

UNTERSTÜTZUNG KOMMUNALPLANERISCHER PROZESSE MIT CITYGML-BASIERTER ANBINDUNG MODELICA-GETRIEBENER QUARTIERSSIMULATIONEN

S. Ebertshäuser¹, P. von Both¹, M. Wirtz², T. Brüggemann³, S. Ochse³, M. Lauster², A. Malhotra⁴, J. Frisch⁴, P. Remmen², D. Müller², C. van Treeck⁴ und S. Wallner¹

¹ Building Lifecycle Management (BLM), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Germany,
² Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate (EBC), RWTH University, Aachen, Germany,
³ GEF Ingenieure AG, Leimen, Germany,
⁴ Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen (E3D), RWTH University, Aachen, Germany

KURZFASSUNG

Eine integrale Planung städtischer (Energie-) Systeme bedarf einer planungsbegleitenden Unterstützung durch IT-basierte Planungs- und Simulationswerkzeuge. Die durchgängige Anwendung dieser digitalen Planungshilfsmittel wird allerdings bislang insbesondere durch den sehr hohen Aufwand bei der Spezifizierung und Erfassung benötigter Datengrundlagen sowie eine mangelhafte Interoperabilität zwischen den Systemen gehemmt.

Im Rahmen eines Forschungsverbundprojektes wird dieses Problemfeld mittels praxisbezogener Prozessanalysen genauer spezifiziert und die technische und fachliche Integration durch die prozessbezogene Spezifikation relevanter Informationsbedarfe sowie die Entwicklung einer darauf aufbauenden, bidirektionalen Schnittstelle auf Basis des etablierten virtuellen Stadtmodellstandards CityGML verbessert.

Als exemplarisches Anwendungsszenario innerhalb kommunaler Planungsprozesse wurde die Ausweisung von Vorranggebieten der Fernwärmenutzung basierend auf einer räumlichen Analyse des Wärmebedarfs für verschiedene Entwicklungsszenarien mittels einer bidirektionalen standard-basierten Koppelung von CityGML und Modelica ausgearbeitet.

ABSTRACT

A process accompanying support from side of IT based planning and simulation tools is needed for an integrated planning of urban (energy) systems. Up to now especially tedious effort for specification and collection of necessary information base as well as insufficient interfaces and deficient interoperability between systems inhibit a consistent application of these planning aids throughout the process.

This problem area is further specified by practice-related process analysis in the framework of a joint research project in order to improve the technical and professional integration by process-related specification of relevant information demand and based upon that develop a bidirectional interface as extension to the established CityGML standard. A meaningful application scenario for a bidirectional coupling of the standards CityGML and Modelica has been worked out addressing the creation of preferential sites to the (exclusive) use of district heating based on spatial analyses of heat demand sketching possible different development scenarios.

EINLEITUNG

Simulationen auf Stadtebene, beispielsweise für die Erstellung von Prognosen (Wärmeatlanten etc.) oder dynamische Energieflussberechnungen, gehen bislang einher mit einem sehr hohen Aufwand für die Spezifikation und Erfassung der benötigten Datenbasen. Unzureichend unterstützte oder fehlende Standards zugunsten einer vereinheitlichten Verfahrensmethodik sowie zur technischen Umsetzung erschweren ein generisches Vorgehen bei der Modellierung. In der Praxis beeinträchtigen zahlreiche Medienbrüche bei der inter- und intradisziplinären Abstimmung sowie eine zumeist mehrfach redundante Datenhaltung und -erfassung die Zeit- und Kosteneffizienz kommunaler Planungsprozesse. Bisher sind jedoch noch keine zielführenden Ansätze zur Koppelung von semantischen Stadtmodellen, wie dem dazu prädestinierten Format CityGML, mit objektorientierten Simulationssprachen (bspw. Modelica) erkennbar.

Das gemeinsam mit der RWTH Aachen (E3D sowie EBC) und der GEF Ingenieur AG durch-

geführte Projekt „EnEff:Stadt ModelSim“ setzt sich daher zum Ziel, die Lücke zwischen der Entwicklung und Anwendung von IT-gestützten Planungshilfsmitteln auf Stadtquartiersebene nachhaltig zu verringern. Durch die Realisierung eines durchgängigen intelligenten Datenflusses sollen die Einstiegshürden zu modellgestützten Planungs- und Simulationswerkzeugen drastisch gesenkt werden. Mittels der Einbindung und dezidierten Weiterentwicklung des CityGML-Standards der SIG3D soll dieser Prozess eine dynamische Analyse mit Hilfe objektorientierter Simulation sowie die Rückführung von (aggregierten) Ergebnissen in das Stadtmodell unterstützen. Ein im Vorgängerprojekt ISIS (FKZ: ET12345) entwickelter Prozesspilot zur Flächennutzungs- und Sanierungsplanung dient dabei als Rahmen des Anwendungsszenarios.

LÖSUNGSANSATZ UND VORGEHEN

Um die Zielsetzungen – eine maßgebliche Reduktion des Bearbeitungsaufwands und die Qualitätsverbesserung energetischer Simulationen urbaner Systeme sowie die Realisierung konsequent modellgestützter kommunaler Planungsprozesse – zu erreichen, steht die Entwicklung einer bidirektionalen objektorientierten Schnittstelle zur Koppelung einer Modelica-basierten Simulationsumgebung mit einem erweiterten semantischen Stadtmodell im Fokus des Vorhabens.

Mit dem in Abbildung 1 dargestellten, zu erreichenden Zielszenario wird der dafür avisierte Lösungsansatz anhand eines idealisierten an-

gestrebten Soll-Prozesses verdeutlicht.

Eine kollektive und einheitliche kommunale Informationsbasis wird in einer Stadtmodell-Management-Plattform verwaltet. Dabei können verschiedene Planungszustände parallel in unterschiedlichen Detaillierungsgraden (Level of Detail) abgebildet werden sowie unterschiedliche, projekt- bzw. rollenbezogene Sichten auf den Gegenstand generiert werden. Neben der Erfassung expliziter Informationen können so auch empirische oder typologische Daten abgebildet werden. Durch intelligente, grafik- und struktur-gestützte Filtermechanismen lassen sich projektbezogene Partialmodelle für die Simulation kapseln und als valide CityGML-Datei (Inputwerte für die Modelica-Simulation) exportieren.

Die CityGML-Dateien werden anschließend in die Modelica Umgebung importiert und dienen nach manueller Erweiterung im Konvertierungs- bzw. Importmodul der konkreten Objektinstanziierung des jeweiligen Anwendungsfalls. Dabei wird auf die entsprechend dem spezifizierten Simulations-Anwendungsfall speziell im Hinblick auf die Abbildbarkeit und Koppelung der im Stadtmodell vorhandenen multiskaligen Detaillierungsebenen (LOD) erweiterte Objektbibliothek zurückgegriffen. Dadurch kann mittels des Mappings der CityGML-Klassen zu den kohärenten Klassen der Modelica-Bibliothek eine automatisierte Instanziierung für den konkreten Anwendungsfall unterstützt werden. Durch die beidseitige Modellierung unterschiedlicher Konkretisierungsstufen (von generischen, typbasierten Ansätzen in frühen Planungsphasen bis hin

zu expliziten, detaillierten Gebäudeinformationen) kann ein planungsbegleitender Optimierungsansatz im Sinne der Integralen Planung unterstützt werden.

Ausgewählte Simulationsergebnisse werden (teils aggregiert) als valides CityGML-Partialmodell aus der Simulationsumgebung exportiert. Dabei beibehaltene Bezüge auf das Ursprungsmodell er-

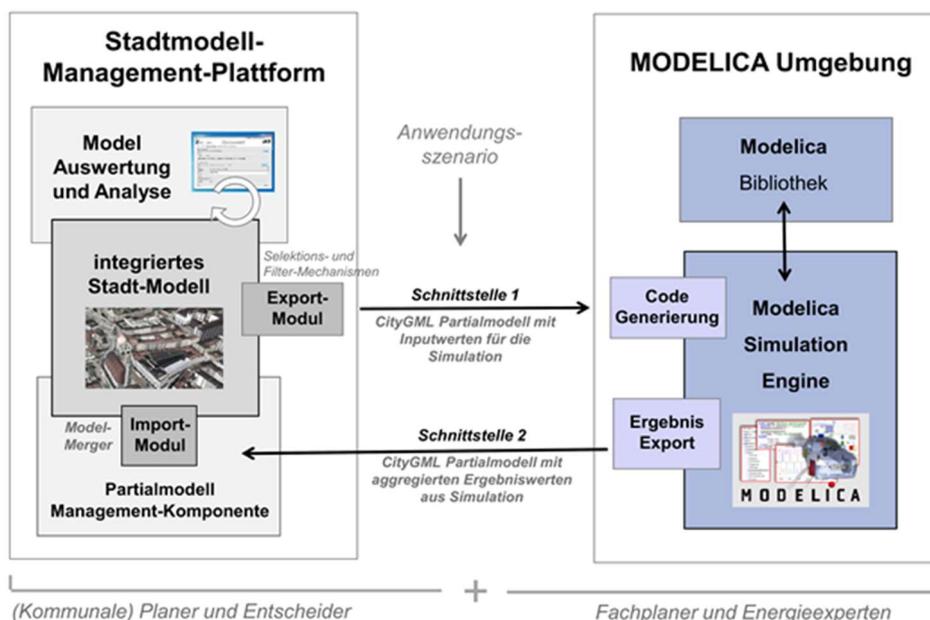


Abbildung 1 angestrebter Ziel-Prozess des Verbundvorhabens

möglichen beim Zurückspielen in die Modell-Management-Plattform eine Reintegration der simulierten Ergebnisdaten in das vorhandene Stadtmodell, das so schließlich dem Auswertungswerkzeug für ganzheitliche Analysen zugänglich gemacht werden kann. Auf den Anwendungskontext abgestimmte Konzepte zur semantischen Visualisierung, wie bspw. eine differenzierte farbliche Auszeichnung der Stadtobjekte entsprechend konkreter Ausprägungen relevanter energetischer Attribute, erleichtern dabei die Interpretation der Analyseergebnisse und den Vergleich alternierender Varianten.

Für die diesem idealtypischen Soll-Prozess unterlegte Konzeption einer bidirektionalen Kopplung von virtuellen Stadtmodellen auf der einen und Berechnungs- und Simulationswerkzeugen auf der anderen Seite soll im Vorhaben szenariobasiert die Machbarkeit sowie deren Mehrwert belegt werden.

INHALT UND THEMATISCHER AUFBAU DES BEISPIELSZENARIOS

Basis für die Entwicklung einer praxisgerechten Schnittstelle ist eine prozessbezogene Identifizierung der auszutauschenden Informationsbedarfe im Rahmen von Anwendungsfällen mit realem Praxisbezug. Zur Spezifikation und formalen Abbildung dieser Art von Datenaustauschenszenarien als praxisorientierte Grundlage von Schnittstellenentwicklungen existieren für virtuelle Gebäudemodelle in der Bauwerksplanung normative Verfahren wie das *Information Delivery Manual* (IDM – ISO 29481-1:2016). Da für den kommunalen Kontext diese Methoden bislang fehlen, bietet es sich an, diese Ansätze im Rahmen des Projekts zu übertragen. Die identifizierten Prozesse und zugehörigen Akteure werden daher methodisch in BPMN (Business Process Modeling Notation) formalisiert und darauf aufbauend prozessbezogene Informationsbedarfe spezifiziert.

Unter Einbindung des Praxispartners mit langjähriger Erfahrung in der Umsetzung kommunaler energetischer Optimierungsprozesse, insbesondere im Bereich von Wärmenetzen, wurde der Anwendungsfall in der kommunalen Bauleitplanung verortet. Ein im Vorgängerprojekt entwickelter Prozesspilot zur konsistenten Abbildung aller dazugehörigen Prozesse und organisatorischen Strukturen sowie rechtlichen Bezüge diente dabei als übergeordneter Rahmen.

Vorbereitende Bauleitplanung

Im Zuge der Energiewende wurde in den letzten Jahren das Themenspektrum des Flächennutzungsplans als strategisches Instrument der Kommunalplanung erweitert. Mit der Berücksichtigung umweltbezogener Themen, insbesondere der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), wurde das Instrumentarium im Sinne eines ganzheitlichen Planungsansatzes erweitert.

Diese Weiterentwicklungen werden dabei vornehmlich in einem „Top-Down“-Verfahren umgesetzt, d.h. durch Änderung der für das auf Ebene der Kommune geltende Satzungsrecht maßgebenden Gesetzesvorgaben (BauGB). Mittels einer entsprechend vorgegebenen Erweiterungsprozedur können allerdings Kommunen zusätzlich auch selbst gemäß dem eigenen Bedarf die in der Planzeichenverordnung (PlanVZ) vorgegebenen generellen Festsetzungsmöglichkeiten der Flächennutzungsplanung (FNP) erweitern bzw. spezialisieren (vgl. § 5 (2) BauGB in Verbindung mit § 2 (2) PlanV 90), wie es bspw. die Stadt Esslingen als Vorreiterkommune bei der Neuaufstellung des FNP durchgeführt hat [ESS 2012]. Die dabei aus dem informellen Planungsinstrument *Energienutzungsplan* in die satzungsrechtliche Bauleitplanung aufgenommenen „Vorranggebiete Energienutzung und Energieeffizienz“ [HIL 2013] bilden einen geeigneten Rahmen für das Anwendungsbeispiel unseres Projektes. Konkret geht es um die im Rahmen der vorbereitenden Bauleitplanung durchzuführende Lokalisierung von Vorranggebieten zur Nutzung von Fernwärme.

Anwendungsfall: Identifizierung möglicher Fernwärmevorranggebiete

In der initialen Phase der Flächennutzungsplanung werden die Weichen für die im finalen Plan abzubildenden Inhalte gestellt. Die vorgegebene Vorgehensweise sieht vor, zunächst die lokal relevanten Themen zu identifizieren. In Form eines Vorentwurfes wird schließlich eine erste abgestimmte Fassung der beabsichtigten strategischen Zielstellungen der Öffentlichkeit kommuniziert, um Stellungnahmen zu ermöglichen. Sind deren Eingaben dann im Vorentwurf eingearbeitet, kann dieser als Ergebnis der ersten Phase in den Prozess der eigentlichen Entwurfserstellung eingehen.

Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt der ersten Phase „Erstellung Vorentwurf“ eines FNP Aufstellungs- bzw. Fortschreibungsverfahrens mit den vorgegebenen Schritten zur Erstellung eines Vorentwurfes als (eigenständige) Teilprozesse in BPMN. Diese beginnen nach der offiziellen Initiierung des Vorhabens zur Aufstellung bzw. Fortschreibung des Flächennutzungsplans durch die öffentliche Bekanntmachung.

Dieser Prozess besteht wiederum aus zwei Teilprozessen: Teilprozess A beinhaltet eine iterative Untersuchung der verfügbaren Informationen, welche für die Bestandsaufnahme der lokalen Ist-Situation herangezogen werden können. Darauf aufbauend wird im Teilprozess B ein Spektrum möglicher Zukunftsentwicklungen betrachtet. Die Erkenntnisse aus Ist-Analyse und Zukunftsszenarien bilden die Grundlage für die Erarbeitung von Vorschlägen für mögliche Fernwärmeverrangsgebiete, die mit (potenziellen) Versorgern und ggf. weiteren Akteuren abgestimmt und im letzten Schritt den politischen Entscheidungsträgern zur Entschlussfassung vorgelegt werden.

Im Weiteren werden diese beiden Prozesse A und B für den ModelSIM-Anwendungsfall konkretisiert.

Bestandsaufnahme und Analyse lokaler Ist-Situation (Teilprozess A)

Im ersten Teilprozess des Anwendungsfall werden alle relevanten Informationen erhoben, die eine Analyse der Wärmeversorgungsstruktur und des Wärmebedarfs möglichst gebäude-

scharf ermöglichen. Methodisch erfolgt zunächst eine Recherche zur Verfügbarkeit von Daten zur Gebäudehülle und -nutzung, zur Gebäudetechnik für Wärmeversorgung (Heizungstechnik, Energieträger, etc.) und zum Wärmeverbrauch/-bedarf. Für die Beschreibung der Gebäude sind ALKIS-Daten eine häufig genutzte Datenquelle. Die Recherche bildet die Grundlage der Entscheidung über die weitere Methodik der Modellierung: Liegen keine expliziten Daten für die Gebäudehülle (z.B. aus Bauantrag) und die Wärmeversorgung vor (z. B. Verbrauchsdaten, Energieausweis), bietet es sich an, den Gebäudebestand mit Hilfe einer Typologie zu kategorisieren. Datenlücken werden durch Schätzungen geschlossen. So wird ein Modell des Ist-Zustands generiert [BSM 2011], mit dem ein Jahreswärmebedarf für jedes Gebäude ermittelt werden kann.

Analyse Zukunftsszenarien lokale Situation (Teilprozess B)

Mit Hilfe der erstellten Datenbasis können verschiedene Szenarien möglicher zukünftiger Entwicklungen berechnet werden. Zur Ableitung von Zukunftszuständen aus der Ist-Situation bietet sich die Szenario-Methodik an. Ausgehend vom Modell für den Ist-Zustand können verschiedene zukünftige Entwicklungen mit ihren Randbedingungen definiert und anschließend berechnet werden. Für die Szenario-Definition werden Schlüsselfaktoren, welche die Entwicklung beeinflussen, identifiziert und analysiert. Durch Parametervariation werden Szenarien generiert, berechnet und die Ergebnisse

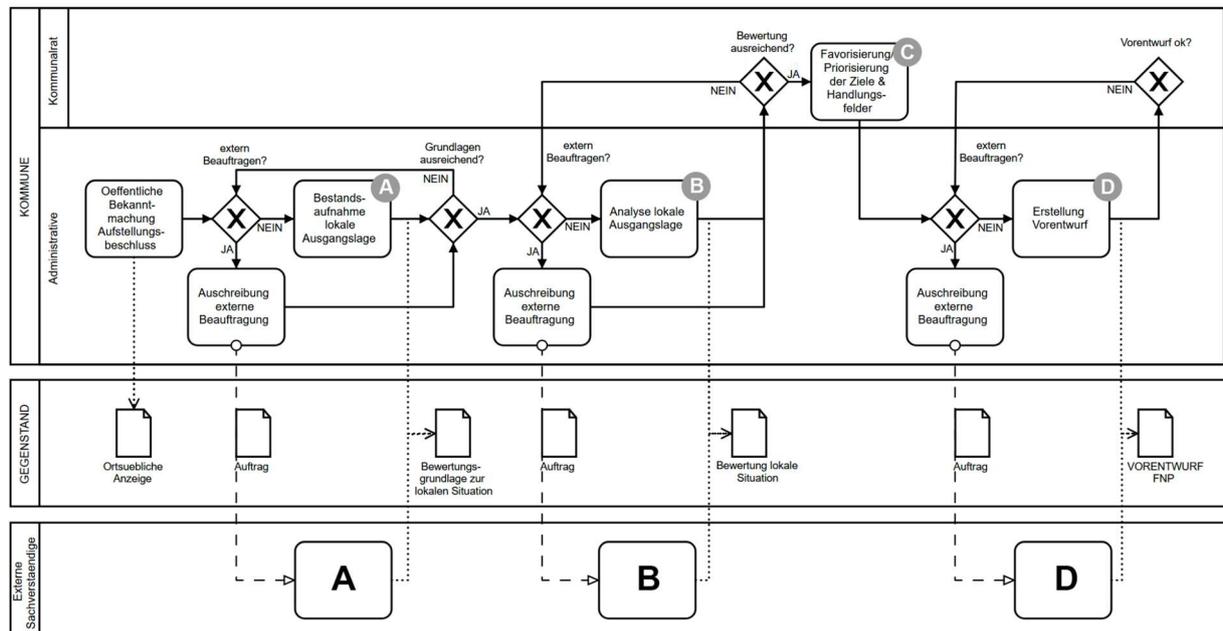


Abbildung 2 Ausschnitt FNP-Vorentwurf (BPMN)

am Ende auf den Untersuchungsgegenstand zurückübertragen [KOS 2008]. Auf dieser Informationsbasis erfolgt eine Strategieentwicklung. Typische Szenarien im Zusammenhang mit der Wärmebedarfsentwicklung sind Ziel-Szenarien mit Vorgabe eines CO₂-Ziels, eines ambitionierten Sanierungsstandards, einer Verdoppelung des Sanierungsumfangs etc.. Sie ermöglichen als Ergebnis dieses Teilprozesses Aussagen zu zukünftigen Wärmebedarfen in identifizierten Stadtgebieten, die einen Ausbau des Fernwärmenetzes dahingehend (fachlich) begründen können.

Fokus auf praxisrelevante Aspekte im Anwendungsfall

Als Grundlage für die Spezifizierung von Informationsbedarfen wurden im Anwendungsfall praxisrelevante Aspekte identifiziert und konkretisiert. So stellt bspw. der Jahresenergieverbrauch bzw. -bedarf der Bauwerke eine wichtige Größe sowohl für die Erhebung des Ist-Zustandes als auch für darauf basierende kommunale Entwicklungsszenarien dar. Hinzu kommt in beiden Teilprozessen die Berücksichtigung des Umfangs energetischer Gebäudesanierungen. Auf diesen Werten können einerseits weitere Berechnungen konkreterer Verbrauchswerte aus literaturbasierten typischen Verbräuchen basieren, wenn die Erhebung des Ist-Zustandes aufgrund lückenhaft verfügbarer Verbrauchsdaten auf (empirisch erhobenen) Daten zu einer Typologie aufbaut. Andererseits kann damit bei der Berechnung zukünftiger Energieverbräuche ein sanierungsbezogener Beiwert als Optimierungsziel gebildet werden. Des Weiteren sind Topologie und Lage des Leitungsnetzes ein wichtiger Aspekt bei der Bewertung der lokalen Ist-Situation. Hieraus lassen sich in den Entwicklungsszenarien bspw. prädestinierte Gebiete für einen Fernwärmeausbau erkennen. Neben diesen grundlegenden Aspekten spielen als Bewertungsgrundlage sowie zur Veranschaulichung der Ergebnisse weitere Aspekte als Aggregate eine Rolle. Hierzu stellen Wärmebedarfsdichte bzw. Wärmebedarfsliniendichte sowie die Wärmeleistungsdichte gewichtige Aspekte des im Anwendungsfall behandelten Gegenstands dar. Sie erleichtern das (fachliche) Bewerten der erhobenen Daten zum Ist-Zustand und verdeutlichen die in den Analysen befundenen zukünftigen Entwicklungsszenarien.

Die Behandlung dieser Aspekte wird auf Seiten der Praxis aufgrund der hohen Spezifität kommunaler Ausgangsbedingungen oftmals durch individuelles Vorgehen der Fachleute geprägt. Ziel des Projektes ist daher die Generalisierung dieser Prozesse und Inhalte als Basis einer Schnittstellenentwicklung. Einen wichtigen Schritt stellt dabei die Vereinheitlichung der Berechnungs- bzw. Simulationsworkflows in Bezug auf die oben beschriebenen Aspekte mit einer generalisierten Aufbereitung der Prozesse und Informationsbedarfe in BPMN dar. (vgl. Abbildung 3). Die BPMN-Bausteine einzelner Teilaspekte erleichtern aufgrund ihres einheitlichen/konvergenten strukturellen Aufbaus die Zusammenführung bei der Entwicklung der Gesamtschnittstelle.

KONKRETISIERUNG INFORMATIONS- BEDARFE DES ANWENDUNGSFALLES

Von entscheidender Bedeutung für beide Teilprozesse des Anwendungsfalles ist die Datenverfügbarkeit und -granularität. Da Daten zu Gebäudehülle, -technik oder -wärmeverbrauch oftmals unvollständig oder inkonsistent sind, werden zur Vervollständigung bzw. Verdichtung literaturbasierte (typologische) Daten herangezogen. Grundsätzlich können Untersuchungen auf Basis sowohl von Verbrauchsdaten zum Ist- und Entwicklungsstand als auch auf Basis von Bedarfsdaten aufgebaut werden. Ein differenzierter Umgang je nach verwendeten Ausgangsdaten – explizit oder typologisch bzw. verbrauchs- oder bedarfsdatenbasiert – stellt eine Grundanforderung an die Daten im Anwendungsfall dar, da diese nur bedingt vergleichbar sind. Insbesondere für die im zweiten Teilprozess B angesetzten Entwicklungsszenarien spielt das genaue Wissen um die einbezogenen Ausgangsdaten eine entscheidende Rolle beim Interpretieren der Prognoseergebnisse bzgl. deren Genauigkeit bzw. Belastbarkeit.

Erhoben werden daher aspektbezogen gegliederte Informationsbedarfe einerseits für verbrauchsbasierte und andererseits für bedarfsbasierte Ausgangsdaten jeweils für die Teilprozesse des Anwendungsfalles. Darüber hinaus werden zwei Ebenen von Datengranularität betrachtet, zum einen (GROBE) literaturbasierte bzw. typologische und zum anderen (FEINE) explizite Daten zu den Bauwerken bzw. Infrastrukturen. Die folgenden Abschnitte konkretisieren die

Informationsbedarfe des Anwendungsfalles in den beiden Bereichen von Ausgangsdaten.

Bedarfsbasierte Ausgangsdaten

Wenn die Datenbasis für ein Vorgehen mit Hilfe von gebäudespezifischen Datensätzen nicht ausreichend ist, kann mit Hilfe einer Gebäudetypologie ein Modell des Gebäudebestandes erstellt werden. Dazu werden zunächst alle Gebäude einzeln nach den Kriterien Nutzung, Größe (Nettogrundfläche und Gebäudehöhe), Stockwerkszahl, Baujahr und Sanierungsstand typisiert. Weitere für die Simulation notwendige Daten werden auf Basis von Grunddaten aus der Literatur ergänzt. Optional können bei der Datenanreicherung weitere gebäudespezifische Daten, wie der Konstruktionstyp (leicht, schwer), die Anbausituation, die Grundrissstruktur sowie Informationen zur Existenz und Nutzung von Dachstuben, Kellerräumen oder Dachgauben mitberücksichtigt werden.

Sofern bereits detaillierte gebäudespezifische Datensätze vorhanden sind, kann auf die Verwendung typologischer Daten weitgehend verzichtet werden. Die zur Simulation erforderlichen Daten umfassen dann detaillierte gebäudespezifische Angaben zu

- thermischen Zonen (Nettogrundfläche, Volumen, Infiltrationsrate)
- sowie deren Nutzungsrandbedingungen

(Benutzungs- und Betriebszeiten, Beleuchtung, Raumklima, interne Wärmegevinne, welche unter anderem durch Aktivitätsgrade, spez. Wärmeemissionen sowie Anwesenheitskoeffizienten der in der Zone befindlichen Geräte und Personen beschrieben werden) und

- den vorhandenen Gebäudebauteilen (Schichtaufbau, Wärmeübergangskoeffizienten, Flächeninhalt, Orientierung).

Da diese sehr detaillierten Gebäudedaten in aller Regel nicht vollständig vorliegen, muss zumeist in begrenzter Weise dennoch auf typologische Informationen zurückgegriffen werden.

Verbrauchsbasierte Ausgangsdaten

Gebäudescharfe, auf Messungen beruhende Wärmeverbrauchsdaten (d.h. FEIN-Daten) liegen in der Regel bei den Mietern oder Eigentümern der Gebäude vor, z. B. als vom Versorger gemessene Daten für die Abrechnung von Endenergieträgern wie Gas, Fernwärme oder Strom vor oder als selbst ermittelte Werte für den Verbrauch von Heizöl, Pellets, Briketts, etc. Für die Nutzung in der Modellierung sollten die Energieträger sowohl für die Heizung als auch für die Trinkwarmwassererwärmung vollständig erfasst werden. Für die Modellbildung sollten zudem witterungsbereinigte Durchschnittswerte über mehrere Jahre verwendet werden. Sind explizite

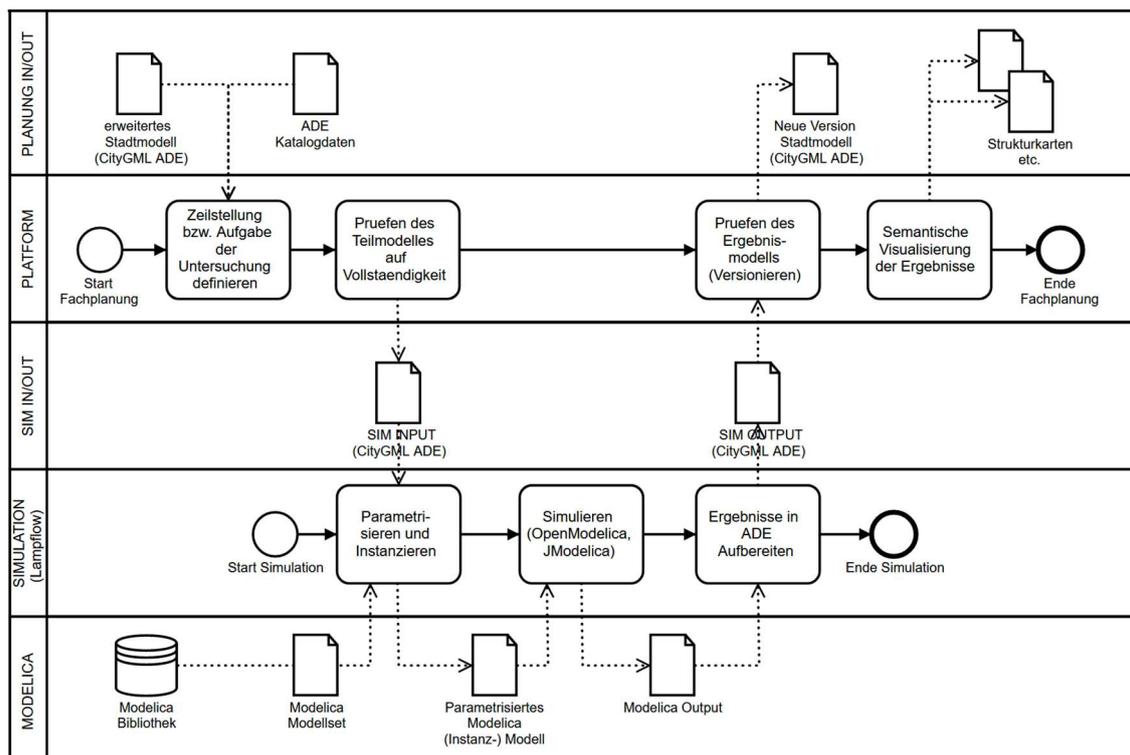


Abbildung 3 BPMN Prozessdiagramm Datenfluss durch Schnittstelle

Verbrauchsdaten nicht zu beschaffen, können alternativ typologische Kennwerte, die auf Basis von Verbrauchsdaten ermittelt wurden, verwendet werden (GROB-Daten).

Um die Wärmekennwerte für verschiedene Energieträger vergleichbar zu machen, empfiehlt sich eine Normierung auf sekundärseitige Endenergie (EEsek) unter Einbeziehung typischer oder expliziter Jahresnutzungsgrade der Anlagentechnik.

UMSETZUNGSSTRATEGIE

Formalisierung der Schnittstelle

Die Informationsbedarfe des Anwendungsfalles bilden im Rahmen des Projektes die inhaltliche Grundlage zum Formalisieren einer CityGML ADE zur Erweiterung dieses Standards mit Fokus auf die Anbindung Modelica-basierter energetischer Quartierssimulation. Die generell für das energetische Themenfeld von der SIG3D entwickelten Modellierungskonzepte der offiziellen Energy ADE werden bei dieser Schemamodellierung berücksichtigt. Damit sollen im Projekt (weiter-) entwickelte Abbildungskonzepte langfristig in die Standardisierungsarbeit einfließen können. Ein Augenmerk liegt dabei auf den bisher in der Energy ADE nicht berücksichtigten Informationsbedarfen, wie beispielsweise folgendes im Projektrahmen erarbeitete ADE Abbildungskonzept für typologische Daten: Mit dem Bereitstellen von Bezugsobjekten sowohl für die Typologie als auch deren Archetypen ermöglicht das Konzept dabei eine flexibel in dem Stadtmodell zusammenstellbare Einbindung dieser literaturbasierten Informationen. Für die im Anwendungsfall benötigten Gebäudetypologien z.B. Tabula [TAB 2016] werden mittels entsprechend exemplarisch aufbereiteten Katalogen sowohl die Klassifizierungsdimensionen, wie die Baualtersklasse, als auch weiterführende an den Archetypen untersuchte Merkmale, wie beispielsweise auf empirischen Zensusdaten ermittelte typische Verbräuche darüber referenziert.

Zu diesen bisher formalisierten Inputwerten der Simulation werden in der Schnittstelle schrittweise (mit Bezug zur folgenden Entwicklung einer Werkzeugkette) Abbildungskonzepte für die Simulationsergebnisse eingearbeitet.

Daten-Roundtrip mit Werkzeugkette

Über die Datenschnittstelle können die spezifizierten Informationen dann mit der Simulations-

domäne ausgetauscht werden (vgl. Abbildung 1). Hierfür werden auf fachlicher Seite der Simulation bzw. Berechnung entsprechende an die Datenschnittstelle angepasste Modelica-Simulationsmodelle in Bibliotheken vorgehalten, sodass darüber empfangene Inputdaten direkt zu deren Parametrisierung verwendet werden können. Außerdem sollen die von den parametrisierten Modelica-Modellen erbrachten Simulationsergebnisse ebenfalls mit der Datenschnittstelle abgebildet werden (bidirektionale Kopplung), damit sie ins Modell auf Seite der Planung zurückgeführt werden können. Dieser in Abbildung 3 schematisch dargestellte Datenfluss wird dabei durch eine im Rahmen des Projektes zu entwickelnde Werkzeugkette unterstützt:

Ausgangspunkt bildet die Modell-Management-Plattform, in der das integrierte Gesamtmodell verwaltet wird. In dieses fließen gemäß dem erweiterten Stadtmodellstandard die Informationen zur lokalen Ausgangssituation ein. Ergänzt werden kann in der Datenbasis dann mittels selektiver Editierungsmöglichkeiten wie beispielsweise die Einbindung von typologischen Informationen durch Setzen von Referenzen auf Katalogdaten. Mittels Filtermechanismen wird die Auswahl von Partialmodellen als Inputdaten für Simulation und Berechnung unterstützt. Gekapselt aus dem Gesamtmodell exportiert, werden diese Datensätze vor der Übergabe an die Simulationsseite einer regelbasierten Modellprüfung unterzogen. Die Kontrolle der inhaltlichen Vollständigkeit ermöglicht durch den qualifizierten Datenaustausch eine transparente und nachvollziehbare Modellqualitätssicherung der in die Plattform im- bzw. exportierten Daten.

Als Datenmanagement-Plattform innerhalb der Simulationsdomäne kommt die Open Source 3D-Geodatenbank 3DCityDB [STA 2009] zum Einsatz. Für den Import und Export kommen für standardkonforme CityGML-Datensätze die bereits in der 3DCityDB vorgesehene Funktionalitäten zur Anwendung. Für die in der ADE vorliegenden Daten wird auf eigens erstellte Import-/Exporttools zurückgegriffen.

Die Datenanreicherung sowie die Parametrierung und Instanziierung der Simulationsmodelle erfolgt mit Hilfe des Open Source Tools TEASER [REM 2017]. Als Kommunikationsschnittstelle zwischen der 3DCityDB und TEASER wird das ebenfalls frei verfügbare Webframework Django genutzt. Dieses ermög-

licht auf Basis einer objektrelationalen Abbildung eine einfache Kommunikation zwischen der 3DCityDB und der objekt-orientierten Datenverarbeitung in TEASER. Mit Hilfe einer eigens für TEASER erstellten sogenannten Django-App, werden die Input-Daten aus der 3DCityDB an TEASER übergeben. Für den Fall, dass keine vollständig parametrisierten gebäudespezifischen Datensätze vorliegen, werden in TEASER die noch fehlenden Daten durch literaturbasierte Grunddaten ergänzt. Auf Basis der angereicherten Datenbasis werden die entsprechenden Modelica-Modelle aus der Modell-Bibliothek AixLib [MUE 2016] ausgewählt, mit den zuvor berechneten Parametern belegt und instanziiert. Die parametrisierten Modellinstanzen werden anschließend ausgeführt bzw. simuliert und die Simulationsergebnisse in ihrer Rohform gesammelt. Die Simulation zur Wärmebedarfsberechnung erfolgt üblicherweise auf Basis einer stündlichen Zeitschrittweite. Von TEASER erstellte Simulationsmodelle können grundsätzlich in allen gängigen Umgebungen (Dymola, OpenModelica, JModelica) ausgeführt werden.

Im abschließenden Schritt werden die Simulationsergebnisse auf die notwendigen Daten reduziert, da die Modelica-Simulationen standardmäßig sehr detaillierte, zeitaufgelöste Informationen (z.B. Temperaturverläufe) enthalten, die nicht in der Schnittstelle abgebildet werden. Die reduzierten Simulationsergebnisse werden anschließend zurück in die 3DCityDB geschrieben und können von dort aus in das CityGML-Format exportiert werden.

Das von der Simulationsumgebung exportierte Ergebnismodell wird beim Einlesen in die Modell-Management-Plattform zunächst formal sowie inhaltlich regelbasiert geprüft. Zudem sichert ein stringentes Versionierungskonzept zur Verwaltung unterschiedlicher, auf Simulationsseite generierter Multivarianten- und Prognosemodelle die temporale Konsistenz rückgeführter Partialmodelle und verhindert gleichfalls ein Auseinanderlaufen unterschiedlicher Stände im Gesamtmodell. Mit regelbasierten Analysen sowie semantischer Visualisierung wird ein Auswertungswerkzeug die Aufbereitung der Simulationsergebnisse zu bedarfsgerechten Wärmekartierungen (Ergebnis Teilprozess A) bzw. Strukturkarten zur Begründung von Fernwärmevorranggebieten im FNP (Ergebnis Teilprozess B) unterstützen.

AUSBLICK

In dem bis Ende 2019 laufenden Projekt wird die Datenschnittstelle iterativ weiterentwickelt. Das in der Ausarbeitung befindliche Rückführungskonzept der Simulationsdaten in das Planungsmodell soll anhand von realer Beispieldaten einer Kommune exemplarisch evaluiert werden.

DANKSAGUNG

Wir danken für die finanzielle Unterstützung (FKZ 03ET1410) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

LITERATUR

- [BSM 2011] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (Hrsg.). Leitfaden Energienutzungsplan.
http://www.bestellen.bayern.de/shoplinc/stmug_klima_00003.htm
- [ESS 2012] Stadt Esslingen am Neckar – Neuaufstellung Flächennutzungsplan 2030
https://www.esslingen.de/site/Esslingen-Internet-2016/get/params_E-2121192848/2832498/Erl%c3%a4uterungen%20Strukturkarten+19_10_2012I.pdf
- [HIL 2013] Hildebrandt, O. (2013) Energienutzungsplan Esslingen am Neckar
http://esslingenundco.de/site/Esslingen-und-CO/get/params_E-210857287/5675216/2013-10-30-Energienutzungsplan%20Esslingen%20Gesamtbericht%2029102013.pdf
- [KOS 2008] Kosow, H., Gaßner, R (2008): Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse
https://www.izt.de/fileadmin/publikationen/IZT_WB103.pdf
- [MUE 2016] Müller, D., Lauster, M., Constantin, A., Fuchs, M., Remmen, P. (2016): AixLib - An Open-Source Modelica Library within the IEA-EBC Annex 60 Framework
- [REM 2017] Remmen, P., Lauster, M., Mans, M., Fuchs, M., Osterhage, T., Müller, D. (2017): TEASER: an open tool for urban energy modelling of building stocks
- [STA 2009] Stadler, A., Nagel, C., König, G., Kolbe, T. H. (2009): Making Interoperability Persistent: A 3D Geodatabase Based on CityGML. In: Lee, J., & Zlatanova, S. (Eds.), 3D Geo-Information Sciences, Springer, Berlin/Heidelberg, 175-192.
- [TAB 2016] Tabula – DE Germany - Country Page; <http://episcopo.eu/building-topology/country/de.html>