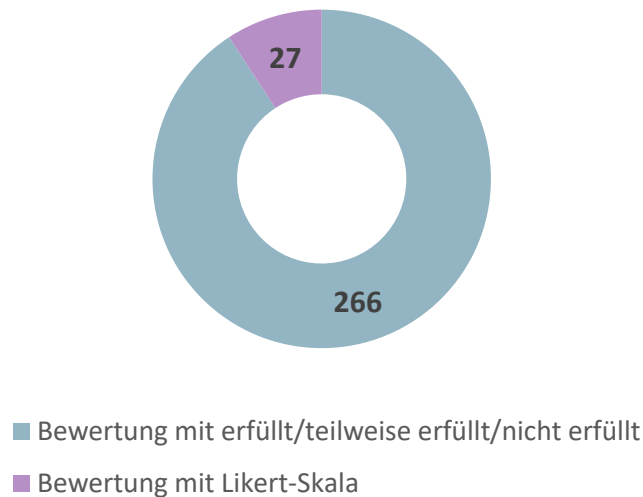
Abbildung 8: Ordinalskala erfüllt/teilweise erfüllt/nicht erfüllt

erfüllt	= Die Anforderung wurde gemäß den Abnahmekriterien als „erfüllt“ evaluiert.
teilweise erfüllt	= Die Anforderung wurde gemäß den Abnahmekriterien als „teilweise erfüllt“ evaluiert.
nicht erfüllt	= Die Anforderung wurde gemäß den Abnahmekriterien als „nicht erfüllt“ evaluiert.
kann nicht bewertet werden	= Modul C konnte die Anforderung nicht evaluieren, da die Anforderung weder durch die ASN noch durch die Konsortiums-Expert:innen (KOEXP) bewertbar ist. Daher wurde sie mit „kann nicht bewertet werden“ evaluiert.

Abbildung 9: Abnahmekriterien



Abbildung 10: Likert-Skala



© Difu (2023)

Abbildung 11: Bewertung der Anforderungen mit unterschiedlichen Skalen

Die Likert-Skala wurde gewählt, da zum Zeitpunkt der Bewertung die zu evaluierenden Gegenstände, bspw. Schulungsformate, eine Nutzungsvereinbarung oder eine CoP nicht vollständig vorlagen bzw. sich noch in der (Weiter-)entwicklung oder Erprobung befanden und somit nicht bewertet werden konnte, ob die betreffenden Anforderungen erfüllt, teilweise erfüllt oder nicht erfüllt sind. Die Einschätzung der Praxispartner:innen zu diesen Anforderungen wurde mit Blick auf die Verstetigung nach Projektende abgefragt. Die Evaluation durch die Likert-Skala kann somit auch nicht als Abnahmekriterium herangezogen werden, vielmehr bieten die Einschätzungen der Praxispartner:innen lediglich die Basis für Empfehlungen. Bei den Anforderungen, die durch die Likert-Skala bewertet werden, geht es primär um die Anwendung aus Sicht der Praxispartner:innen. Dabei spielt die Einschätzung der ASN eine größere Rolle und wird daher zur Gesamt-Evaluation stärker gewichtet als die Evaluation durch die Expert:innen des Konsortiums (KOEXP).

Die Gesamt-Evaluation wird von den KOEXP unter direkter Berücksichtigung der Bewertung der ASN von PALM-4U vorgenommen. Zur Abfrage der Bewertung der ASN dienen ausschließlich die Ergebnisse der *Umfragen in den ExLabs der ASN*, die für ausgewählte Anforderungen vorliegen. Abbildung 12 zeigt dazu die Anzahl der Anforderungen, die durch die ASN und/oder die KOEXP vorgenommen wurden.

In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die ASN die PALM-4U Funktionalitäten unter Anwendung der GUI erprobt haben und dementsprechend evaluieren. Die Modellierenden als Teil der KOEXP evaluieren diese durch die skriptbasierte Anwendung des Modells im Zuge der DLE-Modellierungen sowie Gutachtenerstellung. Die Gesamt-Evaluation umfasst also eine Bewertung, die die Funktionalitäten des Modells im Allgemeinen und die der GUI integriert. Funktionalitäten, die (noch) nicht



in der GUI implementiert sind, sind nicht Gegenstand der Evaluation: Dies bezieht sich bspw. auf die funktionalen PALM-4U Komponenten des Nesting oder des Multiagentenmodells (Institute of Meteorology and Climatology, MUK 2022).

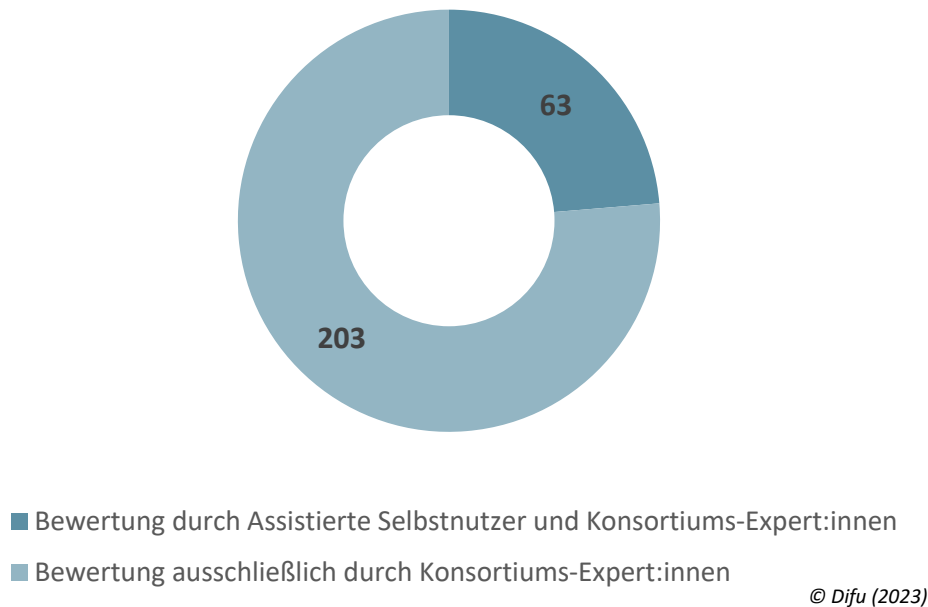


Abbildung 12: Bewertung der Anforderungen durch ASN und/oder KOEXP

Bei der Gesamt-Evaluation (Ausnahme Likert-Skala, s.o.) wird der KOEXP-Bewertung eine höhere Gewichtung zugesprochen. Dies wird mit der Expertise der ProPolis-Expert:innen begründet: Die ASN bewerten die Anforderungen auf Grundlage nur ihres spezifischen Anwendungsfalls und damit als Einzelfall. Die KOEXP als zusammengesetztes Team aus dem Konsortium bündeln unterschiedliche Anwendungsfälle sowie gesammeltes Wissen aus allen ExLabs, Austauschtreffen, Modellrechnungen sowie Schulungen über die gesamte ProPolis-Projektlaufzeit und darüber hinaus. Vor allem die Modellierer:innen der KOEXP haben das Mandat für die entscheidende Evaluations-Bewertung. Dieses Mandat erwerben sie aufgrund ihrer langjährigen und breit aufgebauten Expertise mit zahlreichen Stadtklimamodellen. Daher kann es u. U. zu einer Abweichung zwischen der ASN- und KOEXP-Bewertung bzw. der Gesamt-Evaluation kommen. Die ASN-Bewertungen sind dabei ein wichtiges Indiz für die Anwendbarkeit in der kommunalen Praxis und – wie zuvor beschrieben – für die Funktionalitäten bei der Anwendung des Modells mit der GUI. Bei einer Abweichung der ASN- und KOEXP-Bewertung wird daher stets auf mögliche Gründe eingegangen, die wichtige Grundlagen für Empfehlungen darstellen können.

In Ergänzung zur Bewertung der Anforderungen (tabellarisch) werden mit Blick auf Empfehlungen **Ergebnisse weiterer Methoden** gebündelt. Hier werden die zuvor gegebenen Bewertungen mit zusätzlichen qualitativen Aussagen aus den Protokollen der ExLabs und Austauschtreffen sowie aus den Freitextfeldern der Umfragen aller Nutzertypen untermauert. Auch Erfahrungen und Beobachtungen der KOEXP werden hier aufgeführt, zu denen keine expliziten Anforderungen formuliert wurden, die aber mit Blick auf Empfehlungen zur Praxistauglichkeit relevant sind.

Auf Grundlage der Bewertung der Anforderungen (tabellarisch) sowie der Ergebnisse weiterer Methoden werden **Empfehlungen** für die Weiterentwicklung von PALM-4U abgeleitet, die die Praxistauglichkeit des Modells erhöhen. Die Empfehlungen adressieren unterschiedliche Stakeholder, insbesondere der ProPolis Arbeitsgruppen der Verstetigung sowie der Anwendungsfälle, GUI und Kapazitätsaufbau. Dies geschieht mit dem Ziel, entsprechend dem Feedback weitere Verbesserungen des Modells einzuarbeiten.

### 3 Methodischer Ansatz

In diesem Kapitel werden die Methoden näher beschrieben, die für die Durchführung der Evaluation eingesetzt werden. Sie umfassen unterschiedliche Veranstaltungsformate, Umfragen sowie die Bewertung der Anforderungen an das PALM-4U Modell durch ProPolis-Expert:innen. Abbildung 13 zeigt dahingehend den methodischen Ansatz zur Evaluation, bei dem die unterschiedlichen Methoden in bestimmten Prozessschritten zum Einsatz kommen.

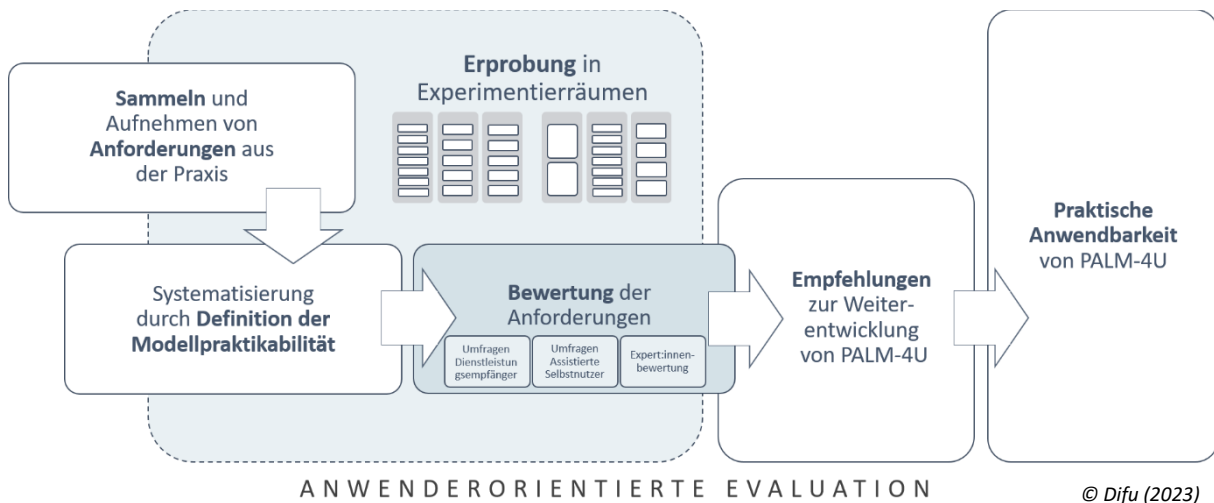


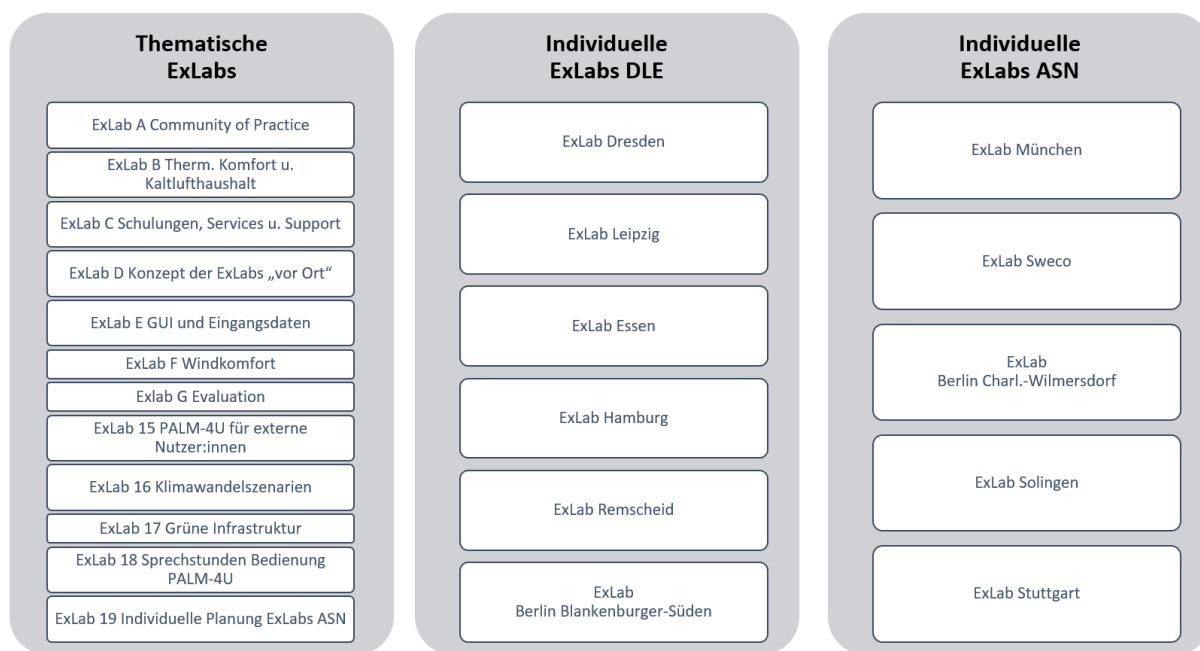
Abbildung 13: Methodischer Ansatz zur Evaluation der Praxistauglichkeit

#### 3.1 ExLabs als zentrale Veranstaltungsformate

Zentrales Veranstaltungsformat dieses Forschungsprojektes bilden die sogenannten **Experimentier-räume (ExLabs)**. Die ExLabs stellen **Erprobungs- und Testräume** dar, in denen anhand von Anwendungsfällen aus der kommunalen Praxis PALM-4U erprobt wird und in denen die Erfahrungen hieraus im Dialog zwischen Praxispartner:innen und ProPolis-Konsortium ausgetauscht werden (siehe Abbildung 13). Im Zuge dessen wird diskutiert, wie PALM-4U in kommunale Planungsprozesse eingebunden werden kann, welche Schulungen und Services nötig sind, um PALM-4U mit Hilfe der GUI anzuwenden, welche stadtklimatologischen Fragestellungen in den einzelnen Kommunen bearbeitet werden und welche Hindernisse es bei der Anwendung von PALM-4U in den Kommunen gibt. Die Ergebnisse werden in ausführlichen Protokollen mit einem einheitlichen Aufbau dokumentiert und fließen als Bestandteil der Evaluation als *Ergebnisse weiterer Methoden* in die Empfehlungen ein. Alle ExLabs waren ursprünglich als Präsenzveranstaltungen geplant, mussten aber aufgrund der Covid-19-Pandemie virtuell durchgeführt werden.

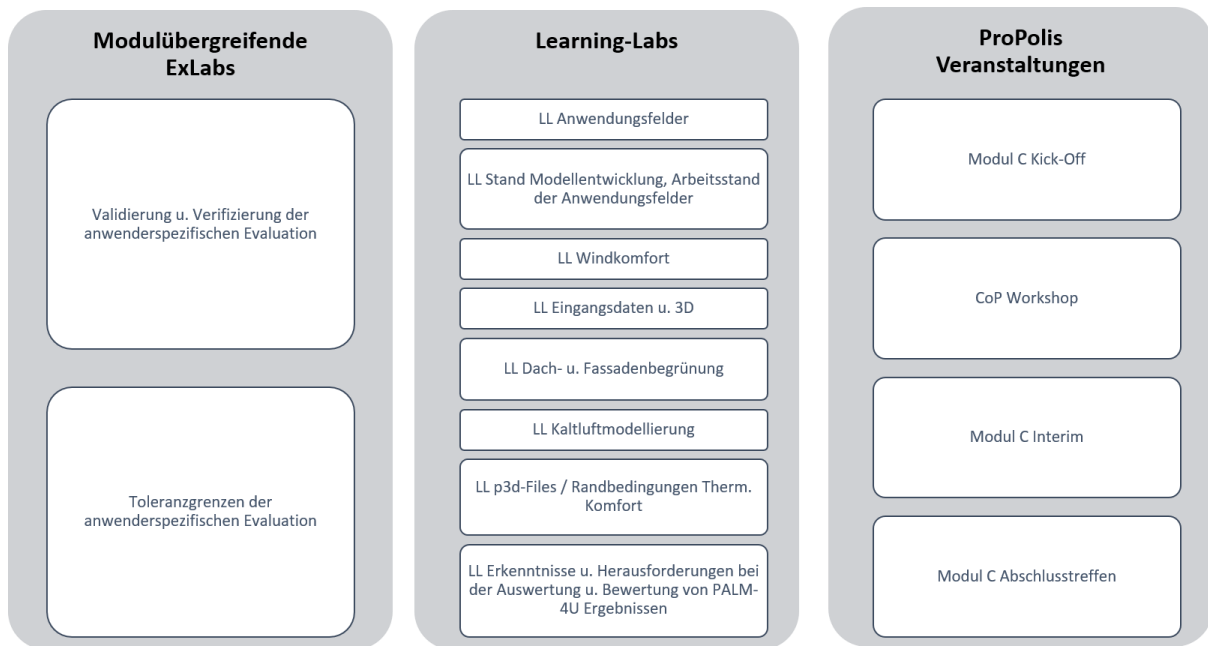
Das ExLab-Format wird im Projekt ProPolis über die Zusammenarbeit mit den Praxispartner:innen hinaus auch modulübergreifend eingesetzt. Die gegenseitige Einbindung und Abstimmung aus Phase 1 wurde fortgesetzt – zwei modulübergreifende ExLabs zur anwenderspezifischen Evaluation sowie die Einbindung von Modul C in die [UC]<sup>2</sup> AG Modellevaluierung liefern wertvolle Erkenntnisse und fördern die Umsetzung der Projektziele (siehe dazu Abbildung 15, erste Spalte).

Bei den ExLabs im Dialog mit den Praxispartner:innen wird unterschieden zwischen **thematischen ExLabs**, die für alle Praxispartner:innen offen sind, und **individuellen ExLabs**, die mit nur einer Praxispartner:innen-Kommune durchgeführt werden. Beide ExLab-Formate werden hier kurz vorgestellt. Darüber hinaus wurden 8 Learning-Labs durchgeführt, in denen sich Modellierende aus allen drei Modulen A, B und C über Simulationsergebnisse zu 8 Fokusthemen ausgetauscht haben und Hinweise zum Beheben von Problemen entwickelten. In vier zentralen ProPolis-Veranstaltungen trafen alle Praxispartner:innen zu Beginn, zu Projektmitte und zum Ende mit dem Konsortium zusammen (siehe dazu Abbildung 15, dritte Spalte). Im Mittelpunkt standen Informationen zum Stand im Projekt, Besprechung zentraler Entwicklungen und der offene Erfahrungsaustausch der Praxis untereinander. Einen Überblick über die unterschiedlichen ExLab-Veranstaltungen geben Abbildung 14 und Abbildung 15.



© Difu (2023)

Abbildung 14: Überblick der ExLabs in ProPolis (1)



© Difu (2023)

Abbildung 15: Überblick der ExLabs in ProPolis (2)

### 3.1.1 Thematische ExLabs

Die thematischen ExLabs sind auf jeweils einen inhaltlichen Schwerpunkt ausgerichtet (siehe dazu Abbildung 15, erste Spalte). Ziel der Veranstaltungen ist es, den Praxispartner:innen zusätzliches Wissen zu vermitteln, um diese bei der Anwendung von PALM-4U zu unterstützen und den Erfahrungsaustausch untereinander zu fördern. Die thematischen Schwerpunkte werden zum Teil auf Basis der Bedarfe und Wünsche der Praxispartner:innen entwickelt. Unterschieden wird in den thematischen ExLabs noch einmal zwischen den thematischen **ExLabs A-G** sowie den thematischen **Expert:innen-ExLabs 15-19**, in denen thematische Schwerpunkte mit allen Praxispartner:innen sowie in Letzteren zudem mit eingeladenen externen Expert:innen vertieft werden. Die thematischen ExLabs fanden ab 2020 über den gesamten Projektzeitraum bis zum ExLab G Evaluation im Januar 2023 statt. Einige der thematischen ExLabs sowie der dazugehörige Erfahrungsaustausch und die Diskussionen liefern Inhalte zur Evaluation der Praxistauglichkeit von PALM-4U, die unter *Ergebnisse weiterer Methoden* aufgeführt werden, so insbesondere ExLab B zum Thermischen Komfort und Kaltlufthaushalt, ExLab C zu Schulungen, Services und Support, ExLab E zu GUI und Eingangsdaten, ExLab F zu Windkomfort sowie schließlich ExLab G zur Evaluation.

### 3.1.2 Individuelle ExLabs

Die individuellen **ExLabs 1-14** sind als Experimentierräume konzipiert und dienen in erster Linie der Vorstellung der Modellierungsergebnisse, dem Sammeln von Erfahrungen der PALM-4U-Anwendung sowie den Austausch darüber. Die Evaluation der Modellpraktikabilität von PALM-4U stellt darüber hinaus eines der drei Hauptziele dieser ExLab-Formate dar. Für jede/n **Praxispartner:in** findet ein individuelles auf das **Anwendungsfeld**, den **Anwendungsfall** sowie den **Nutzertyp** zugeschnittenes ExLab statt (siehe dazu Abbildung 15, zweite und dritte Spalte).

Zentraler Bestandteil des Projektes ProPolis sind 12 bundesweit verteilte Praxispartner:innen, bestehend aus 11 Kommunen und einem Planungsbüro aus der Privatwirtschaft. Jede/r Praxispartner:in definiert zu Beginn des Projekts einen stadtklimatischen **Anwendungsfall**, der mit PALM-4U gerechnet werden soll (siehe dazu Zuordnung in Abbildung 16, Abbildung 17 und Abbildung 18). Die Anwendungsfälle lassen sich den folgenden drei **Anwendungsfeldern** zuordnen:

1. Thermischer Komfort und Kaltfluthaushalt
2. Windkomfort
3. Schadstoffausbreitung

Die meisten Praxispartner:innen wählen einen Fall im Anwendungsfeld „Thermischer Komfort und Kaltfluthaushalt“, da Hitzebelastung in den Städten derzeit die größte Herausforderung darstellt (siehe Abbildung 16). Während „Windkomfort“ für zwei Praxispartner:innen relevant ist (siehe Abbildung 17), entscheidet sich nur eine Kommune dazu, die Schadstoffausbreitung in einem Anwendungsfall zu betrachten (siehe Abbildung 18).

Zudem werden drei **Nutzertypen bei der Anwendung** von PALM-4U unterschieden. Die Praxispartner:innen entscheiden sich zu Projektbeginn, zu welchem der folgenden Nutzertypen sie sich zuordnen:

### **Nutzertypen**

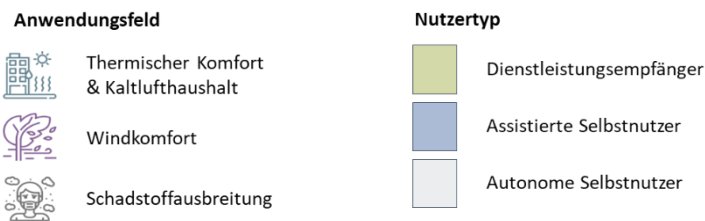
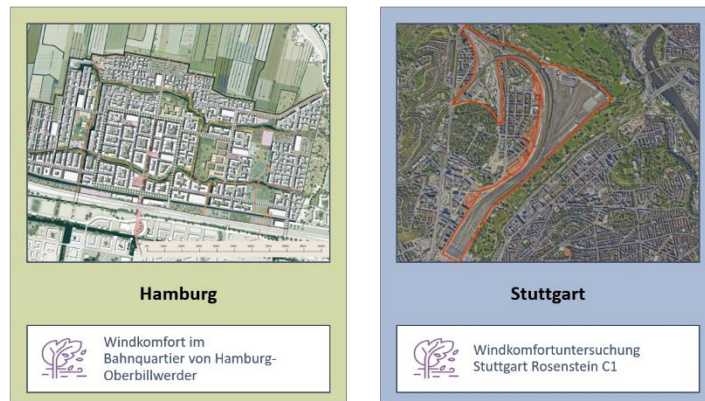
**Dienstleistungsempfänger (DLE):** DLE definieren einen stadtklimatologischen Anwendungsfall und stellen die notwendigen Eingangsdaten für die Modellierungen zusammen. Die Modellsimulationen werden von den Modellierer:innen des ProPolis-Konsortiums durchgeführt und den Praxispartner:innen in Form eines Gutachtens zur Verfügung gestellt.

**Assistierte Selbstnutzer (ASN):** ASN besuchen vom ProPolis-Konsortium organisierte Schulungen und bearbeiten den stadtklimatologischen Anwendungsfall mit Hilfe der GUI eigenständig. Die ProPolis-Modellierer:innen unterstützen die ASN im gesamten Prozess der Bearbeitung.

**Autonome Selbstnutzer (AUSN):** AUSN unterscheiden sich von den ASN durch die Anschaffung eigener Hardware, mit der sie PALM-4U nutzen. Innerhalb der Projektlaufzeit kam der Nutzertyp nicht zum Tragen: Lediglich die Absicht wurde von einzelnen Praxispartner:innen geäußert. Die Stadt Wiesbaden als assoziierter Praxispartner:in hat diese Rolle im Projekt übernommen.

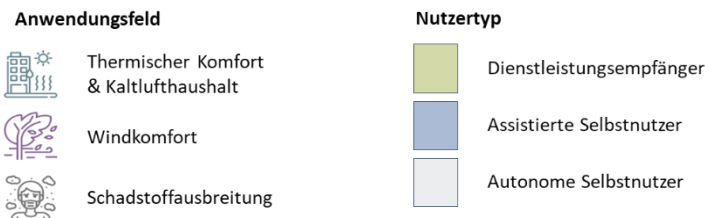


Abbildung 16: Anwendungsfälle im Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt



© Difu (2023)

Abbildung 17: Anwendungsfälle im Anwendungsfeld Windkomfort



© Difu (2023)

Abbildung 18: Anwendungsfälle im Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung

Mit den individuellen ExLabs werden im Projekt verschiedene Ziele verfolgt. Zentral ist die Vorstellung der Ergebnisse des jeweiligen Anwendungsfalls. Weiter bieten die Veranstaltungen die Chance, das Wissen über PALM-4U an möglichst viele Fachbereiche der Kommune zu vermitteln. Im Mittelpunkt steht der Rahmen eines Experimentierraums, in dem die Praxispartner:innen über die Ergebnisse des Anwendungsfalls und über die Anwendung von PALM-4U im Projekt sowie nach Projektende diskutieren können. Insgesamt ist hier die Frage leitend: „Wie wird PALM-4U in der Praxis angewandt?“. Die ExLabs als Testräume dienen also der Erprobung von PALM-4U im „Echtfall“, d. h. unter Einbezug vieler kommunaler Fachbereiche wie z. B. Stadtplanung, Stadtentwicklung, Umwelt/Klima und Geoinformation. Im Rahmen der individuellen ExLabs werden Schulungs-, Service- und Supportangebote diskutiert und der jeweilige Stand der Verstetigung präsentiert. Sowohl in als auch nach den ExLabs werden die Teilnehmenden gebeten, Umfragen auszufüllen (siehe dazu Kapitel 3.2).

Die Wahl des Nutzertyps ist für die Konzeptionierung der individuellen ExLabs entscheidend, die ExLabs der DLE und der ASN sind dementsprechend unterschiedlich aufgebaut. Den DLE sind die individuellen ExLabs 1-6, den ASN die individuellen ExLabs 7-14 gewidmet.

Da die ASN ihren ausgewählten Anwendungsfall selbst modellieren, übernehmen diese auch die Ergebnisvorstellung und -interpretation im ExLab. In den ExLabs der ASN werden zusätzlich Fragen hinsichtlich Schwierigkeiten bei der Erzeugung von Ergebnissen diskutiert sowie Themen zur GUI, Schulungsbedarfe, Support und Service aufgegriffen. Bei den DLE wird der ausgewählte Anwendungsfall durch die ProPolis-Modellierenden übernommen, die Ergebnisse werden daher durch die Modellierenden vorgestellt. In den ExLabs der DLE stehen Fragen der Auftragsklärung, der Einbindung von Fachressorts sowie der Kommunikation im Vordergrund. Folglich können die Nutzertypen ASN und DLE in unterschiedlicher Weise Beiträge zur Evaluation der Modellpraktikabilität leisten.

## 3.2 Umfragen

Um eine schriftliche Bewertung der PALM-4U Anforderungen sowie generelles Feedback der Anwender:innen abzufragen, werden standardisierte Fragebögen mit geschlossenen Fragen sowie ergänzenden offenen Antwortfeldern erstellt, die in und nach den ExLabs sowie nach den Schulungen von den Teilnehmenden online ausgefüllt werden. Ziel der Umfragen ist es, die Rückmeldungen möglichst vieler Praxispartner:innen zu erhalten und allen Teilnehmer:innen die Möglichkeit zu geben, neben den mündlichen Diskussionen in den Veranstaltungen ebenfalls ihre individuellen Bewertungen von Anforderungen abzugeben. Insgesamt werden zur Anforderungs-Bewertung im Zuge der Evaluation drei unterschiedliche Umfragen durchgeführt: spezifisch für die DLE, die ASN sowie zu den Schulungen, den Service- und Supportangeboten

### 3.2.1 Umfragen in den ExLabs der DLE

Alle Teilnehmenden der ExLabs der DLE werden gebeten, im Nachgang zur Veranstaltung einen Fragebogen auszufüllen, in dem folgende Bereiche abgefragt werden: Bereitstellung der Eingangsdaten durch die Stadt, Verwendung und Verständlichkeit der Modellergebnisse sowie der Mehrwert von PALM-4U bei der fachübergreifenden Zusammenarbeit.



Der Fragebogen ist in allen ExLabs gleich und setzt sich aus Freitextantworten, Auswahlantworten (Ja/Nein) und Einschätzungen anhand einer Likert-Skala (geeignet bis nicht geeignet) zusammen. Die Antworten der Teilnehmenden finden hauptsächlich bei der Evaluation der Kategorie 7, Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe, Berücksichtigung.

### 3.2.2 Umfragen in den ExLabs der ASN

Im Gegensatz zum Fragebogen der DLE werden im Fragebogen der ASN konkrete Anforderungen aus den Kategorien 1 (stadtklimatologische Fragestellungen), 5 (Grafische Benutzeroberfläche (GUI)), 6 (Qualifizierung von Nutzer:innen) und 7 (Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe) von den Praxispartner:innen bewertet. Während Anforderungen der Kategorien 1 und 5 mit Hilfe einer *erfüllt/teilweise erfüllt/nicht erfüllt*-Skala bewertet werden und Anforderungen der Kategorie 7 mit Blick auf Empfehlungen für die Verstetigung unter Verwendung einer Likert-Skala beurteilt werden, sind in Kategorie 6 beide Methoden kombiniert (siehe dazu auch Kapitel 2.3). Der Einsatz zweier verschiedener Skalen ist notwendig, da einige Produkte zum Zeitpunkt der Evaluation noch nicht erstellt werden konnten. Dies betrifft vor allem die zukünftigen Qualifizierungsangebote nach Projektende. Für die Anforderungen, die sich auf zukünftige Produkte beziehen, kann lediglich der Grad der Zustimmung durch die Praxispartner:innen abgefragt werden, um aus dieser Bewertung Empfehlungen für die Weiterentwicklung bestehender und die Umsetzung zukünftiger Formate abzuleiten. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, in Freitextfeldern qualitative Anmerkungen zu den Anforderungen zu geben.

### 3.2.3 Umfragen zu Schulungen, Service- und Supportangeboten

Die Praxispartner:innen werden über gewünschte Inhalte, Dauer sowie Formate und potentiell anfallende Kosten von Schulungs-, Service- und Support-Angeboten im und nach dem ExLab C (Schulungen, Service und Support) abgefragt. Diese Informationen dienen der Bedarfsermittlung und Formulierung der Anforderungen in Kategorie 6 (Qualifizierung der Nutzer:innen). Basierend auf den erfassten Anforderungen wurden die Schulungen, Service- und Supportangebote (weiter-)entwickelt. Zusätzlich werden die Praxispartner:innen nach den Schulungen über Ihre Erfahrungen und Verbesserungswünsche befragt. Diese Erkenntnisse flossen ebenfalls in die Weiterentwicklung der Qualifizierungsangebote ein.

## 3.3 Bewertung der Anforderungen durch Expert:innen aus dem Konsortium (KOEXP)

Durch die Zusammenarbeit in den unterschiedlichen Test- und Erprobungsräumen (ExLabs) wird von den ASN sowie vom ProPolis-Konsortium eine Expertise zur Nutzung des PALM-4U Modells auf- und ausgebaut werden. Dabei bezieht sich die Expertise der ASN auf den eigenen spezifischen Anwendungs- und Einzelfall. Das ProPolis-Konsortium bündelt unterschiedliche Anwendungsfälle sowie gesammeltes Wissen aus allen ExLabs, Austauschtreffen (siehe dazu Abbildung 15, dritte Spalte), Learning Labs (LL) (siehe dazu Kapitel 3.3.2), Modellrechnungen sowie Schulungen über die gesamte ProPolis-Projektlaufzeit und darüber hinaus. Somit wird dem Konsortium ein Expert:innen-Status zuge-

schrieben. Sie nehmen, neben der Bewertung der Anforderungen durch die ASN durch entsprechende Umfragen (siehe dazu Kapitel 3.2.2) als zusammengesetztes Team die entscheidende Evaluations-Bewertung als Konsortiums-Expert:innen (KOEXP) vor.

### 3.3.1 Zusammenarbeit von Praxispartner:innen und ProPolis-Konsortium

Die Zusammenarbeit vom ProPolis-Konsortium und den beiden Anwendergruppen ASN und DLE gestaltet sich abhängig von der Wahl des Nutzertyps unterschiedlich. Allen ProPolis-Praxispartner:innen werden jeweils zwei Betreuer:innen aus dem ProPolis-Konsortium zugeordnet: Ein/e Betreuer:in für organisatorische Fragen (Difu, sfs) sowie ein/e Betreuer:in für die Modellierung mit PALM-4U (GEO-NET, GERICS, IBP).

Bei den ASN ist der erste Arbeitsschritt die Identifikation und Auswahl eines konkreten Anwendungsfalls aus ihrer kommunalen Praxis, der mit Hilfe von PALM-4U untersucht werden soll. Die ProPolis-Betreuer:innen unterstützen dabei mit ihrer Expertise, bspw. durch die Unterstützung bei der Eingangsdatenaufbereitung. Da der Nutzertyp ASN das Modell PALM-4U mit Hilfe der grafischen Nutzeroberfläche selbst angewendet hat, liegt der nächste Schritt der Zusammenarbeit in der Qualifizierung für diese Anwendung. Die Praxispartner:innen durchlaufen die in ProPolis angebotenen Schulungsangebote und lernen so Schritt-für-Schritt den Arbeitsablauf bei der Modellierung mit PALM-4U: Die Aufbereitung der Eingangsdaten, das Aufsetzen von Modellsetups und Durchführen der Simulation, die Auswertung und Interpretation der Modellergebnisse sowie spezifisches Know-How für die drei Anwendungsfelder Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt, Windkomfort und Schadstoffausbreitung. Nach Abschluss eines Schulungsmoduls können die Praxispartner:innen das erlernte Wissen dann direkt auf ihren konkreten Anwendungsfall übertragen und diesen bearbeiten. Während dieser Zeit stehen die ProPolis-Betreuer:innen begleitend zur Seite. Zusätzlich unterstützt das ProPolis-Konsortium durch eine Reihe weiterer Supportangebote: Gruppensprechstunden, ein Ticketing-System für Supportanfragen per Mail sowie persönliche Gespräche und Support mittels Videokonferenz oder Telefon. Zum Abschluss der Bearbeitung werden abgestimmt auf die ASN individuelle ExLab-Veranstaltungen organisiert, bei denen die Bearbeiter:innen ihre Ergebnisse und Erfahrungen einem größeren Kreis in ihrer Kommune vorstellen und mit diesem diskutieren. Die Erfahrungen der ASN fließen in die Evaluierung der GUI sowie in die Evaluierung der Schulungs- und Supportangebote ein. Dazu bewerten die einzelnen Anwender:innen die Anforderungen im Rahmen von Umfragen (siehe dazu Kapitel 3.2.2) und mithilfe der Erkenntnisse aus den individuellen ExLabs (siehe dazu Kapitel 3.1.2).

Auch die DLE definieren zuerst einen Anwendungsfall aus ihrer Praxis, für dessen Untersuchung Simulationen mit PALM-4U durchgeführt werden sollten. Im Gegensatz zu den ASN übernehmen die ProPolis-Modellierenden für die DLE den gesamten Modellierungsprozess mit PALM-4U. Im ersten Schritt stellen die Praxispartner:innen nach einer Beratung durch die Betreuer:innen die benötigten Eingangsdaten bereit. Die ProPolis-Modellierenden bereiten die Eingangsdaten im PALM-4U Format auf, führen die PALM-4U Simulationen durch und stellen die Ergebnisse in individuellen ExLabs- (siehe dazu Kapitel 3.1.2) zur Diskussion. Zu jedem Anwendungsschritt, von der Eingangsdatenaufbereitung bis zur Interpretation der Ergebnisse, stehen die Betreuer:innen im engen Austausch mit den Ansprechpartner:innen aus der jeweiligen Kommune. Es werden mehrere Telefon- und Videogespräche geführt, um die Arbeiten zu besprechen und Zwischenergebnisse mitzuteilen. Diese Diskussionen sowie die Umfragen

(siehe Kapitel 3.2.1) dienen hauptsächlich der Evaluation der Kategorie 7, der praktischen Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe.

In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die ASN die PALM-4U Funktionalitäten unter Anwendung der GUI erprobt haben und dementsprechend evaluieren. Die Modellierenden als Teil der KOEXP evaluieren diese hauptsächlich durch die skriptbasierte Anwendung des Modells im Zuge der DLE-Modellierungen sowie Gutachtenerstellung. Nichtsdestotrotz haben die KOEXP im gesamten Projektprozess stichprobenhaft durch die Anwendungsfälle und die Zusammenarbeit mit den Praxispartner:innen die GUI erprobt und bewertet.

### 3.3.2 Learning Labs zur modulübergreifenden Zusammenarbeit

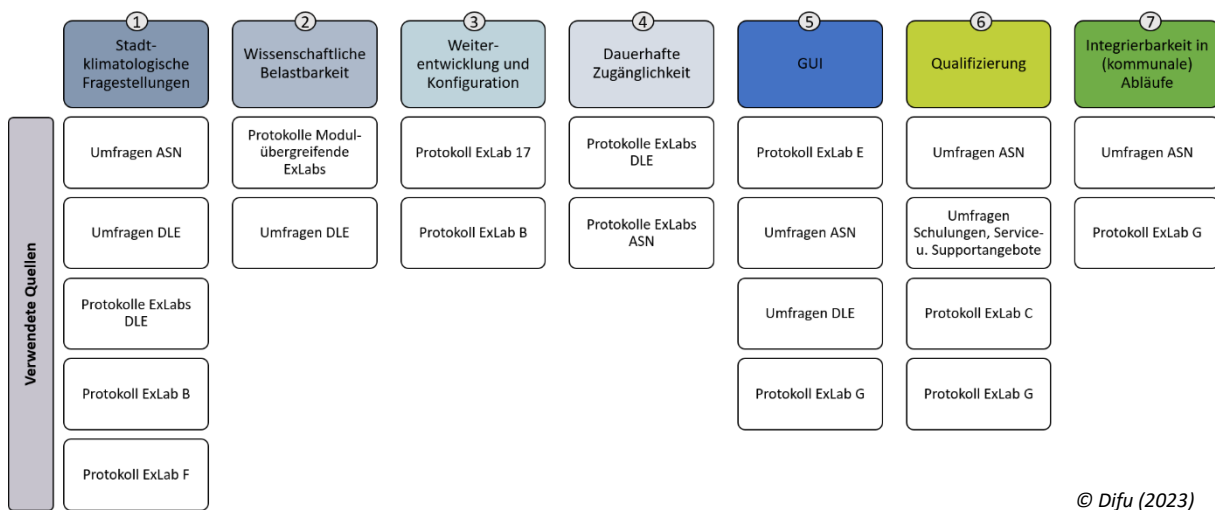
Um die Modellpraktikabilität in der Anwendung mit PALM-4U voranzubringen, werden im ProPolis Projekt u. a. typische Anwendungsfelder mit gängigen Anwendungsfällen identifiziert, die mit PALM-4U bearbeitet werden können. Je Anwendungsfeld werden typische Simulationen gerechnet, Ergebnisse qualitätsgesichert und hinsichtlich ihrer Anwendung überprüft. Ein wesentlicher methodischer Baustein für diese Erarbeitung stellen die ProPolis-internen Diskussionen, die Diskussionen mit Modul A und B sowie die Durchführung der LL dar. Letztgenannte LL sind Veranstaltungen, in denen über den gesamten ProPolis-Projektverlauf auf Modellierer:innen-Ebene modulübergreifend Erkenntnisse und Problemstellungen offen diskutiert und Lösungsansätze entwickelt wurden. Weiterhin wird das erlangte Wissen in die anderen Module getragen und von gegenseitigen Lernerfahrungen bei der Anwendung von PALM-4U profitiert. Damit sind die Expert:innen im ProPolis Modul selbst an Erfahrung gewachsen und damit in der Lage versetzt, die Modellpraktikabilität zu bewerten.

Es werden Learning Labs bspw. zu den Themen Eingangsdaten, Dach- und Fassadenbegrünung, typische Setups, Kaltluftmodellierungen, Windkomfort-Operationalisierung sowie 3D-Visualisierung durchgeführt (siehe dazu Abbildung 15, zweite Spalte). Im letzten LL *Erkenntnisse und Herausforderungen bei der Auswertung und Bewertung von PALM-4U Ergebnissen* findet abschließend über die wesentlichen Erkenntnisse aus der Anwendung von PALM-4U ein Austausch statt. Dieses Veranstaltungsformat trägt dazu bei, die Modellpraktikabilität, v. a. die der stadtklimatischen Fragestellungen, zu verbessern.

## 4 Ergebnisse und Empfehlungen

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Evaluation sowie davon abgeleitete Empfehlungen in Bezug auf die Modellpraktikabilität von PALM-4U dargestellt. Die sieben Ergebnis-Unterkapitel (4.1 bis 4.7) behandeln jeweils die Anforderungen einer **Anforderungskategorie**, Kategorie 1 (stadtklimatologische Fragestellungen) differenziert dabei noch einmal die drei Anwendungsfelder Thermischer Komfort, Windkomfort und Schadstoffausbreitung und betrachtet diese getrennt voneinander. Die verwendeten Quellen bei den einzelnen Kategorien zeigt Abbildung 19.

Am Anfang jedes Unterkapitels wird für jede der sieben Kategorien der **Evaluationsgegenstand** beschrieben sowie generelle Besonderheiten des Kapitels und der Bewertung dargelegt.



© Difü (2023)

Abbildung 19: Verwendete Quellen

Jede Kategorie beinhaltet nach den vorgestellten drei Schritten (siehe Kapitel 2.3): 1. eine **Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)** sowie 2. **Ergebnisse weiterer Methoden** und von diesen abgeleitet 3. **Empfehlungen**.

In den Evaluationstabellen werden die **Gesamt-Evaluation** sowie vorher die **Bewertungen der KOEXP** und **Bewertung der ASN** zu jeder Anforderung dargestellt (siehe Tabelle 1). Die Angabe zur **Anzahl der ASN** zeigt, wie viele ASN die Anforderung im Rahmen der Umfragen bewertet haben. Bei der Angabe  $n = 0$  wurde die Anforderung dementsprechend nicht in die Umfragen der ASN aufgenommen, hier nehmen lediglich die KOEXP die Gesamt-Bewertung vor. Auf die tabellarische Darstellung folgt eine ausführliche Erläuterung der Bewertungen. Diese liegt entweder einzeln pro Anforderung vor oder es werden mehrere thematisch ähnliche Anforderungen gebündelt erläutert.

Tabelle 1: Beispiel tabellarische Darstellung zur Bewertung der Anforderungen

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN				Evaluation durch KOEXP	Gesamt Evaluation
				erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	kann nicht bewertet werden		
0	0.00 n	Beispielanforderung	n = 0						

Die Anforderungen sind durch die Kategorien hinweg von **Nr. 1 bis 293** durchnummeriert, die jeweils bei der Erläuterung angegeben werden. Durch die zudem in der Tabelle angegebene **ID** ist eine Zuordnung zur Kategorie sowie eine Zurückverfolgung der Anforderungen aus dem Evaluationsbericht der ersten Phase und der ursprünglichen Evaluationsmatrix möglich.

#### 4.1 Gegenwärtig und zukünftig relevante stadtklimatologische Fragestellungen

In Kategorie 1 werden die Modellfunktionalitäten von PALM-4U hinsichtlich der Beantwortung gegenwärtig und zukünftig relevanter stadtklimatologischer Fragestellungen evaluiert. Dabei werden die drei Anwendungsfelder **Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt**, **Windkomfort** sowie **Schadstoffausbreitung** separat betrachtet. Insgesamt werden hier 55 Anforderungen bewertet, davon 36 zum Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt, 12 zum Windkomfort und 7 zur Schadstoffausbreitung. Einige Anforderungen sind in zwei Anwendungsfeldern gelistet (bspw. ID 1-298 und 4.2.112), die von den KOEXP jeweils mit Blick auf das spezifische Anwendungsfeld betrachtet werden.

Die ASN haben diejenigen PALM-4U-Anforderungen bewertet, die für ihren Anwendungsfall und das Anwendungsfeld relevant waren. Nur eine Praxispartner:in ist überhaupt in der Lage, das Modell ohne die GUI zu bedienen. Daher ist die Evaluation der Anwendungsfelder bzw. die Anwendung von PALM-4U unmittelbar an die GUI geknüpft (siehe Kapitel 4.5). Auch die KOEXP haben diese Anforderungen bewertet und führen ihre Bewertungen und die der ASN in einer Gesamt-Evaluation zusammen.

Die Bewertungsmöglichkeit „kann nicht bewertet werden“ wird in dieser Kategorie so verstanden, dass die entsprechende Anforderung weder durch die ASN noch durch die KOEXP bewertbar ist, da es dazu keinen Rechenfall gegeben hat und somit auch keine Analyse für die Anforderung vorliegt.

#### 4.1.1 Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt

Dem Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt liegen 36 Anforderungen sowie 9 Anwendungsfälle der Praxispartner:innen zugrunde.

##### 4.1.1.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)

Tabelle 2: Anforderungen Kategorie 1 Stadtklimatologische Fragestellungen, Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN				Evaluation durch KOEXP	Gesamt Evaluation
				erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	kann nicht bewertet werden		
1	4.2-43	Die Modellierung verschiedener thermischer Schichtungen ist möglich.	n = 11	3	0	0	8	erfüllt	erfüllt
2	4.2-48	Die Berechnung von Mittelwerten für meteorologische und luftchemische Parameter ist möglich.	n = 11	1	2	0	8	erfüllt	erfüllt
3	4.2-49	Die Berechnung von Minima und Maxima für meteorologische und luftchemische Parameter ist möglich.	n = 11	1	3	0	7	erfüllt	erfüllt
4	4.2-50	Die Berechnung thermischer Parameter und Indizes ist durchführbar.	n = 11	4	1	0	6	erfüllt	erfüllt
5	4.2-51	Die Berücksichtigung des Innenraumklimas ist realisiert.	n = 0					erfüllt	erfüllt
6	4.2-62	PALM-4U ist in der Lage, die Auswirkungen von Grünflächen auf das Stadtklima der direkten und großräumigen Umgebung zu simulieren.	n = 11	7	0	0	4	erfüllt	erfüllt
7	4.2-67	PALM-4U ist in der Lage, Kennzahlen zur Verdunstung auszuwerten. Es ist möglich, aus den ausgewerteten Kennzahlen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten.	n = 11	0	0	0	11		
8	4.2-68	PALM-4U ist in der Lage, Auswertungen zur Globalstrahlung durchzuführen. Es ist möglich, aus den Auswertungen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten.	n = 11	3	1	0	7	erfüllt	erfüllt
9	4.2-71	PALM-4U ist in der Lage, Flächen und Räume in einem Maßstab von 1:10'000 zu verarbeiten. Die Ergebnisse sind in einer Auflösung verfügbar, die auf der Ebene der Regional- und Landschaftsplanung geeignet ist.	n = 4	2	0	0	2	erfüllt	erfüllt
10	4.2-74	PALM-4U ist in der Lage, Wärmeinseln (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas in geeigneter Auflösung zu simulieren.	n = 11	5	1	0	5	erfüllt	erfüllt
11	4.2-75	PALM-4U ist in der Lage, Windfelder (gemäß VDI 3785, Blatt 1 und 3787, Blatt 4) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 11	6	1	0	4	erfüllt	erfüllt
12	4.2-76	PALM-4U ist in der Lage, Kaltluftströme (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 11	4	0	0	7	erfüllt	erfüllt
13	4.2-77	PALM-4U ist in der Lage, Bioklima (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 11	4	0	0	7	erfüllt	erfüllt
14	4.3-85	Der Einfluss von Begrünung und dessen Festsetzung in einem Bebauungsplan kann mit dem PALM-4U simuliert werden.	n = 11	4	3	0	4	erfüllt	erfüllt
15	4.3-87	PALM-4U kann Niederschlagsensembles und maximale Gebietsniederschläge simulieren.	n = 0						

16	4.2-92	PALM-4U ist in der Lage, Kennzahlen zum Niederschlag auszuwerten. Es ist möglich, aus den ausgewerteten Kennzahlen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
17	4.2-93	PALM-4U ist in der Lage, Kennzahlen zur Luftfeuchtigkeit auszuwerten. Es ist möglich, aus den ausgewerteten Kennzahlen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten.	n = 11	2	0	0	9	nicht erfüllt	nicht erfüllt
18	4.2-94	PALM-4U ist in der Lage, Kennzahlen zur Sonnenscheindauer auszuwerten. Es ist möglich, aus den ausgewerteten Kennzahlen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten.	n = 4	2	0	0	2	nicht erfüllt	nicht erfüllt
19	4.2-95	Mit PALM-4U konnte die Lage von Bereichen mit einer besonders hohen thermischen Belastung identifiziert werden.	n = 11	6	0	0	5	erfüllt	erfüllt
20	4.2-97	Mit dem PALM-4U konnten Bereiche mit besonders hohen Vulnerabilitäten für sensible Bevölkerungsgruppen identifiziert werden.	n = 0						
21	4.2-98	Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt können aus den Simulationsergebnissen abgeleitet werden.	n = 4	2	0	0	2	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
22	4.2-102	PALM-4U ist in der Lage, Flächen und Räume in einem Maßstab von 1:500 zu verarbeiten. Die Ergebnisse sind in einer Auflösung verfügbar, die auf der Ebene der Gebäudearchitektur (Bebauungsplan // Bauantrag) geeignet ist.	n = 11	5	3	1	2	erfüllt	erfüllt
23	4.2-103	PALM-4U ist in der Lage, Flurwinde (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 9	2	0	0	7	erfüllt	erfüllt
24	4.1-104	PALM-4U ist in der Lage, Kaltluftseen (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 8	2	2	0	4	erfüllt	erfüllt
25	4.2-107n	PALM-4U kann Kenntage simulieren, wie Sommertage, Tropennächte, Gradstagszahl, Heizgradtage, Wüstentage, heiße Tage, Heiztage, Vegetationstage, Frosttage, Eistage, Tautage, Kühltage, kalte Tage.	n = 9	3	0	0	6	erfüllt	erfüllt
26	4.2-108n	Eine Simulation der Klimatelemente Temperatur, Wind, Luftdruck, Luftfeuchte, Niederschlag, Bewölkung, Strahlung ist in Straßenschluchten mit dem PALM-4U möglich.	n = 11	2	5	1	3	erfüllt	erfüllt
27	4.2-109n	Die Simulation architektonischer Veränderungen in Straßen auf die Klimatelemente Temperatur, Wind, Luftdruck, Luftfeuchte, Niederschlag, Bewölkung, Strahlung ist mit dem PALM-4U möglich.	n = 11	3	4	0	4	erfüllt	erfüllt
28	4.2-110	PALM-4U ist in der Lage, Verdunstungsprozesse zu simulieren. Die Verdunstung aus nur zeitweise mit Wasser bedeckten Flächen wird berücksichtigt.	n = 8	0	1	0	7		
29	4.2-111n	PALM-4U ist in der Lage, die Auswirkungen von Stadtrückbau und Stadtbau auf das Stadtklima zu simulieren.	n = 11	7	2	0	2	erfüllt	erfüllt
30	4.2-112	PALM-4U ist in der Lage, die Auswirkungen von Einzelgebäuden auf das Stadtklima der direkten und großräumigen Umgebung zu simulieren.	n = 11	6	1	0	4	erfüllt	erfüllt
31	4.2-114n	PALM-4U ist in der Lage, Kenntage zur Schneedecke zu berechnen.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
32	4.2-115	PALM-4U ist in der Lage, Flächen und Räume in einem Maßstab von 1:50'000 zu verarbeiten. Die Ergebnisse sind in einer Auflösung verfügbar, die für Regional- und Landschaftsplanung geeignet ist.	n = 4	2	0	0	2	erfüllt	erfüllt
33	4.3-142	PALM-4U ist in der Lage, die Grundflächenanzahl (GRZ, Mindestanteil Freifläche) als Kenngröße der städtebaulichen Dichte einzulesen und zu verarbeiten.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
34	1-293	PALM-4U muss mit groben Informationen zur Raumnutzung (Versiegelungsgrade, Baufenster) zurecht kommen. Aus den Ergebnissen können planungsrelevante Handlungen abgeleitet werden.	n = 9	2	0	0	7	nicht erfüllt	nicht erfüllt
35	1-298	PALM-4U muss eine kumulierende Wirkung verschiedener Planungsprozesse simulieren können.	n = 11	5	3	0	3	erfüllt	erfüllt
36	1-333n	PALM-4U muss im Rahmen einer Überarbeitung des Landschaftsprogramms anwendbar sein.	n = 4	0	0	0	4	erfüllt	erfüllt

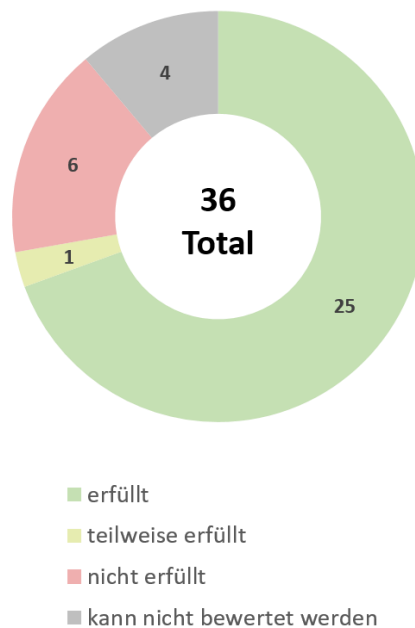


Abbildung 20: Gesamt-Evaluation im Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt

Wie in Abbildung 20 zu erkennen ist, kann das PALM-4U Modell die meisten Anforderungen, die sich aus der Fragestellung des thermischen Komforts ergeben, erfüllen.

Anforderungen, die sich auf Kenntage beziehen, können mit PALM-4U nicht bearbeitet werden und sind dementsprechend als „nicht erfüllt“ bewertet. Kenntage sind bspw.:

- Anzahl der Tage ohne Niederschlag, Trockenperioden, maximale Tages-Niederschläge, Tage mit starkem Niederschlag (Anforderung **Nr. 16**) oder
- Anzahl heitere Tage, Anzahl trübe Tage (Anforderung **Nr. 18**) oder Anzahl der Tage mit Neuschnee und die Anzahl der Tage mit Schneedecke (Anforderung **Nr. 31**).

Diese Auswertungen müssen statistisch anhand von Erhebungsdaten, wie bspw. der Deutsche Wetter Dienst (DWD) dies tut, abgeleitet werden.

Eine weitere Anforderung, für die PALM-4U nicht angewendet werden kann, ist Anforderung **Nr. 33**. Diese Anforderung beinhaltet die Verarbeitung der Grundflächenanzahl (GRZ) in PALM-4U. Die GRZ stammt aus Festsetzungen in Bebauungsplänen, die die prozentuale Verteilung von versiegelter, bebauter und unversiegelter Fläche enthält. PALM-4U ist zwar technisch in der Lage, mit prozentualen Verteilungen zu rechnen, aber mit dieser Modellparametrisierung entstehen keine aussagekräftigen Ergebnisse für die Stadtplanung. Das Modell benötigt explizite räumliche Angaben, wo ein Gebäude steht, wo sich Grünflächen oder versiegelte Flächen befinden. Die nächste Anforderung, die als nicht erfüllt bewertet wird (**Nr. 34**), ist im selben Kontext wie die vorhergenannte zu verstehen. Mit prozentualen Werten zur Versiegelung und Freifläche sollte das Modell nicht genutzt werden. Technisch ist das Konzept der „surface fractions“ anwendbar (Institute of Meteorology and Climatology, MUK 2023).



Dieses Konzept besagt, dass einzelne Rasterzellen mit Prozentwerten zu Gebäuden, versiegelten Oberflächen und Grünflächen belegt werden können. Die Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass dies zu wenig plausiblen Ergebnissen im Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt führt. Daher wurde diese Anforderung ebenfalls mit „nicht erfüllt“ bewertet.

Ein Teil der Anforderungen wird als nicht bewertbar eingestuft, darunter Anforderung **Nr. 7**, die sich auf Verdunstungskennzahlen, bspw. die Transpirationsrate der Vegetation bezieht. Diese Anforderung wurde im Projektkontext nicht explizit bearbeitet und kann daher nicht bewertet werden. Die Anforderung **Nr. 20** *Mit PALM-4U konnten Bereiche mit besonders hohen Vulnerabilitäten für sensible Bevölkerungsgruppen identifiziert werden* kann ebenfalls nicht bewertet werden, da dies nicht bearbeitet wurde. Theoretisch ist hier eine Anwendung des Multiagentenmodells denkbar, um diese Fragestellungen beantworten zu können. Im Multiagentenmodell können unterschiedliche Agenten durch das Rechengebiet geschickt werden. Diese Agenten unterschiedlichen Alters, Geschlechts und Gehgeschwindigkeit erfahren die durch das Modell ausgegebene thermische Belastung auf ihren Wegen.

Bei einzelnen Anforderungen ergeben sich Abweichungen zwischen der Bewertung der ASN und den KOEXP. Bspw. wurde die Anforderung **Nr. 34** unterschiedlich bewertet: *PALM-4U muss mit groben Informationen zur Raumnutzung (Versiegelungsgrade, Baufenster) zurechtkommen [...]*. Die ASN haben diese Anforderung mit „erfüllt“, die KOEXP mit „nicht erfüllt“ bewertet. Anforderung **Nr. 21** *zu Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt können aus den Simulationsergebnissen abgeleitet werden* wird von den KOEXP mit „teilweise erfüllt“ bewertet. Die Auswirkungen auf die Pflanzenwelt kann durch die Einschätzung von Hitze abgeleitet werden, Auswirkungen auf die Tierwelt wurde nicht untersucht, damit wird die Gesamt-Evaluation mit „teilweise erfüllt“ bewertet.

Die hohe Anzahl an „Kann nicht bewertet werden“-Antworten der ASN zeigen Unsicherheiten beim Bewerten der Anforderungen und sind in den Anforderungen **Nr. 1, 7, 23 bis 25** und **34** ersichtlich.

Ein weiterer Grund für die oftmals nur leicht abweichenden Bewertungen kommt dadurch zustande, dass die ASN PALM-4U über die GUI bedienen, auf der im Anwendungsfeld „Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt“ nicht alle Auswertegrößen oder -mechanismen zur Verfügung stehen. Die ASN besitzen aufgrund der Anwendung des Modells für ihre eigene Fragestellung auch nur diesbezüglich Kenntnisse und Erfahrungen. Sie kennen dementsprechend nicht alle Modellkomponenten, was ihre Bewertung „Kann nicht bewertet werden“ erklärt.

#### 4.1.1.2 Ergebnisse weiterer Methoden

Weitere Ergebnisse stammen von den DLE, die bei den individuellen ExLabs die Ergebnisse für ihren Anwendungsfall geliefert und dementsprechend Antworten für ihre stadtklimatologische Fragestellung bekommen haben. Die DLE-Anwendungsfälle sind für den Thermischen Komfort und Kaltlufthaushalt als auch für den Windkomfort durch die ProPolis-Expert:innen bearbeitet worden. Die Frage „Beantworten die vorgestellten Ergebnisse Ihre stadtklimatologische Fragestellung?“ wird von den an der Umfrage der DLE-Beteiligten durchgängig mit „Ja“ beantwortet (Umfragen in den ExLabs der DLE).

In den Ergebnisdiskussionen mit den Praxispartner:innen wird oftmals nachgefragt, wie valide die Modellergebnisse sind. Aussagen hierzu sind den Praxispartner:innen sehr wichtig, um mit einer validen Modellgrundlage Argumentationshilfen für bspw. städtebauliche Planungen und für Entscheidungsträger:innen zu erhalten. Weiterhin wird in den Diskussionen mit den Praxispartner:innen ersichtlich, dass die Anwendung des Modells im Kontext des Klimawandels einen immer größer werdenden Stellenwert erlangen wird (Protokolle ExLabs DLE, Protokolle ExLabs ASN).

#### 4.1.1.3 Empfehlungen

Zu den Anforderungen im Anwendungsfeld Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt, die bisher als nicht bewertbar eingestuft wurden, werden weitere Modellierungen und diesbezügliche Setups benötigt, um diese Modellfunktionalitäten bewerten zu können.

Oftmals werden in Diskussionen und Gesprächen mit den Praxispartner:innen belastbare Modellergebnisse als eine Voraussetzung für den Einsatz von PALM-4U in der Praxis genannt. Eine solche Validierung wird durch Modul B im Evaluationsprozess bis Herbst 2023 erarbeitet (siehe Endbericht Modul B 3DO+M, Scherber et al. 2023). Weiterhin sind die Anwendungen im Rahmen von ProPolis auch ein Nachweis, dass mit PALM-4U verwertbare Erkenntnisse für die Stadtplanung und -entwicklung herausgearbeitet werden konnten. Die Ergebnisse der Modellevaluation sollte allen Praxispartner:innen zur Verfügung gestellt werden. Ebenso müssen weiterführende Erkenntnisse, die die Anwendung des Modells betreffen, veröffentlicht werden.

Die Implementierung von schrägen Oberflächen ist ein weiterer Baustein, um Ergebnisse bspw. zur Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) oder bodennahen Strömungsfeldern zu verbessern, wovon besonders die Simulation des Kaltluftflusses profitiert. Die schrägen Oberflächen werden im PALM-4U Release 23.04 enthalten sein.

Des Weiteren ergibt sich die Empfehlung, dass im Hinblick auf die Verarbeitung grober Informationen zur Raumnutzung (bspw. Versiegelungsgrade, Baufenster) keine prozentualen Werte für das Modell genutzt werden sollten, da dies zu wenig plausiblen Ergebnissen im Anwendungsfeld Thermischer Komfort führt.

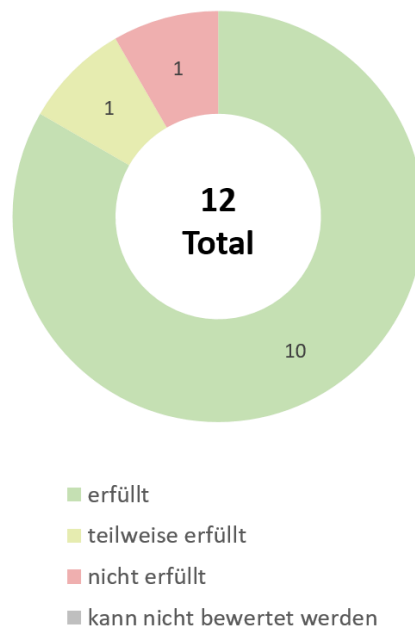
#### 4.1.2 Anwendungsfeld Windkomfort

Dem Anwendungsfeld Windkomfort liegen zwei Anwendungsfälle der Praxispartner:innen Stuttgart und Hamburg zugrunde, es werden dem Anwendungsfall 12 Anforderungen zugeordnet.

##### 4.1.2.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)

Tabelle 3: Anforderungen Kategorie 1 Stadtklimatologische Fragestellung, Anwendungsfeld Windkomfort

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN				Evaluation durch KOEXP	Gesamt Evaluation
				erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	kann nicht bewertet werden		
37	4.2-48	Die Berechnung von Mittelwerten für meteorologische und luftchemische Parameter ist möglich.	n = 11	1	2	0	8	erfüllt	erfüllt
38	4.2-49	Die Berechnung von Minima und Maxima für meteorologische und luftchemische Parameter ist möglich.	n = 11	1	3	0	7	erfüllt	erfüllt
39	4.2-66	PALM-4U ist in der Lage, Kennzahlen zum Wind auszuwerten. Es ist möglich, aus den ausgewerteten Kennzahlen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten.	n = 3	3	0	0	0	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
40	4.2-75	PALM-4U ist in der Lage, Windfelder (gemäß VDI 3785, Blatt 1 und 3787, Blatt 4) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 11	6	1	0	4	erfüllt	erfüllt
41	4.2-102	PALM-4U ist in der Lage, Flächen und Räume in einem Maßstab von 1:500 zu verarbeiten. Die Ergebnisse sind in einer Auflösung verfügbar, die auf der Ebene der Gebäudearchitektur (Bebauungsplan // Bauantrag) geeignet ist.	n = 11	5	3	1	2	erfüllt	erfüllt
42	4.1-106n	PALM-4U ist in der Lage, Windkomfort (gemäß VDI 3787, Blatt 4) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 3	3	0	0	0	erfüllt	erfüllt
43	4.2-108n	Eine Simulation der Klimaelemente Temperatur, Wind, Luftdruck, Luftfeuchte, Niederschlag, Bewölkung, Strahlung ist in Straßenschluchten mit dem PALM-4U möglich.	n = 11	2	5	1	3	erfüllt	erfüllt
44	4.2-109n	Die Simulation architektonischer Veränderungen in Straßen auf die Klimaelemente Temperatur, Wind, Luftdruck, Luftfeuchte, Niederschlag, Bewölkung, Strahlung ist mit dem PALM-4U möglich.	n = 11	3	4	0	4	erfüllt	erfüllt
45	4.2-111n	PALM-4U ist in der Lage, die Auswirkungen von Stadtrückbau und Stadtbau auf das Stadtklima zu simulieren.	n = 11	7	2	0	2	erfüllt	erfüllt
46	4.2-112	PALM-4U ist in der Lage, die Auswirkungen von Einzelgebäuden auf das Stadtklima der direkten und großräumigen Umgebung zu simulieren.	n = 11	6	1	0	4	erfüllt	erfüllt
47	4.3-142	PALM-4U ist in der Lage, die Grundflächenanzahl (GRZ, Mindestanteil Freifläche) als Kenngröße der städtebaulichen Dichte einzulesen und zu verarbeiten.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
48	1-298	PALM-4U muss eine kumulierende Wirkung verschiedener Planungsprozesse simulieren können.	n = 11	5	3	0	3	erfüllt	erfüllt



© Difu (2023)

Abbildung 21: Gesamt-Evaluation im Anwendungsfeld Windkomfort

Fast alle Anforderungen im Anwendungsfeld Windkomfort werden als erfüllt bewertet (siehe Abbildung 21). Lediglich die Anforderung **Nr. 47 PALM-4U ist in der Lage, die Grundflächenanzahl (GRZ, Mindestanteil Freifläche) als Kenngröße der städtebaulichen Dichte einzulesen und zu verarbeiten** ist im Anwendungsfeld Windkomfort, ebenso wie für das Anwendungsfeld Thermischer Komfort, als „nicht erfüllt“ bewertet. PALM-4U ist zwar technisch in der Lage mit prozentualen Verteilungen von versiegelter, bebauter und unversiegelter Fläche rechnen zu können, aber mit dieser Modellparametrisierung können keine aussagekräftigen Ergebnisse für die Stadtplanung entstehen.

Bei zwei Anforderungen gehen die Bewertungen von ASN und KOEXP leicht auseinander. Eine dieser Anforderungen ist die Anforderung **Nr. 39 PALM-4U ist in der Lage, Kennzahlen zum Wind auszuwerten. Es ist möglich, aus den ausgewerteten Kennzahlen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten**, bei der es u. a. um das Ausgeben mittlerer Windgeschwindigkeiten, auch bodennaher Windgeschwindigkeiten für das Rechengebiet geht. Die Anforderung wird von den ASN mit „erfüllt“ und von den KOEXP mit „teilweise erfüllt“ bewertet. PALM-4U ist in der Lage, diese Windgeschwindigkeiten im Rechengebiet zu simulieren bzw. bei entsprechendem Setup entstehen zu lassen. Die Ermittlung der Anzahl von Tagen mit > 8 m/s Windgeschwindigkeit ist jedoch wieder eine statistische Auswertung auf der Grundlage von Messstellendaten. Der Einsatz von PALM-4U in diesem Zusammenhang ist nicht sinnvoll.

Eine weitere Anforderung, bei der ASN- und KOEXP-Bewertung auseinanderliegen, ist Anforderung **Nr. 43**. Diese Anforderung ist in der Gesamt-Evaluation mit Blick auf den Windkomfort dennoch als „erfüllt“ bewertet worden, da das Modell diese Funktionalität leisten kann, die zu simulierenden Straßenschluchten müssen mit dem Modell nur hoch genug aufgelöst werden (d. h. mindestens 5 Gitterpunkte für eine Straße in der Breite), damit die Ergebnisse auch belastbar sind.

Die 11 vorliegenden Bewertungen aus Hamburg und Stuttgart (2x „erfüllt“, 5x „teilweise erfüllt“ und 1x „nicht erfüllt“, 3x „kann nicht bewertet werden“) unterscheiden sich von der KOEXP-Bewertung (immer „erfüllt“). Dies kommt dadurch zustande, da die Praxispartner:innen PALM-4U über die GUI bedient haben bzw. Hamburg DLE ist und nur den Standardfall nach VDI 3787, Blatt 4 bearbeitet hat. Andere Anwendungsfälle wurden nicht bearbeitet.

#### 4.1.2.2 *Ergebnisse weiterer Methoden*

Weitere Ergebnisse stammen aus dem ExLab-Protokoll der DLE Hamburg sowie der dem ExLab nachgestellten Umfrage, die bei ihrem individuellem ExLab die Ergebnisse für ihren Anwendungsfall und dementsprechend für ihre stadtklimatologische Fragestellung im Bereich Windkomfort durch die Modellierenden des ProPolis-Konsortiums vorgestellt bekommen haben. Die Frage „Beantworten die vorgestellten Ergebnisse Ihre stadtklimatologische Fragestellung?“ innerhalb der Umfrage in den ExLabs der DLE wird durchgängig mit „Ja“ beantwortet. Im Rahmen der Untersuchung wünschen sich die DLE Hamburg weitere Untersuchungen mit höheren Gebäuden (z. B. Windgeschwindigkeiten in 4, 8 und 12 m Höhe), die jedoch im ProPolis-Zeitraum nicht mehr geleistet werden kann.

#### 4.1.2.3 *Empfehlungen*

Eine das Anwendungsfeld Windkomfort betreffende Empfehlung ist, das Modell dahingehend weiterzuentwickeln, dass es den Klimawandel abbilden kann. Dies bezieht sich z. B. auf die projizierten Windverhältnisse der Zukunft. Studien zeigen, dass sich die zukünftigen Windverhältnisse nicht grundlegend ändern werden (DWD 2022). Es wird jedoch eine Zunahme von Sturmereignissen vorausgesagt. Dieser Aspekt und das Nachrechnen von Sturmereignissen und daraus resultierenden Schäden ist in den Praxispartner:innen-Kommunen im Projektverlauf nicht von zentraler Bedeutung, dieses Thema kann allerdings für andere Städte und Kommunen eine höhere Relevanz besitzen.

Da der Windkomfort in einer hohen Auflösung von 1m gerechnet werden muss, sollte dies auch bei der Rechnerleistung beachtet werden, die dementsprechend bspw. in Form von Cloudkapazitäten nach Projektende für Modellanwender:innen zur Verfügung gestellt werden sollten.

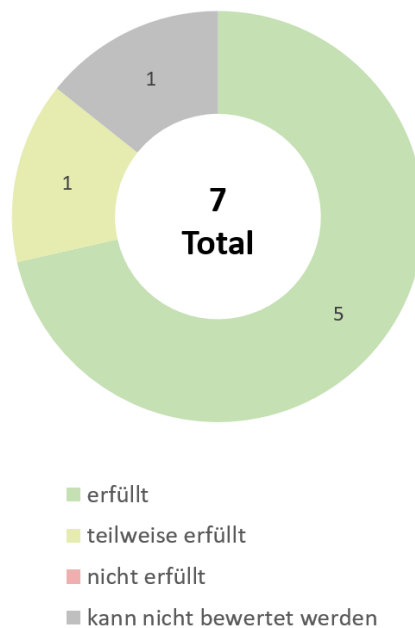
### 4.1.3 Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung

Dem Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung liegt der Anwendungsfall Berlin Schillerkiez zugrunde. Zum Zeitpunkt der Evaluation ist es den ASN allerdings noch nicht möglich, einen Anwendungsfall im Feld der Schadstoffausbreitung selbst zu bearbeiten. Entsprechend kann bisher keine Abfrage zur Bewertung der Anforderungen durch die ASN durchgeführt werden. Die Bewertung der Anforderungen wird daher ausschließlich durch die KOEXP vorgenommen.

#### 4.1.3.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)

Tabelle 4: Anforderungen Kategorie 1 Stadtklimatologische Fragestellung, Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN				Evaluation durch KOEXP	Gesamt Evaluation
				erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	kann nicht bewertet werden		
49	4.2-44	Die Ausbreitungswege und Konzentration von Luftschadstoffen können mit dem PALM-4U berechnet werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
50	4.2-45	Mit dem PALM-4U können punktuelle und lineare Emissionsquellen simuliert werden. Zu den wichtigsten Emissionen gehören Gerüche und Luftschadstoffe.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
51	4.2-46	PALM-4U kann die Schallausbreitung aus punktuellen und linearen Emissionsquellen simulieren. Diese Emissionen können bspw. aus der Verkehrsbelastung stammen.	n = 0						
52	4.2-47	Mit dem PALM-4U konnten Konzentrationsunterschiede von Schadstoffen simuliert werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
53	4.2-48	Die Berechnung von Mittelwerten für meteorologische und luftchemische Parameter ist möglich.	n = 11	1	2	0	8	erfüllt	erfüllt
54	4.2-49	Die Berechnung von Minima und Maxima für meteorologische und luftchemische Parameter ist möglich.	n = 11	1	3	0	7	erfüllt	erfüllt
55	4.1-105n	PALM-4U ist in der Lage, Lufthygiene (gemäß VDI 3787, Blatt 1 und 3787, Blatt 3) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 0					erfüllt	erfüllt



© Difu (2023)

Abbildung 22: Gesamt-Evaluation im Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung

Die Anforderungen im Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung werden mit der Ausnahme einer Anforderung, die im Zuge des Projektes nicht bewertet werden konnte, als „erfüllt“ bzw. „teilweise erfüllt“ bewertet (siehe dazu Abbildung 22). Die Ausbreitung von Luftschadstoffen von der Quelle hin zu einem Evaluierungspunkt und die dortige Konzentration können von PALM-4U errechnet werden (Anforderung **Nr. 49**). Emittieren können im Modell punktuelle Emissionsquellen und Emissionsflächen. Da punktförmige und lineare Quellen im Modellgitter nicht kleiner als die der Domain zugrundeliegende Gitterweite möglich sind, erfüllen schmale Flächen die Anforderung für Linien wie Straßen (Anforderung **Nr. 50**). Eine Gitterbox entspricht einer maximalen horizontalen Auflösung von der Gitterweite zum Quadrat. Diese Fläche kann größer sein als Schornsteinöffnungen, weswegen im Feinstaub-Anwendungsfall der GUI nur kleine Gitterweiten erlaubt sind. Die Anforderung für Gerüche ist in PALM-4U nur für passive Stoffe erfüllt. Bei aktiven Stoffen ist eine Programm-Erweiterung über „User-Code“ nötig, um den chemischen Mechanismus zu integrieren. Daher wird die Anforderung **Nr. 50** nur mit „teilweise erfüllt“ bewertet.

Anforderung **Nr. 51** PALM-4U kann die Schallausbreitung aus punktuellen und linearen Emissionsquellen simulieren. Diese Emissionen können bspw. aus der Verkehrsbelastung stammen kann durch die KOEXP nicht bewertet werden, da hierzu kein Anwendungsfall im Schadstoffausbreitungs-Anwendungsfall berechnet wurde.

In Bezug auf Anforderung **Nr. 52** können Aussagen auf Quartiers- bzw. Stadtebene über die Lufthygiene anhand der simulierten Konzentrationen gemacht und problematische Teilgebiete in hoher Auflösung visualisiert werden. Hierdurch sind Modellergebnisse für die Stadtplanung eine relevante Informationsquelle. Mit PALM-4U können neben räumlichen Konzentrationsunterschieden auch Differen-

zen von Szenarien simuliert werden. Hierzu können mehrere Simulationen mit Sensitivitätssetup gemacht werden und Differenz-Daten errechnet und auf der GUI dargestellt werden. In der GUI wird dies für die Feinstaubklassen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> umgesetzt. Generell kann PALM-4U dies aber auch für andere Luftschadstoffe durchführen. PALM verfügt über die Fähigkeit, zeitlich gemittelte Größen zu berechnen und auszugeben (Anforderung **Nr. 53**), was auch die Konzentration chemischer Stoffe und Feinstaub in der Luft umfasst. Für eine räumliche Mittelung stehen horizontal über das Modellgebiet gemittelte Werte zur Verfügung. Das zeitliche Minimum sowie das Maximum (Anforderung **Nr. 54**) hingegen sind im Modell selbst nicht von sich aus vorhanden, sondern in der Ausgabedaten-Verarbeitung zu errechnen. Diese Funktionalität ist für die passiven Tracer PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> in der GUI umgesetzt. Dabei sind diese Extremwertbestimmungen für verschiedene Höhenniveaus über dem Boden und für verschiedene Zeitfenster der Simulation implementiert (räumliche Extrema sind in der GUI bei der Kartendarstellung in den Einstellungen der Skala verfügbar).

Die Anforderungen werden weitgehend vom Modell PALM-4U erfüllt, bis auf die Geruchsausbreitung chemisch aktiver Stoffe. Für die Bestimmung von Extrema muss der/die Modellierende die Output-Daten selbst dahingehend auswerten oder die GUI dafür nutzen. Bei Anwendung von PALM-4U über die GUI sind die Anforderungen bezüglich Feinstaub erfüllt. Für Schadstoffe abseits von PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> müssen weitere Simulationssetups zur Nutzung der erforderlichen chemischen Mechanismen und passende Eingangsdatenverarbeitung für die GUI entwickelt werden.

#### 4.1.3.2 Ergebnisse weiterer Methoden

Zum Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung werden keine Ergebnisse aus weiteren Methoden generiert.

#### 4.1.3.3 Empfehlungen

Es wird die Entwicklung von weiteren Schadstoff-Anwendungsfällen für die GUI empfohlen, darunter auch Anwendungsfälle, die neben Feinstaub die vorhandenen chemischen Mechanismen von PALM-4U nutzen. Besonders relevant für die Praxis sind hierbei Stickstoffoxide und bodennahes Ozon. PALM-4U-Verbesserungen mit Einfluss auf die Schadstoffausbreitung sollten Eingang in die GUI finden, besonders die schrägen Bodenoberflächen und parametrisierten Emissionsquellen.

## 4.2 Wissenschaftliche Belastbarkeit der Modellergebnisse

Das Kriterium 2 untersucht die **wissenschaftliche Belastbarkeit der Modellergebnisse**. Dazu gehören die Validierung durch den Vergleich der Modellergebnisse mit DIN-Normen, Messergebnissen und VDI-Richtlinien durch Modul B sowie die Verifizierung des Codes durch Modul A. Das Kriterium umfasst insgesamt sieben Anforderungen.



4.2.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)

Tabelle 5: Anforderungen Kategorie 2 Wissenschaftliche Belastbarkeit der Modellergebnisse

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN				Evaluation durch KOEXP	Gesamt Evaluation
				erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	kann nicht bewertet werden		
56	4.2-36	PALM-4U ist validiert und verifiziert.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
57	4.8-312	PALM-4U muss validiert sein (=wissenschaftlich belastbare Ergebnisse liefern)	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
58	4.8-316	Der aktuelle Entwicklungsstand vom PALM-4U muss kommuniziert sein (wer PALM-4U nutzt, muss darauf hingewiesen werden, dass sich dieses im Entwicklungsstadium befindet, bereits validierte Module / Funktionen müssen genauso angegeben sein, wie noch nicht validierte Funktionen).	n = 0					erfüllt	erfüllt
59	2.2-01	Der Code von PALM-4U ist verifiziert	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
60	2.2-02	PALM-4U muss nach bestehenden Normen und Richtlinien des VDI entwickelt werden	n = 0					erfüllt	erfüllt
61	2.2-03	Der in PALM-4U angewandte Rechenweg muss objektiv, etabliert und Stand der Technik sein	n = 0					erfüllt	erfüllt
62	2.2-04	Die Ergebnisse von PALM-4U dürfen zum jetzigen Stand vor Gericht nicht angreifbar sein.	n = 0					erfüllt	erfüllt

Die Verifizierung von PALM-4U wird von Modul A und Validierung von Modul B durchgeführt (siehe dazu Endbericht Modul A MOSAIK 2, Maronga und Raasch 2023 und Endbericht Modul B 3DO+M, Scherber et al. 2023). Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Evaluationsberichts (Stand Dezember 2022) werden noch nicht alle Validierungsarbeiten in Modul B abgeschlossen, einige Validierungsdurchläufe (VALMS) stehen noch aus. Diese VALMS sollen voraussichtlich bis Februar 2023 fertiggestellt sein und im Evaluierungsbericht von Modul B im Herbst 2023 vorgestellt werden. Die Anforderungen **Nr. 56, 57 & 59** werden dementsprechend mit „teilweise erfüllt“ bewertet.

Die Anforderung **Nr. 58** wird als „erfüllt“ bewertet. In der Kopfzeile der GUI-Applikation wird die Benutzeroberfläche als „Entwicklungsversion“ ausgewiesen. Eine Update-Übersicht, die zu jedem Release das Datum sowie die Änderungen beschreibt, kann unter den Hilfe-Dokumenten abgerufen werden. Generell wird die GUI immer in der aktuellsten Version gehostet, bei der OpenSource-Veröffentlichung wird es zudem nur eine Version zum Herunterladen geben. Nach Projektende ist, analog zu PALM, ein jährliches Release geplant. Der aktuelle Entwicklungsstand vom PALM-4U wird im Repository gekennzeichnet, in dem man PALM herunterlädt (GitLab 2023).

Die Anforderungen **Nr. 60 bis 62** werden als „erfüllt“ bewertet. Eine Evaluierung nach VDI 3783 Blatt 9 zeigt, dass PALM alle Anforderungen erfüllt (Protokoll ExLab Modulübergreifend 1), PALM-4U ist also VDI konform. Eine VDI-Konformität definiert den „Stand der Technik“, somit entspricht PALM-4U dem Stand der Technik. VDI-Konformität hat zudem Bestand in Klageverfahren und ist damit zum jetzigen Stand vor Gericht nicht angreifbar. Dies gilt mindestens solange, bis die VDI-Richtlinien erneuert werden, dies geschieht alle +/- 10 Jahre.

#### 4.2.2 Ergebnisse weiterer Methoden

In den modulübergreifenden ExLabs (siehe dazu Kapitel 3.1) mit den Modulen A, B und C wurde im Kern die Validierung diskutiert. Die bisherige Evaluierung im Rahmen von [UC]<sup>2</sup> zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Modell- und Messergebnissen aus verschiedenen Fallstudien (u. a. Berlin Winter, Berlin Sommer, Stuttgart Sommer). Auch außerhalb von [UC]<sup>2</sup> gibt es zu den Themen Modellgüte und Validität bereits diverse wissenschaftliche Veröffentlichungen zu PALM, u. a. mit Vergleichen zwischen PALM und Messungen bzw. anderen Modellen. Auch werden Evaluierungen im Anwendungsbereich durch immer mehr Gutachter-Büros durchgeführt (Protokoll ExLab Modulübergreifend 2).

Aus der DLE-Umfrage geht hervor, dass die Validierung des Modells für die Anwendung in der Praxis von großer Bedeutung ist. Ohne eine Validierung könne das Modell zwar angewandt werden, die Nutzung der Ergebnisse sei allerdings eingeschränkt. So wird angegeben, dass ohne eine Validierung das Modell nur unter Vorbehalt und lediglich als Ergänzung zu Gutachten und vorhandenen Stadtklimaanalysen eingesetzt werden könne. Von einer Anwendung in formalisierten Prozessen (z. B. B-Planverfahren) würde abgesehen werden, die Modellergebnisse würden nur als informelle Wissensbasis eingesetzt. Dabei spiele die Rechtssicherheit eine wesentliche Rolle (Umfrage DLE, Frage 28), die bei einem nachweislich validierten Modell – in Bezug auf die mit den Modellergebnissen verbundenen Unsicherheiten – vorhanden ist (Protokoll ExLab Modulübergreifend 2). Weiter wird darauf hingewiesen, dass es einer offenen Kommunikation bezüglich des Validierungsstands und des Modellstatus gegenüber den Entscheidungsträger:innen und Informationsempfänger:innen bedarf (Umfragen DLE, Frage 28). Dies gilt bspw. auch für Bandbreiten von Modellergebnissen, trotz erfolgter Validierung. Dies wurde im Gerichtsverfahren akzeptiert (Protokoll ExLab Modulübergreifend 2).

Aus Gesprächen mit den Praxispartner:innen geht zudem hervor, dass die Kommunikation des Entwicklungsstandes wichtig ist, damit Entscheidungen, die auf mit PALM-4U gerechneter Gutachten basieren, nicht anfechtbar sind.

#### 4.2.3 Empfehlungen

Die Validierung bzw. der Status der Validierung der einzelnen Funktionen und Module von PALM-4U muss klar kommuniziert werden, so auch in der GUI. Es sollte hervorgehoben werden, dass alle Releases eine Beschreibung der Inhalte haben. Diese Hinweise sollten sowohl auf der PALM-Website (Institute of Meteorology and Climatology, MUK 2022) als auch auf der ProPolis-Website stehen und dort auf deutscher Sprache verfügbar sein. Zudem sollte bei neuen Releases darauf aufmerksam gemacht werden, bspw. über Pressemitteilungen, kurzen Hinweisen auf der Website oder Pop-ups in der GUI.

Bei der Darstellung des Modells in der Öffentlichkeit soll ebenfalls auf die wissenschaftliche Belastbarkeit der Modellergebnisse verwiesen werden.

Mögliche Einschränkungen der Ergebnisse und Modellunsicherheiten müssen im Hinblick auf die Rechtssicherheit deutlich gemacht werden. Dies gilt auch für Besonderheiten des Modells, welche zu abweichenden Ergebnissen im Vergleich zu anderen Stadtklimamodellen führen können, um dies in Klageverfahren argumentieren zu können.

Bei der Validierung kann auch auf vorhandene externe wissenschaftliche Publikationen zu PALM sowie Evaluierungen von Gutachterbüros verwiesen bzw. zurückgegriffen werden. Für vertiefende Hinweise kann im Endbericht Modul B 3DO+M dazu nachgelesen werden (siehe dazu Endbericht Modul B 3DO+M, Scherber et al. 2023).

### 4.3 Weiterentwicklung und Konfiguration der praktischen Anwendung

Dieses Kriterium befasst sich mit den technischen Möglichkeiten, um das Stadtklimamodell konfigurieren oder erweitern zu können und umfasst drei Anforderungen. Das Modell muss über technische Schnittstellen verfügen, die die Anbindung nutzererstellter Plug-Ins ermöglichen. Da es sich um technische Kriterien im Hintergrund handelt, evaluieren die Expert:innen des ProPolis-Projektconsortiums. Praxisanwender:innen werden dazu nicht befragt.

#### 4.3.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)

Tabelle 6: Anforderungen Kategorie 3 Weiterentwicklung und Konfiguration der praktischen Anwendung

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN				Evaluation durch KOEXP	Gesamt Evaluation
				erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	kann nicht bewertet werden		
63	4.9-145	PALM-4U ist in der Lage, Daten aus der Wettervorhersage zu integrieren	n = 0					erfüllt	erfüllt
64	2.3-01	PALM-4U muss über technische Schnittstellen verfügen, die die Anbindung nutzererstellter Plug-Ins ermöglicht.	n = 0					erfüllt	erfüllt
65	2.3-02	PALM-4U muss sich in seinem Entwicklungsstand auf dem Stand der Technik befinden.	n = 0					erfüllt	erfüllt

Die genannten Anforderungen werden für das Modell selbst als „erfüllt“ angesehen. Das Modell befindet sich aus Sicht der KOEXP auf dem Stand der Technik, denn es wird von Wissenschaftler:innen gegenwärtig und zukünftig fortentwickelt (Anforderung **Nr. 65**). Diese Einschätzung bedeutet jedoch

nicht zwangsläufig, dass PALM-4U auch in den für die Praxisanwendung relevanten Bereichen aktuell vollständig entwickelt ist.

Bei PALM-4U sind nutzererstellte Erweiterungen (Anforderung **Nr. 64**) des Quellcodes möglich (genannt „User Code“). Damit besteht die Möglichkeit, das Modell auch nach Projektende für die praktische Anwendung weiterzuentwickeln. Zum Beispiel ist es möglich, dass der/die Nutzer:in selbst einen chemischen Mechanismus erstellt, der dann mit dem Modell verwendet werden kann. Dies erfordert eine hohe Expertise und funktioniert über Programm-Skripte.

Das Modell PALM-4U bietet die technischen Voraussetzungen für die Integration von Wettervorhersage-Eingangsdaten von bestimmten Modellen. Die Anforderung **Nr. 63** ist gegenwärtig für COSMO-DE-Wettervorhersagedaten erfüllt. Die Unterstützung von weiteren Modellen ist in Entwicklung. Für eine Anwendung über die GUI ist die Funktionalität bisher nicht verfügbar.

#### 4.3.2 Ergebnisse weiterer Methoden

Im Rahmen eines ExLabs wird die Bereitstellung einer vereinfachten Variante (oder eines Modus) von PALM-4U angeregt, die auch mit in der Bauleitplanung gängigen Kennwerten umgehen kann. Genannte Beispiele sind Überbauungsgrad, Grundflächenzahl (GRZ) sowie Geschossflächenzahl anstatt Gebäudeabmessungen. Generell ist eine weitere Vereinfachung der Einbeziehung der Eingangsdaten in PALM-4U wünschenswert, da die Aufbereitung für viele Kommunen sehr anspruchsvoll ist (Protokoll ExLab 17). Als weitere Anforderung wurden modellseitig Aussagen zur Regenwasserbewirtschaftung genannt. In dem Zusammenhang wäre es u.a. wünschenswert, die Versickerungsbereiche in PALM-4U berücksichtigen zu können.

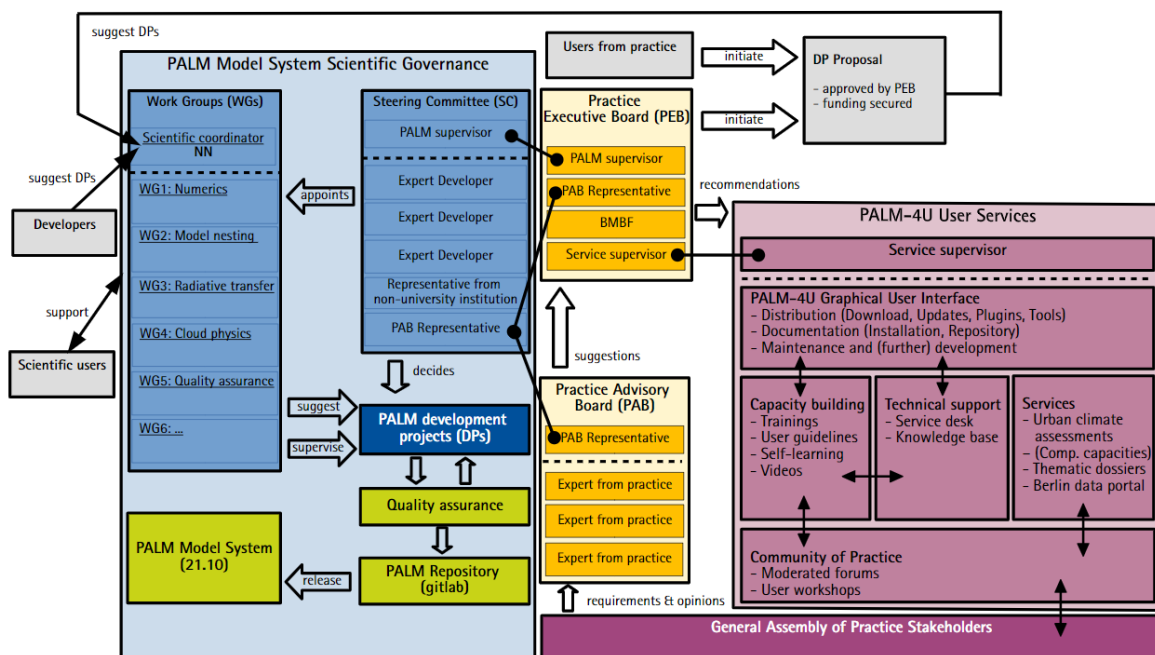
Eine weitere Anforderung adressiert die Variation des Wasserhaushaltes bzw. die Simulation von Wasserknappheit und die Auswirkungen auf die Vegetation und ihre Verdunstungsleistung (inkl. Transpiration und Verdunstungskühlung). Hieraus könnten u.a. schnelle und anwenderfreundliche Bewertungen der Klima-Wirksamkeit verschiedener Grünmaßnahmen (Szenarien-Vergleich) abgeleitet werden.

Im Zusammenhang mit der Modellierung des Innenraumklimas wäre aus Sicht der kommunalen Praxis die Bereitstellung eines bioklimatischen Index wünschenswert (Predicted Mean Vote (PMV) ist nicht in PALM-4U implementiert). Für die Berechnung eines solchen Index bestehen jedoch große Herausforderungen im Zusammenhang mit den dafür erforderlichen Eingangsdaten, insbesondere wenn die Simulation über die Betrachtung eines einzelnen Gebäudes hinausgehen soll (Protokoll ExLab B).

#### 4.3.3 Empfehlungen

Im Zusammenhang mit der Möglichkeit zur Weiterentwicklung und Konfiguration müssen die technischen Voraussetzungen sowie die Abläufe im künftigen Community-Modell klar strukturiert und beschrieben sein. Hierbei ist es wichtig, dass allen Beteiligten bekannt ist, an welcher Stelle und zu welchem Zeitpunkt Vorschläge und Anforderungen in die Entwicklung von PALM-4U und der GUI eingebracht werden können. Besonders trifft dies auf Weiterentwicklungen zu, um den Anforderungen aus der nichtwissenschaftlichen Praxis zu entsprechen. Nach Projektende sollen das Nutzerfeedback und

Impulse für die Weiterentwicklung von PALM-4U, GUI und aller weiterer Service und Supportangebote gesammelt werden, z. B. über die Community of Practice (CoP). Auch das etablierte Online-Forum als Treffpunkt für die CoP soll fortgeführt werden. Sofern die Umsetzung der Impulse auch die wissenschaftliche Weiterentwicklung (Modul A) betrifft, sollen die neuen Anforderungen über eine geeignete Koordinationsstruktur übermittelt und diskutiert werden. Ein Entwurf zu dieser Koordinationsstruktur wurde innerhalb von [UC]<sup>2</sup> bereits erarbeitet, wird weiterentwickelt und ist in Abbildung 23 dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Prozesse aus der Grafik findet sich in der ProPolis Verstetigungsstrategie (siehe dazu ProPolis Verstetigungsstrategie, Winkler und Cortekar 2023).



© [UC]<sup>2</sup> (2022)

Abbildung 23: Schema zur Koordinationsstruktur des PALM-4U Community Modells

Um der Fortentwicklung von PALM-4U zu entsprechen, muss auch die GUI kontinuierlich weiterentwickelt werden, da sie ein wesentlicher Bestandteil zur Sicherstellung der praxistauglichen Anwendung von PALM-4U ist. Denn nur durch die Anpassungen der GUI können auch die Weiterentwicklungen des Modells für die Anwender:innen zugänglich gemacht werden. Um nutzererstellte Erweiterungen dauerhaft zu ermöglichen, sollten „User Codes“ weiterhin in der GUI „hinter den Kulissen“ integriert werden, sodass das aktive Laden durch die Nutzer:innen über die GUI entfällt.

Die Integration von durch Nutzer:innen oder PALM-4U-Modellierern erstellten „User-Codes“ wird als nützliche Ergänzung für Simulationen der Schadstoffausbreitung gesehen. In der Zukunft wäre die Möglichkeit wünschenswert, dass neue Anwendungsfälle für die GUI mit Verwendung von „User Codes“ entworfen werden können (dies könnte z. B. eine Erweiterung des chemischen Mechanismus sein, um die Ozonbelastung zu simulieren). Dazu braucht es eine verständliche Beschreibung der Vorgehensweise und technische Unterstützung bei der Implementierung in die GUI. Für GUI-Plug-Ins müssen zunächst die technischen Voraussetzungen in der GUI geschaffen werden.

Um die Nutzung von PALM-4U zu vereinfachen, wird die Entwicklung vereinfachter Modi für die Konfiguration von PALM-4U empfohlen. Dies kann bspw. durch die Parametrisierung möglichst aller Eingangsdaten für PALM-4U erreicht werden. Die Parametrisierungen von Gebäuden und Flächennutzungen ermöglichen es, auch bei eingeschränkter Datenlage oder begrenzter Expertise Modellierungen durchzuführen. In diesen Fällen können sich die Anwender:innen an Informationen aus der (stadtplanerischen) Praxis, wie z. B. städtebaulichen Entwürfen und Katasterdaten orientieren. Viele der Praxispartner:innen sehen das Zusammenstellen und Weiterverarbeiten von Eingangsdaten als größte Herausforderung bei der Modellanwendung. Vor diesem Hintergrund empfehlen sich eine ausreichende Anzahl von Level-of-Details und Voreinstellungen für die verschiedenen Eingangsdaten.

#### 4.4 Dauerhafte Zugänglichkeit

Die Kategorie 4 bewertet die Anforderungen zur dauerhaften Zugänglichkeit des Modells, darunter die Gewährleistung eines Open-Source-Zugangs des Modells sowie der GUI. Die Kategorie umfasst drei Anforderungen.

##### 4.4.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)

Tabelle 7: Anforderungen Kategorie 4 Dauerhafte Zugänglichkeit

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN				Evaluation durch KOEXP	Gesamt Evaluation
				erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	kann nicht bewertet werden		
66	4.1-10 n	Das PALM-4U wird als Open-Source Produkt zur Verfügung gestellt und für die Nutzerinnen und Nutzer dauerhaft kostenfrei zur Verfügung gestellt.	n = 0					erfüllt	erfüllt
67	4.5-210n	Die GUI wird nach Projektende dauerhaft als Open-Source Software für alle fachlich qualifizierten Interessengruppen zur Verfügung gestellt.	n = 0					erfüllt	erfüllt
68	24.02	Eine Institution stellt Speicherplatz für die remote Nutzung von PALM-4U zur Verfügung.	n = 0					erfüllt	erfüllt

Um die dauerhafte Zugänglichkeit zu ermöglichen, wird PALM-4U als Open-Source-Software entwickelt (Institute of Meteorology and Climatology, MUK 2022). Damit konnte die Anforderung der BMBF-Ausschreibung „Das Modell und die Daten sind mit Hilfe geeigneter Lizenzmodelle als Open Source / Open Data bereitzustellen und damit für alle Interessengruppen frei zugänglich zu machen“ (Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF 2019, S. 3) entsprochen werden. Die Anforderung **Nr. 66** wird demnach als „erfüllt“ bewertet.

Während die GUI in der ersten Projektphase nicht als Open-Source konstruiert wurde, kann in der zweiten Projektphase eine neue grafische Benutzeroberfläche dementsprechend entwickelt werden. Im

ProPolis-Projektantrag heißt das formulierte Ziel dazu: „*Entwicklung einer voll funktionsfähigen grafischen Open-Source-Benutzeroberfläche, die es Benutzer:innen mit unterschiedlichem Kenntnisstand ermöglicht, mit PALM-4U zu arbeiten*“ [aus dem Englischen übersetzt] (Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA) o. J., S. 26). Diese Zielsetzung wird somit erfüllt, unter der Voraussetzung, dass die Pflege der GUI über die Projektzeit hinaus gewährleistet wird. Eine langfristige Open-Source-Lösung sowie die Pflege der GUI werden in der Verstetigungsstrategie festgelegt (siehe dazu ProPolis Verstetigungsstrategie, Winkler und Cortekar 2023).

Der Source Code der PALM-4U GUI wird zum Ende des ProPolis-Projekts unter einer Open-Source-Lizenz in einem öffentlich verfügbaren Gitlab-Repository veröffentlicht. Aktuell wird ein Cloud-Betriebsmodell erarbeitet, um die GUI sowie die zugehörigen Komponenten der Öffentlichkeit für die Simulationen zugänglich zu machen. Für die ersten zwei Jahre nach Projektende (konkret: ab Anfang Mai 2023) wird eine Infrastruktur über dieMS Azure Cloud weiter angeboten. Somit können sowohl die GUI als auch die Rechenkapazitäten weiter genutzt werden. Aus technischen und buchhalterischen Gründen wird das System kurzfristig offline geschaltet, um eine saubere Trennung zwischen Projekt- und Verstetigungsphase zu haben. Anschließend steht die Infrastruktur gegen entsprechende Entgelte zur Verfügung (siehe dazu ProPolis Verstetigungsstrategie, Winkler und Cortekar 2023). Zum jetzigen Stand werden die Anforderungen **Nr. 67 und 68** damit als „erfüllt“ bewertet.

#### 4.4.2 Ergebnisse weiterer Methoden

Im Zuge der ExLab-Veranstaltungen mit kommunalen Praxispartner:innen (Protokolle ExLabs 1-14) wird die Bedeutung der Kosten für die Modellanwendung deutlich. Ein kostenfreier Zugang zur Software und Kostentransparenz in Bezug auf die Rechenkapazitäten werden als besonders relevant hervorgehoben. Es wird darauf hingewiesen, dass bei einer kostenpflichtigen Nutzung ein Vergabeverfahren durchzuführen sei, genauer: Zur kostenpflichtigen Nutzung von PALM-4U muss der Einsatz des Modells dann Leistungsbestandteil des wirtschaftlichsten Angebots gemäß den Vergabekriterien sein.

Insbesondere für die DLE bzw. für Anwender:innen, die nur gelegentlich Berechnungen durchführen möchten, ist die dauerhafte Bereitstellung einer Cloud-Lösung eine notwendige Voraussetzung für die Anwendung von PALM-4U. Daher sei die Anschaffung eigener Workstations in vielen Fällen eher unrealistisch. Die Bereitstellung der entsprechenden Rechenleistung und Beschaffung der digitalen Infrastruktur wird als Hürde in der Stadtverwaltung gesehen (Protokolle ExLabs DLE). Bei regelmäßiger Nutzung kann sich die Anschaffung einer eigenen Workstation aus Gründen der Kosteneffizienz sowie der Möglichkeit des Abrufens von Fördergeldern/Projektgeldern zur Anschaffung im Einzelfall empfehlen (Protokolle ExLabs ASN). Z. B. haben die Praxispartner:innen Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf und Stuttgart im Zuge des Projektes eigene Rechner beschafft. Eine Möglichkeit einer Aufstockung der Rechenkapazitäten und parallelen Nutzung von Cloud-Ressourcen zur Modellierung ist aber dennoch notwendig, denn sie ermöglicht jedem Nutzerkonto eine dynamische Ergänzung von Rechenkapazität sowie die parallele Durchführung mehrerer Simulationen.

In der DLE-Umfrage wird auf Datenschutzanforderungen hinsichtlich der Nutzung von Cloud-Ressourcen hingewiesen. Mit Blick auf die Datenschutzanforderungen bei der Nutzung von Cloud-Ressourcen müssen in den kommunalen Verwaltungen vorab rechtliche Fragen geklärt werden. Z. B. muss geprüft

werden, ob tatsächlich alle Informationen, die für die Berechnung notwendig sind, außerhalb der internen Infrastruktur verarbeitet werden dürfen. Dazu ist die Angabe, wo die Server der Cloud stehen (In- oder Ausland), besonders ausschlaggebend.

Durch den Open-Source-Zugang haben darüber hinaus Planungsbüros einen höheren Anreiz, das Modell zu nutzen und Dienstleistungen zur Klimamodellierung mit PALM-4U anzubieten. Auch hier wird die Kostentransparenz hinsichtlich der Serverdienstleistungen der Cloud als relevant hervorgehoben (Protokolle ExLabs ASN).

#### 4.4.3 Empfehlungen

Für die Anwendung in der kommunalen Praxis wird die Nutzung von Cloudkapazitäten empfohlen. Dafür müssen ausreichende Speicherkapazitäten über das Projektende hinaus bereitgestellt werden. In diesem Zusammenhang sollte Transparenz über die Nutzung der Cloudlösung geschaffen werden. Bei der Beschaffung einer Workstation zur lokalen Nutzung sollten Hinweise zu den zu erwartenden Kosten sowie zu den technischen Anforderungen gegeben werden. Bezüglich der Datenschutzanforderungen sollten Informationen über die Serverstandorte der Cloud bereitgestellt werden.

### 4.5 Nutzerfreundliche grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Die Kategorie 5 stellt die Bewertung der Anforderungen zur grafischen Benutzeroberfläche (GUI, Abkürzung von Englisch graphical user interface) dar. Hier wird u. a. betrachtet, ob die Standardanwendungen der Praxis (siehe dazu Kategorie 1) über die GUI bearbeitet werden können. Ein weiterer Fokus der Anforderungen betrifft die Eingangsdaten sowie deren einfache Aufbereitung als auch die verständliche und nutzerbedarfsorientierte Visualisierung der Eingangs- und Ergebnisdaten. Des Weiteren werden Schnittstellen der GUI mit externen Anwendungen betrachtet. Die Kategorie umfasst insgesamt **182** Anforderungen.

Die Bewertungen der Anforderungen an die GUI wird mit den GUI-Funktionalitäten Stand Dezember 2022 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt sind idealtypische Setups für die drei Anwendungsfelder Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt, Windkomfort sowie Schadstoffausbreitung auf der GUI verfügbar. Von diesen Standard-Setups kann der/die Anwender:in bei Bedarf abweichen, bei Verfügbarkeit entsprechender Daten und Know-How. An der GUI wird im Rahmen von ProPolis bis März 2023 weitergearbeitet, sodass weitere Funktionalitäten hinzukommen werden, die zum Stand der Evaluation noch nicht vorhanden sind.

Viele der Anforderungen wurden bereits in der ersten Projektphase (2016 bis 2019) in Zusammenarbeit mit den Praxispartner:innen gesammelt und im entsprechenden Evaluationsbericht bewertet (siehe dazu Steuri und Heese 2019). Diese Anforderungen sind auch in der zweiten Projektphase (2019 bis 2023) erhalten und werden hier erneut bewertet. Hintergrund dafür ist, dass die GUI in der zweiten Projektphase grundlegend neu entwickelt wurde.

Die Praxispartner:innen (ASN) haben gezielt ausgewählte Anforderungen bewertet. Dies bezieht sich v. a. auf Anforderungen, die durch die Selbstanwendung der GUI objektiv bewertbar sind. Nur jene



Anforderungen werden ausgewählt, die mit der Anwendungsfall-bezogenen Expertise der ASN bewertet werden können. Insgesamt werden 11 der 182 Anforderungen durch die ASN bewertet. Die KOEXP haben die Anforderungen auf dieser Grundlage bewertet und in die Gesamtevaluation überführt.

#### 4.5.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)

Tabelle 8: Anforderungen Kategorie 5 Nutzerfreundliche grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN				Evaluation durch KOEXP	Gesamt Evaluation
				erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	kann nicht bewertet werden		
69	4.1-1	Die GUI 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.	n = 0					erfüllt	erfüllt
70	4.1-3	Die GUI kann von einem Rechner, der mit dem Windows-Betriebssystem läuft, über ein Webinterface angesteuert und betrieben werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
71	4.1-12	Die GUI läuft über mehrere Stunden und Tage ohne Unterbrechungen. Es setzt kein Standby-Modus ein. Aufwändigere Simulationen können über Nacht oder über das Wochenende erstellt werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
72	4.1-14	Die GUI informiert die Nutzer:innen vorgängig über anstehende Updates. Die GUI kann ohne die Installation eines anstehenden Updates weiterverwendet werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
73	4.1-15	Die GUI liefert bei zu installierenden Updates eine Beschreibung der Neuerungen mit. Die Nutzer:innen können individuell entscheiden, ob und wann sie das Update installieren.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
74	4.1-17	Die GUI kann mit Daten betrieben werden, die aus vereinfachten Vorgehensweisen erstellt wurden. Dazu gehört die Ableitung aus Luftbildern für Baumkataster oder Flächenversiegelungen. Der Präprozessor wandelt diese Daten in Eingangsdaten um.	n = 0					erfüllt	erfüllt
75	4.1-19	Die zeitliche Auflösung der GUI-Ergebnisse ist skalierbar.	n = 0					erfüllt	erfüllt
76	4.1-21	Die GUI verfügt über eine offene Datenschnittstelle. Beliebige regionale Klimamodelle können so angebunden werden (Nesting).	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
77	4.1-26n	Mit der GUI ist es möglich, eine funktionierende Verbindung zu Hochleistungsrechnern herzustellen. Es ist somit möglich, aufwändige Simulationen mit externen Rechenkapazitäten durchzuführen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
78	4.1-28n	Die GUI ist mit hydrologischen Modellen kompatibel. Wichtige hydrologische Modelle sind das Niederschlags-Abfluss-Modell oder das Wasserhaushaltsmodell. Ein Datenaustausch funktioniert problemlos.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
79	4.1-29n	Die GUI kann mit Verkehrsmodellen gekoppelt werden.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
80	4.1-31n	Die GUI ist mit globalen Klimamodellen kompatibel (Nesting).	n = 0					erfüllt	erfüllt
81	4.1-32n	Die GUI kann von einem Rechner, der mit dem macOS-Betriebssystem läuft, über ein Webinterface angesteuert und betrieben werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
82	4.1-34	Die GUI bietet Ein-/Ausgaberroutinen auf Basis offener Standards zum Austausch von Geometriedaten wie z. B. DWF/x und DWG, CPI XML, IFC oder CityGML.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt

83	4.2-44	Die Ausbreitungswege und Konzentration von Luftschadstoffen können mit der GUI berechnet werden.	n = 0								
84	4.2-46	Die GUI kann die Schallausbreitung aus punktuellen und linearen Emissionsquellen simulieren. Diese Emissionen können bspw. aus der Verkehrsbelastung stammen.	n = 0						nicht erfüllt	nicht erfüllt	
85	4.2-48	Die Berechnung von Mittelwerten für meteorologische und luftchemische Parameter ist möglich.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
86	4.2-49	Die Berechnung von Minima und Maxima für meteorologische und luftchemische Parameter ist möglich.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
87	4.2-51	Die Berücksichtigung des Innenraumklimas ist realisiert.	n = 0								
88	4.2-57n	Mit der GUI konnten die nächtlichen Kaltluftbewegungen [m/s] als Zeitreihe simuliert werden.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
89	4.2-58n	Mit der GUI konnte die Kaltluftmächtigkeit / Schichtdicke (m über Grund) simuliert werden.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
90	4.2-59n	Mit der GUI kann der Kaltluftvolumenstrom [m <sup>3</sup> /s] simuliert werden	n = 0						erfüllt	erfüllt	
91	4.2-66	Die GUI ist in der Lage, Kennzahlen zum Wind auszuwerten. Es ist möglich, aus den ausgewerteten Kennzahlen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
92	4.2-67	Die GUI ist in der Lage, Kennzahlen zur Verdunstung auszuwerten. Es ist möglich, aus den ausgewerteten Kennzahlen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
93	4.2-69	Die GUI ist in der Lage, Daten zu thermischen Belastungen in den Simulationen zu verarbeiten und entsprechende Kennwerte zu berechnen.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
94	4.2-70n	Die GUI ist in der Lage, verschiedene Klimawandelszenarien zu simulieren.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
95	4.2-81	Die GUI ist für die Stadtplanung und Stadtentwicklung passfähig.	n = 11	3	6	0	2		erfüllt	erfüllt	
96	4.2-84n	Die GUI berücksichtigt Vegetation mit den wesentlichen Funktionalitäten.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
97	4.2-93	Die GUI ist in der Lage, Kennzahlen zur Luftfeuchtigkeit auszuwerten. Es ist möglich, aus den ausgewerteten Kennzahlen planungsrelevante Erkenntnisse abzuleiten.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
98	4.2-96	Die GUI ist in der Lage Zukunftsszenarien abzubilden.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
99	4.2-97	Mit der GUI konnten Bereiche mit besonders hohen Vulnerabilitäten für sensible Bevölkerungsgruppen identifiziert werden.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
100	4.2-104	Die GUI ist in der Lage, Kaltluftseen (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
101	4.2-105	Die GUI ist in der Lage, Lufthygiene (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	n = 0						nicht erfüllt	nicht erfüllt	
102	4.3-116	Die GUI ist mit einem Standardsatz Planungsdaten ausgestattet. Datenlücken können so geschlossen werden. Zu den wichtigsten Standardplanungsdaten gehören Gebäude / Bewuchs und Gebäude / Fensterflächen.	n = 0								
103	4.3-117	Kann gängige Vektor- und Rasterdatenformate einlesen und verarbeiten. Zu den wichtigsten Formaten gehören Net-CDF, Shapes, GTiffs, ASCII-Daten wie Grids, Excel-Tabellen und CAD-Formate dxf und dwg.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
104	4.3-118	Die GUI ist in der Lage, digitale Geländemodelle in den Simulationen zu verarbeiten.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
105	4.3-119	Die GUI ist in der Lage, Klötzchenmodelle in den Simulationen zu verarbeiten.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
106	4.3-120	Die GUI ist in der Lage, Landnutzungsdaten in den Simulationen zu verarbeiten.	n = 0						erfüllt	erfüllt	
107	4.2-121	GUI ist in der Lage, die Geschossflächenzahl (GFZ, bauliche Ausnutzung eines Grundstückes) als Kenngröße der städtebaulichen Dichte einzulesen und zu verarbeiten.	n = 0						nicht erfüllt	nicht erfüllt	
108	4.3-122	Die GUI ist in der Lage, Daten zum Versiegelungsgrad in den Simulationen zu verarbeiten.	n = 0						nicht erfüllt	nicht erfüllt	

109	4.3-123	Die GUI ist in der Lage, Daten zur Gebäudebegrünung in den Simulationen zu verarbeiten.	n = 0					erfüllt	erfüllt
110	4.3-124	Die GUI ist in der Lage, Daten zur Albedo von Oberflächen auf Luftbildkarten, Fotos und Gebäudemodellen (LOD3) in den Simulationen zu verarbeiten.	n = 0					erfüllt	erfüllt
111	4.3-125	Die GUI ist in der Lage, Daten zur thermischen Speicherfähigkeit von Oberflächen in den Simulationen zu verarbeiten.	n = 0					erfüllt	erfüllt
112	4.3-126	Die GUI ist in der Lage, Vegetationsdaten in den Simulationen zu verarbeiten.	n = 0					erfüllt	erfüllt
113	4.3-128	GUI ist in der Lage, Informationen zur räumlichen und inhaltlichen Datenvollständigkeit und -konsistenz vor dem Simulationsstart anzuzeigen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
114	4.3-129n	Die GUI ist in der Lage, Informationen zur Datenvollständigkeit und -konsistenz vor dem Simulationsstart anzuzeigen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
115	4.3-130	Die räumliche Konsistenz der Eingangsdaten wird automatisch vereinheitlicht, falls diese nicht übereinstimmen. Der Nutzer wird darauf auf der GUI hingewiesen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
116	4.3-131	Die GUI ist in der Lage, die für den Berechnungsfall mindestens benötigten Daten anzuzeigen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
117	4.3-132	Die GUI ist in der Lage, alle gängigen Raster- und Vektordatenformate so zu konvertieren, dass sie in die GUI eingelesen werden können.	n = 0					erfüllt	erfüllt
118	4.3-133	Die GUI ist in der Lage, Daten mit geringerer räumlicher <del>und zeitlicher</del> Auflösung so anzupassen (aggregieren, resampeln), dass sie der gewählten Simulationsauflösung entsprechen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
119	4.3-134	Die GUI ist in der Lage, Planungsdaten einzulesen und zu verarbeiten.	n = 0					erfüllt	erfüllt
120	4.3-135	Die GUI ist in der Lage, PDF-Dokumente einzulesen und räumlich zu verorten.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
121	4.3-137	Die notwendigen Eingangsdaten (Art, Qualität, zeitliche Auflösung, Bezugsquellen, Dateiformat) sind für den Benutzer klar ersichtlich dokumentiert.	n = 11	9	0	0	2	erfüllt	erfüllt
122	4.3-138	Die GUI ist in der Lage, lokale Daten sowie Daten von den Webservices WMS und WFS einzulesen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
123	4.3-140n	Die GUI stellt die Eingangsdaten im offenem und einheitlichem Datenformat zur Verfügung.	n = 0					erfüllt	erfüllt
124	4.3-141	Die GUI ist in der Lage, lokale sowie Daten vom Webservice WCS einzulesen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
125	4.3-143	Zur Verwendung von Daten aus der regionalen Klimamodellierung kann die GUI die aktuellen Eurocordex-Daten einlesen.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
126	4.3-146n	Die GUI bzw. das Handbuch informiert die Nutzer:innen bei fehlenden Eingangsdaten über mögliche Bezugsquellen.	n = 11	6	2	0	3	erfüllt	erfüllt
127	4.3-148	Die Simulationsergebnisse werden ohne Datenverlust und Neuberechnung in die Expertenversion übertragen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
128	4.3-151	Die GUI ist in der Lage, sozio-demografische Daten im Post-processing zu verarbeiten	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
129	4.3-153n	Die GUI kann meteorologische Eingangsdatensätze aus Klimamodellen räumlich downscalen	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
130	4.4-154	Die GUI Ergebnisse können mit GIS-Programmen eingelesen werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
131	4.4-155	Ein Plankopf ist in der Ergebnisdarstellung ersichtlich und enthält die Standardangaben. Dem Nutzer ist es möglich, die Angaben bei Bedarf zu editieren.	n = 0						
132	4.4-156	Bei der Ausgabe der Modellergebnisse wurden Informationen über die Metadaten der jeweils modellierten Klimaparameter und -indizes bereitgestellt und deren Relevanz für die Ergebnisse bewertet.	n = 0						
133	4.4-158	Die GUI stellt die Ausgabedaten in offenem und einheitlichem Datenformat zur Verfügung.	n = 0					erfüllt	erfüllt
134	4.4-159	Die GUI ist in der Lage, Ergebnisse im Raster- und Vektordatenformaten zur Verfügung zu stellen.	n = 0					erfüllt	erfüllt

135	4.4-160	Die GUI ist in der Lage, Karten und Statistiken als Ausgabe zur Verfügung zu stellen.	n = 0						erfüllt	erfüllt
136	4.4-161	Die GUI ist in der Lage, Ergebnisse in unterschiedlichen Komplexitätsgraden auszugeben.	n = 0						erfüllt	erfüllt
137	4.4-162	Es wird eine Bewertung der mit den GUI-Ergebnissen einhergehenden Unsicherheiten und Bandbreiten integriert ausgegeben.	n = 0						erfüllt	erfüllt
138	4.4-163	Bei der Ausgabe der Modellergebnisse werden Informationen über die Robustheit und deren Bewertung für die Simulationsergebnisse bereitgestellt.	n = 11	0	6	3	2		erfüllt	erfüllt
139	4.4-164	Bei der Ausgabe der Modellergebnisse werden Informationen über die Signifikanz des Klimaänderungssignals und deren Bewertung für die Simulationsergebnisse bereitgestellt.	n = 0						nicht erfüllt	nicht erfüllt
140	4.4-165	Die GUI ist in der Lage, Ergebnisse als konkrete Handlungsempfehlungen mit Informationen über die Belastbarkeit der Modellergebnisse für stadtplanerische Entscheidungen bereitzustellen.	n = 11	0	4	4	3		nicht erfüllt	nicht erfüllt
141	4.4-166	Die meteorologischen Grundparameter können in 2D- und 3D-Plots visualisiert werden.	n = 0						teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
142	4.4-167	Die 2D- und 3D-Visualisierungen können in einem gängigen Format gespeichert werden. Zu den wichtigsten Formaten gehören pdf, png und jpg.	n = 0							
143	4.4-168	Die Ausgabe der Ergebnisse als 3D-Verteilung ist möglich.	n = 0						nicht erfüllt	nicht erfüllt
144	4.4-169	Die GUI berücksichtigt farbpsychologische Effekte bei der Darstellung von Farbskalen.	n = 0						erfüllt	erfüllt
145	4.4-170	Die GUI verwendet bei Vergleichen einheitliche Werteskalen. Ergebnisse können direkt verglichen werden.	n = 0						teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
146	4.4-171	Die entwickelten Bewertungsskalen (z. B. starke, mittlere, schwache Änderung) können mit der Darstellung der GUI-Ergebnisse verknüpft und sichtbar gemacht werden.	n = 0						erfüllt	erfüllt
147	4.4-172	Die GUI zeigt bei der Ergebnisdarstellung an, mit welcher Gitternetzweite die Simulation gerechnet wurde. Diese Angabe kann im Plankopf der Darstellung stehen.	n = 0						erfüllt	erfüllt
148	4.4-173	Die GUI-Ergebnisse umfassen die Meso- bis Mikroskala.	n = 0						erfüllt	erfüllt
149	4.4-174	Die GUI ermöglicht Darstellungen des Ist- und des Plan-Zustandes sowie Differenzdarstellungen.	n = 0						teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
150	4.4-175	Die GUI stellt die Modellergebnisse (Legenden, Farben, Farbskalen und Signaturen) jeweils einheitlich dar. Unterschiedliche Simulationen können so miteinander verglichen werden.	n = 0						erfüllt	erfüllt
151	4.4-176	Die GUI ist in der Lage, eine Reihe von unterschiedlichen Kartendarstellungen auszugeben. Zu den wichtigsten Kartendarstellungen gehören Differenzdarstellungen (Ist- und Planzustand, relative Werte); die Darstellung einzelner Parameter (Temperatur, Windgeschwindigkeit, ...); Darstellung zeitlicher Abläufe; Darstellungen von Ensembles.	n = 0						teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
152	4.4-177	Die GUI ermöglicht den Nutzer:innen, die Modellergebnisse in unterschiedliche Datenformate zu exportieren. Die Nutzer:innen können das Datenformat selbst auswählen. Zu den wichtigsten Datenformaten gehören Bild-, Text, Tabellenformate.	n = 0						erfüllt	erfüllt
153	4.4-178	Die GUI zeigt die Berechnungsgrundlagen bei den Modellergebnissen an. Zu den wichtigsten anzuzeigenden Berechnungsgrundlagen gehören die Eingangsdaten.	n = 0						erfüllt	erfüllt
154	4.4-179	Die GUI weist die Nutzer:innen auf Unterlagen hin, die für die Interpretation der Ergebnisse relevant sind. Zu den wichtigsten relevanten Unterlagen gehören die VDI-Richtlinien.	n = 0						erfüllt	erfüllt
155	4.4-180	Die Ergebnisse sind anschaulich und leicht verständlich visualisiert. Sie können auch von Nicht-Experten interpretiert werden (z. B. Politikern).	n = 11	3	5	1	2		teilweise erfüllt	teilweise erfüllt

156	4.4-181	Die GUI stellt Ergebnisse barrierefrei respektive barrierearm dar. Auch Personen mit Rot-Grün-Blindheit können die Ergebnisse korrekt interpretieren.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
157	4.4-182	Simulationsergebnisse der GUI können mit Daten aus externen Quellen verglichen werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
158	4.4-183	Die GUI ist in der Lage, Überschreitungen von Grenz-, Richt- oder Orientierungswerten im Hinblick auf die Lufthygiene und das Klima zu bewerten und einzuordnen. Kritische Bereiche werden visuell hervorgehoben, bspw. durch eine rote Einfärbung oder ein Ausrufezeichen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
159	4.4-184	Die meteorologischen Grundparameter können in einer Animation dargestellt werden.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
160	4.5-186	Die GUI stellt zwei unterschiedliche Benutzeroberflächen zur Verfügung, nämlich eine Basisoberfläche mit den wichtigsten Funktionen und voreingestellten Standardwerten sowie eine Expertenoberfläche mit der vollen Funktionspalette.	n = 0					erfüllt	erfüllt
161	4.5-187	Die Bedienung der GUI erfolgt über Windows.	n = 0					erfüllt	erfüllt
162	4.5-188	Die GUI ermöglicht den Nutzer:innen, bei der Darstellung der Modellergebnisse verschiedene Layer über die GUI individuell ein- und ausblenden zu können. Die Layer sind abhängig von der jeweiligen Aufgabenstellung.	n = 0					erfüllt	erfüllt
163	4.5-189	Die GUI ermöglicht die Anmeldung zum individuellen Benutzeraccount über die Eingabe von User-Namen und Passwort.	n = 0					erfüllt	erfüllt
164	4.5-190	Die GUI liegt in deutscher Sprache vor.	n = 0					erfüllt	erfüllt
165	4.5-191	Die GUI fügt Standardwerte automatisch ein. Der Nutzer kann die Werte bei Bedarf anpassen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
166	4.5-192	Die GUI ermöglicht die Abfolge der Arbeitsschritte in einer logischen Reihenfolge. Eine logische Abfolge ist z. B. 1.) Einlesen der Planungs-/Umweltdaten/Meteorologischen-Daten; 2.) Eingabe nutzerdefinierter Randbedingungen; 3.) simulationspezifische Einstellungen; 4.) Darstellung der Ergebnisse.	n = 0					erfüllt	erfüllt
167	4.5-193	Die GUI stellt Orientierungshilfen zur Verfügung, bspw. in Form einer Fortschrittsanzeige oder einer strukturierten Benutzeroberfläche (z. B. Baumstruktur).	n = 0					erfüllt	erfüllt
168	4.5-194	Die GUI erklärt einzelne Elemente mit leicht verständlichen Kurzinformationen, bspw. in Form von Tooltips.	n = 0					erfüllt	erfüllt
169	4.5-195	Die GUI gibt dem Anwender eine leicht verständliche Rückmeldung über ausgeführte Aktionen, bspw. über den Erfolg einer vorher durchgeführten Aktion.	n = 11	3	6	0	2	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
170	4.5-196	Die GUI erlaubt dem Anwender, eine Aktion abzubrechen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
171	4.5-197	Die GUI führt die Befehle „Rückgängig“ und „Wiederherstellen“ korrekt aus.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
172	4.5-198	Die GUI erlaubt dem Anwender, den aktuellen Bearbeitungsstand in Form einer Datei zwischenspeichern. Die Datei ist zu einem späteren Zeitpunkt wieder verlustfrei offenbar und die Bearbeitung kann fortgesetzt werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
173	4.5-199	Die GUI verwendet Fachbegriffe in sämtlichen Arbeitsschritten, Hilfestellungen und Ergebnisdarstellungen konsistent.	n = 11	6	1	0	4	erfüllt	erfüllt
174	4.5-200	Die GUI informiert den Anwender über zu erwartende Bearbeitungszeiten in den einzelnen Arbeitsschritten.	n = 0					erfüllt	erfüllt
175	4.5-201	Die GUI verwendet allgemein bekannte Symbole, bspw. das „Mülleimer-Symbol“ für die Aktion „Löschen“.	n = 0					erfüllt	erfüllt
176	4.5-202	Die GUI zeigt bei fehlerhaften Eingaben ausformulierte Korrekturvorschläge an.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
177	4.5-203	Die GUI weist den Nutzer vorgängig auf die Durchführung von kritischen Aktionen hin.	n = 0					erfüllt	erfüllt
178	4.5-204	Die GUI zeigt fehlerhafte Formularangaben an.	n = 0					erfüllt	erfüllt

179	4.5-205	Die GUI zeigt bei der Dateneingabe ausformulierte Fehlermeldungen an. Die Fehlermeldungen sind verständlich und bestehen nicht ausschließlich aus technischen Formeln.	n = 0					erfüllt	erfüllt
180	4.5-206	Die vereinfachte GUI in der Basisversion stellt nicht alle Funktionen zur Verfügung und nutzt voreingestellte Standardwerte.	n = 0					erfüllt	erfüllt
181	4.5-207	Die umfassende GUI in der Expertenversion stellt alle Funktionen zur Verfügung.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
182	4.5-208	Eine geostatistische Auswertung der Simulationsergebnisse ist möglich.	n = 0					erfüllt	erfüllt
183	4.5-209	Das GUI ermöglicht eine Auswahl von Ausgabedatenformaten.	n = 0					erfüllt	erfüllt
184	4.5-211	GUI ist betriebssystem- und browserunabhängig.	n = 0					erfüllt	erfüllt
185	4.5-212	Die selbständige Steuerung der Ergebnisausgabe durch den Nutzer ist über die GUI möglich.	n = 0					erfüllt	erfüllt
186	4.5-213	Neben den reinen Ergebnissen können auch Interpretationshilfen angezeigt werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
187	4.5-214	Bei einem Abbruch der Berechnungen werden eindeutige Fehlermeldungen auf der GUI angezeigt. Diese nennen den Grund für den Abbruch und geben eine Hilfestellung zur Behebung. Die Fehlermeldungen sind in Text und nicht ausschließlich mit technischen Formeln beschrieben.	n = 11	1	6	2	2	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
188	4.5-215	Aus der Basisversion der GUI kann in die Expertenversion der GUI gewechselt werden.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
189	4.5-216	Die GUI bietet Dialogfenster und Eingabehilfen, die den Kernnutzer bei der „Übersetzung“ der kommunalen stadtklimatischen Fragestellung in zu berechnende Klimaparameter und -indizes anleitet.	n = 0					erfüllt	erfüllt
190	4.5-217	Für alle auf der GUI verfügbaren Klimaparameter und -indizes ist eine allgemeinverständliche Definition des jeweiligen Parameters einschließlich der zugehörigen Maßeinheiten bereitgestellt.	n = 0					erfüllt	erfüllt
191	4.5-219	Die Dateneingabe erfolgt vollständig über das GUI.	n = 0					erfüllt	erfüllt
192	4.5-220	Die konkrete Bedeutung der dargestellten Ergebnisse wird erläutert. Die Erläuterung ist für den Nutzer einfach und frei zugänglich.	n = 0					erfüllt	erfüllt
193	4.5-221	Ein Verschneiden verschiedener Informationsebenen ist in der GUI möglich.	n = 0					erfüllt	erfüllt
194	4.5-222	Die GUI ermöglicht das Erstellen von Varianten einer bestehenden Simulationsrechnung. Eine Variation der Eingangsdaten oder der Randbedingungen ist möglich.	n = 0					erfüllt	erfüllt
195	4.5-223	Die GUI erlaubt den Vergleich der Ergebnisse mehrerer Simulationen bzw. Varianten, z. B. mittels einer Differenzdarstellung.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
196	4.5-224	Die Simulationsergebnisse werden auf der GUI dargestellt und können interpretiert werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
197	4.5-225	Es ist möglich die Daten auf der GUI in mehreren Skalen- und Maßstabsebenen darzustellen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
198	4.5-227	Die GUI ermöglicht den Nutzer:innen die Erstellung von Vorlagen. Die Vorlagen eignen sich für die Bearbeitung von ähnlichen Fragestellungen und für ein einheitliches Aussehen der Modellergebnisse.	n = 0						
199	4.5-228	Die Kartendarstellung der GUI verfügt über eine Zoom-Funktion	n = 0					erfüllt	erfüllt
200	4.5-229	Das GUI ist in der Lage, Daten im- und exportieren zu können.	n = 0					erfüllt	erfüllt
201	4.5-230	Nutzer können mit Hilfe der Schritt-für-Schritt Anleitung die GUI und die dafür notwendigen zusätzlichen Ressourcen selbstständig auf Ihrem System installieren. Die GUI funktioniert anschließend in vollem Umfang.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
202	4.5-231	Die GUI liegt in englischer Sprache vor.	n = 0					erfüllt	erfüllt
203	4.5-232	Die GUI liegt zweisprachig vor. Der Nutzer kann die Sprache selbst auswählen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
204	4.5-233	Die GUI ermöglicht die Verwendung von funktionierenden, gängigen Short-Cuts	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt

205	4.5-234	Die GUI erlaubt dem Nutzer den Funktionsumfang der GUI mit eigenem oder externen Programmcode zu ändern oder zu erweitern.	n = 0					erfüllt	erfüllt
206	4.5-235	Die GUI kann unterschiedliche, dem Nutzer angepasste Schriftgrößen darstellen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
207	4.5-236	Die GUI ermöglicht es dem Nutzer, die Ergebnisdarstellung an die eigene Corporate Identity anzupassen.	n = 11	3	2	0	6		
208	4.5-237	Die GUI ist barrierefrei gestaltet. Die Anforderungen und Empfehlungen der DIN EN ISO 9241-171 sind in den für die GUI relevanten Teilen berücksichtigt.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
209	4.5-238	Die GUI ermöglicht das Anlegen von Vorlagen, Formularen o.ä. bei der Daten-Eingabe.	n = 0						
210	4.5-239	In der Ergebnisdarstellung auf der GUI werden die zeitlichen Abläufe der Simulationsergebnisse als Animation dargestellt.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
211	4.5-240	Es erscheint eine Fehlermeldung, wenn der Abstand zwischen Gebäuden und Rändern zu gering ist.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
212	4.3-n244	Über die GUI muss der externe Speicherort festgelegt werden können	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
213	4.3-n245	Die vordefinierten Datentypen für Gebäude müssen das Spektrum typischer Nutzungen und Bauweisen im urbanen Raum umfassen (z. B. Wohnen, Büro, Gewerbe, Industrie, historische Gebäude, Lager).	n = 0					erfüllt	erfüllt
214	4.3-n246	Die vordefinierten Datentypen für Gebäude des PALM-4U müssen in einem mit Standardsoftware lesbaren und freien Datenformat (Textdatei oder Tabelle) gespeichert sein und modifiziert sowie ergänzt werden können.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
215	4.3-n247	Anforderungen an den Detaillierungsgrad der Eingangsdaten (räumliche und inhaltliche Auflösung) müssen für die typischen Anwendungsfelder (z. B. Thermischer Komfort, Windkomfort, Schadstoffausbreitung, Multi-Agenten-Modell, etc.) des PALM-4U vorgegeben sein.	n = 0					erfüllt	erfüllt
216	4.4-n248	Die GUI muss die physikalischen Eigenschaften, die den Materialklassen zugrunde liegen, zur Verfügung stellen. So kann die Nachvollziehbarkeit der Materialklassen erhöht werden. Bspw. kann so gezeigt werden, was sich explizit hinter dem „Laubbaum“ verbirgt.	n = 0					erfüllt	erfüllt
217	4.4-n249	Die GUI muss in der Lage sein, den Speicherbedarf mit allen Ausgaben (inkl. Standardausgaben) anzugeben. Das bedeutet, dass vor Beginn der Simulation die zu erwartende Gesamtgröße der Ergebnisdateien angezeigt wird.	n = 0					erfüllt	erfüllt
218	4.5-n252	Über die GUI können synthetische Klimafunktionskarten (Klimaanalyse-karten) erstellt werden.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
219	4.5-n253	Über die GUI können Planungshinweiskarten erstellt werden.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
220	4.5-n254n	Über die GUI können Mikroklimakarten erstellt werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
221	4.5-n255n	Über die GUI können Immissionskarten erstellt werden	n = 0						
222	4.5-n256n	In der Ergebnisdarstellung werden Eignungs- und Bewertungskarten zum Windkomfort ausgegeben.	n = 0					erfüllt	erfüllt
223	4.5-n258n	In der Ergebnisdarstellung werden Eignungs- und Bewertungskarten zum Thermischen Komfort ausgegeben.	n = 0					erfüllt	erfüllt
224	4.5-n259	GUI muss Möglichkeit bieten, den Anteil der Dachbegrünung automatisch zu ändern. Hierzu muss auf der GUI ein entsprechendes Eingabefeld zur Verfügung gestellt werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
225	4.5-n260	In der Ergebnisdarstellung wird die der Simulation zugrunde gelegte Wetterlage genannt.	n = 0					erfüllt	erfüllt
226	4.5-n261	Ergebnisdarstellungen aus verschiedenen Modellläufen müssen nebeneinander dargestellt werden können.	n = 0					erfüllt	erfüllt
227	4.5-n262	Die physikalischen Eigenschaften der Eingangsdaten des PALM-4U müssen in einem mit Standardsoftware lesbaren und freien Datenformat (Textdatei oder Tabelle) gespeichert sein und modifiziert sowie ergänzt werden können.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt

228	4.5-n264	Bevor eine Simulation gestartet wird, sollte auf der Nutzeroberfläche die zu erwartende Simulationsdauer angezeigt werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
229	4.5-n265	Soweit in die Randbedingungen des PALM-4Us zufällig Variationen eingebracht werden, müssen diese gespeichert werden, um sie wiederholt zu verwenden (festes Random Seed). So können Simulationsergebnisse verschiedener Varianten miteinander verglichen werden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
230	4.5-n266	Die GUI muss in der Lage sein, Klimavorbehaltskarten zu erstellen. Diese inhaltlichen Darstellungen sind laut VDI 3785 (Blatt 1) für inversionsgefährdete Gebiete, Zonen mit Kaltluft-, Frost- oder Nebelgefährdung, bioklimatische und lufthygienische Belastungen.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
231	25.280	Die GUI muss mit Windowsbetriebssystemen kompatibel sein	n = 0					erfüllt	erfüllt
232	25.281	Datensätze in der GUI müssen urheberrechtlich geschützt sein.	n = 0					erfüllt	erfüllt
233	25.282	Für die verwaltungsinterne Kommunikation soll die Ergebnisdarstellung als Videosequenz dargestellt werden. Die GUI erzeugt dazu Videosequenzen der Simulation.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
234	25.283n	Es kann zeitgleich und zeitversetzt an unterschiedlichen Arbeitsplätzen an einem Anwendungsfall in der GUI mit PALM-4U gearbeitet werden.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
235	25.284n	Es kann zeitgleich und zeitversetzt an unterschiedlichen Arbeitsplätzen und unterschiedlichen Institutionen an einem Anwendungsfall in der GUI mit PALM-4U gearbeitet werden.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
236	25.299	Soll-Zustand muss mit der GUI abgebildet werden können.	n = 0					erfüllt	erfüllt
237	25.304	Die GUI muss textliche Erläuterungen liefern.	n = 0					erfüllt	erfüllt
238	25.315	Die GUI muss Daten in den Formaten ausgeben können, die in vorhandenen kommunalen Programmen weitergenutzt werden können.	n = 0					erfüllt	erfüllt
239	25.329	GUI muss Fehler und Lücken in der Datenlage erkennen und anzeigen können	n = 0					erfüllt	erfüllt
240	4.8-330 n1	GUI muss schnelle Varianten erstellen können.	n = 11	5	2	0	4	erfüllt	erfüllt
241	25.332	Die GUI muss Varianten erstellen können.	n = 0					erfüllt	erfüllt
242	25.334	Die GUI muss Schnittstellen zu anderen GUI Rechnungen bereitstellen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
243	4	Die GUI muss die Möglichkeit bieten, individuelle Benutzeraccounts zu erstellen.	n = 0					erfüllt	erfüllt
244	25.500	Es ist ein Quality Checking für typische Setups vorhanden. Es werden Warnungen bei fehlerhaften Einstellungen ausgegeben.	n = 0					erfüllt	erfüllt
245	25.501	Die GUI macht in der Ergebnisdarstellung die Wirkung konkreter Maßnahmen sichtbar.	n = 0					teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
246	25.502	Die Simulationsergebnisse stellen die thermische Belastung und den Windkomfort in unterschiedlichen Höhen dar.	n = 0					erfüllt	erfüllt
247	25.503	Über die GUI können wassergesättigte Gründächer modelliert werden.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
248	25.504	Messungen zu Luftschadstoffen (Daten aus SmartCity) können in PALM-4U integriert werden.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
249	25.505	Die GUI stellt einen bioklimatischen Index für die Innenraummodellierung bereit.	n = 0					nicht erfüllt	nicht erfüllt
250	25.506	Die Tiefe des Bodens muss als Parameter einstellbar sein.	n = 0						

Mit 142 Anforderungen ist der größte Teil der 181 Anforderungen für die Bewertung der Praxistauglichkeit der GUI mit „erfüllt“ und „teilweise erfüllt“ bewertet. 29 Anforderungen werden als „nicht erfüllt“ bewertet. Die Bewertung „kann nicht bewertet werden“ wird 17-mal vergeben, da diese Anforderungen zum Stand der Evaluation noch nicht in der GUI verfügbar sind. Sie werden zum Projektende in der GUI umgesetzt und damit verfügbar sein: Dies bezieht sich auf die Anforderungen **Nr. 73, 83, 87, 102, 131, 132, 142, 149, 151, 169, 176, 187, 195, 198, 207, 209, 245, 250**. Ein Beispiel hierfür



ist Anforderung **Nr. 149** *Die GUI ermöglicht Darstellungen des Ist- und des Plan-Zustandes sowie Differenzdarstellungen.* Momentan sind die Differenzdarstellungen noch nicht implementiert, werden aber zum Projektende der GUI-Entwicklung März 2023 zur Verfügung stehen.

Weiterhin gibt es Anforderungen, die die GUI nicht erfüllt, weil auch das Modell PALM-4U diese gegenwärtig nicht erfüllen kann. Folgende Anforderungen sind hier zu nennen: **Nr. 76, 78, 84, 107, 108, 139, 140, 201, 214, 227, 247** und **249**. Ein Beispiel ist **Nr. 247** *Über die GUI können wassergesättigte Gründächer modelliert werden.* Hier müssen die Funktionalitäten erst von Modellseite geschaffen werden, um auch in die GUI hinterlegt zu werden und von dort aus angesteuert werden zu können.

Die GUI muss verschiedene Anforderungen zu den Arbeitsschritten bei der Anwendung von PALM-4U erfüllen. Dies sind Anforderungen an die Eingangsdaten, wie bspw. die Anforderung **Nr. 120**, Anforderungen an die Simulation, wie bspw. **Nr. 71**, und letztendlich Anforderungen an die Darstellung der Ergebnisse, wie bspw. **Nr. 246**.

Die ASN haben die folgenden 11 Anforderungen bewertet: **Nr. 95, 121, 126, 138, 155, 173** sowie **240**, die in der Gesamt-Evaluation mit „erfüllt“ und **Nr. 169** und **187** mit „teilweise erfüllt“ sowie Anforderung **Nr. 140** mit „nicht erfüllt“ bewertet wurden. Anforderung **Nr. 207** wurde von den ASN als „erfüllt“ bzw. „teilweise erfüllt“, in der Gesamt-Evaluation aber als „kann nicht bewertet werden“ bewertet, da diese Anforderung zum Zeitpunkt Dezember 2022 noch nicht in der GUI verfügbar ist und erst zu Projektende in der GUI verfügbar sein wird.

Die Anforderung **Nr. 95** *Die GUI ist für die Stadtplanung und Stadtentwicklung passfähig* ist eine der zentralen Anforderungen zur Bewertung der Praxistauglichkeit. Hier bewerten 3 ASN die Anforderung mit „erfüllt“ und 6 mit „teilweise erfüllt“. In der Gesamtbewertung wurde die Anforderung auf „erfüllt“ gesetzt, da auch die DLE alle bestätigt haben, dass nach der Ergebnisvorstellung des Anwendungsfalles die jeweilige stadtklimatologische Frage beantwortet wurde und die Ergebnisse in der eigenen Arbeit verwendbar sind.

Die Anforderung **Nr. 155** *Die Ergebnisse sind anschaulich und leicht verständlich visualisiert. Sie können auch von Nicht-Experten interpretiert werden (z. B. Politikern)* zeigt keine eindeutige Bewertung, die Bewertungen der ASN weichen hier voneinander ab. Da jedoch 3 ASN mit „erfüllt“ und 5 mit „teilweise erfüllt“ bewerten, wird nach dieser Tendenz auch die Gesamtbewertung dieser Anforderung auf „erfüllt“ gesetzt. Die KOEXP können diese Anforderung nicht bewerten und folgen hier der Tendenz der ASN. Ebenso wird der ASN-Bewertung „erfüllt“ für die Anforderung **Nr. 240** *GUI muss schnelle Varianten erstellen können* durch die KOEXP gefolgt.

Die Anforderung **Nr. 138** *Bei der Ausgabe der Modellergebnisse werden Informationen über die Robustheit und deren Bewertung für die Simulationsergebnisse bereitgestellt* wird durch die KOEXP („erfüllt“) anders bewertet als durch die ASN („teilweise erfüllt“). Hier kann der automatisch erzeugte Bericht zu jeder Simulation für die Bewertung der Robustheit der Ergebnisse herangezogen werden. Das „teilweise erfüllt“ der ASN zeugt allerdings von der Schwierigkeit, die Ergebnisse einschätzen und interpretieren zu können. Vorkenntnisse sind zwingend dafür erforderlich. Die Anforderung **Nr. 140** *Die*

GUI ist in der Lage, Ergebnisse als konkrete Handlungsempfehlungen mit Informationen über die Belastbarkeit der Modellergebnisse für stadtplanerische Entscheidungen bereitzustellen wird ebenso unterschiedlich bewertet. Die KOEXP haben die Anforderung auf „nicht erfüllt“ gesetzt, da die GUI keine Handlungsempfehlungen herausgeben kann. Das Modell PALM-4U kann das ebenso nicht. Generell können keine Interpretationen oder Handlungsempfehlungen über die GUI automatisiert ausgegeben werden, wie es bspw. explizit in der Anforderung **Nr. 132** gefordert wird. Es können Klassifikationen von einzelnen Parametern oder eine z-Transformation durchgeführt werden. Die Interpretation dieser Ergebnisse obliegt aber immer noch dem/der Anwender:in.

Die Anforderungen **Nr. 143** zur 3D-Darstellung sowie die **Nr. 210 und 233** zu Animationen/ Filmdarstellungen werden als „nicht erfüllt“ bewertet. Diese können nicht direkt über die GUI erstellt werden. Allerdings werden bis zum GUI Projektende März 2023 auch Paraview-Makros inklusive Anleitungen zur Verfügung stehen, die diese Anforderungen dann erfüllen können. Anwender:innen haben ab diesem Zeitpunkt die Möglichkeit, die Ergebnisse aus der GUI herunterzuladen und über das kostenfreie Paraview 3D-Visualisierungen und Filme zu erstellen und zu speichern.

#### 4.5.2 Ergebnisse weiterer Methoden

In den Umfragen nach dem ExLab zur GUI sowie in den Umfragen der ASN und DLE werden weitere Hinweise zur GUI genannt (Protokoll ExLab E, Umfragen ASN, Umfragen DLE). Ein weiterer wichtiger Punkt betrifft dabei die Modell-Eingangsdaten, der auch beim ExLab Evaluation von Praxispartner:innen nochmals als besonders relevant hervorgehoben wurde (Protokoll ExLab G). Genannt wird u. a. das Abrufen von Geodaten, was normalerweise in einer Kommune über das Geodaten-Referat bearbeitet wird. Da nicht alle Daten in Kommunen vollständig oder in der erforderlichen Qualität verfügbar sind, gilt es Alternativen zu finden. Die Landesämter halten Daten vor wie z. B. Befliegungsdaten oder Höhenmodelle. Weiterhin ist wichtig, aktuelle Daten zu nutzen bzw. über die GUI Hinweise zu Alternativen bereitzustellen, wenn die Datenqualität den Erfordernissen nicht entspricht. Hier leistet die GUI bereits einen Beitrag, indem sie zum Projektende eine Schnittstelle zu OSM-Daten (OpenStreetMap) anbieten wird.

Weiterhin wird ein Nesting mit dem Modell gewünscht, um große Rechengebiete simulieren zu können, um bspw. die orographisch bedingten Kaltluftabflüsse zu erfassen. Generell besteht der Wunsch nach der Aufhebung der Gebietsgrößenbeschränkung für eine Simulation auf der GUI. Während des Projektverlaufes gibt es hier Einschränkungen, um im Kosten- und Kapazitätsrahmen zu bleiben. Für die Kartendarstellung besteht der Wunsch, eigene kommunale Kartenanwendungen als Hintergrundkarten, bspw. WMS-Dienste (Web Map Services) einbinden zu können. Auch das leistet die GUI bereits. Die Umfragen ergeben ebenfalls, dass die GUI auch für die lokale Installation von PALM-4U verfügbar sein sollte und nicht nur eine Kopplung an den Cloudservice möglich ist.

Abschließend wird im ExLab Evaluation von den Praxispartner:innen betont, dass die GUI eine *relativ einfache* und *intuitive* Nutzung des PALM-4U Modells ermöglicht. Darüber hinaus wird hervorgehoben, dass der Modellzugang für die Praxisanwendung ohne die GUI *fraglich* sei (Protokoll ExLab G). Nur ein Praxispartner ist im Projekt in der Lage, PALM-4U ohne die GUI zu bedienen.

### 4.5.3 Empfehlungen

Für Praxisanwender:innen ist die Nutzung des PALM-4U-Modells i.d.R. mit der GUI verknüpft. Daher sollte die GUI weiter gepflegt und weiterentwickelt werden. Dies gilt zum einen, damit die GUI dem aktuellen Entwicklungsstand des PALM-4U Modells entspricht. Zum anderen wird damit ermöglicht, die zum Zeitpunkt der Evaluation noch nicht erfüllten Anforderungen dann zu erfüllen und weitere Funktionalitäten nutzbar zu machen. Wenn neue PALM-4U Modell-Komponenten in den Releases veröffentlicht werden, sollte die GUI diese Funktionalitäten abbilden, was bedeutet, dass sie kontinuierlich weiterentwickelt werden sollte. Der Fokus auf die drei verfügbaren und für die Praxis als relevant eingestuften Anwendungsfeldern kann beibehalten werden, sollte jedoch mit der Weiterentwicklung der PALM-4U Modellfunktionalitäten geprüft und ggf. erweitert werden.

Die GUI sollte also auch nach Projektende in ihrer aktuellen Form als Cloud-Anwendung zur Verfügung stehen. Die Kopplung der GUI an eine lokale Nutzung von PALM-4U, wie sie von einigen Praxispartner:innen gefordert wurde, ist technisch möglich und sollte bei Bedarf nach Projektende entwickelt werden. Bezogen auf beide Anwendungsmöglichkeiten wird empfohlen, die Schulungen und den Support zur Bedienung der GUI ebenfalls über Projektende hinaus zu erhalten und Anfragen zu bedienen.

Das Thema Eingangsdaten stellt sich aus Sicht der Praxispartner:innen als besonders bedeutend heraus. Bei der GUI sollte hierauf ein besonderes Augenmerk gelegt werden. Die Schwierigkeit, dass innerhalb der Kommune nicht alle Daten in ausreichender Qualität verfügbar sind, hebt die Relevanz von Standard Daten hervor, die es trotz begrenzter Datenverfügbarkeit ermöglichen, Simulationen durchzuführen. Hier sollte auf den Grundsatz hingewiesen werden, dass die Ausgangsdaten die Qualität der Eingangsdaten widerspiegeln, was Mindestvoraussetzungen der Qualität von Eingangsdaten notwendig machen. Die GUI-Evaluation der ASN zeigt die Notwendigkeit von fachlichen Vorkenntnissen zur Interpretation der Ausgabedaten, was sich mitunter auch auf die Eingangsdaten-Ausgabedaten-Abhängigkeit bezieht. Diese sind im Hinblick auf die Interpretationen und der Ableitung von Handlungsempfehlungen bedeutend, die über die GUI nicht automatisiert ausgegeben werden können. Hier sollten ggf. Hinweise in der GUI etabliert werden. Im Zuge der Datenaufbereitung und -verfügbarkeit ist die Schnittstelle zu OSM-Daten besonders praxisrelevant und sollte unbedingt nach Projektende etabliert werden.

## 4.6 Qualifizierung der Nutzer:innen

Die Qualifizierung zur Modellanwendung wird im Projekt durch eine gezielte Unterstützung der Nutzer:innen mit Schulungen, Service- und Supportangeboten gewährleistet. Diese Angebote werden im iterativen anwenderorientierten Prozess parallel mit der GUI-Entwicklung konzipiert, erprobt und weiterentwickelt. Die Kategorie 6 betrachtet hierzu 31 Anforderungen.

Zu Beginn von ProPolis werden die Wünsche und Bedarfe von Praxispartner:innen anhand von Erfahrungen aus der 1. Phase sowie dem thematischen ExLab C erfasst und in die Anforderungen zu Inhalten, Dauer, Formaten usw. übersetzt. Die so formulierten Anforderungen dienen der Konzeptionierung und Entwicklung von geeigneten Schulungs- und Supportformaten, die im Projektrahmen getestet und

evaluiert wurden. Um die Kapazitäten von Praxispartner:innen zur Modellanwendung aufzubauen, werden in ProPolis folgende Produkte priorisiert und umgesetzt: ein Schulungsprogramm, ein zentraler Ticketing-System, ein Online-Forum sowie Selbstlernvideos und schriftliche Anleitungen. Während der Anwendungsphase werden wichtige Erkenntnisse für die Verbesserung der Angebote durch Umfragen erhoben, die schließlich im Rahmen der Evaluation überprüft und bewertet werden.

Die Anwenderschulungen in ProPolis werden in vier voneinander abgegrenzten Modulen zur Eingangsdatenaufbereitung sowie den drei Standard-Anwendungsfeldern (Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt, Windkomfort und Sturmgefahren sowie Schadstoffausbreitung) aufgebaut. Insgesamt sind zum Zeitpunkt der Evaluation drei Schulungsmodul durchgeführt. Die ersten zwei Schulungsmodul zur Eingangsdatenaufbereitung (ca. 35 Teilnehmende) und zum Anwendungsfeld „Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt“ (ca. 30 Teilnehmende) werden pandemiebedingt als zweitägige Online-Veranstaltungen konzipiert und durchgeführt. Diese Schulungsmodul beinhalten Theorie-Blöcke und Live-Vorstellung der GUI sowie praktische Übungen und Fragerunden. Das Schulungsmodul zum Anwendungsfeld „Windkomfort und Sturmgefahren“ wird im Selbstlernformat gestaltet, daher kann die Teilnehmendenzahl nicht erfasst werden. Durch die Verzögerungen in der Cloud-Umsetzung wird das vierte Schulungsmodul zum Anwendungsfeld „Schadstoffausbreitung“ zum späteren Zeitpunkt durchgeführt und nicht mitevaluiert.

Neben der individuellen Betreuung von Praxispartner:innen durch ProPolis-Modellierende und offene Sprechstunden wird in ProPolis ein zentraler E-Mail-basierter Support in Form eines Ticketing-Systems aufgebaut, getestet und weiterentwickelt. Während der Selbstanwendungsphase werden die über ein Online-Formular und per E-Mail eingegangenen Anfragen zu technischen Problemen, Rechenzeit sowie Verständnisfragen als Tickets erfasst, mithilfe von Tags administriert und von ProPolis-Expert:innen bearbeitet (insgesamt 171 Tickets). Darüber hinaus wird im Rahmen der CoP-Entwicklung ein Online-Forum aufgesetzt und vom ProPolis-Konsortium betreut.

Zusätzlich stehen den Praxispartner:innen weitere Produkte wie zahlreiche Schulungsvideos und umfangreiche Schritt-für-Schritt Anleitungen zum Selbstlernen zur Verfügung. Am Ende des Projektes wird ein PALM-4U Handbuch für die Praxis veröffentlicht, in dem die Nutzer:innen alle notwendigen Informationen zur selbständigen Anwendung von PALM-4U über die GUI finden werden (siehe dazu ProPolis PALM-4U Handbuch für die Praxis, Krüger et al. 2023).

Im Folgenden werden die Anforderungen an die Schulungen, Service- und Supportangebote evaluiert und Empfehlungen für deren künftige Gestaltung und Weiterentwicklung abgeleitet.

4.6.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)

Tabelle 9: Anforderungen Kategorie 6 Qualifizierung der Nutzer:innen (Likert-Skala)

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN					Evaluation durch KOEXP	
				Stimme zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu		Kann ich nicht bewerten
251	26.278	Die Schulungen umfassen den Kompetenzaufbau im Bereich Datenmanagement sowie Pflege und Unterhaltung der IT-Infrastruktur.	n = 11	2	2	3	1	0	3	Stimme eher zu
252	26.01	Ein PALM-4U Schulungsprogramm berücksichtigt unterschiedliches Nutzerkompetenzniveau in PALM-4U Anwendung, d.h. es beinhaltet unterschiedliche Schulungsmodule (z. B. Einführung (Beginner)-, Auffrischungs (Intermediate)- und Experten (Advanced)-Schulungsmodule).	n = 11	6	4	0	1	0	0	Stimme zu
253	26.04	Eine PALM-4U Auffrischungsschulung enthält folgende inhaltliche Hauptblöcke: Eingangsdatenaufbereitung, Schritt-für-Schritt Bedienung der GUI, Ergebnisinterpretation, sowie die neuen PALM-4U-Funktionalitäten bzw. neue Anwendungsfelder.	n = 11	4	6	0	0	0	1	Stimme zu
254	26.05	Eine PALM-4U Experten (Advanced)-Schulung enthält Inhalte zu den erweiterten Funktionen (wie bspw. erweitertes Post-Processing mit zusätzlicher 3D-Visualisierungssoftware, Durchführung von Messkampagnen // Abgleich mit Messergebnissen, Datenmanagement, usw.).	n = 11	6	1	0	0	0	4	Stimme zu
255	26.07	Eine PALM-4U Schulung ist so konzipiert, dass sie als eine Präsenzveranstaltung an mehreren Standorten in Deutschland durchgeführt werden kann, um den Reiseaufwand möglichst gering zu halten.	n = 11	2	3	5	0	1	0	Weder noch
256	26.08	Eine PALM-4U Schulung ist so konzipiert, dass sie individuell Vor-Ort durchgeführt werden kann.	n = 11	1	4	4	1	1	0	Weder noch
257	26.09	Bei einer Durchführung der PALM-4U Schulung als Präsenzveranstaltung ist die Bereitstellung der Hardware inbegriffen.	n = 11	5	2	0	1	1	2	Stimme eher zu
258	26.11	Eine PALM-4U Präsenzschulung wird von einem Experten und mindestens einer Hilfsperson durchgeführt. Dabei wird die optimale Teilnehmerzahl auf 20 festgelegt.	n = 11	1	0	3	3	1	3	Stimme eher nicht zu
259	26.17	Neben einer schriftlichen Anleitung und einem umfangreichen Nutzerhandbuch sind zusätzliche Schulungsmaterialien in Form von FAQ-Hilfen sowie kurzen Videos zu häufig gestellten Fragen // einzelnen Funktionen verfügbar.	n = 11	8	3	0	0	0	0	Stimme zu
260	26.23	Ein PALM-4U Simulationsgutachten umfasst folgende Inhalte (Mindestanforderungen): Erläuterung der Aufgabestellung, Datengrundlagen, Darstellung der Ergebnisse und Auswertung der Simulationen.	n = 11	6	2	0	0	0	3	Stimme zu
261	26.24	Es wird eine Dienstleistung für PALM-4U-konforme Eingangsdatenaufbereitung angeboten.	n = 11	5	1	2	0	1	2	Stimme zu
262	26.25	Bei der Erstellung eines PALM-4U Simulationsgutachtens wird eine Erläuterung der Ergebnisse als Service mitangeboten.	n = 11	3	4	2	0	0	2	Stimme zu
263	26.28	Schulungsinhalte und Unterlagen werden auf Englisch publiziert.	n = 11	2	2	3	0	1	3	Stimme eher zu
264	26.29	Schulungsinhalte und Unterlagen werden auf Deutsch publiziert.	n = 11	10	0	1	0	0	0	Stimme zu
265	26.30	Das Nutzerhandbuch umfasst neben der Schritt-für-Schritt GUI-Anleitung folgende Inhalte: Hardware-Infrastruktur, Installation(en), Daten, Anwenderkenntnisse, sowie gut dokumentierte Fallbeispiele, die unterschiedlichen Funktionen des Modells nachvollziehbar aufzeigen.	n = 11	6	3	0	0	0	2	Stimme zu

Tabelle 10: Anforderungen Kategorie 6 Qualifizierung der Nutzer:innen

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN				Evaluation durch KOEXP	Gesamt Evaluation
				erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	kann nicht bewertet werden		
266	26.02	Ein PALM-4U Schulungsprogramm entspricht inhaltlich den neusten Entwicklungen (bspw. neue PALM-Module, aktuellste GUI-Version).	n = 11	9	1	0	1	erfüllt	erfüllt
267	26.03	Eine PALM-4U Einführungsschulung enthält folgende inhaltliche Hauptblöcke: Grundalgen in Stadtklimatologie, Modellgrundlagen PALM-4U, Eingangsdatenaufbereitung, Schritt-für-Schritt Bedienung der GUI, Ergebnisinterpretation.	n = 11	9	1	0	1	erfüllt	erfüllt
268	26.06	Ein PALM-4U Schulungsangebot wird anhand eines praktischen Beispiels // Testanwendung aus den Standard-Anwendungsfelder (Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt, Windkomfort und Sturmgefahren, sowie Schadstoffausbreitung) durchgeführt.	n = 11	9	2	0	0	erfüllt	erfüllt
269	26.10	Eine PALM-4U Schulung ist so konzipiert, dass sie als Online-Veranstaltung durchgeführt werden kann. Dabei werden die technischen Voraussetzungen der Teilnehmenden (Soft- und Hardware) berücksichtigt.	n = 11	8	2	0	1	erfüllt	erfüllt
270	26.12	Eine PALM-4U Schulung wird so konzipiert, dass sie nicht länger als 2 Tage am Stück dauert.	n = 0					erfüllt	erfüllt
271	26.13	Eine PALM-4U Schulung wird so konzipiert, dass ein Schulungstag nicht länger als 6 Std. dauert.	n = 0					erfüllt	erfüllt
272	26.14	Eine PALM-4U Schulung enthält ausreichend Zeit für Rückfragen und den Austausch zwischen Teilnehmenden.	n = 0					erfüllt	erfüllt
273	26.15	Ein PALM-4U Schulung-, Service- und Supportangebot berücksichtigt die finanziellen Rahmenbedingungen der kommunalen Teilnehmenden.	n = 0						
274	26.16	Die Bedienung der PALM-4U GUI ist in einer umfangreichen Schritt-für-Schritt Anleitung erläutert.	n = 11	4	2	0	5	erfüllt	erfüllt
275	26.18	Für einen (informellen) Erfahrungsaustausch zwischen Anwender:innen sind virtuelle Diskussionsräume organisiert, bspw. in Form eines Online-Forums.	n = 11	6	2	0	3	erfüllt	erfüllt
276	26.19	Ein zentrales PALM-4U Support-System ist aufgebaut, das die Anwender:innen bei den technischen Problemen in der GUI-Anwendung unterstützt.	n = 11	9	0	0	2	erfüllt	erfüllt
277	26.20	Technische Fragen werden vom technischen Support innerhalb max. einer Woche bei komplexeren Fragestellungen bzw. innerhalb eines Tages bei einfacheren Fragestellungen beantwortet.	n = 11	9	0	0	2	erfüllt	erfüllt
278	26.21	Für den technischen Support wird ein Betriebsmodell angeboten, in dem ein festes Kontingent mit X Stunden Support enthalten ist und in dem weiterer Support pro Zeiteinheit abgerechnet wird.	n = 0						
279	26.22	Anwender:innen mit Planungserfahrung die an einer Schulung im Rahmen von Modul C teilgenommen haben, sind selbständig in der Lage das PALM-4U über die neue GUI zu bedienen. (Erforderliche Kompetenzen des Standardnutzers: GIS-Kenntnisse, grundlegendes stadtklimatisches Verständnis, spezifisches Fachbereichswissen.)	n = 11	6	1	0	4	erfüllt	erfüllt
280	26.26	Für die Installation von PALM-4U wird eine Schritt-für-Schritt Anleitung bereitgestellt. Dabei werden auch alle zusätzlichen Ressourcen die nötig sind um PALM-4U im vollen Funktionsumfang zu verwenden (z. B. Compi-	n = 0					erfüllt	erfüllt

		ler, Bibliotheken, etc.), inklusive deren Mindestversion, Bezugsquelle sowie einen Verweis auf ihre jeweilige Installationsanleitung mit aufgeführt.									
281	26.27	Schulungen sind in voneinander abgegrenzten Modulen aufgebaut (z. B. für unterschiedliche Anwendungsfelder).	n = 11	10	0	0	1	erfüllt	erfüllt		

Insgesamt werden zur Anwenderqualifizierung 31 Anforderungen erfasst, wobei die Anforderungen mit unterschiedlichen Skalen bewertet werden. 16 Anforderungen werden mit einer Skala „erfüllt/teilweise erfüllt/nicht erfüllt“ evaluiert, davon werden 14 als „erfüllt“ bewertet. Dabei stimmt die Evaluation durch ProPolis-KOEXP mit der Einschätzung der Praxispartner:innen größtenteils überein. Zwei von diesen Anforderungen (Anforderungen **Nr. 273** und **Nr. 278**), die sich mit finanziellen Rahmenbedingungen der kommunalen Teilnehmenden auseinandersetzen, können zum Zeitpunkt der Evaluation nicht bewertet werden. Weitere 15 Anforderungen werden mit einer Likert-Skala bewertet, da sie während des Projekts in dem Umfang nicht implementiert werden können bzw. die Zeit nach Projektende betrachten. Davon erhält der größte Teil der Anforderungen eine Zustimmung von den Praxispartner:innen (10 als „stimme zu“ und 3 als „stimme eher zu“). Die Relevanz von zwei weiteren Anforderungen zur Konzeptionierung im Präsenz- oder Online-Schulungsformat (Anforderungen **Nr. 255** und **Nr. 256**) wird als „weder noch“ und damit als neutral bewertet. Lediglich eine Anforderung **Nr. 258** zur *optimalen Teilnehmendenzahl bei den Präsenzschulungen* wird von den Befragten überwiegend als „stimme eher nicht zu“ eingestuft.

Die Gesamtbewertung von beiden Anforderungsgruppen fließt in die Empfehlungen ein. Im Folgenden wird die Evaluation einzelner Anforderungen nach thematischen Clustern genauer erklärt.

Bezüglich des vorhandenen Kompetenzniveaus haben die im Projektrahmen geschulten Praxispartner:innen bisher keine Erfahrung in der Anwendung der PALM-4U GUI. Daher wird in ProPolis nicht zwischen *Einführung-, Auffrischung- oder Expertenschulungen* unterschieden (vgl. Anforderung **Nr. 252**). Das heißt, alle im Projektrahmen stattgefundenen Schulungen werden aus Sicht des Konsortiums als „Einführungsschulungen“ eingestuft. Das Schulungsprogramm wird unabhängig vom Nutzertyp (DLE, ASN) und unter Berücksichtigung von heterogenen Kompetenzen konzipiert. Die erste Schulung zur Eingangsdatenaufbereitung bspw. umfasst optionale Schulungsinhalte zu Grundlagen in der QGIS-Anwendung, sodass auch die Personen ohne tiefgehende GIS-Erfahrungen die Modellanwendung erlernen können. Jedoch stimmen die Befragten der inhaltlichen Unterteilung der künftigen Schulungsangebote in Einführungs-, Auffrischungs- und Expertenmodule zu. Die ProPolis-Praxispartner:innen stammen teilweise aus unterschiedlichen Fachbereichen (Stadtplanung, Umweltschutz, Geoinformation usw.) und arbeiten an ihren Anwendungsfällen in interdisziplinären Teams zusammen. Auch wenn die in der Anforderung **Nr. 279** aufgelisteten Grundkompetenzen (*GIS-Kenntnisse, grundlegendes stadtklimatisches Verständnis, spezifisches Fachbereichswissen* etc.) manchmal über mehrere Köpfe verteilt sind, wird diese Anforderung von der Mehrheit der Befragten sowie aus Sicht des Konsortiums als „erfüllt“ bewertet.

Dank des modularen Aufbaus von Schulungsangeboten können die Praxispartner:innen selbst auswählen, an welchem Modul sie teilnehmen möchten (Anforderung **Nr. 281**). Die vier im Projekt durchge-

fürten Einführungsschulungen umfassen die in der Anforderung **Nr. 267** aufgelisteten Inhalte: Grundlagen in Stadtklimatologie, Modellgrundlagen PALM-4U, Eingangsdatenaufbereitung, Schritt-für-Schritt Bedienung der GUI sowie Ergebnisinterpretation. Somit ist diese Anforderung erfüllt.

Ferner gibt es eine breitere Zustimmung von den Befragten über die inhaltlichen Hauptblöcke, die eine Auffrischungs- bzw. Expertenschulung nach Projektende umfassen sollen (Anforderungen **Nr. 253** und **Nr. 254**). Weitere Themen wie Datenmanagement und Unterhaltung der IT-Infrastruktur (vgl. Anforderung **Nr. 251**), deren Relevanz die Befragten als „stimme eher zu“ bewerten, sind nicht Bestandteil der durchgeführten Einführungsschulungen. Diese Themen können künftig als Teil von Experten-Schulungen angeboten werden (siehe Empfehlungen).

Die Inhalte vom PALM-4U Schulungsprogramm im Projekt entsprechen den neuesten GUI-Entwicklungen (Anforderung **Nr. 266**). Die GUI wird im Projektrahmen kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert. Die während der Anwendung aufgetauchten Fehler werden behoben bzw. die Updates werden fortlaufend aufgespielt und an die Praxispartner:innen kommuniziert. Somit ist diese Anforderung aus Sicht der Befragten und des Konsortiums erfüllt.

Des Weiteren werden alle ProPolis-Schulungen anhand einer praktischen Testanwendung „Berlin Tempelhofer Feld“ durchgeführt (Anforderung **Nr. 268**). Dies gilt auch für die zum Zeitpunkt der Evaluation noch nicht stattgefundene Schulung zum Anwendungsfeld Schadstoffausbreitung. Daher wird diese Anforderung als „erfüllt“ evaluiert.

Im Gegensatz zur 1. Phase des Forschungsvorhabens können in der 2. Phase des Gesamtvorhabens wegen der Pandemielage keine Präsenzsulungen stattfinden. Deshalb werden alle ProPolis-Schulungen im Online-Format konzipiert und durchgeführt. Die Erfahrungen aus den beiden Phasen zeigen, dass es durchaus praktikabel ist, die Schulungen sowohl in Präsenz als auch virtuell zu konzipieren und durchzuführen. Je nach Präferenzen der Teilnehmenden kommen für die Qualifizierung der Nutzer:innen beide Formate in Frage. Eine Kombination aus Online-Schulungen, Fragerunden bzw. individuellen Sprechstunden und Lernvideos hat sich in der 2. Phase als praxistauglich bewährt und wird von den Praxispartner:innen gut angenommen. Deshalb werden die Anforderungen **Nr. 255** und **Nr. 256** als „weder noch“, also neutral, evaluiert. Das Online-Format der Schulungen in der 2. Phase erlaubt die Teilnahme von mehr als 30 Personen. Aus den Erfahrungen von den Schulungen in der 1. Phase wird die Teilnehmendenzahl von 20 Personen für eine Präsenzsulung vom Konsortium als optimal eingeschätzt (vgl. Anforderung **Nr. 258**). Jedoch stimmen die meisten Befragten dieser Anforderung nicht zu. Sie äußern dabei einen Wunsch nach unterschiedlichen Gruppengrößen.

Hinsichtlich der Berücksichtigung der technischen Voraussetzungen der Teilnehmenden (Anforderung **Nr. 257** und **Nr. 269**) ist für die Anwendung mittels GUI und Cloud lediglich ein (handelsüblicher) Rechner mit stabiler Internetverbindung notwendig (Online sowie in Präsenz). Die Anforderung **Nr. 269** kann jedoch nur als „teilweise erfüllt“ evaluiert werden, weil ein/e Praxispartner:in aufgrund internen IT-Regelungen keinen Zugriff auf die QGIS-Anwendung bekommen konnte.

Mit Blick auf Anleitungen und eine GUI-Dokumentation wird der *Zugang zu den in ProPolis erarbeiteten Anleitungen allen Teilnehmenden über das Hilfe-Menü in der GUI ermöglicht* (vgl. Anforderung **Nr.**



**274).** Einige Befragte melden zurück, dass sie diese Anleitungen bisher nicht in Anspruch genommen haben. Dies könnte daran liegen, dass die Teilnehmenden verschiedene Unterstützungsoptionen zum Erlernen der GUI hatten, bspw. die aufkommenden Fragen in individuellen Gesprächen oder über das Ticketing-System klären konnten. Des Weiteren werden im Rahmen jeder Anwenderschulung *Schulungsvideos zum Selbstlernen* zur Verfügung gestellt (vgl. Anforderung **Nr. 259**). Mithilfe dieser Selbstlernvideos haben die Anwender:innen eine Möglichkeit bekommen, alle Schulungsmodulare in ihrem eigenen Tempo zu durchlaufen, um die GUI-Anwendung zu erlernen. Die Befragten stimmen der Anforderung einheitlich zu. Darüber hinaus wird am Ende des Projektes ein PALM-4U Handbuch für die Praxis (siehe dazu ProPolis PALM-4U Handbuch für die Praxis, Krüger et al. 2023) veröffentlicht. Dieses übergeordnete Handbuch wird die in der Anforderung **Nr. 265** genannten Inhalte umfassen: *Hardware-Infrastruktur, Installation(en) und Daten sowie typische Arbeitsprozesse und Anwenderkenntnisse aufzeigen. Zusätzlich werden gut dokumentierte Fallbeispiele*, die die unterschiedlichen Funktionen des Modells nachvollziehbar erläutern, in der GUI-Dokumentation beschrieben.

Im Projektrahmen werden die Schulungsinhalte und Unterlagen überwiegend in deutscher Sprache zur Verfügung gestellt. Die Befragten stimmen auch der künftigen Publikation der Inhalte und Anleitungen in deutscher Sprache eindeutig zu (vgl. Anforderung **Nr. 263**). Die Verfügbarkeit von englischsprachigen Anleitungen wird ebenfalls als relevant eingestuft (vgl. Anforderung **Nr. 264**). In den Freitextfeldern heben Befragte hervor, dass insbesondere die in der GUI integrierten Ergebnisberichte auf Deutsch zur Verfügung gestellt werden sollen, um die Einbindung in den Begründungen von Bebauungsplänen und politischen Diskussionen zu ermöglichen (vgl. Anforderung **Nr. 262**).

Bei der Bewertung der Supportangebote zeigt sich, dass die meisten über das zentrale Ticketing-System eingegangenen Anfragen innerhalb weniger Stunden beantwortet werden. Manche Problemlösungen bedürfen Fehlerbehebungen in der GUI und können etwas länger dauern. Somit sind die Anforderungen **Nr. 276** und **Nr. 277** als „erfüllt“ einzustufen. Des Weiteren soll das im Projekt aufgesetzte Online-Forum dem informellen Austausch und Klärung von Fragen zwischen Praxispartner:innen dienen. Die Anforderung **Nr. 275** wird somit als „erfüllt“ bewertet, jedoch kann der Austausch nur in einem begrenzten Umfang stattfinden, weil die selbstständige Anwendung erst in der Endphase des Projektes begonnen hat.

Im Projekt stehen den Praxispartner:innen die Betreuer:innen in allen Anwendungsschritten zur Seite bzw. sie übernehmen für die DLE den kompletten Modellierungs- und Auswertungsprozess sowie die Erstellung von Ergebnisberichten. Da diese Services und Simulationsgutachten sich zum Zeitpunkt der Evaluation in der Erstellung befinden, kann die Anforderung **Nr. 260** nur mit Likert-Skala evaluiert werden. Dabei stimmen die Befragten den Mindestanforderungen an ein Simulationsgutachten zu. Auch die Anforderungen **Nr. 261** (PALM-4U konforme Datenaufbereitung) und **Nr. 262** (Erläuterung der Ergebnisse) betreffen die externen Services, die laut Befragten nach Projektende angeboten werden sollen.

#### 4.6.2 Ergebnisse weiterer Methoden

Zur Evaluierung der Anforderungen **Nr. 256, 257** (Präsenzformate), **270, 271, 272** (Dauer der Schulungen), **273, 278** (Kosten) und **280** (Installationsanleitungen) werden Ergebnisse weiterer Methoden herangezogen.

Im ExLab G Evaluation werden von Praxispartner:innen zum Thema Schulungen, Support und Qualifizierung einige Inhalte als besonders relevant hervorgehoben. Darunter wird sowohl die Schulung des eigenen Know-Hows und der eigenen Erprobung des Modells und seiner Funktionen genannt als auch die Verfügbarkeit externer Unterstützung in Form von Expert:innenwissen und Fachkompetenz. Dieser externe Support wird insbesondere in Bezug auf eine Interpretationshilfe und einer Einordnung der Modellergebnisse sowie zur Eingangsdatenaufbereitung mit GIS-Systemen als notwendig gesehen. Dabei seien persönliche Ansprechpartner:innen besonders wichtig. Ergänzend dazu wird auch der Austausch mit anderen Anwender:innen als wünschenswert geäußert. (Protokoll ExLab G)

Aus der Umfrage im ExLab C zu den gewünschten Schulungsformaten geht hervor, dass die Praxisanwender:innen grundsätzlich diverse Schulungsformate (Präsenz, Online, Selbstlernen) begrüßen. Während Einführungsschulungen im Präsenz-Format präferiert werden, werden Online-Formate als geeignet für Aufbau- und Selbstlernangebote angesehen. Dazu heißt es in der Umfrage des ExLab C, dass Einführungsschulungen als Präsenzschiulung bevorzugt werden, da im Kontakt zu anderen Lernenden das Fragen einfacher fiele. Unabhängig davon wird als Vorteil von Onlineschulungen gesehen, dass der Zeitaufwand geringer und (Reise-)Kosten günstiger sind. Darüber hinaus werden die Formate der Schulungen als nicht so entscheidend bewertet, da nach einer Einführungsschiulung die Möglichkeit des Selbstlernens und die Verfügbarkeit von Expert:innen als besonders positiv bewertet wird. Laut Befragungen nach den Schulungen beurteilen die Teilnehmenden die Dauer von 2 Tagen für die Schulungsmodule als genau richtig (Fragen 7 und 9 nach der 1. Schiulung, Fragen 5 und 7 nach der 2. Schiulung). Darüber hinaus melden die Befragten zurück, dass es ausreichend Möglichkeiten für Fragen, Interaktion und Diskussion während und im Nachgang von den beiden Schiulungen gibt. Die Anforderungen Nr. **270, 271** und **272** werden somit von den KOEXP als „erfüllt“ evaluiert.

Zum Zeitpunkt der Evaluation können die Anforderungen Nr. **273** (*Berücksichtigung finanzieller Rahmenbedingungen von Kommunen*) und Nr. **278** (*Bereitstellung eines Support-Kontingentes*) nicht bewertet werden. Alle Schiulungs-, Service- und Supportangebote stehen den Praxispartner:innen im Projektrahmen unentgeltlich zur Verfügung. Nach Projektende werden Schiulungen, individueller Support und weitere Services nur gegen Entgelt angeboten. Um die Zahlungsbereitschaft der Anwender:innen einzuschätzen, werden die Praxispartner:innen im ExLab C über Kosten für Schiulungs- und Supportangebote abgefragt. Grundsätzlich erklären sich die Befragten bereit, künftig für Qualifizierungsangebote zu bezahlen. Jedoch sehen einige Befragte die anfallenden Kosten als ein potentielles Hindernis in Anbetracht der begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen in Kommunen (siehe Empfehlungen).

Die Anforderung **Nr. 280** ist aus dem NAK aus der 1. Phase übernommen worden und in der 2. Phase als „erfüllt“ evaluiert. Für die Installation des Modells gibt es ausführliche Anleitungen auf der Webseite der Modellentwickler:innen (Modul A). Die Installation der GUI auf einer Cloud-Instanz wird in der Schritt-für-Schritt-Anleitung erklärt und in der GUI-Dokumentation veröffentlicht.

#### 4.6.3 Empfehlungen

Hinsichtlich Kompetenzniveau, inhaltlichem Aufbau und Modularität sollen die künftigen Fortbildungsangebote inhaltlich den gesamten Anwendungsprozess von Eingangsdatenaufbereitung bis zur Ergebnisinterpretation umfassen. Darüber hinaus sollen auch spezielle Themen wie bspw. Datenmanagement, Messkampagnen oder Unterhaltung der IT-Infrastruktur bei Bedarf in den Schulungsmodulen behandelt werden. Die Schulungen sollen künftig auch die GUI-Anwendung anhand eines beispielhaften praktischen Testfalls aus den Standard-Anwendungsfeldern (Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt, Windkomfort sowie Schadstoffausbreitung) aufzeigen.

Entsprechende Einführungs-, Auffrischungs- und Expertenmodule sollen Nutzer:innen mit einem unterschiedlichen Kenntnisstand und heterogenen Modelliererfahrungen zur Auswahl stehen. Es empfiehlt sich eine Art Einstufungstest im Vorhinein, sodass die Anwender:innen ihren Kenntnisstand selbst einschätzen und das geeignete Angebot wählen können. Da die PALM-Entwicklungsstelle jedes Jahr mindestens ein neues Release von PALM-4U veröffentlicht (siehe dazu ProPolis Verstetigungsstrategie, Winkler und Cortekar 2023), muss auch die GUI sowie die inhaltliche Zusammensetzung von Schulungsprogrammen kontinuierlich aktualisiert und weiterentwickelt werden (siehe dazu Kapitel 4.3 zur Weiterentwicklung und Konfiguration der praktischen Anwendung).

Bezogen auf die Präsenz-Formate oder Online-Formate empfiehlt es sich, die Schulungen sowohl als Präsenzveranstaltungen als auch im virtuellen Format anzubieten. Insbesondere wird eine Kombination aus Online-Schulungen, Fragerunden und Lernvideos empfohlen. Bei der Konzeption von Schulungsangeboten nach Projektende sollen individuelle Präferenzen sowie unterschiedliche Voraussetzungen bei den anwendenden Organisationen berücksichtigt werden (Reiseaufwand, Kosten, Teilnehmerszahl, technische Ausstattung etc.). Bei zentralen Präsenzs Schulungen soll den Teilnehmenden die benötigte Hard- und Software zur Verfügung gestellt werden. Bei individuellen Vor-Ort oder Online-Schulungen empfiehlt es sich, die IT-Regelungen der teilnehmenden Organisation zur Verwendung bestimmter Software (bspw. GIS-Programme für die Eingangsdatenaufbereitung) im Voraus zu klären.

Die Voraussetzungen für Online- und Präsenzs Schulungen können sich hinsichtlich der optimalen Teilnehmerszahl unterscheiden: Daher empfiehlt es sich, unterschiedliche Gruppengrößen unter Berücksichtigung verschiedener Kompetenzniveaus anzubieten. Dabei soll ein Schulungsmodul nicht länger als 2 Tage und ein Schulungstag nicht länger als 6 Stunden dauern (Online sowie in Präsenz). Ausreichend Möglichkeiten für Fragen, Interaktion und Diskussion während einer Schulung sind einzuplanen.

Bezüglich Anleitungen und Nutzerhandbuch wird empfohlen, nach Projektende neben Schulungsangeboten eine Bandbreite von Anleitungsunterlagen zur Verfügung zu stellen. Je nach Arbeitsweise präfe-

rieren einige Anwender:innen Selbstlernen mit schriftlichen Anleitungen, andere greifen auf den technischen Support zurück bzw. brauchen eine individuelle Unterstützung. Über das GUI-Hilfe-Menü bekommen die angemeldeten Nutzer:innen kostenfrei Zugang zur GUI-Dokumentation (siehe ProPolis GUI-Dokumentation, Winkler et al. 2023a), in welchem die GUI-Anwendung Schritt-für-Schritt erklärt wird. Für andere im Projekt erarbeitete Anleitungen (bspw. Selbstlernvideos) und Schulungsangebote werden nach Projektende zusätzliche Kosten anfallen. Das zum Projektende erscheinende PALM-4U Handbuch für die Praxis (siehe ProPolis PALM-4U Handbuch für die Praxis, Krüger et al. 2023) wird eine Übersicht über die verfügbaren Hilfestellungen anbieten und auf geeignete Support- und Schulungsformate verweisen. Dieses Handbuch sowie die in der GUI integrierten Anleitungen müssen auch künftig mit der fortschreitenden Modell- und GUI-Entwicklung übereinstimmen und stets inhaltlich relevant gehalten werden. Die Schulungsinhalte, Videos und weitere Unterlagen sollen nach Projektende in deutscher sowie in englischer Sprache angeboten werden.

Hinsichtlich der Supportangebote hat sich das aufgesetzte Ticketing-System als ein praktikables und nutzerfreundliches Tool bewährt und soll auch künftig als eine zentrale Anlaufstelle bei technischen Problemen dienen. Bei komplexeren Fragen finden einige Praxispartner:innen auch weitere Supportmöglichkeiten bedarfsgerecht, wie z. B. individuelle Telefon- oder Videogespräche. Nach Projektende können je nach Support-Angebot zusätzliche Kosten anfallen. Hierfür ist es empfohlen, ein festes Support-Kontingent anzubieten und pro Zeiteinheit abzurechnen. Dabei müssen insbesondere die finanziellen Voraussetzungen von kommunalen Selbstanwender:innen berücksichtigt werden. Außerdem wird empfohlen, auch nach Projektende einen Raum für informelle Austauschmöglichkeiten anzubieten, um einen niederschweligen kollegialen Support zu befördern. Ein Online-Forum soll weitergeführt werden, Community Workshops sollen organisiert werden usw. (siehe dazu ProPolis Empfehlungen Community of Practice, Heese et al. 2023a). Es wird auch künftig Nutzer:innen geben, sowohl DLE als auch ASN, die den gesamten Modellierungsprozess inkl. Erstellung eines Simulationsgutachtens extern vergeben, weil bspw. die Simulationen im eigenen Hause nicht immer ein wissenschaftliches Fachgutachten ersetzen können. Außerdem ist der Aufbau von fachlichen und technischen Kompetenzen für die selbstständige Anwendung von PALM-4U in Kommunen ein zeit- und kostenintensiver verwaltungsinterner Prozess, während einige Arbeitsschritte auch extern beauftragt werden können. Auch in Zukunft soll die Inanspruchnahme unterstützender Dienstleistungen wie z. B. PALM-4U konforme Eingangsdatenaufbereitung, eine Erläuterung oder Präsentation der Simulationsergebnisse im Fachauschuss gegen Entgelt ermöglicht werden.

Unter Kostenaspekten müssen für die künftige Qualifizierung die finanziellen Rahmenbedingungen und Vergabeprozesse in Kommunen unbedingt in Betracht gezogen werden. Zum einen steht einigen Kommunen oft nur ein begrenztes Budget für Fortbildungen zur Verfügung, zum anderen muss stets abgewogen und argumentiert werden, für welche zusätzlichen Aufgaben die Sach- bzw. Personalmittel freigegeben werden können. Einige im Projekt erarbeiteten Inhalte werden auch nach Projektende kostenfrei veröffentlicht, wie der Anwendungskatalog (siehe ProPolis Anwendungskatalog, Burmeister et al. 2023) die in der GUI integrierte GUI-Dokumentation sowie das (übergeordnete) PALM-4U Handbuch für die Praxis. Für andere, wie bspw. Schulungsangebote, Lernvideos und individueller Support werden künftig zusätzliche Kosten anfallen. Um den Zugang zum PALM-4U Modell einem breiteren Nutzerkreis zu gewährleisten, müssen wirtschaftlich tragfähige Optionen für die Qualifizierung der

Nutzer:innen angeboten werden, bspw. in Form von modularen Fortbildungsprogrammen und bedarfsgerechten Support-Kontingenten.

Schließlich ist die Qualifizierung der Nutzer:innen durch eine Bandbreite von Schulungs-, Service- und Supportformaten unabdingbar, um die Praxistauglichkeit vom PALM-4U Modell zu gewährleisten. Sämtliche Angebote sollen zentral und einfach zugänglich sein.

#### 4.7 Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe

Die Integrierbarkeit in bestehende Arbeitsstrukturen und Prozesse umfasst technische und nicht-technische Aspekte. Neben technischen Voraussetzungen wie IT-Ressourcen und Betriebsmodellen gehören zur Integrierbarkeit die personellen Ressourcen und eine klare Zuordnung von Arbeits- und Prozess-Schritten bei der Modellierung, v. a. die Eingangsdatenaufbereitung und Ergebnisauswertung sowie das Modell-Hosting. Darüber hinaus umfasst die Integrierbarkeit Aspekte der Anwendungsumgebung. Insbesondere geht es zum einen um die Frage, ob PALM-4U Ergebnisse produzieren kann, die für die Bewältigung der kommunalen Aufgaben relevant sind. Und zum anderen darum, wie diese Ergebnisse in Beurteilungs-Prozesse und die Erarbeitung von Maßnahmen der nachhaltigen Stadtentwicklung integriert werden können.

Da zum Zeitpunkt der Bewertung die zu evaluierenden Gegenstände nicht vollständig vorliegen bzw. sich noch in der (Weiter-)entwicklung oder Erprobung befinden, werden in diesem Kapitel keine Anforderungen bewertet. Vielmehr werden auf Grundlage der Erkenntnisse aus dem Projekt Empfehlungen abgegeben, die praktische Voraussetzungen für eine erfolgreiche Integrierbarkeit von PALM-4U in (kommunale) Arbeitsabläufe beinhalten. Methodische Grundlage für die Empfehlungen stellen die Ergebnisse der Kurzumfragen in Form einer Likert-Skala und die Diskussionsergebnisse aus den ExLabs dar.

##### 4.7.1 Bewertung der Anforderungen (tabellarisch)

Tabelle 11: Anforderungen Kategorie 7 Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe (Likert-Skala)

Nr.	ID	Basisinformation Beschreibung Abnahmekriterium	Anzahl der ASN	Evaluation durch ASN					Evaluation durch KOEXP	
				Stimme zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu		Kann ich nicht bewerten
282	27.82	In der CoP soll ein Diskurs zwischen Praxispartner und Wissenschaft zum Thema Aufbau und Erweiterung eines eigenen Messnetz zur Erfassung von Klimadaten angeregt werden.	n = 23	5	7	5	1	0	5	Weder noch
283	27.267	Die Einarbeitung in das Modell muss im Rahmen der Arbeitszeit im alltäglichen Arbeitsprozess möglich sein.	n = 23	15	7	0	1	0	0	Stimme eher nicht zu
284	27.268	Die verwaltungsinternen Daten sind vor dem Zugriff von Dritten geschützt. In einer Nutzungsvereinbarung von PALM-4U muss festgehalten werden,	n = 23	11	6	1	0	1	4	Stimme zu

		dass die verwaltungsinternen Daten vor dem Zugriff Dritter geschützt sind.											
285	27.285	PALM-4U beantwortet gegenwärtig und zukünftig relevante stadtklimatologische Fragestellungen und ist ausgereift, d.h. die Modellergebnisse sind validiert und der Code ist verifiziert.	n = 0										Stimme zu
286	27.286n	PALM-4U ist an Rechnern nutzbar, die üblicherweise in Kommunen genutzt werden, d.h. auch ohne Hochleistungsrechner. Die Nutzung von PALM-4U ist dann alternativ auch über einen Remote-Zugriff möglich.	n = 23	10	5	1	1	0	6				Stimme nicht zu
287	27.288	Die Nutzung des PALM-4U muss in der Arbeitsplatzbeschreibung aufgeführt werden.	n = 23	3	4	5	1	1	9				Stimme zu
288	27.290	In einer Nutzungsvereinbarung von PALM-4U muss darauf hingewiesen werden, dass es sich um ein fachlich-wissenschaftliches Modell handelt, nicht um ein Laien-Modell.	n = 23	8	6	2	2	0	5				Stimme eher zu
289	27.291	PALM-4U muss Grenzwerte berechnen können.	n = 0										Stimme eher zu
290	27.321	PALM-4U muss einen Anwendungsfall für eine gesamtstädtische Berechnung in nur wenigen Tagen modellieren.	n = 0										Weder noch
291	27.324	Für PALM-4U muss es verschiedene Betriebsmodelle geben. Eines davon muss eine Abo-Lösung sein.	n = 23	5	6	3	1	1	7				Stimme zu
292	27.336	PALM-4U muss einen Anwendungsfall für eine teilstädtische Berechnung in nur wenigen Stunden modellieren.	n = 0										Weder noch
293	27.340	In einer Nutzungsvereinbarung von PALM-4U müssen die anfallenden Kosten eines Remote-Zugriffs auf PALM-4U festgehalten werden.	n = 23	13	3	2	0	0	5				Stimme zu

In den ExLabs der ASN werden die Teilnehmenden gebeten, eine Kurzumfrage auszufüllen, deren Ergebnisse in Tabelle 11 dargestellt sind. Da neben den ASN auch Teilnehmende geantwortet haben, die nicht an der Bearbeitung des kommunalen Anwendungsfalls mit PALM-4U beteiligt waren, gibt es einen hohen Anteil Antworten „kann ich nicht beurteilen“. Die größte Diskrepanz gibt es bei den Anforderungen **Nr. 282** (Messnetz), **287** (Arbeitsplatzbeschreibung), während die übrigen Anforderungen überwiegende Zustimmung erhalten. Bei Anforderung **Nr. 286** (Art der Rechner) weicht die Expert:innen-Meinung von der Einschätzung der kommunalen Vertreter:innen ab, da die Ausstattung von PCs, die üblicherweise in Kommunen genutzt werden, nicht ausreichend ist für Simulationen mit PALM-4U. Die Anforderung **Nr. 285** wird im Zusammenhang mit den Kapiteln 4.1 zu stadtklimatologischen Fragestellungen und 4.2 zur wissenschaftlichen Belastbarkeit der Modellergebnisse betrachtet.

#### 4.7.2 Ergebnisse weiterer Methoden

Für eine sinnvolle Bewertung der tabellarisch dargestellten Ergebnisse müssen weitere Methoden in die Empfehlungen einfließen. Hierbei handelt es sich um die Diskussionsergebnisse aus den ExLabs der DLE und ASN sowie der thematischen ExLabs.

Seitens der kommunalen Praxispartner:innen besteht ein großes Interesse an der Anwendung des Modells PALM-4U im Rahmen von Planungen zur nachhaltigen Stadtentwicklung. Insgesamt wird durch Stadtklimamodellierung eine qualitätsvollere Berücksichtigung von Klimaaspekten im Kontext der Entwicklung des urbanen Raums gesehen. Die Visualisierungsmöglichkeiten spielen bei der Vermittlung von Simulationsergebnissen eine wichtige Rolle. Hierdurch wird die Transparenz erhöht und gleichzeitig die Entscheidungsgrundlage verbessert. So kann die Akzeptanz von Maßnahmen z. B. bei der Politik, der Verwaltungsspitze, bei Investor:innen sowie Bürgerinnen und Bürgern gesteigert werden. Es wird von Praxispartner:innen darauf hingewiesen, dass die Präsentation vorläufiger oder von Zwischener-

gebnissen u. U. *Schwierigkeiten* mit sich bringen kann und diese dementsprechend sensibel als *Varianten von PALM-4U* kommuniziert werden müssen. Insgesamt wird von den Praxispartner:innen eine *Einbettung der Simulation in reguläre Verfahren der Verwaltung* als essenziell für die Integration des Modells in die kommunale Praxis gesehen (Protokoll ExLab G Evaluation).

Zur Relevanz des Bereitstellens verschiedener Betriebsmodelle, u. a. einer Abo-Lösung (Anforderung **Nr. 291**) gibt es Zustimmung von den Praxispartner:innen sowie von den KOEXP. Da in den meisten Städten technische Ressourcen für die Arbeit mit PALM-4U fehlen, können Voraussetzungen in Form einer Cloud- und Abo-Lösung ermöglichen, ohne Verständnis der technischen Infrastruktur im Hintergrund Modellrechnungen mit PALM-4U durchzuführen. Die anfallenden Kosten (Anforderung **Nr. 293**) müssen transparent sein. Die Anforderung **Nr. 286** *PALM-4U ist an Rechnern nutzbar, die üblicherweise in Kommunen genutzt werden, d.h. auch ohne Hochleistungsrechner. Die Nutzung von PALM-4U ist dann alternativ auch über einen Remote-Zugriff möglich* wird von den Praxispartner:innen als sehr relevant eingeschätzt. Zwei der Praxispartner:innen realisieren in der Projektlaufzeit die Anschaffung von eigener Hardware für die PALM-4U Modellierung. Sie argumentieren, eine eigene Workstation innerhalb der Kommune biete den Vorteil, dass Tests und Variantenrechnung ohne zusätzliche Kosten durchgeführt werden können. Zudem sei für sie die Anschaffung von Hardware im Haushalt einfacher zu begründen als eine Dienstleistung in Form einer Abo-Lösung (Protokolle ExLabs ASN). Dem steht gegenüber, dass das Betriebssystem LINUX, unter dem PALM-4U läuft, ein Hindernis für viele Kommunen darstellt und dementsprechend ein Support schwieriger zu gewährleisten ist. Zudem ist zu beachten, dass PALM-4U sehr hohe Anforderungen an die Computer-Hardware stellt und die daher nötigen leistungsfähigen High-Performance-Computing-Workstations die Anschaffungskosten üblicher Hardware um ein Mehrfaches überschreiten. Des Weiteren ist bei einer lokalen Lösung mit längeren Bearbeitungszeiten zu rechnen, da auf einer Workstation Simulationen nacheinander gerechnet werden, während bei der Cloud-Lösung mehrere Simulationen parallel laufen können.

Neben den technischen Ressourcen stellen die personellen Ressourcen eine Herausforderung für die Anwendung von PALM-4U dar. In den meisten Kommunen gibt es weder eine Expertise in der Stadtklimamodellierung noch eine für Modellierungen zuständige Stelle. Das bedeutet, dass die Arbeit mit PALM-4U als zusätzliche Aufgabe zu den bereits vorhandenen hinzukommt und oftmals Kenntnisse in der Anwendung von Stadtklimamodellen fehlen. Die Praxispartner:innen geben hier als Feedback, dass der personelle Aufwand der Modellierung *nicht zu unterschätzen* sei und *kein Prozess mal so nebenbei* ist (Protokoll ExLab G). Die Anforderung **Nr. 283** *Die Einarbeitung in das Modell muss im Rahmen der Arbeitszeit im alltäglichen Arbeitsprozess möglich sein* wird dahingehend als sehr relevant eingeschätzt.

Des Weiteren sind Kompetenzen in der Aufbereitung von Geo- und Plandaten notwendig und zumindest Grundkenntnisse in der Arbeit mit GIS-Software empfehlenswert. Einige Praxispartner:innen empfinden es als sinnvoll, wenn zukünftig innerhalb der Verwaltung eine zentrale Stelle für die Modellierung verantwortlich ist (Protokolle ExLabs ASN). Die Anwendung des Modells über die GUI könnte zwar auch durch fachlich nicht-spezialisierte Personen erfolgen, da die GUI jedoch viele Parameter und Einstellungsoptionen bietet und die Interpretation der Ergebnisse Fachexpertise erfordert, ist die Anwendung durch geschultes Personal sinnvoll. Zumindest ist, so wird es von Praxispartner:innen betont, ein *technisch fachliches Umfeld* und fachbereichsübergreifende Zusammenarbeit förderlich (Protokoll

ExLab G). Grundsätzlich gilt, dass die Ergebnisse durch die anwendenden Personen erklärbar sein müssen (z. B. der Einfluss von Rahmenbedingungen, die Bedeutung von Datenausreißern etc.). Aus Sicht der kommunalen Praxis wären daher Plausibilitätskontrollen, Hinweise auf mögliche Fehlerquellen und Interpretationshilfen bis zur modellseitigen Unterstützung bei der Ableitung von Handlungsempfehlungen (Protokolle ExLabs ASN) wünschenswert.

In vielen Kommunen wird darüber hinaus der Wunsch geäußert, die Interpretation der Ergebnisse durch Automatisierung in der GUI oder durch Festlegung von Grenzwerten zu vereinfachen, welche die Bewertung der Ergebnisse erleichtern (Protokolle ExLabs ASN). Beim in der GUI implementierten Anwendungsfeld „Windkomfort“ gibt es eine Bewertungsgrundlage nach VDI 3787 Blatt 4. Ebenso gibt es gesetzliche Grenzwerte für Luftschadstoffe. Im Anwendungsfeld „Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt“ fehlen diese Grenzwerte jedoch, sodass eine einheitliche Bewertung der stadtklimatischen Änderungen nicht möglich ist. Aus diesem Grund ist es essenziell, dass die kommunalen Mitarbeitenden Kenntnisse im Bereich der Stadtklimatologie und Stadtklimamodellierung haben, da die GUI die Interpretation der Ergebnisse nicht übernehmen kann.

Die Bearbeitung von stadtklimatologischen Fragestellungen, z. B. im Rahmen von kommunalen Planungsprozessen, geschieht häufig unter engen zeitlichen Restriktionen (Protokolle ExLabs ASN). Dementsprechend würde auch der Einsatz von PALM-4U ein kurzfristiges Erzeugen von Modellierungsergebnissen erfordern, sowohl bei gesamtstädtischen als auch bei kleinräumigen Fragestellungen. Welche Auflösung sinnvoll ist, wird abhängig von der Fragestellung gewählt, d. h. höhere Auflösungen für die Gebäude- und Quartiersebene und gröbere Auflösungen für gesamtstädtische Betrachtungen. Die Rechenzeit der Modellierung hängt bspw. von der gewählten Auflösung, der räumlichen Ausdehnung, den gewählten Modulen (thermische Konvektionen, einzeln aufgelöste Bäume etc.), der Modellzeit oder der Anzahl der verfügbaren Prozessoren ab. Daher lässt sich, mit Blick auf die Anforderung **Nr. 290** und **Nr. 292**, nicht eindeutig beantworten, ob eine gesamtstädtische Rechnung in wenigen Tagen und teilstädtische Berechnungen in wenigen Stunden durchgeführt werden können. Es kann jedoch festgehalten werden, dass eine hochaufgelöste gesamtstädtische Simulation lediglich auf Supercomputern oder Computer-Clustern möglich und mit hohen Kosten verbunden ist.

Die selbstständige Anwendung von PALM-4U wird eine aktuell oft gängige Begutachtung durch ein externes Fachbüro, insbesondere bei aufwendigeren Simulationen, auf absehbare Zeit nicht ersetzen können. Die eigene Anwendung ermöglicht jedoch kurzfristig durchzuführende überschlägige Abschätzungen und Vorab-Analysen. Die Modellierung von Varianten wird in diesem Zusammenhang als sehr wichtig eingeschätzt (Protokolle ExLabs ASN, Protokoll ExLab G).

Zur Anforderung **Nr. 282** zum Diskurs in der CoP zum Thema Aufbau und Erweiterung eines eigenen Messnetzes zur Erfassung von Klimadaten wird als Feedback von den Praxispartner:innen zurückgespielt, dass dies Relevanz hat, die Umsetzung des Messnetzes in den meisten Kommunen allerdings nur im Rahmen von Projekten oder Kooperationen mit Forschungsinstituten und Universitäten umgesetzt würde (Protokolle ExLabs ASN).



### 4.7.3 Empfehlungen

Die Anwendung von PALM-4U erfordert Grundkenntnisse der Stadtklimamodellierung, die ggf. in der kommunalen Verwaltung aufgebaut werden müssen. Gleiches gilt für die Interpretation der Simulationsergebnisse mit Hilfe der GUI, die viele Voreinstellungen hat und Grenzwerte im Bereich Windkomfort und Schadstoffe einbindet. Da es keine Grenzwerte im Bereich Hitzebelastung gibt und eine Interpretation der Ergebnisdarstellungen immer vorgenommen werden muss, sind Kenntnisse der Stadtklimatologie und Stadtklimamodellierung unerlässlich. Hinsichtlich fehlender personeller Ressourcen oder fehlender Kenntnisse in der Stadtklimatologie kann entweder eine zusätzliche Stelle in der Kommune geschaffen werden oder in der Arbeitsplatzbeschreibung einer bereits vorhandenen Stelle festgehalten werden, dass Stadtklimamodellierung ein Teil der Aufgaben ist. Im letzteren Fall könnte bei einer Neubesetzung Personal mit Kenntnissen in der Stadtklimamodellierung rekrutiert werden, sodass die Einarbeitung im Rahmen der alltäglichen Arbeitszeit schneller gelingt. Alternativ und darüber hinaus kann das Wissen durch Schulungen und Schulungsmaterial nachträglich erworben werden. Für die Aufbereitung der Geodaten ist es empfehlenswert, das kommunale Referat für Geodaten zu involvieren.

Entscheidend ist darüber hinaus die institutionelle Verankerung der Zuständigkeit der Modellanwendung bei einer Verwaltungseinheit bzw. der Aufbau einer zentralen Anlaufstelle in der kommunalen Verwaltung zur Bündelung von Modellierungsaufgaben. Haben Kommunen Interesse am Aufbau eines Messnetzes, sind dementsprechende Ansprechpartner:innen in der CoP hilfreich. Darüber können Kommunen eigeninitiativ eine fachliche Diskussion anregen.

Wenn in einer Kommune LINUX- und Modellierkenntnisse vorhanden sind sowie sehr regelmäßig Simulationen anfallen, kann die Anschaffung einer eigenen Workstation sinnvoll sein. In den meisten Fällen ist jedoch eine Cloudlösung mit Support zu bevorzugen oder als Ergänzung zu einer eigenen Workstation empfehlenswert. Die Modellierung hochaufgelöster ( $\leq 5$  m) Gebiete im Bereich 2x2 km, auch als Nesting eingebunden in ein größeres Gebiet mit gröberer Auflösung, kann ohne Schwierigkeiten und mit moderater Rechenzeit durchgeführt werden. Demgegenüber ist eine hochaufgelöste gesamtstädtische Rechnung mit PALM-4U nach derzeitigem Stand zu rechenintensiv und kostenaufwendig und bedarf einer differenzierten Abwägung.

## 5 Reflexion und Ausblick

Wie in Abbildung 24 dargestellt, werden von den insgesamt 293 Anforderungen an die Modellpraktikabilität, die sich in sieben Kategorien verteilen, 186 mit „erfüllt“, 26 Anforderungen mit „teilweise erfüllt“ und 36 Anforderungen mit „nicht erfüllt“ bewertet. 18 Anforderungen können nicht bewertet werden und 27 Anforderungen werden mit einer Likert-Skala von „stimme zu“ bis „stimme nicht zu“ Bewertet. Abbildung 25 zeigt die Bewertung der Anforderungen in allen 7 Kategorien.

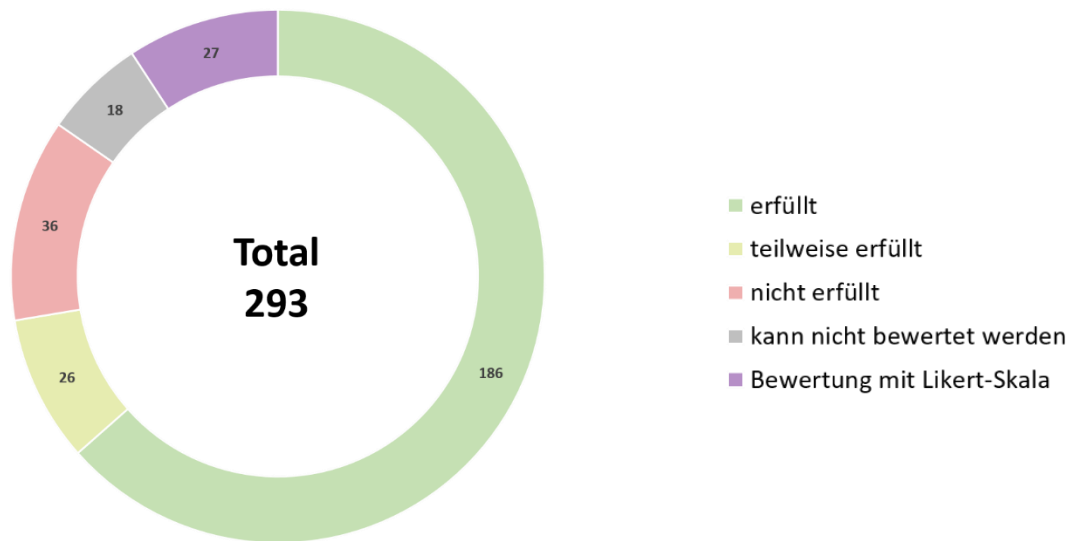


Abbildung 24: Bewertung der Anforderungen gesamt

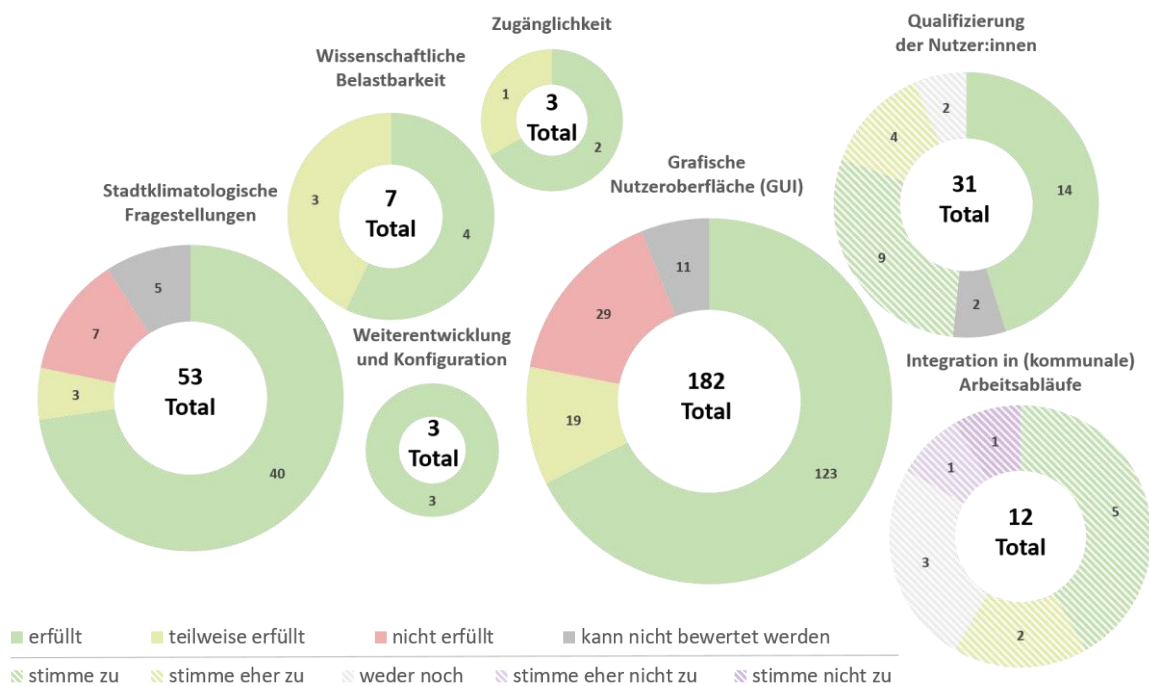


Abbildung 25: Bewertung der Anforderungen in allen 7 Kategorien

Die Evaluation der Anforderungen an die Modellpraktikabilität zeigt, PALM-4U ist, mit einigen Einschränkungen, praxistauglich und kann unter Berücksichtigung der formulierten Empfehlungen nach Projektende in den operativen Betrieb überführt werden. PALM-4U kann die tägliche Planungsarbeit im städtischen Umfeld effektiv unterstützen und so dazu beitragen, die Berücksichtigung von Klima- und Klimawandelaspekten und die Anpassung daran qualitativ zu steigern.

Nach der Evaluation der sieben Kategorien in Kapitel 4 wird im Folgenden ein Fazit mit Blick auf die Definition zur Modellpraktikabilität (siehe Kapitel 2.1) gezogen, indem zentrale Erkenntnisse der Kategorien herausgestellt und wichtige Aspekte der Evaluation reflektiert und diskutiert werden. Es wird im Zuge dessen erörtert, ob und inwieweit nicht erfüllte Anforderungen kritisch für die Praxistauglichkeit des Modells sind und Empfehlungen hervorgehoben, die die Praxistauglichkeit maßgeblich beeinflussen. Die Bandbreite der Empfehlungen reicht hierbei von konkreten technischen Aspekten bis hin zu weitreichenden Empfehlungen zur kommunalen Anwendungsumgebung.

#### Gegenwärtig und zukünftig relevante stadtklimatologische Fragestellungen

Das Stadtklimamodell PALM-4U kann in der aktuellen Version zum Stand Dezember 2022 (Institute of Meteorology and Climatology, MUK 2022) die untersuchten gängigen stadtklimatologischen Fragestellungen aus den Themenfeldern Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt, Windkomfort und Sturmgefahren sowie Schadstoffausbreitung beantworten. Entwicklungsbedarf gibt es bei genaueren statistischen Auswertungen, die das Modell zum aktuellen Entwicklungsstand nicht darstellen kann. Insbesondere bei der Schadstoffausbreitung bedarf es zudem weiterer Anwendungsfälle, um auch zukünftig relevante stadtklimatologische Fragestellungen beantworten zu können. Hier beruht die Evaluation auf nur einem Anwendungsfall zur Feinstaubbelastung. Essenziell zu nennen ist hier zudem, dass die Anforderung einer automatisierten Ausgabe von Handlungsempfehlungen zwar von den Praxispartner:innen erwünscht, durch das Modell aber nicht möglich ist. Hier bedarf es immer einer individuellen Interpretation der Ergebnisse, die Handlungsempfehlungen müssen individuell an die kommunalen Voraussetzungen angepasst werden. Dies ist insbesondere beim thermischen Komfort relevant, bei dem es keine Richt- bzw. Grenzwerte gibt. Auch wichtig zu nennen ist, dass für die kommunalen Nutzer:innen die Anwendung von PALM-4U i.d.R. unmittelbar an die GUI geknüpft ist, d. h. einige Modellfunktionalitäten des Modells, die nicht in der GUI verfügbar sind, können in diesen Fällen nicht genutzt werden.

#### Wissenschaftliche Belastbarkeit der Modellergebnisse

Die wissenschaftliche Belastbarkeit durch eine Validierung des Modells und der Modellergebnisse sowie eine Verifizierung des Codes hat sich für die Praxispartner:innen als besonders bedeutend herausgestellt. Es wird die Empfehlung ausgesprochen, dass daher über die Projektlaufzeit hinaus regelmäßig und in den relevanten Anwendungsfeldern weitere Validierungen durchgeführt und an zentraler Stelle gebündelt sowie ausgewertet werden sollten, insbesondere bei einem Release neuer PALM-4U Versionen. Da die aktuelle Modellvalidierung und Verifizierung, die durch Modul A und Modul B durchgeführt werden, zum Zeitpunkt der Evaluation (Stand Dezember 2022) noch nicht abgeschlossen sind, können hierzu noch keine konkreten abschließenden Schlüsse gezogen werden. Hier wird auf die Endberichte von MOSAIK 2 und 3DO+M verwiesen (siehe dazu Endbericht Modul A MOSAIK 2, Maronga

und Raasch 2023 und Endbericht Modul B 3DO+M, Scherber et al. 2023). Bereits vorhandene Validierungsdurchläufe und Verifizierungsschritte sowohl im Rahmen von [UC]<sup>2</sup> als auch anderer wissenschaftlicher Veröffentlichungen (ExLab Modulübergreifend 1) lassen allerdings die Validität des Modells erwarten.

#### Weiterentwicklung und Konfiguration der praktischen Anwendung

Die Möglichkeit, auch nach Projektende das Modell für die praktische Anwendung weiterentwickeln und konfigurieren zu können, wird durch die Verfügbarkeit von technischen Schnittstellen des Modells, die die Anbindung nutzer erstellter Plug-Ins ermöglichen, gewährleistet. Erweiterungen und Konfigurationen sind skriptbasiert möglich, was allerdings nur mit erweiterter Expertise möglich ist. Nach der Einschätzung der ProPolis Expert:innen ist diese Expertise in den Kommunen nicht durchgängig vorhanden, daher wird eine breite Nutzung dieser Möglichkeiten für die kommunale Praxis nicht gesehen. Die Evaluator:innen empfehlen daher, dass bei Weiterentwicklungen, die wie bisher „hinter den Kulissen“ stattfinden sollen, das Feedback der Nutzer:innen systematisch eingebunden wird. Dies ist eine Voraussetzung, damit PALM-4U auch unter neuen Anforderungen in der kommunalen Praxis eingesetzt werden kann. Hierbei ist es wichtig, dass allen Beteiligten bekannt ist, an welcher Stelle und zu welchem Zeitpunkt sie Vorschläge und Anforderungen in die Entwicklung von PALM-4U und der GUI einbringen können. Dafür wird in der Verstetigungsstrategie (siehe dazu ProPolis Verstetigungsstrategie, Winkler und Cortekar 2023) eine Koordinationsstruktur des PALM-4U Community Modells vorgeschlagen, die auch nichtwissenschaftliche Akteur:innen explizit einbindet.

Da diese Kategorie („Weiterentwicklung und Konfiguration der praktischen Anwendung“) eher technischer Natur ist, wird die Evaluation ausschließlich von den KOEXP durchgeführt und die Praxisanwender:innen nicht dazu befragt. Ob eine Anwendung der Plug-Ins durch die Nutzenden erwünscht bzw. die entsprechende Expertise in den Kommunen vorhanden ist, sollte in Zukunft geprüft werden

Die Weiterentwicklung und Konfiguration sind im Sinne der Praxistauglichkeit nicht nur für PALM-4U, sondern insbesondere für die GUI von zentraler Bedeutung. Die GUI, über die die kommunale Nutzung i.d.R. erfolgt, muss dem Stand der Technik von PALM-4U gemäß kontinuierlich weiterentwickelt werden, um die Praxistauglichkeit im operativen Betrieb sicherzustellen.

#### Dauerhafte Zugänglichkeit

Das Modell und die GUI werden als Open-Source Software für alle fachlich-qualifizierten Interessengruppen zur Verfügung gestellt und somit Praxisanwender:innen dauerhaft zugänglich gemacht. Die Durchführung von Rechnungen soll durch eine Cloud-Lösung gewährleistet werden, hier ist für einen langfristigen Zugang Cloud-Speicherplatz für die remote Nutzung essenziell. Für nach Projektende gibt es eine Verstetigungsstrategie. Die Vereinbarung für ein Betriebsmodell mit konkreten Festlegungen zu Rechenkapazitäten in der Cloud sowie zu Kosten befindet sich zum Zeitpunkt der Evaluation noch in der Klärung. Die Ressourcen werden aber mindestens für die kommenden zwei Jahre für die Nutzer:innen zur Verfügung stehen.

### Nutzerfreundliche grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Das Modell verfügt über eine nutzerfreundliche Benutzeroberfläche (GUI), die es Praxisakteur:innen ermöglicht, das Modell selbst und für ihre Zwecke anzuwenden (siehe GUI-Plattform, Winkler et al. 2023b). Die Anforderungen an die GUI zur einfachen Aufbereitung der Eingangsdaten sowie einer verständlichen und nutzerbedarfsorientierten Visualisierung der Ausgabedaten sind weitestgehend erfüllt. Die gesamte Konzeption und Entwicklung der GUI fand von Anfang an entlang der Anforderungen aus der Praxis statt. Im Ergebnis kann sie intuitiv und niedrigschwellig bedient werden. Lediglich einige Funktionalitäten kann die GUI im aktuellen Entwicklungsstand nicht erfüllen. Zum einen ist dies dadurch bedingt, dass auch das PALM-4U Modell diese nicht leistet. Zum anderen wurden in Abstimmung mit den Praxispartner:innen bestimmte Vorannahmen und -entscheidungen getroffen. Anhand der Praxispartner:innen-Anwendungsfälle wurden idealtypische Setups mit der Annahme entwickelt, einen großen Teil der kommunalen Anwendungen damit abdecken zu können. Diese auf der GUI integrierten Anwendungsfälle spiegeln nicht alle Funktionen und Module von PALM-4U wieder. Dafür ist aber bspw. ein Fokus auf die Eingangsdatenbearbeitung sowie die Visualisierung gesetzt worden, so dass die GUI viele Funktionen besitzt, die die Modellfunktionalitäten deutlich in Richtung Nutzerfreundlichkeit erweitern. Der sich aktuell noch in der Entwicklung befindende Expertenmodus für Simulationssetups wird in Zukunft auf der GUI einen deutlich umfangreicheren Zugriff auf die Modellfunktionalitäten als in den Anwendungsfeldern ermöglichen. Hier ist jedoch anzumerken, dass dies auch auf Seiten der Anwender:innen ein tiefgehendes Verständnis des PALM-4U Modells voraussetzt.

Die GUI ist zentraler Teil und „Herzstück“ der Praxistauglichkeit und eines der Alleinstellungsmerkmale des PALM-4U Modells: Allein das Vorhandensein einer grafischen Benutzeroberfläche ist Voraussetzung für die Anwendung in der Praxis. Mit 62 % (182/293) der formulierten Anforderungen wird die Wichtigkeit der GUI sichtbar. Da die Praxisanwender:innen (ASN) nur ihre eigenen Fragestellungen bearbeiten, demnach auch nur diesbezüglich Kenntnisse und Erfahrungen besitzen und nicht alle GUI- und Modellkomponenten kennen, werden nur 11 von 182 Anforderungen durch die ASN bewertet. Daraus lässt sich ableiten, dass diese 11 GUI-spezifischen Aussagen der ASN für die Praxistauglichkeit eine große Bedeutung haben. Dies gilt ebenso für Abweichungen zwischen der KOEXP-Evaluation und der Evaluation durch die ASN. Das Feedback der Nutzer:innen ist auch für die zukünftige Weiterentwicklung der GUI essenziell. Die 11 Anforderungen an die GUI, die nicht bewertet werden können, werden nach aktuellem Wissensstand zum Projektende in der GUI umgesetzt und damit verfügbar sein. Eine abschließende Evaluation kann hier aus Gründen der zeitlichen Verzögerung im Projekt nicht vorgenommen werden.

Voreinstellungen und Standard-Setups in der GUI ermöglichen es, auch mit unterschiedlichen Datenverfügbarkeiten und vorhandenen Expertise-Levels Modellrechnungen durchzuführen. Diese Funktionalitäten besitzen eine hohe Relevanz für die kommunalen Anwender:innen. Ein gewisses Grundverständnis der Anwender:innen über stadtklimatische Zusammenhänge sowie Know-How mit Blick auf die Datenaufbereitung und -eingabe stellt nichtsdestotrotz eine Grundvoraussetzung dar. Dies ist insbesondere für die Interpretationsleistungen der Ergebnisse sowie das Ableiten von Handlungsempfehlungen notwendig.

### Qualifizierung der Nutzer:innen

Die Qualifizierung der Nutzer:innen zur Bedienung der GUI und Interpretation der Ergebnisse wird durch eine gezielte Unterstützung mit Produkten, Dienstleistungen, Schulungen und Support gewährleistet. Angebote sind Anwenderschulungen, ein Support-Ticketing System, Gutachten als Service für DLE, Schritt-für-Schritt-Anleitungen sowie ein übergeordnetes PALM-4U Handbuch für die Praxis. Eine Kombination aus Online-Schulungen, Fragerunden bzw. individuellen Sprechstunden und Lernvideos hat sich für die Qualifizierung als praxistauglich herausgestellt. Diese Formate werden in der Erprobung im Zuge des ProPolis Projektes durch die Praxispartner:innen gut angenommen. Dabei sollen bedarfsgerechte Formate – Präsenz-, Online- und Selbstlernangebote – verstetigt werden. Sämtliche Angebote sollen zentral und einfach zugänglich sein.

Die nach Projektende für diese Schulungs-, Service- und Supportangebote anfallenden Kosten werden von Praxisakteur:innen als ein potenzielles Hindernis zur Nutzung angesehen. Dies gilt insbesondere mit Blick auf kleinere Kommunen oder Kommunen mit geringen finanziellen und personellen Ressourcen.

Da einige der Angebote während des Projekts in dem geplanten Umfang nicht implementiert werden konnten (bspw. Präsenzschulungen) bzw. erst zu Projektende vorliegen (bspw. das PALM-4U Handbuch für die Praxis und Simulationsgutachten), wird die Einschätzung zu deren Relevanz mit Blick auf die Verstetigung nach Projektende bei den ASN durch eine Likert-Skala abgefragt. Die Aussagen lassen keine Evaluation im Sinne eines Abnahmekriteriums zu, sondern bieten lediglich die Basis für Empfehlungen zu diesen Angeboten. Eine Empfehlung ist z. B. die Unterteilung in Einführung-, Auffrischung- und Expertenschulungsmodul oder die Empfehlung zu geeigneten Finanzmodellen für Service- und Support-Kontingente, die auf Grundlage des Feedbacks der Praxispartner:innen entwickelt wurden.

### Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe

Da zum Zeitpunkt der Bewertung die zu evaluierenden Gegenstände nicht vollständig vorliegen bzw. sich noch in der (Weiter-)entwicklung oder Erprobung befinden, ähnlich wie in der Kategorie Schulungen, Service und Support, werden in dieser Kategorie keine Anforderungen bewertet. Daher wird die Relevanz der Anforderungen für die ASN mit einer Likert-Skala abgefragt und daraus abgeleitete Empfehlungen ausgesprochen.

Bei der praktischen Integrierbarkeit in (kommunale) Arbeitsabläufe wird der Nutzungskontext von PALM-4U aus technischer sowie nicht-technischer Sicht betrachtet. Aus technischer Sicht stellt sich die Relevanz der Bereitstellung notwendiger IT-Ressourcen, bspw. in Form einer Cloudlösung und einer dazugehörigen Kostentransparenz heraus, aus nicht-technischer Sicht sind personelle Ressourcen, insbesondere mit fachlicher Expertise in der Anwendung und Interpretation von Stadtklimamodellierungen, essenziell. Aus der nicht-technischen Sicht zeigt sich im Rahmen der Evaluation, dass ein großes Interesse der Kommunen daran besteht, PALM-4U z. B. bei Planungen zur nachhaltigen Stadtentwicklung sowie zur Erhöhung der Transparenz und zur Kommunikation in die Zivilgesellschaft anzuwenden. Die frühzeitige Berechnung von Varianten ist in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung.

Aus Sicht der Praxispartner:innen liefert PALM-4U Argumentations- und Entscheidungsgrundlagen und versachlicht die Diskussion. Zwei in ProPolis erstellte Story Books zeigen, wie PALM-4U die Planungspraxis unterstützen kann (siehe ProPolis PALM-4U Story-Books, Heese et al. 2023b).

Die Anwendung des Modells durch die kommunale Verwaltung zeigt, dass eine ressortübergreifende Zusammenarbeit erforderlich ist, z. B. für die Bereitstellung der Eingangsdaten oder die Integration der Simulationsergebnisse in die Verwaltungsprozesse. Dabei soll die konkrete Modellierung durch eine zentrale Verwaltungseinheit umgesetzt werden, um Qualifizierungsmaßnahmen und Personalressourcen kosteneffizient einzusetzen. Eine Integration in die kommunalen Arbeitsabläufe ist aber erst vollzogen, wenn die Modellergebnisse in allen relevanten Fachbereichen verarbeitet werden. Wie dies gelingt, kann erst die weitere Erprobung in der Praxis zeigen. Herausforderungen werden bei der Interpretation der Modellergebnisse gesehen. Daher wird es erforderlich sein, das fachliche Know-How aus- bzw. aufzubauen.

## Ausblick

Die vorliegende Evaluation der Praxistauglichkeit zeigt, dass PALM-4U und die GUI mit den aufgeführten Einschränkungen praxistauglich sind und unter Berücksichtigung der formulierten Empfehlungen nach Projektende in den operativen Betrieb überführt werden können. Die Verstetigungsstrategie zwischen MOSAIK 2, 3DO+M und ProPolis legt die zentralen Rahmenbedingungen und die weiteren Schritte für diesen operativen Betrieb von PALM-4U fest.

Ausblickend greifen nach Abschluss der Fördermaßnahme die im Rahmen der Verstetigungsstrategie getroffenen Vereinbarungen: das kontinuierliche Nutzerfeedback und Impulse für die Weiterentwicklung von PALM-4U, der GUI und aller weiterer Service- und Supportangebote über die Community of Practice werden gesammelt. Das in ProPolis entwickelte Online-Forum wird fortgeführt, zusätzlich werden halbjährlich Community Veranstaltungen in Präsenz oder Online angeboten, auf denen einerseits Neuerungen vorgestellt werden, andererseits aber die genannten Impulse und Feedbacks zu bestehenden Services und anderen Angebote eingeholt werden. Sofern die Umsetzung der Impulse auch die wissenschaftliche Weiterentwicklung (Modul A) betrifft, werden die Anforderungen über eine geeignete Koordinationsstruktur übermittelt und diskutiert.

PALM-4U als praxistaugliches Modell kann zusammen mit den hier beschriebenen Angeboten dazu beitragen, dass Klima- sowie Klimawandelaspekte stärker in kommunales Handeln integriert werden und Klimawissen aufgebaut wird. Offen ist allerdings noch, wie das Modell in die Breite getragen und in den Fachbereichen der kommunalen Verwaltung sowie außerhalb der Verwaltung bekannt gemacht und dann dauerhaft implementiert werden soll.

Nächste Schritte müssen sein, Kommunen zur Nutzung des Modells anzuregen und sie zu befähigen, PALM-4U im Planungsalltag einzusetzen. Dies erfordert zum einen eine aktive Bewerbung von PALM-4U und das Schaffen von Anreizen für kleinere, mittlere und große Städte und Kreise. Zum anderen braucht es verlässliche, kostentransparente, offen zugängliche Unterstützungs- und Qualifizierungsangebote und geeignete Betriebsmodelle. Mit Abschluss der BMBF-Fördermaßnahme „Stadtklima im Wandel“ sind die erforderlichen Produkte und Angebote nun erarbeitet, eine Grundlage für die Verstetigung geschaffen und ein wichtiger Brückenschlag zwischen Forschung und Praxis erfolgt.



## 6 Quellenverzeichnis

Lesehinweis: In **fett** markiert sind die Quellen, wie sie im vorliegenden Evaluationsbericht zitiert werden.

### Interne Dokumente

#### Protokolle

Protokolle Thematische ExLabs (ExLabs A-G; ExLabs 15-19)

**ExLab A** Community of Practice

**ExLab B** Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt

**ExLab C** Schulungen, Services und Support

**ExLab D** Konzept der ExLabs „vor Ort“

**ExLab E** GUI und Eingangsdaten

**ExLab F** Windkomfort

**ExLab G** Evaluation

**ExLab 15** PALM-4U für externe Nutzer:innen

**ExLab 16** Klimawandelszenarien

**ExLab 17** Grüne Infrastruktur

**ExLab 18** Sprechstunden Bedienung PALM-4U

**ExLab 19** Individuelle Planung ExLabs ASN

Protokolle Individuelle ExLabs (ExLabs DLE; ExLabs ASN)

#### Protokolle ExLabs DLE

ExLab Dresden

ExLab Leipzig

ExLab Essen

ExLab Hamburg

ExLab Remscheid

ExLab Berlin Blankenburger-Süden

#### Protokolle ExLabs ASN

ExLab München

ExLab Sweco

ExLab Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf

ExLab Solingen

ExLab Stuttgart

#### Protokolle Modulübergreifende ExLabs

**ExLab Modulübergreifend 1** Validierung u. Verifizierung der anwenderspezifischen Evaluation

**ExLab Modulübergreifend 2** Toleranzgrenzen der anwenderspezifischen Evaluation

#### Umfragen

**Umfragen** in den ExLabs der **DLE**

**Umfragen** in den ExLabs der **ASN**

**Umfragen** zu **Schulungen, Service- und Supportangeboten**

#### Learning-Labs

LL Anwendungsfelder

LL Stand Modellentwicklung, Arbeitsstand der Anwendungsfelder

LL Windkomfort

LL Eingangsdaten und 3D

LL Dach- und Fassadenbegrünung

LL Kaltluftmodellierung

LL p3d-Files / Randbedingungen Thermischer Komfort

LL Erkenntnisse und Herausforderungen bei der Auswertung und Bewertung von PALM-4U Ergebnissen

## 7 Literaturverzeichnis

**Brinkmann, C.; Bergmann, M.; Huang-Lachmann, J.; Rödder, S.; Schuck-Zöller, S. (2015):** Zur Integration von Wissenschaft und Praxis als Forschungsmodus. Ein Literaturüberblick. Report 23, Climate Service Center Germany, Hamburg.

**Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF (2019):** Aufforderung zur Antragseinreichung.

**Burmeister, C.; Henning, J.; Kerschbaumer, A.; Krüger, A.; Mendzigall, K.; Niesel, A. et al. (2023):** PALM-4U Anwendungskatalog für die kommunale Praxis. Grundlagen für die Operationalisierung von PALM-4U – Praktikabilität und Verstetigungsstrategie (ProPolis). [UC]<sup>2</sup> - Stadtklima im Wandel – Phase 2 // Modul C. Online verfügbar unter <https://www.uc2-propolis.de/palm-4u-anwendungskatalog>.

**Cortekar, J.; Willen, L.; Büter, B.; Winkler, M.; Hölsgens, R.; Burmeister, C. et al. (2020a):** Basics for the operationalization of the new urban climate model PALM-4U. In: *Climate Services* 20, S. 100193. DOI: 10.1016/j.cliser.2020.100193.

**Cortekar, J.; Winkler, M.; Steuri, B.; Stratbrücker, S.; Stadler, S.; Antretter, F.; Bender, S. (2020b):** Stadtklima im Wandel. Überprüfung der Praxis- und Nutzertauglichkeit von Stadtklimamodellen. Abschlussbericht Teil 2.

**Dankwart-Kammoun, S.; Hölsgens, R.; Schultze, J. (2019):** Anwendung des Konzepts ‚Nutzungssituation‘ für die Erhebung von Anforderungen an die Modellierung eines neuen Stadtklimamodells im Projekt KliMoPrax. In: *Beiträge aus der Forschung* (204). Online verfügbar unter [https://sfs.sowi.tu-dortmund.de/storages/sfs-sowi/r/Publikationen/Beitraege\\_aus\\_der\\_Forschung/Band\\_204.pdf](https://sfs.sowi.tu-dortmund.de/storages/sfs-sowi/r/Publikationen/Beitraege_aus_der_Forschung/Band_204.pdf), zuletzt geprüft am 22.03.2023.

**DWD (2022):** Nationaler Klimareport. Klima – Gestern, heute und in der Zukunft. Deutscher Wetterdienst, zuletzt geprüft am 10.01.2023.

**Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA) (o. J.):** Proposal for submission to fundingmeasure „Stadtklima im Wandel2“ –Module C. „Basics for the Operationalization of PALM-4U –Practicability and Continuation Strategy“(ProPolis).

**GitLab (2023):** PALM Model System - Releases. Online verfügbar unter [https://gitlab.palm-model.org/releases/palm\\_model\\_system/-/releases](https://gitlab.palm-model.org/releases/palm_model_system/-/releases), zuletzt aktualisiert am 21.02.2023, zuletzt geprüft am 21.02.2023.

**Halbig, G.; Steuri, B.; Büter, B.; Heese, I.; Schultze, J.; Stecking, M. et al. (2019):** User requirements and case studies to evaluate the practicability and usability of the urban climate model PALM-4U. In: *metz* 28 (2), S. 139–146. DOI: 10.1127/metz/2019/0914.

**Heese, I.; Hölsgens, R.; Dankwart-Kammoun, S.; Müller, J. (2023a):** Empfehlungen zum Aufbau und zur Verstetigung der PALM-4U-Community of Practice (CoP). Grundlagen für die Operationalisierung von PALM-4U – Praktikabilität und Verstetigungsstrategie (ProPolis). [UC]<sup>2</sup> - Stadtklima im Wandel – Phase 2 // Modul C. Online verfügbar unter <https://www.uc2-propolis.de/palm-4u-cop-empfehlungen>.

**Heese, I.; Hölsgens, R.; Dankwart-Kammoun, S.; Müller, J. (2023b):** PALM-4U Story-Books. Hg. v. Sozialforschungsstelle Dortmund (sfs). TU Dortmund. Online verfügbar unter <https://www.uc2-propolis.de/palm-4u-storybooks>.

**Heinrichs, H.; Michelsen, G. (Hg.) (2014):** Nachhaltigkeitswissenschaften: Springer Spektrum, Berlin; Heidelberg.

**Institute of Meteorology and Climatology, MUK (2022):** PALM-4U components. Leibniz Universität Hannover. Online verfügbar unter <https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/palm4u>, zuletzt geprüft am 02.11.2022.

**Institute of Meteorology and Climatology, MUK (2023):** PALM. surface\_fraction. Leibniz Universität Hannover. Online verfügbar unter [https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/doc/app/iofiles/pids/static#surface\\_fraction](https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/doc/app/iofiles/pids/static#surface_fraction), zuletzt geprüft am 20.02.2023.

**Krüger, A.; Burmeister, C.; Winkler, M. (2023):** PALM-4U Handbuch für die Praxis. Grundlagen für die Operationalisierung von PALM-4U – Praktikabilität und Verstetigungsstrategie (ProPolis). [UC]<sup>2</sup> - Stadtklima im Wandel – Phase 2 // Modul C. Online verfügbar unter <https://www.uc2-propolis.de/palm-4u-handbuch-fuer-die-praxis>.

**Maronga, B.; Raasch, S. (2023):** Endbericht Modul A MOSAIK 2. Online verfügbar unter <https://palm.muk.uni-hannover.de/mosaik>.

**Mertens, D. M. (1998):** Research methods in education and psychology. Integrating diversity with quantitative & qualitative approaches. Thousand Oaks: Sage Publ. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0655/97004890-d.html>.

**Scherber, K.; Fehrenbach, U.; Scherer, D. (2023):** Endbericht Modul B 3DO+M. Online verfügbar unter <http://uc2-3do.org/>.

**Schlumberger, J.; Hasse, J.; Hölsgens, R.; Frerichs, S.; Burmeister, C.; Weber, F.-A. (2019):** Mainstreaming (Stadt-)Klimawandel im Planungs- und Stadtentwicklungsalltag. Konzeptstudie im BMBF-Verbundvorhaben KliMoPrax.

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

**Steuri, B.; Heese, I. (2019):** Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U. Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U.

**Stockmann, R. (Hg.) (2022):** Handbuch zur Evaluation. Eine praktische Handlungsanleitung. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Münster, New York: Waxmann (Sozialwissenschaftliche Evaluationsforschung, Band 16).

**Weber, B.; Steuri, B.; Antretter, F.; Bender, S.; Burmeister, C.; Büter, B. et al. (2019a):** Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U. [UC]<sup>2</sup> - Stadtklima im Wandel // Modul C Modul C - Überprüfung der Praxis- und Nutzertauglichkeit von Stadtklimamodellen für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung.

**Weber, F.-A.; Bolle, F.-W.; Halbig, G.; Willen, L.; Weber, B.; Völker, V. et al. (2019b):** Stadtklima im Wandel [UC]<sup>2</sup>. Klimamodelle für die Praxis (KliMoPrax). Anschlussbericht des BMBF-Verbundvorhaben KliMoPrax. Aachen.

**Winkler, M.; Cortekar, J. (2023):** PALM-4U Verstetigungsstrategie in der Praxis. Online verfügbar unter <https://www.uc2-propolis.de/palm-4u-verstetigungsstrategie>.

**Winkler, M.; Stadler, S.; Henning, J. (2023a):** GUI-Dokumentation. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Online verfügbar unter <https://www.uc2-propolis.de/palm-4u-gui>.

**Winkler, M.; Stadler, S.; Henning, J. (2023b):** GUI-Plattform. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Online verfügbar unter <https://www.uc2-propolis.de/palm-4u-gui>.