ENERGIEWENDEBAUEN
Wissenschaftliche Begleitforschung

Schriftenreihe

Tiefenbohrung

Digitale Werkzeuge und softwarebasierte Lösungsansätze

Tiefenbohrung

Digitale Werkzeuge und softwarebasierte Lösungsansätze

Einblick in die Entwicklungen und Anwendungen der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN

Vorwort

Die Ergebnisse in diesem Dokument wurden im Rahmen der BauSIM2018, einer Konferenz zu Simulationsverfahren im Bauwesen, veröffentlicht und in der eröffnenden Keynote Speech vorgestellt. Der übergreifende Beitrag wurde im Rahmen der Konferenz mit dem Scientific Paper Award ausgezeichnet. Das folgende Dokument stellt eine Wiedergabe des im Rahmen der Konferenz veröffentlichten Beitrags (http://dx.doi.org/10.5445/IR/1000085743) im Ganzen dar und bildet den Wissensstand ab, der Breitenwirksam kommuniziert worden ist.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3

2 Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN 3

3 Methodik 5

4 Terminologie 7

5 Ergebnisse 9
- 5.1 Querschnittsübergreifende Relevanz von Entwicklungen 9
- 5.2 Typologie softwarebasierter Lösungsansätze 10
- 5.3 Tendenz zur Multi-Skalen Modellierung 11
- 5.4 Programmiertechnische Umsetzung 13
- 5.5 Lizenzierung und Zielgruppen 14
- 5.6 Auswertung: Zielgruppen und Anwendung 15
- 5.7 Digitales Ökosystem der Anwendung 16

6 Zusammenfassung und Ausblick 19

Literaturverzeichnis 21

1 Einleitung

Um die Energiewende und die Ziele zum Erreichen eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis zum Jahr 2050 sowie zur drastischen Reduktion des Energiebedarfs zu unterstützen [9], werden im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung zahlreiche Forschungsvorhaben von Universitäten und Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen gefördert [9]. Unter dem Themenzusammenschluss „Energieoptimierte Gebäude und Quartiere“ fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) die Bereiche Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Niedertemperatur-Solarthermie, Thermische Speicher, Forschung für energieeffiziente Wärme- und Kältenetze (EnEff:Wärme), Solarisierung von Wärmenetzen sowie Forschung für die energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt). [1]
Die Förderung betrachtet damit Effizienzpotenziale von Gebäuden und Quartieren, technische Innovationen und Technologien, die in Demonstrationsvorhaben umgesetzt werden. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei der Fokus auf systemischen Ansätzen – im Gegensatz zu Einzellösungen [9]. Systemische Ansätze sind vor dem Hintergrund von vernetzten Gebäude- und Quartierskonzepten Konzepte, die die Rolle der Nutzer aktiv einbeziehen oder im Kontext der Sektorkopplung von Bedeutung sind. Ziel dieses Beitrages ist es, vor diesem Hintergrund den vorhandenen Status Quo der bestehenden Forschungslandschaft aus dem Blickwinkel von digitalen Werkzeugen zu analysieren.
Der Entwicklungsprozess von digitalen Werkzeugen im Rahmen dieser Forschungsprojekte wurde bereits häufig durch ein breites Fachpublikum aus Wissenschaft und Praxis diskutiert [6] [3] [4]. Neben einem mangelnden Bezug zu den Anwendern und damit einhergehend zu verbesserndem Forschungstransfer der entwickelten digitalen Werkzeuge in die Praxis, wurden auch die zu verbessernde Transparenz und Übersicht über die aktuellen Entwicklungen im Rahmen von Forschungsprojekten thematisiert. Letzteres adressiert einen Forschungsbedarf, dem mittels Querschnittsmethodik begegnet werden kann. Auf der Grundlage einer seitens der wissenschaftlichen Begleitforschung erarbeiteten umfassenden Datenlage zu den Entwicklungen von softwarebasierten Lösungsansätzen und Anwendungen von digitalen Werkzeugen soll im Rahmen des vorliegenden Beitrags eine Übersicht über die Forschungsprojekte geschaffen werden. Die Auswertungen basieren auf einer Datenerhebung mittels eines Online-Fragebogens der Begleitforschung, bei dem insgesamt 763 Forschungsprojekte angeschrieben wurden. Von den angeschriebenen Projekten haben 536 Teil- und Verbundprojekte an der Datenerfassung teilgenommen.

2 Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN

Um eine inhaltliche Vernetzung und einen bereichsübergreifenden Informationsaustausch zu gewährleisten, wurden die untereinander abhängigen Förderinitiativen in dem übergeordneten Forschungsnetzwerk ENERGIEWENDEBAUEN zusammengefasst. Zur Unterstützung der Vernetzung aller vom BMWi geförderten Projekte im Forschungsbereich Energie in Gebäuden und Quartieren wurde die wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN (BF-EWB) initiiert. Das interdisziplinär aufgestellte Forschungsteam bestehend aus zwei Instituten der RWTH Aachen University und drei Forschungsinstituten der Fraunhofer Gesellschaft ermöglicht durch eine breite und schwerpunktübergreifende Ausrichtung eine engere Verzahnung sämtlicher geförderter Projekte [5]. Neben der Identifikation und Formulierung von zentralen Forschungsfragestellungen, Technikscouting und Trendanalysen, gehören u. a. projektübergreifende Auswertungen zu den Aufgbenbereichen der BF EWB. Die sogenannten Tiefenbohrungen vermitteln einen Einblick in und einen Überblick über die aktuellen Entwicklungen in der Forschungslandschaft. Eine besondere Stellung im Rahmen dieser Forschungsprojekte nimmt die querschnittsübergreifende Entwicklung von softwarebasierten Lösungsansätzen und Anwendungen von digitalen Werkzeugen ein. Gegenwärtige Fragestellungen im Bereich von Gebäuden und Quartieren haben eine hohe Komplexität, weswegen die Entwicklung von digitalen Werkzeugen häufig zum Lösungsansatz der übergeordneten Forschungsfragestellung selbst wird. Insbesondere im Quartiersbereich sind auf dem Markt zur Bearbeitung der Fragestellungen keine digitalen Planungswerkzeuge verfügbar, womit eine Toolentwicklung notwendiger Bestandteil eines Vorhabens ist.

3 Methodik

Um eine effiziente Abfrage von Informationen zu ermöglichen und dennoch die Heterogenität von Forschungsprojekten hinreichend genau abbilden zu können, wurde durch das Konsortium eine themenübergreifende Datenerhebung mit einer impliziten Bedingungslogik entwickelt. Im Zuge dieser Informationsabfrage werden Projektleiter von Forschungsprojekten angeschrieben, die in den Sachbereich der Begleitforschung fallen, und gebeten Informationen zu ihrem Verbund- oder Teilprojekt bereitzustellen. Diese Informationen werden über einen Online-Fragebogen erfasst und dienen später als Datengrundlage für diverse Analysen der Querauswertung und Tiefenbohrungen. Im Ergebnis sollen dadurch neue Fragestellungen für die Forschung identifiziert und Einblicke in die Forschungslandschaft gewährt werden. Öffentlich zugängliche Projektinformationen sind zudem über die „digitale Projektlandkarte“ im Internetportal ENERGIEWENDEBAUEN abrufbar.

Der Online-Fragebogen ist unterteilt in mehrere thematische Abfragen, die aus einer Einordnung der Forschungsschwerpunkte in Kategorien einen individuellen Abfrageverlauf ergeben. Unter den Kategorien werden relevante thematische Schwerpunkte zusammengefasst, wie beispielsweise Forschungsprojekte mit einem besonderen Augenmerk auf neue Technologien, Versorgungsnetze, Gebäude oder Quartiere. Die Entwicklung von softwarebasierten Lösungsansätzen und Anwendung von digitalen Werkzeugen nimmt dabei aus mehreren Gründen in der Umfrage eine Sonderstellung ein. Zum einen findet die Anwendung von digitalen Werkzeugen in einem Forschungsprojekt häufig parallel statt und zum anderen stellen neuentwickelte softwarebasierte Lösungsansätze nicht selten eine Verkettung und Kopplung bestehender Rechenkerne und -modelle dar, etwa über eine modell- oder datenseitige Kopplung [6].

Für eine repräsentative Darstellung der Forschungsaktivitäten muss daher zunächst in der Datenerhebung zwischen Anwendern und Entwicklern differenziert werden. Während die Abfrage von Metainformationen zu Anwendungen kategorieübergreifend erfolgt, bilden Entwicklungen von softwarebasierten Lösungsansätzen einen eigenen Forschungsschwerpunkt und werden daher in einer eigenständigen Kategorie zusammengefasst. Die Anwendung von digitalen Werkzeugen kann hingegen in jedem Forschungsprojekt zum zentralen Gegenstand des Vorhabens werden, weswegen die Abfrage von Informationen unabhängig von der Kategorie und somit querschnittsübergreifend erfolgen muss. Forschungsprojekte, die sich beispielsweise mit der Nutzung thermischer Aquiferspeicher für die Wärme- und Kälteversorgung von Stadtquartieren beschäftigen, können genauso wie Forschungsprojekte, die robuste Planungsmethoden für Energiesysteme auf Netzebene entwickeln, im Zuge der Bearbeitung der Forschungsfragestellung auf digitale Werkzeuge zurückgreifen bzw. eine Entwicklung von softwarebasierten Lösungsansätzen anstreben.

Des Weiteren muss in der Datenerhebung berücksichtigt werden, dass Entwickler andere Metainformationen als Anwender benötigen. Dadurch, dass in der Anwendung digitale Werkzeuge zum Einsatz kommen, die sich bereits in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befinden, kann jede Anwendung trennscharf über den Namen abgefragt werden. Außerdem können oberflächlich weitere Informationen zum Anwender und zur Software erfasst werden. Dem gegenüber befinden sich

die softwarebasierten Lösungsansätze in einer unvollendeten Entwicklungsstufe, weswegen zwar vertiefte softwarespezifische Informationen abgefragt werden können, dies jedoch nur auf übergeordneter Projektebene erfolgen und nicht trennscharf für jede Entwicklung im Verbundprojekt erfasst werden kann.

Die Ergebnisse, die im Folgenden vorgestellt werden, basieren auf dem ersten Durchlauf des Online-Fragebogens, bei dem die Projektleiter in der Bearbeitungszeit vom 9. Mai bis 7. August 2017 die Möglichkeit hatten den Online-Fragebogen auszufüllen. Insgesamt wurden 763 Teilprojekte angeschrieben, wovon 277 Teilprojekte an der Umfrage teilgenommen haben. Insgesamt 83 Verbundprojekte hatten die Möglichkeit gewählt, ihren Fragebogen stellvertretend für alle Teilprojekte des jeweiligen Verbundvorhabens, koordiniert über einen Konsortialpartner, auszufüllen. Insgesamt wurden 406 Datensätze abgeschlossen, entsprechend 76 % der gesamten Rückmeldungen. Von den 130 fehlenden Antworten, entsprechend 24 % aller Forschungsprojekte, konnten 67 Teilprojekte einem Verbundpartner bzw. Verbundprojekt zugeordnet werden. Somit gibt es insgesamt von 63 Teilprojekten keine Daten, was einem Anteil von 10 % an allen 763 Teilprojekten entspricht. Aus Sicht der wissenschaftlichen Begleitforschung stellt dies eine sehr gute Ausgangsbasis für eine Auswertung dar.

4 Terminologie

Grundsätzlich soll an dieser Stelle zunächst kein Versuch unternommen werden, eine einheitliche Definition von digitalen Werkzeugen bzw. softwarebasierten Lösungsansätzen zu formulieren. Dennoch ist eine klare begriffliche Abgrenzung notwendig, um die Ergebnisse der Analyse im Kontext der zugrundeliegenden Terminologie reflektieren zu können. Allgemein handelt es sich bei Software um „Computerprogramme, Verfahren und möglicherweise damit verbundene Dokumentation und Daten zum Betrieb eines Computersystems“ [7]. Vor dem Hintergrund dieser Definition folgt eine kurze Diskussion und Abgrenzung der Begriffe „Softwarebasierter Lösungsansatz“ und „Digitales Werkzeug“.

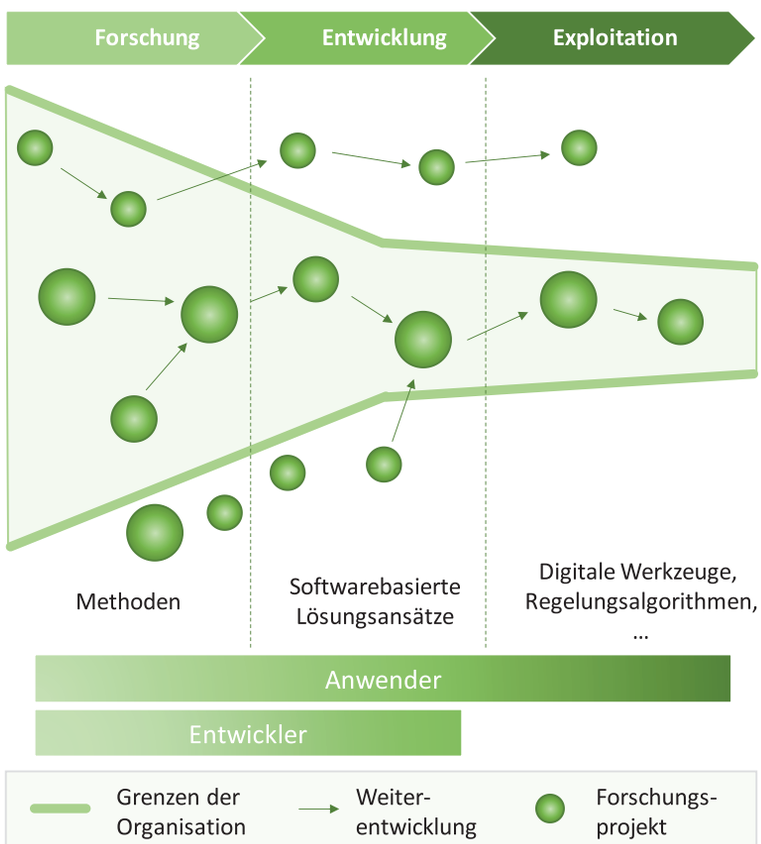

Abbildung 1: Phasen des Entwicklungsprozesses

In diesem Zusammenhang präsentiert Abbildung 1 den Entwicklungsprozess einer Organisation in der graphischen Struktur eines Trichters. Die Begriffe „Softwarebasierter Lösungsansatz“ und „Digitales Werkzeug“ lassen sich in erster Linie durch den aktuellen Status des Entwicklungsprozesses differenzieren. Softwarebasierte Lösungsansätze entstehen in der Entwicklungsphase und greifen auf bereits bestehende oder entwickelte Methoden aus der Grundlagenforschung zurück. Ins Verhältnis gesetzt zu Software, stellen softwarebasierte Lösungsansätze eine unvollendete und unausgereifte Entwicklungsstufe einer Software dar. Ähnlich zu Software sind softwarebasierte

Lösungsansätze in ihrer Natur amorph und universell, sodass bereits bestehende Lösungsansätze kombiniert einen neuen Lösungsansatz ergeben. Die Fortentwicklung dieser Lösungsansätze findet in der betrachteten Stichprobe primär im Rahmen von Forschungsprojekten statt. Die Erhebung der Metadaten (Information über Zielgruppen, Anwendungsschwerpunkte, etc.) zu den Entwicklungen im Rahmen eines Forschungsprojektes werden wie bereits erwähnt über eine eigene Kategorie abgefragt. Die Erzeugnisse aus der Entwicklung von softwarebasierten Lösungsansätzen können vielfältig sein. So kann das Ergebnis ein validiertes Wärmepumpen-, Fensteröffnungsmodell, ein Regelungsalgorithmus zur prädiktiven Regelung von Wärme- und Kälteanalgen oder ein digitales Werkzeug zur Co-Simulation sein. In der aktuellen Analyse zu Anwendungen wird der Fokus auf digitale Werkzeuge gelegt, die sich insbesondere durch eine Benutzerschnittstelle (UI) abgrenzen und einen hohen Grad der Verbreitung bei Anwendern haben. Regelungsalgorithmen, Modelle, etc. werden in der Datenerhebung in weiteren Kategorie zusammengefasst und finden nur implizit Eingang in diese Auswertung. Es können beispielsweise in MATLAB oder LabView entwickelte Modelle und Algorithmen verwendet worden sein, zu denen jedoch keine weiteren Informationen gegeben wurden.

5 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse aus der Auswertung der Datenerhebung von 2017 präsentiert und diskutiert.

5.1 Querschnittsübergreifende Relevanz von Entwicklungen

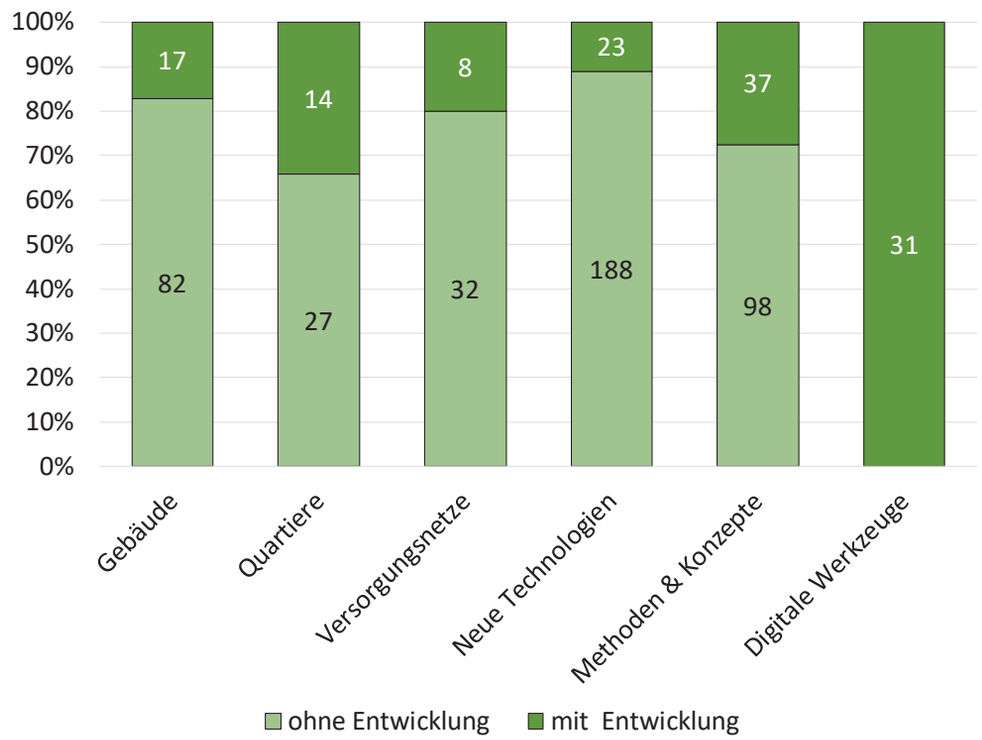

Abbildung 2: Entwicklung von softwarebasierten Lösungen in Forschungsprojekten

Von den insgesamt 406 abgeschlossenen Datensätzen haben insgesamt 130 Verbund- oder Teilvorhaben angegeben, dass im Rahmen des Forschungsprojektes ein softwarebasierter Lösungsansatz entwickelt wird. Umgerechnet entspricht das ca. einem Drittel (32 %) aller Forschungsprojekte und veranschaulicht in diesem Zusammenhang die themenübergreifende Relevanz von Entwicklungsaktivitäten in Forschungsprojekten.

Insgesamt beschäftigen sich 31 von 130 Teil- oder Verbundvorhaben mit der Entwicklung von digitalen Werkzeugen ohne die explizite Angabe eines weiteren thematischen Schwerpunktes des Forschungsvorhabens. Dies bedeutet allerdings nicht, dass diese Forschungsprojekte keinen konkreten Anwendungsfall aus den genannten Themenfeldern behandeln. Ein Forschungsprojekt könnte Planungsinstrumente für zukünftige Niedertemperatur Fernwärmeversorgungssysteme entwickeln und würde so im engen Zusammenhang zu dem Schwerpunkt Versorgungsnetz stehen, ohne beispielsweise konkret im Rahmen des Projektes ein Versorgungsnetz zu optimieren. Die restlichen 99

Verbund- oder Teilvorhaben verteilen sich auf fünf weitere Forschungsschwerpunkte und verdeutlichen, dass ein großer Anteil der Entwicklungen in das Umfeld eines anwendungsorientierten Forschungsprojekts integriert ist. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt entwickelt beispielsweise in einem Verbundvorhaben (03ET1405A) ein Messverfahren für schnelle und genaue energetische Analysen von Gebäudehüllen und Identifikation von erhöhten Energieverlusten. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Entwicklung neuartiger softwarebasierter Lösungen einen signifikanten Anteil in der Forschungslandschaft einnehmen und ein unausgeschöpftes Entwicklungspotential in diesem Forschungsbereich signalisieren. Gleichzeitig lässt sich aus der Grafik schließen, dass die Entwicklung von softwarebasierten Lösungsansätzen bereits in ein anwendungsorientiertes Problemumfeld integriert ist. Teilbereiche können ohne eine begleitende Werkzeugentwicklung nicht bearbeitet werden, da geeignete Ansätze nicht marktverfügbar sind.

5.2 Typologie softwarebasierter Lösungsansätze

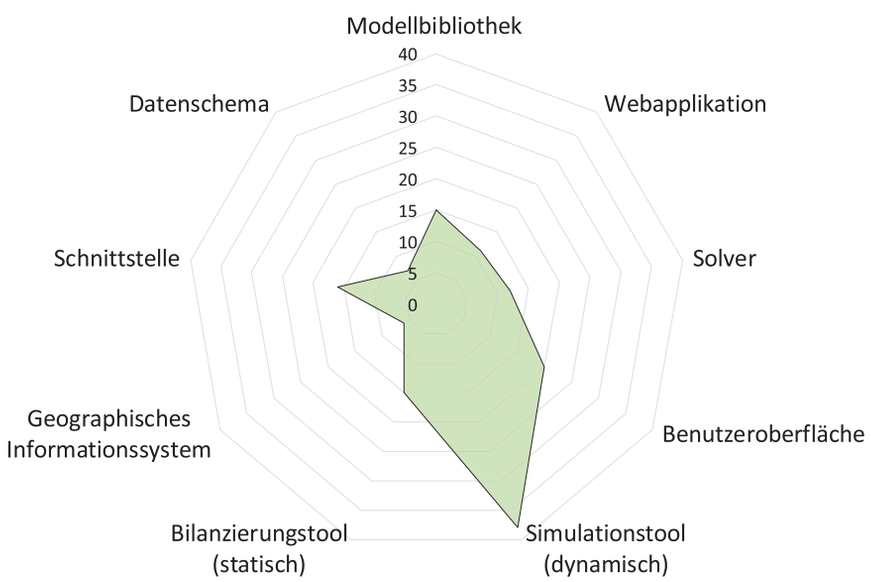

Abbildung 3: Klassifizierung von softwarebasierten Lösungsansätzen

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, kristallisiert sich bei näherer Typisierung der softwarebasierten Lösungsansätze ein eindeutiger Schwerpunkt der derzeitigen Entwicklung heraus. Die Entwicklung von dynamischen Simulationsverfahren hebt sich mit einem Anteil von 45 % sichtbar von allen Entwicklungen ab und verdeutlicht, dass die Komplexität der Probleme im Bereich der Energiewende durch eine statische Betrachtungsweise nicht mehr hinreichend genug gelöst werden kann. Gleichzeitig unterstreicht dies die Forderung nach Standards für die modell- und datenseitige Kopplung von Werkzeugen, um einen hohen Integrations- und Weiterverwendungsgrad sicherzustellen und Doppelförderungen zu vermeiden.

Anhand der folgenden zwei Beispiele soll demonstriert werden, dass die Implementierung dynamischer Simulationsverfahren in den einzelnen softwarebasierten Lösungen sehr unterschiedliche Ausprägungen annehmen kann. In einem Verbundvorhaben (03ET1372A) an dem sich das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen beteiligt, wurde beispielsweise ein Ansatz zur Modellierung des Verhaltens von Gebäuden und Energiesystemen mit Hilfe von Grey-Box-Modellen gewählt, mit dem übergeordneten Projektziel, präzise Vorhersagemodellen zur kurzfristigen oder langfristigen Prognose des zukünftigen Energieverbrauchs im Gebäude zu entwickeln. In einem weiteren Verbundvorhaben unter Mitwirkung des Fraunhofer Instituts für offene Kommunikationssysteme (03ET1312A) wird an softwarebasierten und dynamischen Planungs- und Steuerungstechniken zur optimalen Abstimmung von Systemkomponenten im Betrieb für eine nachhaltige und wirtschaftliche Nutzung von dezentralen Energiesystemen geforscht. An Beispiel der beiden Forschungsprojekte lässt sich zusammenfassend festhalten, dass sich die konkreten Entwicklungen hinsichtlich der betrachteten Lebenszyklusphasen und modellierten Ebenen des Gesamtsystems unterscheiden. Letzteres spielt in Hinblick auf die Genauigkeit eine hervorgehobene Rolle, denn durch das Zusammenführen verschiedener Ebenen wird das Gesamtsystem genauer beschrieben, wodurch eine realitätsgetreue Vorhersage von Prozessen und Modellen möglich wird. Im weiteren Verlauf werden die Ebenen Netz, Quartier, Gebäude etc. als Skalen bezeichnet und näher betrachtet.

5.3 Tendenz zur Multi-Skalen Modellierung

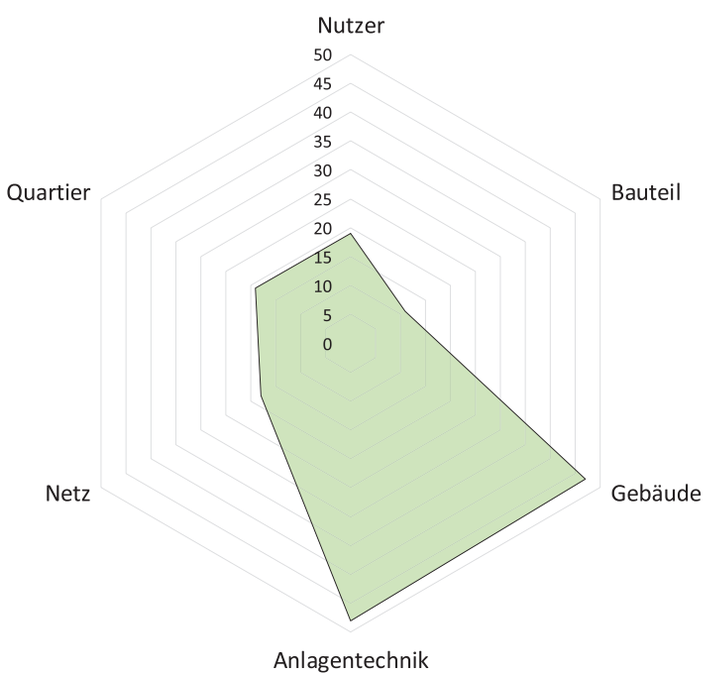

Abbildung 4: Spektrum der Modellierung

Abbildung 4 veranschaulicht die relevanten Skalen und Ebenen bei der Modellierung von softwarebasierten Lösungsansätzen und schlüsselt diese nach Häufigkeit der Ausprägung auf. Besonders stark ausgeprägt ist die Entwicklung von softwarebasierten Lösungen für das Gebäude (44 %) und die Anlagentechnik (43 %) wohingegen die Entwicklung von softwarebasierten Lösungsansätzen für Bauteilkomponenten, Netze oder Quartiere weniger im Fokus stehen. Aus der Abbildung geht jedoch nicht hervor, ob die Skalen isoliert oder kombiniert modelliert werden. Vor dem Hintergrund der Themen des neuen 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung [8] mit dem thematischen Fokus auf Reallabore ist ein neuer Trend hin zu Netz- und Quartiersansätzen zu erwarten.
Abbildung 5 greift den zuletzt genannten Aspekt auf und schlüsselt die Anzahl der kombinierten Skalen in einem softwarebasierten Lösungsansatz nach der absoluten Häufigkeit auf. Die gekoppelte Betrachtung von mehreren Skalen nimmt mit 62 % einen hohen Anteil an allen Entwicklungen ein und deutet darauf hin, dass tendenziell die Modellierung multipler Skalen stark an Bedeutung gewinnt. Dabei hat insbesondere die gekoppelte Betrachtung von zwei Skalen, wie zum Beispiel eines Gebäudes in Verbindung mit der Anlagentechnik, mit 36 % einen hohen Anteil, wohingegen softwarebasierte Lösungsansätze für die holistische Modellierung des Gesamtsystems noch komplett fehlen.
Letzteres hängt möglicherweise mit dem Fehlen fundierter methodischer Ansätze zur systemischen Bewertung oder mit der fehlenden Vorgabe, modell- und datenseitige Kopplung von Methoden und Werkzeugen einzufordern, zusammen. In einem Verbundvorhaben an dem sich das Zentrum für innovative Energiesysteme (03ET1464A) beteiligt wird zum Beispiel eine Software zur gekoppelten Simulation von Gebäuden und Anlagen zur Kühlung, basierend auf flüssigen Übertragungsmedien, weiterentwickelt und um luftgestützte Systeme, größere Leistungsklassen und solare Kühlung mit Photovoltaik-Modulen in Kombination mit elektrischen Kältemaschinen ergänzt.

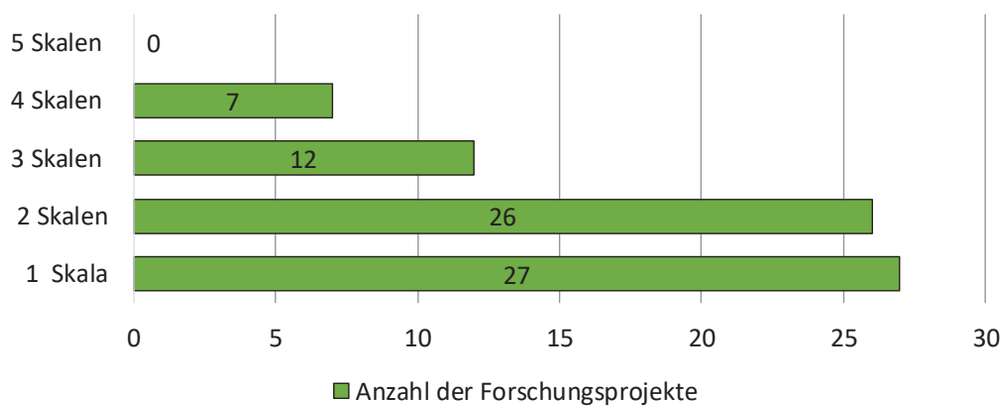

Abbildung 5: Skalen der Modellierung

In einem weiteren Verbundvorhaben „Living Roadmap“ wird unter der Mitwirkung der RWTH Aachen ein ganzheitliches planungs- und betriebsunterstütztes Instrument entwickelt, das insgesamt vier Skalen abdeckt und durchgängig von der Konzept-entwicklung, dem Betrieb, der Nutzereinbindung bis hin zur Potentialermittlung für

Investitionen genutzt werden kann. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Trend bei der Modulierung weg von der Betrachtung isolierter Teilsystemen, hin zu multi-skalen Abbildung des dynamisch-technischen Verhaltens eines Gesamtsystems (Nutzer – Bauteil – Gebäude – Anlagentechnik – Netz – Quartier) geht.

5.4 Programmiertechnische Umsetzung

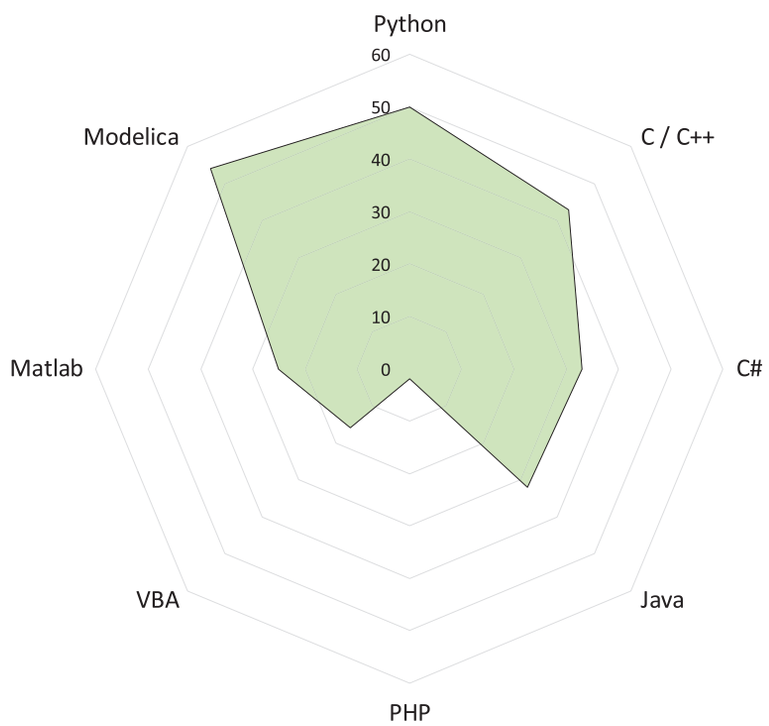

Abbildung 6: Verwendete Programmiersprachen in der Entwicklung

Abbildung 6 veranschaulicht die zur Formulierung von Datenstrukturen und Algorithmen verwendeten Programmiersprachen. Am häufigsten wurde die objektorientierte Modellierungssprache Modelica für physikalische Systeme verwendet. Diese eignet sich etwa für die Modellierung von komplexen Simulationsmodellen und damit für den hier diskutierten Schwerpunkt der Entwicklung. Darüber hinaus werden objektorientierte Programmiersprachen C/C++ und Python verstärkt angewendet. Skriptsprachen wie PHP, JAVA oder PERL finden keine oder nur sehr geringe Verwendung.

5.5 Lizenzierung und Zielgruppen

Ingenieurbüros sind mit 32 % die am häufigsten angepeilte Zielgruppe von Entwicklern. Neben den Ingenieurbüros bilden Wissenschaft und Forschung selbst 29 %, Architekten (13 %), Energieversorger (12 %), Stadtplaner und Wohnungsbaugesellschaften (jeweils 7 %) mögliche Zielgruppen. Von allen 130 Forschungsprojekten, in denen softwarebasierte Lösungsansätze entwickelt werden, haben insgesamt nur 40 % Angaben zu Nutzungsrechten gemacht. Dies ist insofern interessant, als bei den Befragten einerseits eine klare Vorstellung der Zielgruppen besteht, andererseits offensichtlich ein Mangel an Vorstellung, wie diese erreicht werden sollen. Dies kann mit der experimentellen Natur von Forschungsprojekten zusammenhängen und der Ungewissheit der technologischen Anschlussfähigkeit, auf geringes Kommerzialisierungsbestreben der Entwickler oder geringe Skalierbarkeit der Entwicklungen hinweisen. Dieser Aspekt ist noch nicht ausreichend geklärt und wird daher Gegenstand der weiteren Auswertung sein.

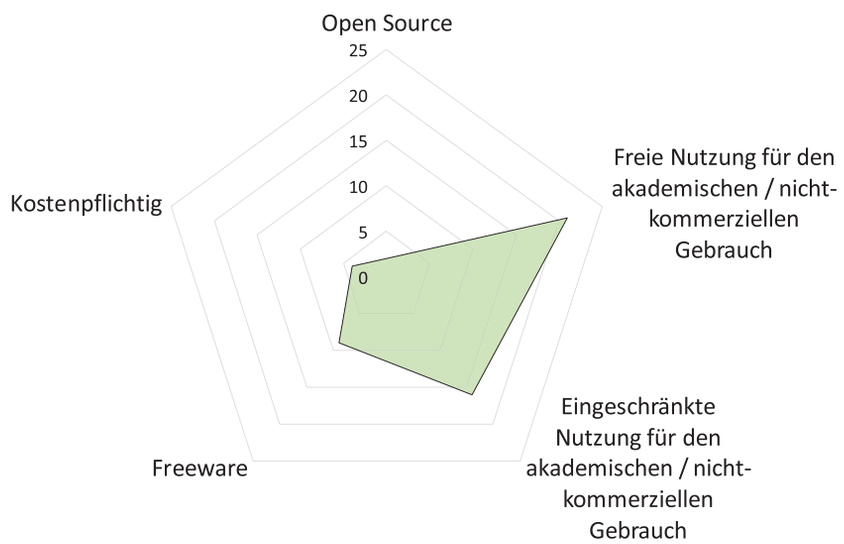

Abbildung 7: Lizenzierung

Abbildung 7 veranschaulicht in diesem Zusammenhang die Häufigkeit verschiedener Lizenzmodelle bei softwarebasierten Lösungsansätzen. Ein großer Anteil von Forschungsprojekten strebt demnach eine freie Nutzung für den akademischen und nicht kommerziellen Gebrauch an (40 %). Eine Veröffentlichung des Quelltextes unter einer Open Source Lizenz wird jedoch nur von den wenigstens Institution in Erwägung gezogen (3 %). Dies stellt beispielsweise einen fundamentalen Unterschied zur Forschung im US-amerikanischen Markt dar, bei dem oftmals die Bereitstellung von wissenschaftlicher Software als Open Source Lösung praktiziert und damit eine hohe internationale Sichtbarkeit erreicht wird. Ein prognostizierter Paradigmenwechsel von der Einzeltoolentwicklung hin zu integrativen Ansätzen (evtl. auch als Open Source), der im Rahmen des EnOB Symposiums 2014 formuliert wurde (van Treeck et al., 2014), konnte bisher nur in Einzelfällen beobachtet werden.

5.6 Anwedung digitaler Werkzeuge in der Forschung

Neben der Entwicklung wird die Anwendung von digitalen Werkzeugen häufig als ein zentraler Gegenstand der Forschungsprojekte gesehen. Rund die Hälfte aller Befragten gab an, dass die Anwendung von digitalen Werkzeugen eine hervorgehobene Rolle im Forschungsprojekt spielt. Anwendungen finden dabei querschnittsübergreifend und parallel statt. Im Schnitt werden zwischen 4 bis 5 digitale Werkzeuge in einem Forschungsprojekt parallel eingesetzt. Dies zeigt zum einen, dass zur Bearbeitung der komplexen Aufgabenstellungen bisher kein Softwarehersteller eine Komplettlösung anbietet. Zum anderen folgt daraus, dass Interoperabilität bei der Lösung von Mehrskalen- und Mehrebenenproblemen in unterschiedlichen Domänen, im Sinne einer datenseitigen und modellseitigen Kopplung von digitalen Werkzeugen eine besondere Bedeutung zukommt [6]. In diesem Zusammenhang zeigt Tabelle 1, dass ungefähr 70 % der eingesetzten Anwendungen proprietär und kostenpflichtig sind. Lediglich 30 % entfallen auf Freeware (11,2 %) und auf Open Source Lösungen (19,2 %). Diesbezüglich spielen Anbieter proprietärer Software ihre Vorteile hinsichtlich Benutzerfreundlichkeit aus, die sich häufig aus einer zeiteffizienten Bedienung, Transparenz hinsichtlich der Validierung sowie Aufbereitung der Ergebnisse und technischem Support ergeben. Dadurch stoßen proprietäre Softwareanbieter eines digitalen Werkzeugs auf höhere Akzeptanz und damit einhergehend breitere Anwendung. Dabei ordneten sich ca. 80 % der Anwender der Wissenschaft und Forschung zu. Es folgen Ingenieurbüros (10 %), Betreiber (4 %), Architekten (2 %), Energieversorger (2 %) und Wohnungsbaugesellschaften (1 %).

Tabelle 1. Verteilung der genutzten Lizenzierungsmodelle

Lizenzierungsmodell	Proprietäre Software	Freeware	Open Source
Prozentualer Anteil [%]	69,6	11,2	19,2

Schlussfolgernd lässt sich zunächst anmerken, dass die Ergebnisse zur Anwendungen digitaler Werkzeuge stark die Gewohnheiten aus Sicht der Wissenschaft und Forschung reflektieren. Damit ist der untersuchte Querschnitt zwar nicht repräsentativ für Anwender aus der Praxis, er bildet jedoch eine spezielle Gruppe von frühzeitigen Anwendern ab, die die neusten technischen Errungenschaften für die Problemstellungen im Bereich Energie in Gebäuden und Quartieren einsetzen. Die Anwendung von digitalen Werkzeugen wird dort von proprietären und kommerziellen Anbietern mit 1,81 digitalen Werkzeugen pro Forschungsprojekt dominiert, wobei Freeware (1,31) und Open Source (1,48) Lösungen zum festen Repertoire dazugehören.
Zu einer Anwendung von digitalen Werkzeugen kommt es beispielsweise in einem Verbundvorhaben, an dem sich die Technische Universität Chemnitz (03ET1230B) beteiligt und neuartige oberirdische Tankspeicher in Segmentbauweise entwickelt. Dabei kommt es zum kombinierten Einsatz von verschiedenen numerischen Simulationswerkzeugen, wie zum Beispiel CFX, MATLAB, TRNSYS, Delphin und OpenFOAM. In einem weiteren Forschungsprojekt unter der Mitwirkung der Hochschule Zittau/Görlitz (03ET1363A) werden modulare Latentwärme-Speicherelemente für Kaminöfen wärmetechnisch mit Hilfe von OpenFOAM ausgelegt und konventionell mit Excel ausgewertet. Beide Beispiele verdeutlichen hochtechnologische Anwendungsfälle. Für eine detaillierte

Analyse der Anwendungen wurde auf der Grundlage einer Bestandsaufnahme von digitalen Werkzeugen eine Netzwerkanalyse durchgeführt, deren Ergebnisse im Verlauf näher betrachtet werden.

5.7 Digitales Ökosystem der Anwendung

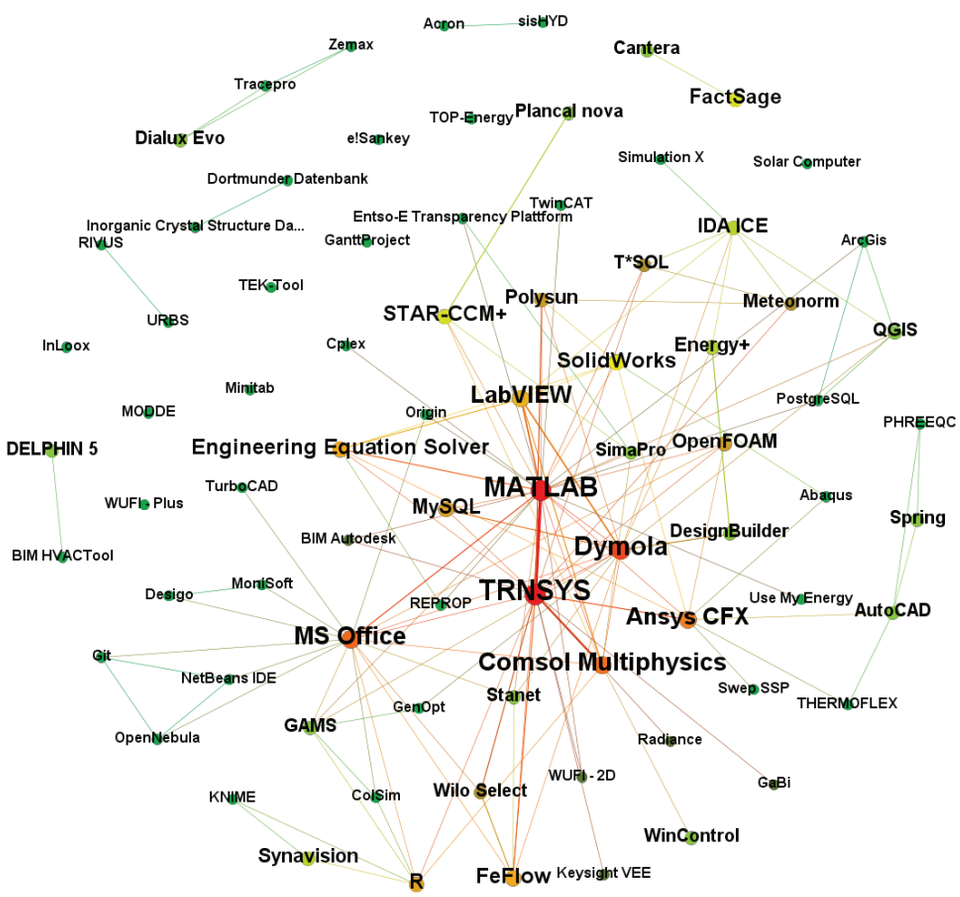

Abbildung 8: Netzwerkanalyse des Tools-Ökosystems der EWB-Forschungsprojekte Digitales Ökosystem der Anwendung

Auf der Grundlage der Datenerhebung kann eine Bestandsaufnahme der in Forschungsprojekten konkret eingesetzten digitalen Werkzeuge gemacht werden. Aus diesen Angaben können Beziehungen, übergeordnete nutzerspezifische Muster und Toolketten sichtbar gemacht werden. Das digitale Ökosystem der Anwendungen ist in Abbildung 8 exemplarisch anhand eines Graphen abgebildet. Die Knoten repräsentieren ein digitales Werkzeug, wobei die Größe und die Farbe mit der absoluten Häufigkeit der Nennungen einhergehen. Eine Kante entsteht aus der gemeinsamen Nennung von digitalen Werkzeugen. In diesem Fall bildet der Graph nicht die Möglichkeit ab, dass Werkzeuge über gemeinsame Schnittstellen gekoppelt werden können.

Die Knoten werden so angeordnet, dass Knoten höheren Grades (d. h. mit mehr ausgehenden Kanten und somit mit mehr nutzerspezifischen Verbindungen) näher ins Zentrum der Darstellung rücken. Je häufiger ein digitales Werkzeug in Kombination mit anderen verwendet wird, desto zentraler ist die Position dieses Werkzeugs im Netzwerkdiagramm. Werkzeuge und Software mit einer breiten und häufig kombinierten Anwendung finden sich im Zentrum wieder, wohingegen Insellösungen und Nischenanwendungen den Rand der Darstellung prägen.

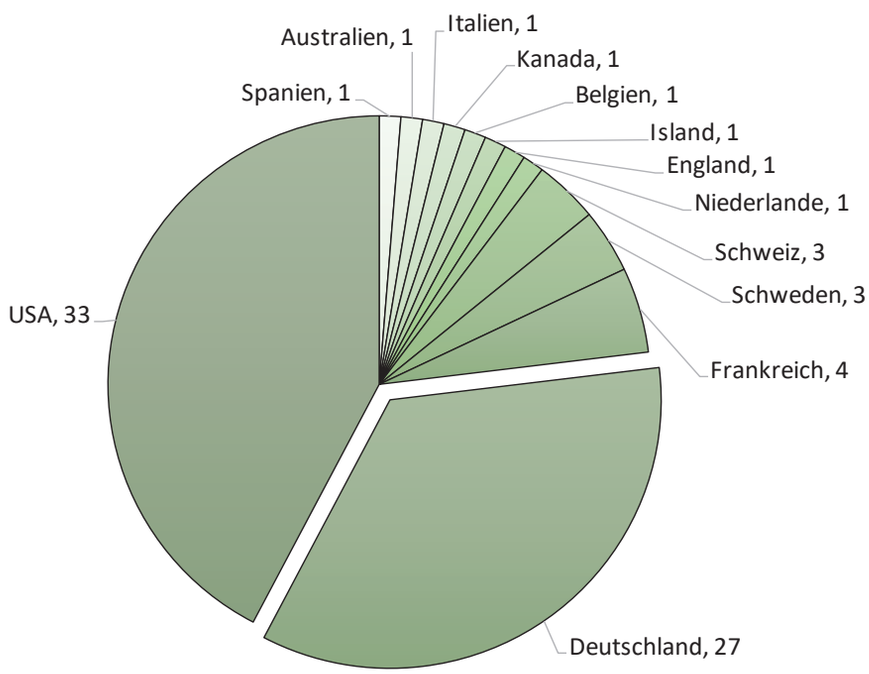

Abbildung 9: Verteilung von Entwicklungsstandorten nach Toolanzahl

Auf der Grundlage der erhobenen Daten wurden die Entwicklungsstandorte der in Forschungsvorhaben eingesetzten digitalen Werkzeuge ausgewertet. Abbildung 9 schlüsselt die Anzahl der digitalen Werkzeuge nach dem Entwicklungsstandort auf. Die Mehrzahl der Anwendungen lassen sich ihren Ursprungsländern USA (33), Deutschland (27) und Frankreich (4) zuordnen. Aus der Gegenüberstellung von Standorten mit nutzerspezifischen Verbindungen lassen sich Schlüsse über nationale Unterschiede von digitalen Werkzeugen ziehen. Aus dem Verhältnis der kumulierten Verbindungsanzahl und der kumulierten absoluten Häufigkeit der digitalen Werkzeuge eines Standortes lässt sich ein gewichteter Vernetzungsgrad herleiten. Der Vernetzungsgrad gibt Aufschluss über die Rolle der digitalen Werkzeuge im Netzwerk. Ein hoher Vernetzungsgrad trifft auf digitale Werkzeuge zu, die systemrelevant für das Ökosystem sind. Im Umkehrschluss deutet hingegen ein geringer Vernetzungsgrad auf leicht substituierbare und spezialisierte Insellösungen hin. Anwendungen aus den USA und Frankreich haben einen höheren Vernetzungsgrad und fungieren als Ökosystem für andere Anwendungen, wohingegen digitale Werkzeuge aus Deutschland einen

geringen Vernetzungsgrad aufweisen und somit eher als spezialisierte Insellösungen charakterisiert werden können. Als Ursache kann unter anderem die in Deutschland bislang zu wenig verfolgte Strategie offener und frei zugänglicher Lösungen und die damit einhergehende fehlende internationale Sichtbarkeit identifiziert werden. Weitere Hemmnisse bestehen in fehlenden Schnittstellenvorgaben die standardisierte digitale modell- und datenseitige Kopplung zwischen Planungswerkzeugen, Algorithmen und Methoden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung von softwarebasierten Lösungsansätzen und die Anwendung von digitalen Werkzeugen nehmen bei der Bearbeitung von komplexen Fragestellungen im Rahmen von Forschungsprojekten einen hohen Stellenwert ein. Die hohe Fragmentierung und Heterogenität dieser Entwicklungen führt oftmals zur Intransparenz und sorgt häufig für Kontroversen hinsichtlich der Rolle von Forschungsprojekten bei der Softwareentwicklung. Im Rahmen dieser Veröffentlichung wurde ein übergeordneter Einblick in die Entwicklungsaktivitäten und Anwendung gegeben. Neben einer eindeutigen terminologischen Abgrenzung wurde die querschnittsübergreifende Relevanz von Softwareentwicklung im Rahmen von Forschungsprojekten, eine Typologie von softwarebasierten Lösungsansätzen, eine Tendenz zur Multi-Skalen Modellierung, die programmiertechnische Umsetzung, Lizenzierungsmodelle und das digitale Ökosystem der Anwendung diskutiert. Anknüpfungspunkte für weiteren Forschungsbedarf bilden Fragestellungen bezüglich der Rolle der Entwicklung von Software, Planungswerkzeugen, Algorithmen und computerbasierten Methoden im Rahmen von Forschungsprojekten im gesamtwirtschaftlichen Kontext, Fördermodelle für einen besseren Forschungs- und Technologietransfer, wie integrale Entwicklungsansätze zur synergetischen Softwareentwicklung, Open Source Ansätzen und Vorgaben zur modell- und datenseitigen Kopplung, und damit auch dem Umgang mit Redundanzen. Der heute bereits praktizierte Kernaspekt der anwendungsorientierten Entwicklung zusammen mit der gleichzeitigen Demonstration in der Praxis erscheint hierfür ein richtiger Ansatz. Diese Forderungen finden sich auch als Ergebnis der Expertenkonsultation im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung [8].

In Bezug auf Reallabore als wichtiges Instrument des neuen 7. Energieforschungsprogramms ist jedoch festzustellen, dass bislang, wie in Abschnitt 5.3 dargelegt, systemische Lösungsansätze für Mehrskalen- und Mehrebenenprobleme fehlen bzw. noch Einzellösungen darstellen. Vor dem Hintergrund von Reallaboren müssen Interaktionen mit dem übergeordneten Energiesystem, Verflechtungen innerhalb des urbanen Energiesystems und Wechselwirkungen mit dem nationalen Energiesystem dynamisch und für verschiedene Sektoren abgebildet werden können. Insofern ist eine Verlagerung der Entwicklungsschwerpunkte zu Netz- und Quartiersansätzen erforderlich.

Literaturverzeichnis

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Bekanntmachung Forschungsförderung im 6. Energieforschungsprogramm, Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung: BAnz AT 30.12.2014 B1. 8.12.2014

[2] BF-EWB: Forschung energieeffizienter Sanierungsmaßnahmen: Dokumentation des 1. Projektleitertreffens: Aachen, 24.-25. November 2016. Schriftenreihe Energiewendebauen, Wissenschaftliche Begleitforschung Energiewendebauen, RWTH Aachen University, 2016

[3] BF-EWB: Integrales planen, bauen und betreiben: Dokumentation des 2. Projektleitertreffens Lüneburg, 22.-23. Mai 2017. Aachen: Wissenschaftliche Begleitforschung Energiewendebauen, RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik, 2017

[4] J.A. Clarke, J.L.M. Hensen: Integrated building performance simulation: Progress, prospects and requirements, Building and Environment, Volume 91, 2015, Pages 294-306

[5] BF-EWB: „Wissenschaftliche Begleitforschung“, In: ENERGIEWENDEBAUEN. Forschung für energieoptimierte Gebäude und Quartiere. Stand: 2018. https://projektinfos.energiewendebauen.de/forschung/begleitforschung/ (Abruf am 15.10.2018)

[6] Christoph van Treeck, Florian Antretter, Ingo Heusler, Anton Maas, Andreas Nicolai, Stefan Plesser, Peter Tzscheutschler, Karsten Voss und Andreas Wagner: „EnOB-geförderte internationale Forschungsaktivitäten und Software-Tools; Red.schluss: 28. Februar 2014“. Energieinnovationen in Neubau und Sanierung: Neues aus der Forschung für mehr Energieeffizienz, Raumkomfort, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit; 20.-21. März 2014; Essen, Zeche Zollverein / Markus Kratz. Essen: EnOB, 2014

[7] IEEE: IEEE standard glossary of software engineering terminology: Approved September 28, 1990, IEEE Standards Board. New York, NY, 1990

[8] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018): 7. Energieforschungsprogramm. Innovationen für die Energiewende. der Bundesregierung. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Öffentlichkeitsarbeit. Berlin. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

[9] BMWi, 2015: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Energieeffizienzstrategie Gebäude - Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand, Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Öffentlichkeitskeitsarbeit. Berlin.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber: Wissenschaftliche Begleitforschung_ENERGIEWENDEBAUEN
RWTH Aachen University
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Mathieustraße 10
52074 Aachen

E-Mail: begleitforschung@eonerc.rwth-aachen.de
Internet: energiewendebauen.de

Autoren: Lev Kirnats[1], Jan-Niklas Joost[1], Sebastian Berg[1], Jérôme Frisch[1], Christoph van Treeck[1]
unter Mitwirkung weiterer Mitglieder der Wissenschaftlichen Begleitforschung
ENERGIEWENDEBAUEN

Bildquelle sofern nicht explizit anders angegeben Wissenschaftliche Begleitforschung.

Für den Inhalt und das Bildmaterial der einzelnen Beiträge tragen alleine die Autoren die Verantwortung.
Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN: 978-3-942789-95-0

[1] Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen