ENsource Serviceangebot

Ausgewählte Angebote für Stadt- und Regionalplanung

sowie Bau- und Energiesystem-Planungsbüros

Zuständiger Projektpartner: Hochschule Reutlingen (HHZ)

Bearbeitet durch: Prof. Dr. Dieter Hertweck (Hochschule Reutlingen)
Denise Meyer (Hochschule Reutlingen)
Jan Fauser (Hochschule Reutlingen)
Martin Hein (Hochschule Aalen)
Elias Schwemin (HFT Stuttgart)

Das Projekt ENsource wird gefördert durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg und den Europäischen Fonds für regionale Entwicklungen (EFRE). Aktenzeichen: FEIH_ZAFH_562822

Kapitelübersicht

1 Einführung ... 3

2 Eigenschaften und Anforderungen der Stakeholdergruppen ... 4

2.1 Ermittlung und Übersicht relevanter Stakeholdergruppen ... 4

2.2 Aufgaben der Stakeholdergruppen ... 4

2.3 Anforderungen/Bedürfnisse der Stakeholdergruppen ... 5

2.4 Zusammenführung der ENsource Tools mit den Stakeholdergruppen ... 6

3 Überblick über die in ENsource entwickelten Tools (stakeholderrelevant) ... 6

3.1 SimStadt ... 7

3.2 Energiesystemoptimierung mit KomMod ... 9

3.3 Dynamische Energieversorgungsanalyse (TRNSYS) ... 12

3.4 Anlagenoptimierung / Energiemanagement ... 15

3.5 Anlagensimulation ... 16

3.6 Kälteanlagen - Optimierung ... 17

3.7 Integrierte Lösung zur Quartierssteuerung ... 19

3.8 Power-to-X-Prozesse (PtX) ... 21

3.9 Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodell ... 23

3.10 Wirtschaftlichkeitsanalyse einer Biogasanlage ... 25

3.11 Wirtschaftlichkeitsanalyse einer Power-to-Gas-Anlage ... 27

3.12 Ressourcenaufwandsbewertung ... 29

4 ENsource-Framework ... 31

4.1 Einsatz der ENsource-Tools im Energiesystemmanagement ... 31

4.2 Darstellung exemplarischer Schnittstellen (Tool-Chains) ... 32

4.3 Tool-Schnittstellen ... 34

Anhang ... 35

1 Einführung

Der Forschungsverbund „Urbane Energiesysteme und Ressourceneffizienz - ENsource“ (http://www.ensource.de/de/home.html) aus acht Baden-Württembergischen Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) und außer-universitären Forschungseinrichtungen entwickelt seit 2015 zusammen mit Wirtschaftspartner*innen Simulations-, Automatisierungs- und Optimierungs-tools für ressourcen- und insbesondere klimaschonende urbane Energiesysteme und begleitet die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen in fünf Fallstudien.

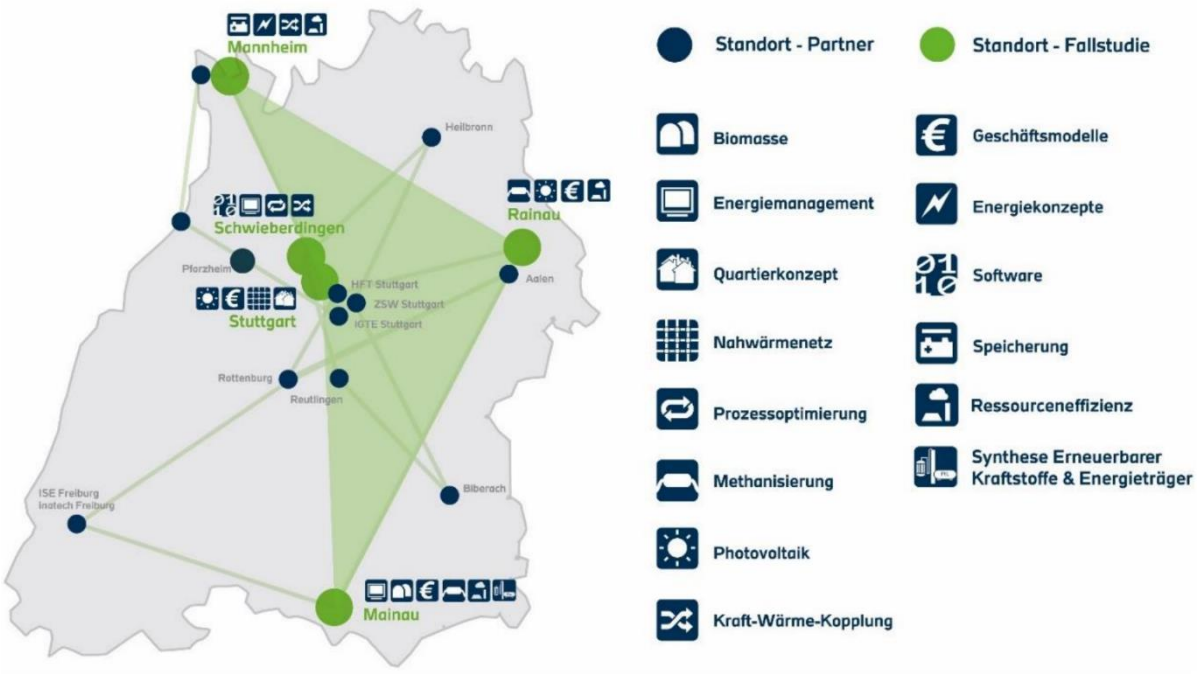


Abbildung 1. ENsource Netzwerk und thematische Schwerpunkte.

Das ENsource-Konsortium verfügt über umfangreiche Erfahrung in der interdisziplinären Analyse und praxisorientierten Aufarbeitung der komplexen Zusammenhänge bei der Gestaltung urbaner Energiesysteme sowie der Entwicklung von alternativen Handlungs- und Geschäftsmodellen für eine nachhaltige Energiewende. Das Konsortium will seine Expertise nutzen, um wissenschaftliche Erkenntnisse in praktische Maßnahmen zu überführen und so den Transformationsprozess zu einer nachhaltigen Gesellschaft voranzutreiben.

Im Zuge dessen wurden in ENsource praxisorientierte Konzepte für die Anwendung der in ENsource entwickelten Methoden und (IT-)Tools entwickelt. Auf der Grundlage einer systematischen Analyse von Stakeholdern und potenziellen Anwendern sowie der Erfahrungen aus den ENsource-Fallstudien zu typischen Anwendungsfeldern, Planungsprozessen und Anforderungen erfolgte eine anwendungs-orientierte Weiterentwicklung und Zusammenführung der in ENsource entwickelten Ansätze in einem Serviceangebot.

Durch das Serviceangebot sollen die Forschungsaktivitäten eine Einbindung in die Praxis finden und zu nützlichen Werkzeugen für die interessierten Stakeholder werden. Damit dies gelingt, ist eine enge Einbindung zukünftiger Anwender bei der Erstellung des Serviceangebots vorgesehen. Das ENsource-Team freut sich daher über ihr Feedback zur Optimierung des vorliegenden Serviceangebots.

2 Eigenschaften und Anforderungen der Stakeholdergruppen

Bei Energieversorgungsunternehmen sowie im Energiesektor tätigen Unternehmen und auch in Kommunen müssen Prozesse organisiert und entsprechend in deren Organisation integriert werden. Je nach Fragestellung und Tätigkeitsfeld ergeben sich unterschiedlichste Anforderungen an die Tools und Problemstellungen, die zu lösen sind. So können aufgrund von gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie dem EEG, Restriktionen für Umsetzungsmaßnahmen entstehen. Wichtig ist es, diese zu erkennen und entsprechende Mustermethoden zur Lösung der Probleme zu entwickeln. Als Grundlage zur Erstellung des ENsource-Serviceangebots wurden die Stakeholderprozesse und die Anforderungen der einzelnen Akteure (Kommunen, Energieversorger, KMUs, …) analysiert. Bestandteil der Analyse sind die internen, externen und datenschutzrechtlichen Vorgaben der Stakeholder. Hierdurch soll das Ableiten eines Konzepts für ein übergreifendes Datenmanagement für die ENsource Tools ermöglicht werden. Ziel ist es, kundenzentrierte Musterprozesse von Systemzusammenhängen und Prozessen aus Sicht der Akteure zu entwickeln.

2.1 Ermittlung und Übersicht relevanter Stakeholdergruppen

		INHALTE DER STAKEHOLDERANALYSE	UMSETZUNG IN ENSOURCE
Daten-erhebung	Stufe 1	Identifikation der Stakeholder	Abfrage bei den Toolverantwortlichen
	Stufe 2	Identifikation der Ziele und Interessen der Stakeholder	Abfrage bei den Toolverantwortlichen sowie Recherche und auf Basis anderer Projekte
	Stufe 3	Identifikation der Eigenschaften der Stakeholder	Literaturrecherche
Analyse	Stufe 4	Analyse der Stakeholder und Priorisierung	Abfrage auf Basis der VPC (welcher Stakeholder ist relevant, wer wäre bereit für Tool oder Service im Sinne einer Dienstleistung zur Lösung seiner Fragestellung Geld auszugeben)
	Stufe 5	Analyse von möglichen Koalitionen	Zusammenfassung einzelner Tools zu Services auf Basis der gegebenen Schnittstellen
	Stufe 6	Analyse der Strategien der Stakeholder	aktueller Stand des Tools
Aus-wertung/ Ziel	Stufe 7	Festlegung von Strategien und Auswertung	Einerseits Festlegung auf Basis der Erfahrungen des Transferworkshops, andererseits Festlegung auf Basis der Meilensteine und Arbeitspakete (bereits bei der Projektbeantragung bzw. Projektverlängerung geschehen)
	Stufe 8	Monitoring	weitere Entwicklung der Tools und Services nicht mehr Gegenstand von ENsource
	Stufe 9	Überprüfung und Zielerreichung	weitere Entwicklung der Tools und Services nicht mehr Gegenstand von ENsource

Tabelle 1. Vorgehensweise bei der Stakeholderanalyse im Projekt ENsource

2.2 Aufgaben der Stakeholdergruppen

Aufgaben im Bereich der Energiewirtschaft entlang eines Muster-Planungsprozesses

- **Planung** eines Energiesystems bzw. von einzelnen Anlagen
  - inkl. Ist-/Problemanalyse, z.B. Aufzeigen von energetischen/ökonomischen/ökologischen Ineffizienzen
  - Planung eines optimalen Energiesystems (Aufzeigen von Optimierungspotentialen in Bezug auf ökonomische und ökologische Faktoren, Einbezug von Förderungs- und Finanzierungsmöglichkeiten, …)

- **Implementierung** eines neuen **bzw. Optimierung/Transformation** eines bestehenden Energiesystems bzw. von einzelnen Anlagen
  - Installation und Inbetriebnahme
  - Inspektion (Zertifizierung?)
  - Überwachung/Support
  - Optimierung einzelner Anlagen/Systeme/Prozesse/Maßnahmen/…
- **Betriebsführung/Management** eines Energiesystems bzw. von einzelnen Anlagen
  - **unter ökonomischen** (Wirtschaftlichkeit/ROI von Geschäftsmodellen/Vorhaben, Investorensuche, …),
  - **ökologischen** (Reduktion negativer Umwelteinwirkungen, Ressourceneffizienz, geringe CO_2 Emissionen, …) und
  - **rechtlichen Gesichtspunkten** (Einhaltung von gesetzlichen Regularien/Auflagen, flexible Anpassung an Gesetzes-/Förderrichtlinienänderungen, …)

2.3 Anforderungen/Bedürfnisse der Stakeholdergruppen

Stakeholder	Ausgangssituation der Stakeholder	Interne Ziele (abgeleitete aus Literatur und Experteninterviews)	Externe Faktoren, Einflüsse bzw. Vorgaben	relevante Schnittstellen zu ENsource
Stadt-/Regionalplaner	Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen, die die Anforderungen an Klimaschutz und Ressourceneinsparung erfüllen, die eine Umsetzung durch Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr erlauben und die eine Steigerung der Energieeffizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energien mit sich bringen[1]	Ableitung von Entwicklungsstrategien	Schnittstelle zwischen verschiedenen Einflüssen (Bürger, Stadtrat, Handel und Gewerbe)	Entwicklung maßgeschneiderter Szenarien mit Richtwerten auf Basis relativ weniger Daten
(Bau-)Ingenieur-/ Planungsbüros/Energiesystemplaner	Nutzung von Planungstools für Wohn-/Industriegebäude, Quartiere, Parkhäuser, Ladeinfrastruktur; Sektorkopplung und multikriterielle Bewertung, Integration von Regelstrategien (z.B. Lastspitzenglättung); entscheidende Faktoren von planungsunterstützenden Tools: Abstimmung komponenten-spezifischer Regelung mit den zentralen Betriebsstrategien und Auflösung der Ergebnisse von mind. 15 Min; Außerdem ergebnisorientierte Darstellung zur Wirtschaftlichkeit und ökonomischen Auswirkungen (z.B. CO2-Bilanzierung)[2]	Wirtschaftlichkeit, Marketing der umgesetzten Maßnahmen (Reputation, "guter Ruf")	regulatorische Beschränkungen, Wirtschaftlichkeit der umgesetzten Maßnahmen	gekapselte Softwarelösungen zur ganzheitlichen Betrachtung ganzer Energiesysteme

Tabelle 2. Bedürfnisse; Ziele sowie Vorgaben der jeweiligen Stakeholder und mögliche Schnittstellen zu den in ENsource entwickelten Tools und Services.

[1] Mauthner, F., Leusbrock, I., Nageler, P. J., Heimrath, R., Biberacher, M., & Schardinger, I. (2018): Räumliche Energieplanung in Städten und Kommunen. In: Transforming Cities 1, S. 44–48.
[2] Göhler, Georg (2018): Nutzerbezogene Anforderungsanalyse für Planungstools im Bereich Energie und Elektromobilität. Umfrageergebnisse und Kurzstudie. Hg. v. Fraunhofer IAO Universität Stuttgart.

2.4 Zusammenführung der ENsource Tools mit den Stakeholdergruppen

Die folgende Darstellung stellt die in ENsource entwickelten Tools und Methoden den identifizierten Stakeholdergruppen entgegen.

	SimStadt	KomMod	TRNSYS	Anlagenoptimierung / Energiemanagement	Anlagensimulation	Kälteanlagen-Optimierung	Quartiersteuerung	PtX-Prozesse	Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodell	Wirtschaftlichkeitsanalyse PtG-/Biogasanlage	Geschäftsmodell-Konfigurator	Ressourcenaufwandsbewertung
Stadt-/Regionalplaner	X	X	X		X		X	X	X			X
Ingenieur-/Planungsbüros	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X

Tabelle 3. Zuordnung der ENsource Tools zu ausgewählten Stakeholdergruppen des ENsource Projektes.

3 Überblick über die in ENsource entwickelten Tools (stakeholderrelevant)

Tool	Kurzbeschreibung (Funktionsumfang)
SimStadt	Energiesimulationen von Gebäuden, Stadtquartieren, Städte, Regionen
KomMod	Simulationsprogramm zur Ermittlung eines optimalen zukünftigen Ziel-Energiesystems
TRNSYS	dynamisches Gebäude- und Anlagen-Simulationsprogramm (kommerziell)
Anlagenoptimierung / Energiemanagement	Fahrplanoptimierung von BHKWs und Wärmepumpen
Anlagensimulation	Simulation von Anlagen, u.a. BHKW, Wärmepumpen, thermische und elektrische Speichern, PV, Thermie
Kälteanlagen-Optimierung	Modellprädiktive Optimierung von zukünftigen Anlagenfahrplänen
Quartiersteuerung	Koordiniertes Energiemanagement für Gebäudekomplexe und Quartiere
PtX-Prozesse	Auslegung und Simulation eines PtX-Systems auf vereinfachter Ebene
Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodell	Prognosemodell zur Abschätzung des Energiepotenzials von biogenen Reststoffen
Wirtschaftlichkeitsanalyse PtG-/Biogasanlage	Wirtschaftlichkeitsanalyse und Vermarktungsstrategien einer kommunale Biogasanlage mit PtG-Anlage
Ressourcenaufwandsbewertung	Energie- / Stoffstromanalyse für ökologische und ökonomische Fragen → Energieprognose im Gesamtzusammenhang

Tabelle 4. Bezeichnungen sowie Kurzbeschreibungen der in ENsource (weiter)entwickelten Tools und Modelle (stakeholderrelevant)

Im Folgenden werden die einzelnen ENsource Tools anhand einer Kurzbeschreibung sowie einer ArchiMate-Modellierung dargestellt. Die Darstellung anhand von ArchiMate wurde gewählt, um ein holistisches Bild und die Relationen der Komponenten der entwickelten Tools bezüglich Geschäfts- und Implementierungsdetails auf Applikationsebene darzustellen. ArchiMate ist eine Modellierungs-sprache zur Darstellung von Unternehmensarchitekturen. Eine Übersicht über die ArchiMate-Notation befindet sich im Anhang des Serviceangebots.

3.1 SimStadt

Überblick SimStadt	
Kurzbeschreibung	SimStadt ist eine urbane Simulationsumgebung zur Verwaltung von Daten der realen städtebaulichen Situation und eines Planungszustandes, z.B. für Energieanalysen von Gebäuden, Stadtquartieren, ganzer Städte und sogar Regionen. Die Anwendungsszenarien reichen hier von Simulationen des Heizwärmebedarfs über Photovoltaik-Potenzialstudien, Bilanzierung des Energiebedarfs und CO2-Ausstoßes bis hin zur Simulation von Gebäudesanierungs- und erneuerbaren Energieversorgungsszenarien. Ziel ist es mit Hilfe der Software die Planungssicherheit und Wirtschaftlichkeitsanalyse der Energiewendemaßnahmen deutlich zu verbessern.
Anwender	Stadtplaner, Ingenieure, Forscher, Stadtwerke, Berater (potentiell auch: Städte, Gemeinden)
Funktionalität	Ermittlung von Wärmebedarf, PV-Potential, CO2-Ausstoß und Primärenergie von Energiesystemen (jeweils im Ist-Zustand oder nach Sanierungsszenarien); Berechnung der Grauenergie; Ermittlung von Fernwärme-Szenarien auf Basis des Heiz-Wärme-Bedarfs; Ermittlung der Baujahre von Gebäuden
Input	3D-Stadtmodell (City GML), Gebäudenutzungsart (inkl. Keller- und Dachflächennutzung), Baujahr
Output	Stündlicher und monatlicher Wärmebedarf (pro Gebäude sowie Gesamt), PV-Potential je Gebäude-/Fassadenfläche, Sanierungsszenarien, Co2-Ausstoß, Primärenergie, Fernwärme, Grauenergie
Schnittstellen	KomMod (o.ä. Optimierungstools können Outputs verwenden), UmbertoLCA+ (kann SimStadt Outputs verwenden um ressourchenschonenende Energiesysteme zu planen) Ecoinvent (zugrundeliegende LCI database)
Ansprechpartner	Prof. Dr. Volker Coors, HFT Stuttgart, volker.coors@hft-stuttgart.de

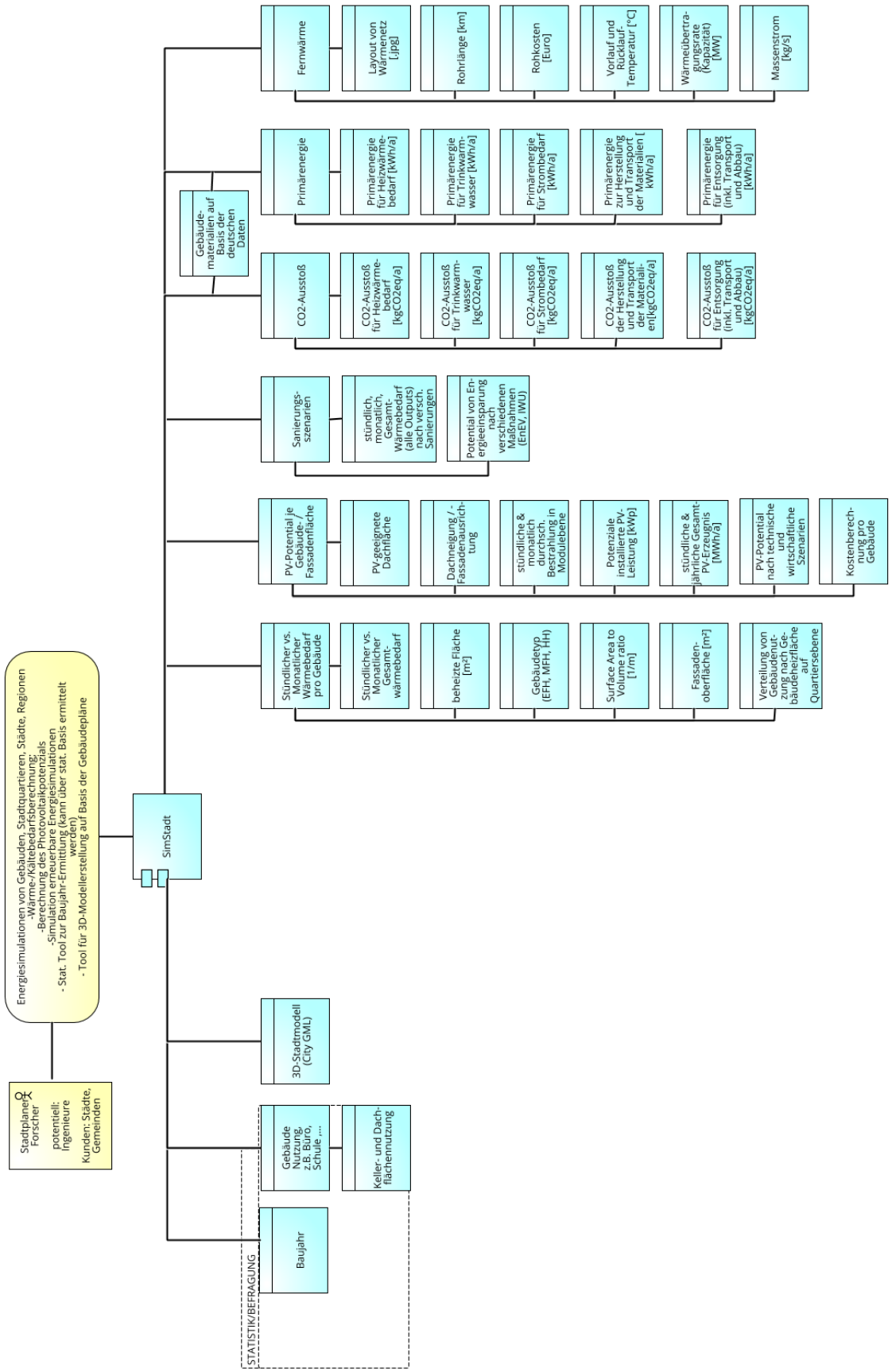


Abbildung 14. ArchiMate Modellierung des Tools SimStadt.

3.2 Energiesystemoptimierung mit KomMod

Übersicht: KomMod	
Kurzbeschreibung	Techno-ökonomisches Energiesystem Optimierungsmodell, welches unter der Angabe der Potentiale für die Erzeugungstechnologien, Bedarfe und Kosten der verschiedenen Technologien (zum Beispiel Photovoltaik, BHKWs, Heizungssysteme, Windenergieanlagen, etc.) berechnet, wie der zukünftige Energiebedarf (Strom, Wärme, Kälte) am kostengünstigsten durch die Technologien gedeckt werden kann.
Anwender	Das Modell wird angewendet, um sowohl städtischen Akteuren als auch Industrie- oder Gewerbetrieben (wie zum Beispiel die Insel Mainau) aufzuzeigen, wie ein zukünftiges optimales Energiesystem aussieht, welches ihren Anforderungen an den Klimaschutz gerecht wird ➔ Kommunen, Regionen, Energieversorgern und Firmenstandorten mit hinreichend großem Energiesystem
Funktionalität	• die Struktur und den Betrieb eines sektorgekoppelten Energiesystems linear optimieren (Optimierungsziel entweder min. Kosten, min. CO_2-Ausstoß oder max. Autarkiegrad) • Bewertung und Planung urbaner/regionaler Energiesysteme unter Berücksichtigung vieler Randbedingungen, wie stündl. Bedarfsdeckung, vorhandenen Potenzialen und nachhaltiger Versorgung • Folgenabschätzung für Eingriffe in ein bestehendes Energiesystem
Input	• Potentiale für alle Erzeugungstechnologien sowie Speicher, außerdem Beschränkungen für den Im- und Export von Energie • Kosten für alle Technologien und Brennstoffe • Stündlich aufgelöste Bedarfe für alle Energiearten, die berücksichtigt werden sollen (Strom, Wärme, Kälte
Output	• Installierte Leistungen für alle Erzeuger • Gesamtkosten des Energiesystems sowie Kosten für die einzelnen Erzeuger • Stündlich aufgelöste Erzeugerzeitreihen
Schnittstellen	PV Investitionsentscheidungsmodell; weitere geplante Erweiterung in ENsource: bessere Abbildung von ptx Technologien im Modell, bessere Verknüpfung der Berechnung von Ressourcenaufwandsindikatoren und der KomMod Ergebnisse, Disaggregation der Ergebnisse auf einzelne Gebäude)
Ansprechpartner	Prof. Dr. Gerhard Stryi-Hipp, Fraunhofer ISE, gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de

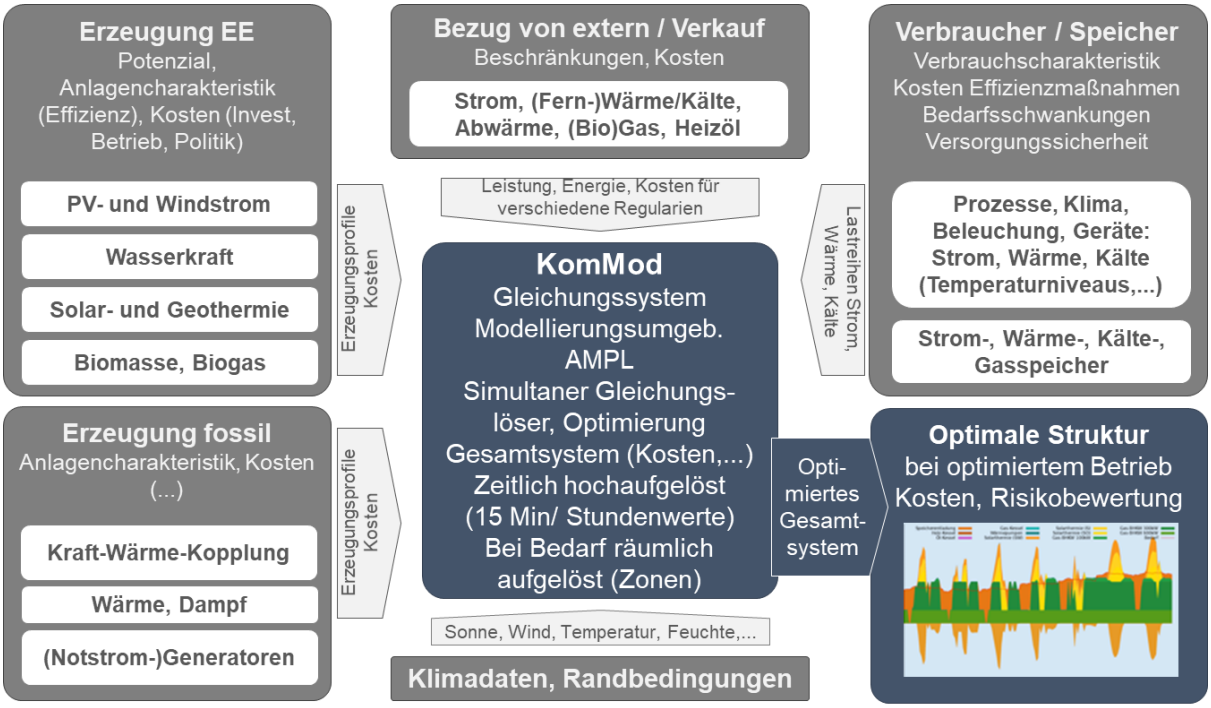


Abbildung 2. Funktionsumfang von KomMod im Überblick.

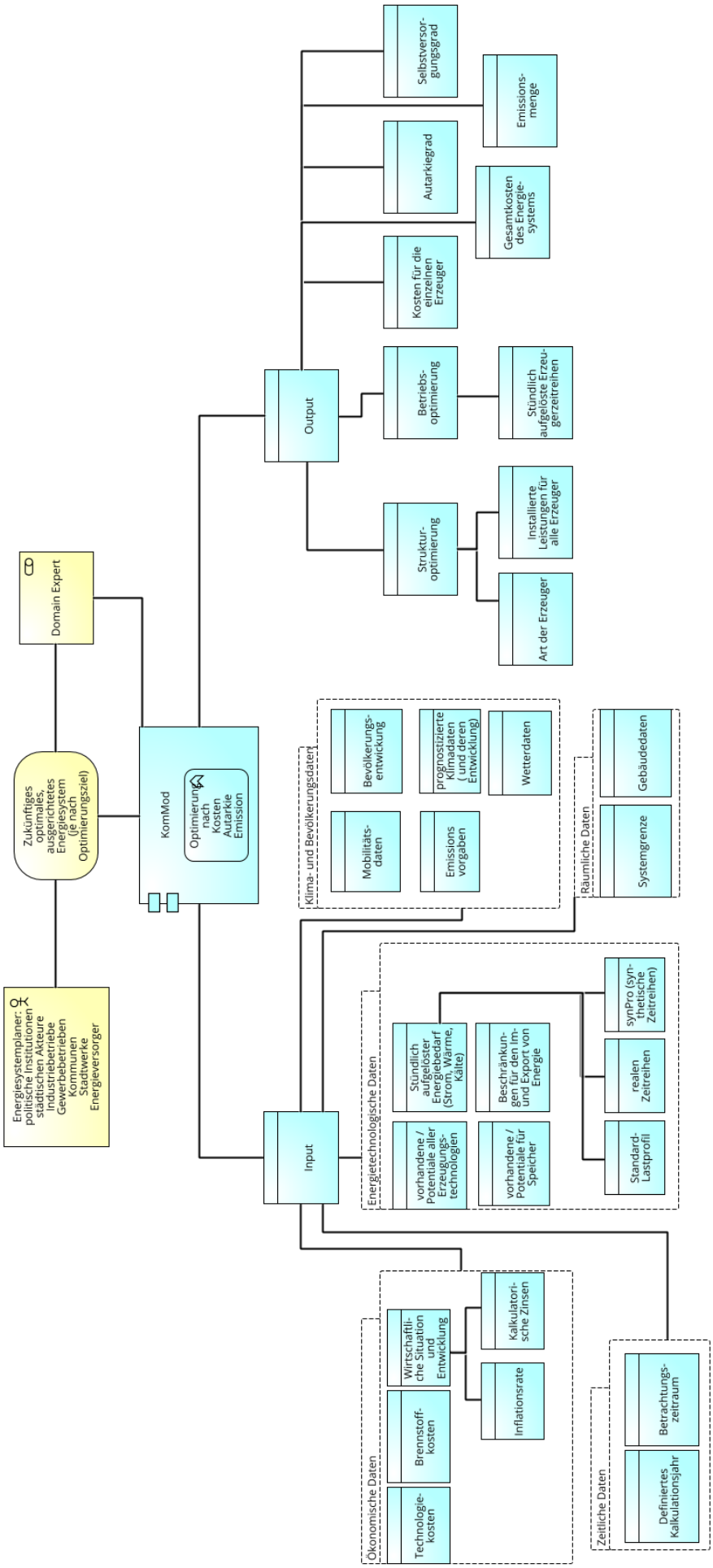


Abbildung 3. ArchiMate Modellierung des Tools KomMod

3.3 Dynamische Energieversorgungsanalyse (TRNSYS)

Übersicht: TRNSYS (kommerzielle Software TRaNsient SYstems Simulation)	
Kurzbeschreibung	TRNSYS ist ein modular aufgebautes, dynamisches Gebäude- und Anlagen-Simulationsprogramm (kommerzielle Software). Es wird hauptsächlich für die Simulation und Bewertung von thermischen und elektrischen Anlagen und Systemen eingesetzt. Dynamisch bedeutet, dass im Gegensatz zu statischen Berechnungen (z.B. auf Basis von Monatsbilanzen) hier eine zeitlich hoch aufgelöste Berechnung von z.B. Temperaturen, Energie- und Massenströmen usw. erfolgt. Hierdurch werden thermische und elektrische Lastspitzen besser berücksichtigt und Wärmeverluste können temperaturabhängig berechnet werden. TRNSYS verfügt auch über eine sehr große Bibliothek an weltweiten Wetterdaten. Somit können Wetterdaten in hoher zeitlicher Auflösung für die Simulationen genutzt werden. • Berechnung des Wärme-, Kälte- und Strombedarfs von Gebäuden • Analyse der Energieversorgung von Gebäuden und Quartieren inkl. verschiedener Betriebsweisen der Energieerzeuger • Analyse von Energiesystemen und -konzepten jeglicher Art
Anwender	Forscher, privatwirtschaftlich: seltener (hohe Anschaffungskosten), dort v.a. Architekten, Städteplaner, Stadtwerke (z.B. Wärmelastberechnung von Gebäuden, Planung von Energieversorgungssystemen), Planer von Energiesystemen (keine Detailplanung, wie z.B. Dimensionierung der Hydraulik)
Funktionalität	• Detaillierte Abbildung von Gebäuden (U-Werte, Heizung, Lüftung, solare Wärmegewinne usw.) und diversen technischen Anlagen (bestehend aus unterschiedlich vielen Einzelkomponenten, z.B. aus der Wärme- oder Kältetechnik) • Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation (auch Kopplung) • Standardbibliothek an Komponentenmodellen (Types) • Möglichkeit zur Anpassung vorhandener und Programmierung eigener Types zur Abbildung bestimmter Komponenten
Input	Für die Gebäudesimulation werden möglichst genaue Angaben zum Aufbau der Gebäude (U-Werte) sowie zur Nutzung (Berechnung interner Lasten, Lüftung, Heizung usw.) benötigt. Für die Abbildung von Energieerzeugungsanlagen werden entsprechende technische Daten dieser Anlagen benötigt. Zudem sind vor allem Informationen zur Regelung der Anlagen (z.B. strom- oder wärmegeführt bei BHKWs, Vorrangschaltung bestimmter Wärmeerzeuger) erforderlich. Weitere Randbedingungen (z.B. Profile für den elektrischen Energiebedarf, ggf. Preise für Strom- und Wärme) sollten in möglichst hoher zeitlicher Auflösung als Input-Daten für die Simulationen zur Verfügung gestellt werden.
Output	Mit TRNSYS können eine Vielzahl von Simulationsergebnissen generiert werden, entweder direkt als Plot während der Simulation oder als Daten-Dateien zur späteren grafischen Aufbereitung. Typische Ausgabe-Größen im Zusammenhang mit den hier durchgeführten Simulationen sind: Wärmebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser, Wärmemengen je nach Wärmeerzeuger, Temperaturen im Wärmespeicher, Raumtemperaturen in den einzelnen Zonen eines Gebäudes, elektrische Leistungen und Energiemengen. Daraus können unter Berücksichtigung weiterer Randbedingungen (z.B. Preise) entweder in der Simulation selbst oder in der Auswertung im Anschluss weitere Ergebnisse generiert werden, z.B. eine wirtschaftliche oder auch ökologische (CO2-Äquivalent, Primärenergie) Bewertung des Energieversorgungssystems.

Schnittstellen	Denkbar wäre z.B. die Ergebnisse der zentralen/dezentralen Betriebsführung aus AP2 in die Abbildung und Optimierung der Regelung der Energieerzeugungsanlagen in den TRNSYS-Modellen einzubauen.
Ansprechpartner	Sven Stark, IGTE/Uni Stuttgart, sven.stark@igte.uni-stuttgart.de

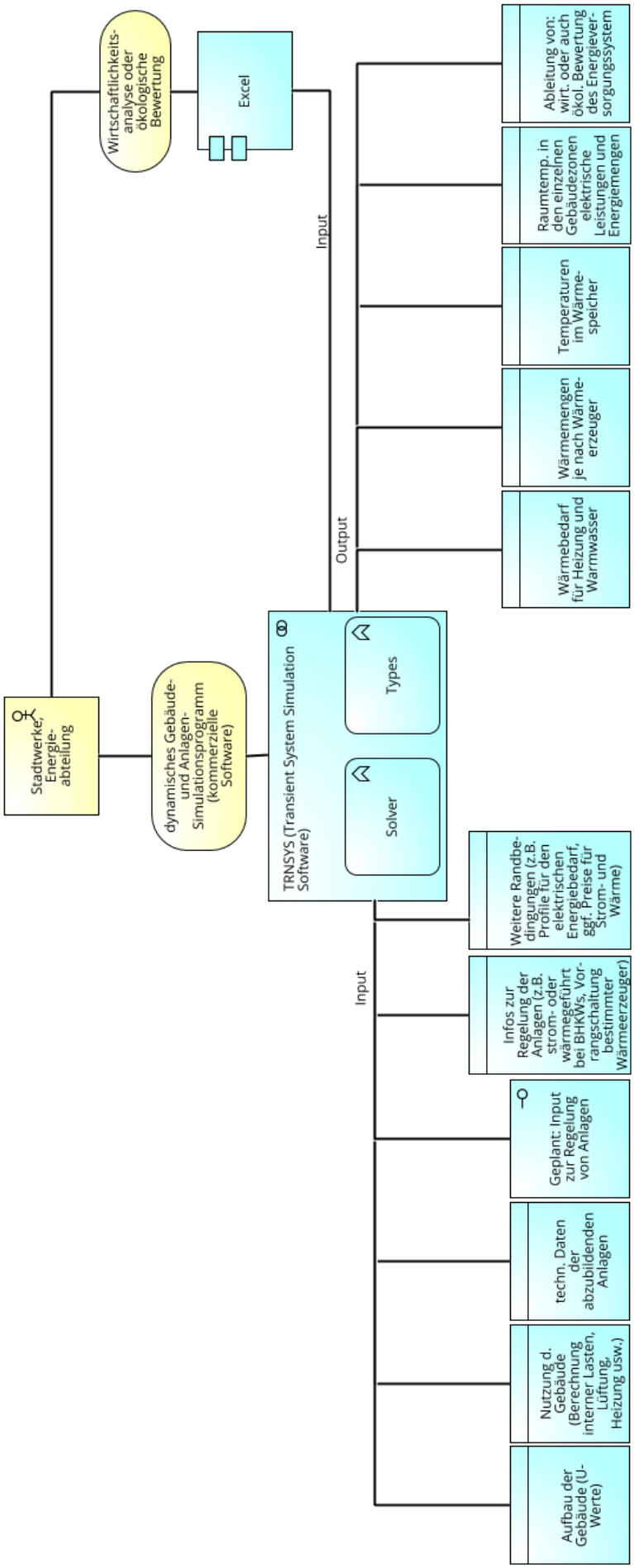


Abbildung 15. ArchiMate Modellierung des Tools TRNSYS.

3.4 Anlagenoptimierung / Energiemanagement

Übersicht: 1.1 Anlagenoptimierung / Energiemanagement (BHKW_Wärmepumpe_opt)	
Kurzbeschreibung	Tool zur Fahrplanoptimierung von BHKW, Wärmepumpen etc. in Verbindung mit einem oder mehreren thermischem oder elektrischem Energiespeichern sowie erneuerbaren Erzeugern wie PV und Solarthermie. Basierend auf einem Monte-Carlo Algorithmus für beliebige Zielgrößen (programmiert in Matlab).
Anwender	Anlagenbetreiber (Einsatz des Tools zur Anlagenoptimierung in größeren Verbünden wie z.B. virtuellen Kraftwerken), Gerätehersteller (könnten das Tool in der Gerätesteuerung implementieren), Steuerungshersteller (könnten das Tool in ihre Anlagensteuerung übernehmen), Stadtwerke.
Funktionalität	Anhand einer frei vorzugebenden Zielfunktion wird der optimale Fahrplan / Steuerung eines BHKWs oder einer Wärmepumpe in Verbindung mit anderen Aggregaten ermittelt. Zielfunktionen können z.B. variable Strompreise, eine max. Eigenstromdeckung, eine max. Nutzung von PV-strom etc. sein. Die Speicher, es können durchaus mehrere Speicher im System sein, werden dazu genutzt, um die Betriebszeiten von BHKW oder Wärmepumpe so zu verschieben, dass sich hinsichtlich der Zielfunktion ein Optimum ergibt. Die Fahrpläne werden auf der Basis von Verbrauchsprognosen jeweils für den Horizont von 24h berechnet.
Input	Lastprofile für Wärme und Strom in möglichst feiner zeitlicher Auflösung, Kapazität und Charakteristik der Speicher, aktueller SOC der Speicher zum Zeitpunkt der Optimierung, Leistungsdaten sowie weitere charakteristische Betriebsdaten wie Anlaufverhalten, Mindestbetriebszeit etc. von Wärmepumpe oder BHKW.
Output	Optimierter Fahrplan für die nächsten 24h.
Schnittstellen	Das Tool kann auf die Vorgabe variabler Strompreise reagieren, die von einer zentralen Leitstelle gezielt übermittelt werden. Diese Variante wird in Zusammenarbeit mit dem ZSW und der HS Biberach implementiert und getestet.
Ansprechpartner	Prof. Dr. Bernd Thomas, Hochschule Reutlingen, bernd.thomas@reutlingen-university.de

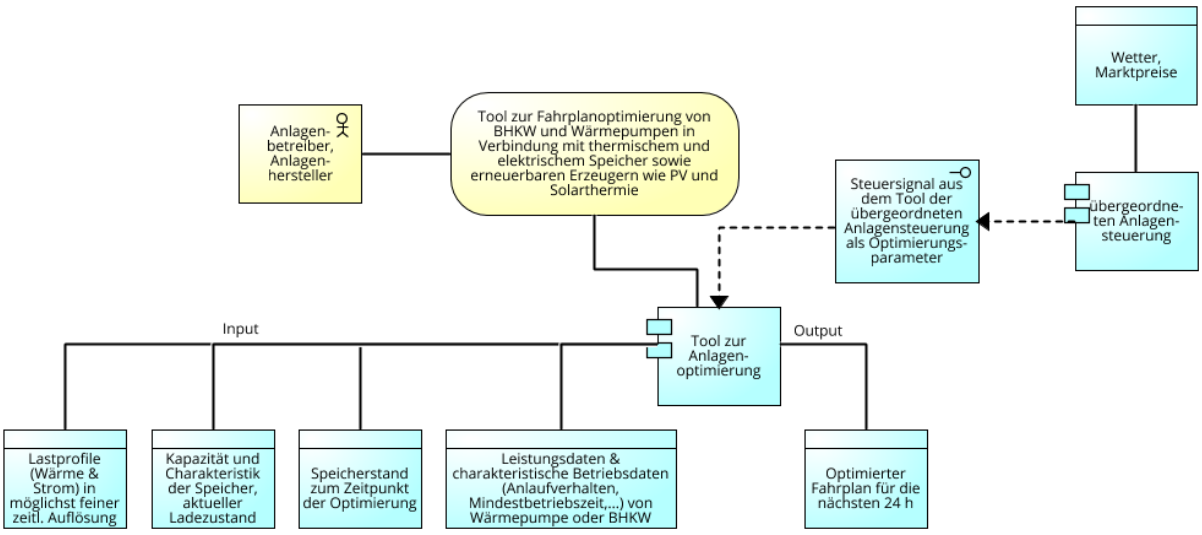


Abbildung 4. ArchiMate Modellierung des Tools BHKW_Wärmepumpe_opt.

3.5 Anlagensimulation

Übersicht: Anlagen-/Betriebssimulation (Energiesystem_simu)	
Kurzbeschreibung	Tool zur Simulation von Anlagen bestehend aus BHKW, Wärmepumpen, thermischen und elektrischen Speichern, PV und Solarthermie (auf Basis des Energiemanagement-Tools). Programmiert in Matlab Simulink.
Anwender	Planer (komplexer, dezentraler Energieversorgungsanlagen), Stadtwerke, …
Funktionalität	• Dimensionierung und Auslegung von BHKWs/Wärmepumpen anhand von Jahressimulationen (Betriebsdaten, Wirtschaftlichkeit…) • Berechnung des Anlagenbetriebs über einen frei vorzugebenden Zeitraum (z.B. Jahressimulationen, um den Einfluss der Jahreszeiten auf den Wärmebedarf zu berücksichtigen). • BHKW und Wärmepumpe können über einen Fahrplan (aus Optimierungstool o.ä.) frei angesteuert werden. → Auf diese Weise kann der Anlagenbetrieb bei Fahrplanoptimierung simuliert und bewertet werden.
Input	Leistungsdaten und -charakteristiken für Energiewandler sowie Kapazitäten und charakteristische Lade- und Entladeleistungen; Regelungsalgorithmen für die einzelnen Aggregate
Output	Betriebszyklen der einzelnen Aggregate, kumulierte Energiemengen, Nutzungsgrade, Temperatur- und SOC-verläufe über der Zeit
Schnittstellen	Momentan keine
Ansprechpartner	Prof. Dr. Bernd Thomas, Hochschule Reutlingen, bernd.thomas@reutlingen-university.de

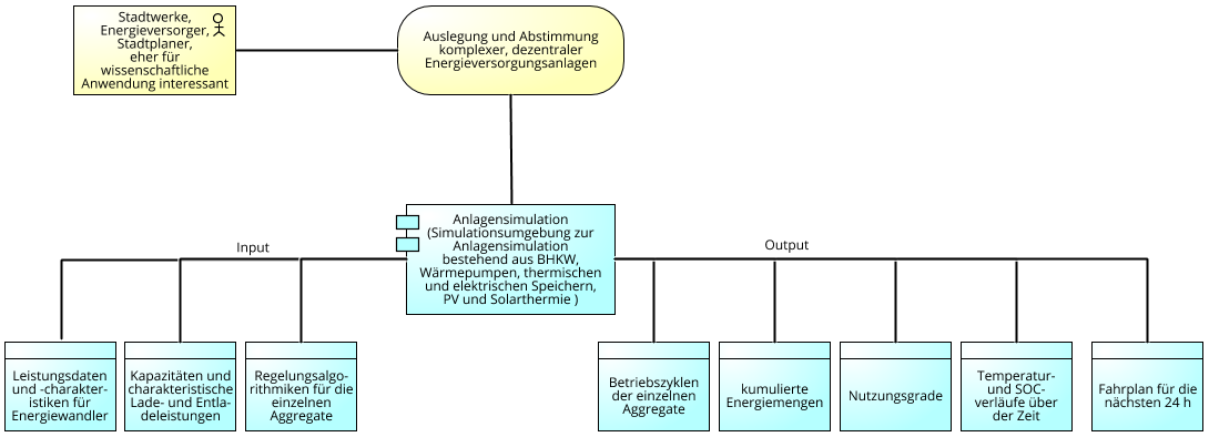


Abbildung 5. ArchiMate Modellierung des Tools Energiesystem_simu.

3.6 Kälteanlagen - Optimierung

Übersicht: Fahrplansteuerung Kälteanlagen (Übergeordnete/anreizorientierte Betriebsführung)	
Kurzbeschreibung	Tool zur prädiktiven Fahrplansteuerung von Kälteanlagen in Verbindung mit Kältespeichern auf der Basis vorgegebener Anreizsignale. Durch die übergeordnete Betriebsführung soll ermöglicht werden, interne oder externe Anreizsignale (Strompreis, Kältegestehungskosten, Eigenstromdeckung, etc.) flexibel, prädiktiv und vor allem gezielt unter Einsatz der verfügbaren Speicherflexibilität berücksichtigen zu können. Auf Basis der vorgegebenen Anreizsignale können prädiktiv Information des zukünftig benötigten Flexibilitätsbedarfs (Anpassungsbedarf des Anlagenbetriebs) übermittelt werden.
Anwender	Anlagenbetreiber, Automatisierungshersteller/-dienstleister für Kälteanlagensteuerungen
Funktionalität	• Modellprädiktive Optimierung von zukünftigen Anlagenfahrplänen • Flexibilisierung der Betriebsweise von gewerblichen/industriellen Kälteanlagen (z. B. Supermarktkälte, Gebäudekühlung) als Teil zukünftig flexibler/netzdienlicher Gebäude bzw. Gebäudequartiere
Input	Kältelastprofile (historisch), Wärme-, Kälte- und Stromlastprofile (für die multisektorale Betriebsführung), Klimadaten (Feuchtigkeit, Außentemperatur, solare Einstrahlung (vertikal/horizontal)), Allgemeine Fahrpläne von dahinterliegenden Prozessen (z. B. Produktionspläne, etc.)
Output	Optimierungspotenziale, Betriebsweisen für Kälteanlagen
Schnittstellen	Verknüpfung der Betriebsführungs-Tools mit den Ausgabedaten aus Tools wie SimStadt (Lastprofile) als Eingangsdaten, Berechnungen von Potenzialstudien über P2IONEER (ZSW) oder KomMod können verifiziert werden (im Tool werden auch Prognoseunsicherheiten abgebildet)
Ansprechpartner	Daniel Pfeiffer, Hochschule Biberach, pfeiffer@hochschule-bc.de

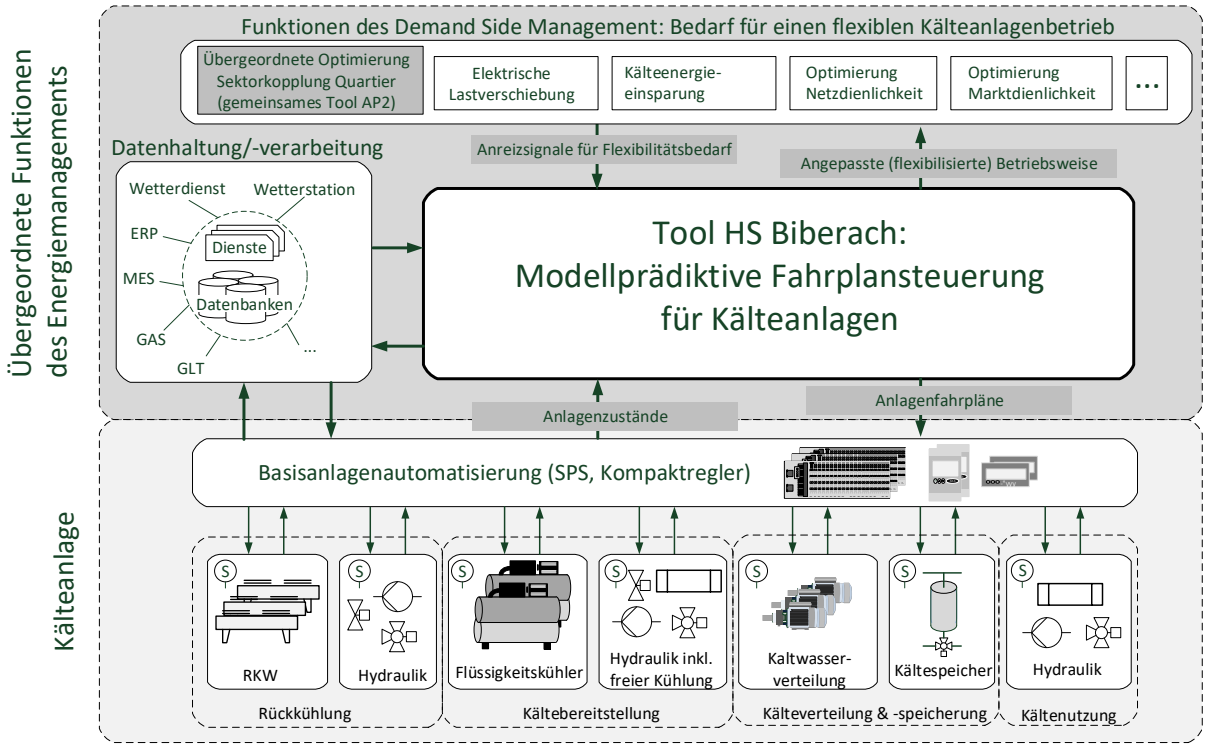


Abbildung 6. Funktionsweise des Tools Modellprädiktive Fahrplansteuerung von Kälteanlagen.

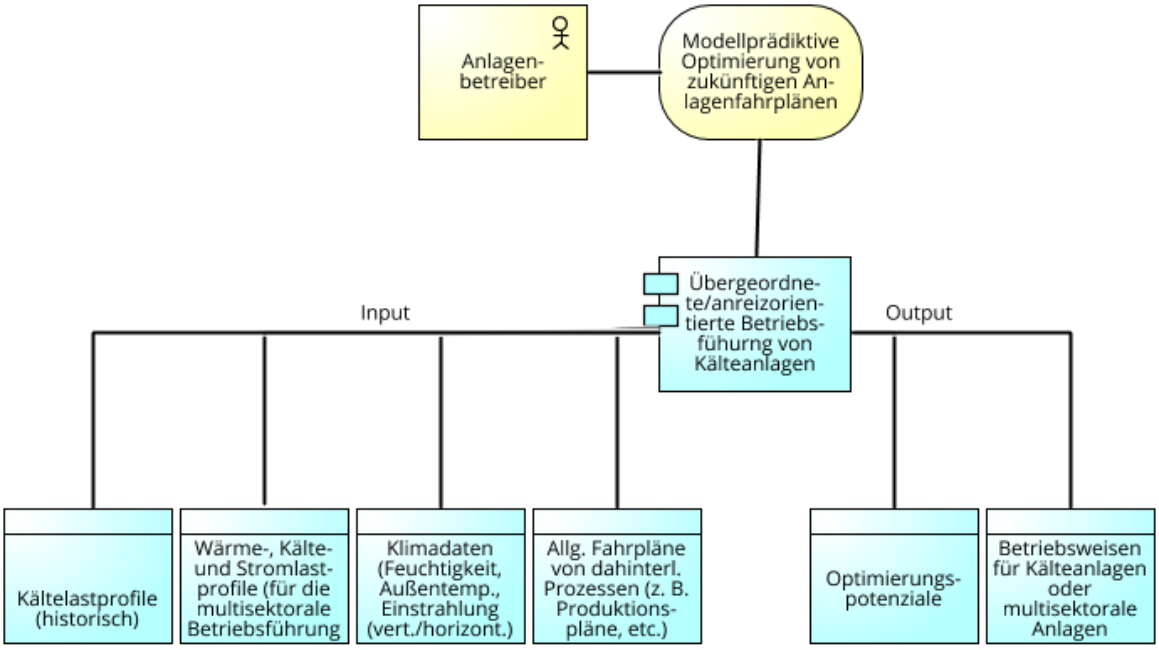


Abbildung 7. ArchiMate Modellierung des Tools anreizorientierte Betriebsführung von Kälteanlagen.

3.7 Integrierte Lösung zur Quartierssteuerung

Übersicht: Übergeordnete Anlagensteuerung (Koordiniertes Energiemanagement für Gebäudekomplexe und Quartiere)	
Kurzbeschreibung	Zweistufige übergeordnete Betriebsführung für multisektorale Energieanlagen mit Speichern auf Basis von MATLAB / Python. Durch eine zentrale Optimierungseinheit, welche die dezentralen Optimierer verschiedenster Anlagenarten (BHKW, WP, Kälteanlage, etc.) koordiniert, soll ermöglicht werden interne oder externe Anreizsignale (Strompreis, Kältegestehungskosten, Eigenstromdeckung, etc.) flexibel, prädiktiv und vor allem gezielt unter Einsatz der verfügbaren Speicherflexibilität berücksichtigen zu können. Ziel: Optimierungspotenziale durch koordinierten Betrieb und Flexibilitätsnutzung erkennen → Reduzierung von Leistungsspitzen (Reduzierung Netzentgelt) und Energiebeschaffungskosten (bei variablen Energiepreisen)
Anwender	Anlagenbetreiber, Betreiber und Planer von Gebäudekomplexen und Quartieren, Stadtwerke, Virtuelle Kraftwerksbetreiber, Netzbetreiber, …
Funktionalität	• Netzdienliches Energiemanagement für Gebäudekomplexe und Quartiere • Modellprädiktive Optimierung/Erstellung und Simulation koordinierter Fahrpläne für Anlagenparks zur Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung • Einbezug variabler Anreizsignale auf Systemebene (Börsenpreise) • Einbezug lokaler Netzrestriktionen • Python / Matlab
Input	Kältelastprofile (historisch), Wärme-, Kälte- und Stromlastprofile (für die multisektorale Betriebsführung), Klimadaten (Feuchtigkeit, Außentemperatur, solare Einstrahlung (vertikal/horizontal)), Allgemeine Fahrpläne von dahinterliegenden Prozessen (z. B. Produktionspläne, etc.)
Output	Optimierungspotenziale, Betriebsweisen für multisektorale Anlagen
Schnittstellen	Verknüpfung der Betriebsführungs-Tools mit den Ausgabedaten aus Tools wie SimStadt (Lastprofile) als Eingangsdaten, Berechnungen von Potenzialstudien über P2IONEER (ZSW) oder KomMod können verifiziert werden (im Tool werden auch Prognoseunsicherheiten abgebildet)
Ansprechpartner	software-tools@zsw-bw.de

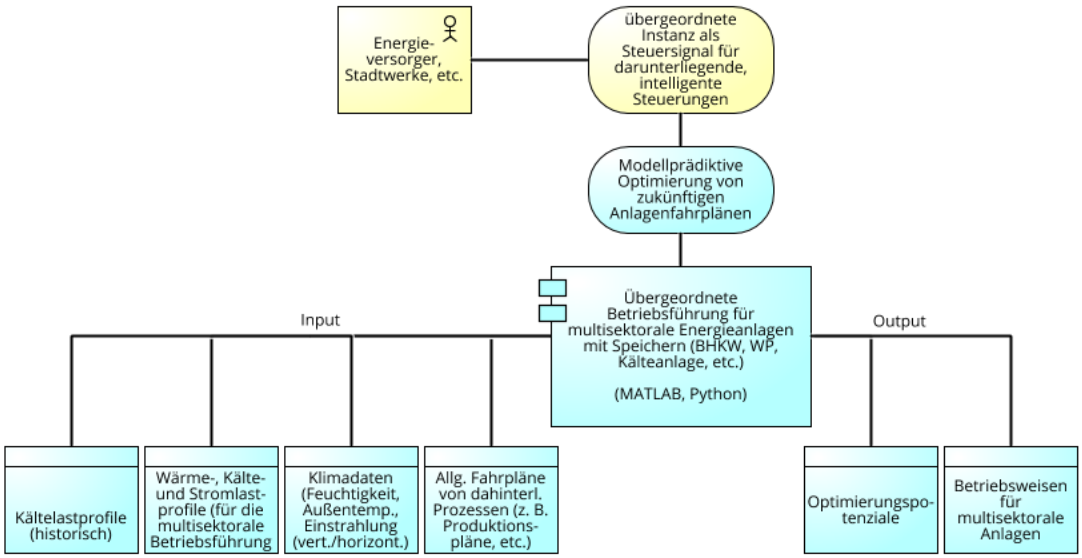


Abbildung 16. ArchiMate Modellierung des Tools Übergeordnete Betriebsführung.

3.8 Power-to-X-Prozesse (PtX)

Übersicht: Power-to-X (PtX)-Prozesse	
Kurzbeschreibung	Matlab-basiertes Modell für Power-to-Liquid Prozesse" mit verschiedenen Endprodukten (Wasserstoff H2 oder flüssige synthetische Energieträger). Das Modell ermöglicht es, auf Basis eines Erneuerbare-Energie-Erzeugerlastgangs, den Betrieb eines Power-to-Liquid-System auf einer vereinfachten Ebene auszulegen und zu simulieren.
Anwender	Stadtwerke; Energiebüros; Anlagenfachplaner PtX ist relevant für: Kommunen (wenn ein hoher Anteil lokal erzeugte EE saisonal gespeichert werden muss, z.B. PtH2), große Industrieunternehmen
Funktionalität	• aus Stromlastgängen (Aufl. > 5 Min.) dynamische Simulation eines PtX-Prozesses • Erzeugung von H2 oder synthetischen Energieträgern • Abschätzung derer Gestehungskosten sowie Bestimmung diverser Umweltwirkungen (Life Cycle Assessment) • Beantwortung der Frage: Bringt der Einsatz von PtX meinem Energiesystem einen ökonomischen und ökologischen Vorteil?
Input	EE-Lastgangdaten in min. 15-minütiger Auflösung (oder kürzere Intervalle)
Output	Größe der Speicher, der Elektrolyse, der Synthese und Destillation, Erzeugungsmengen, Effizienzen
Schnittstellen	KomMod
Ansprechpartner	Christoph Hank, Fraunhofer ISE, christoph.hank@ise.fraunhofer.de

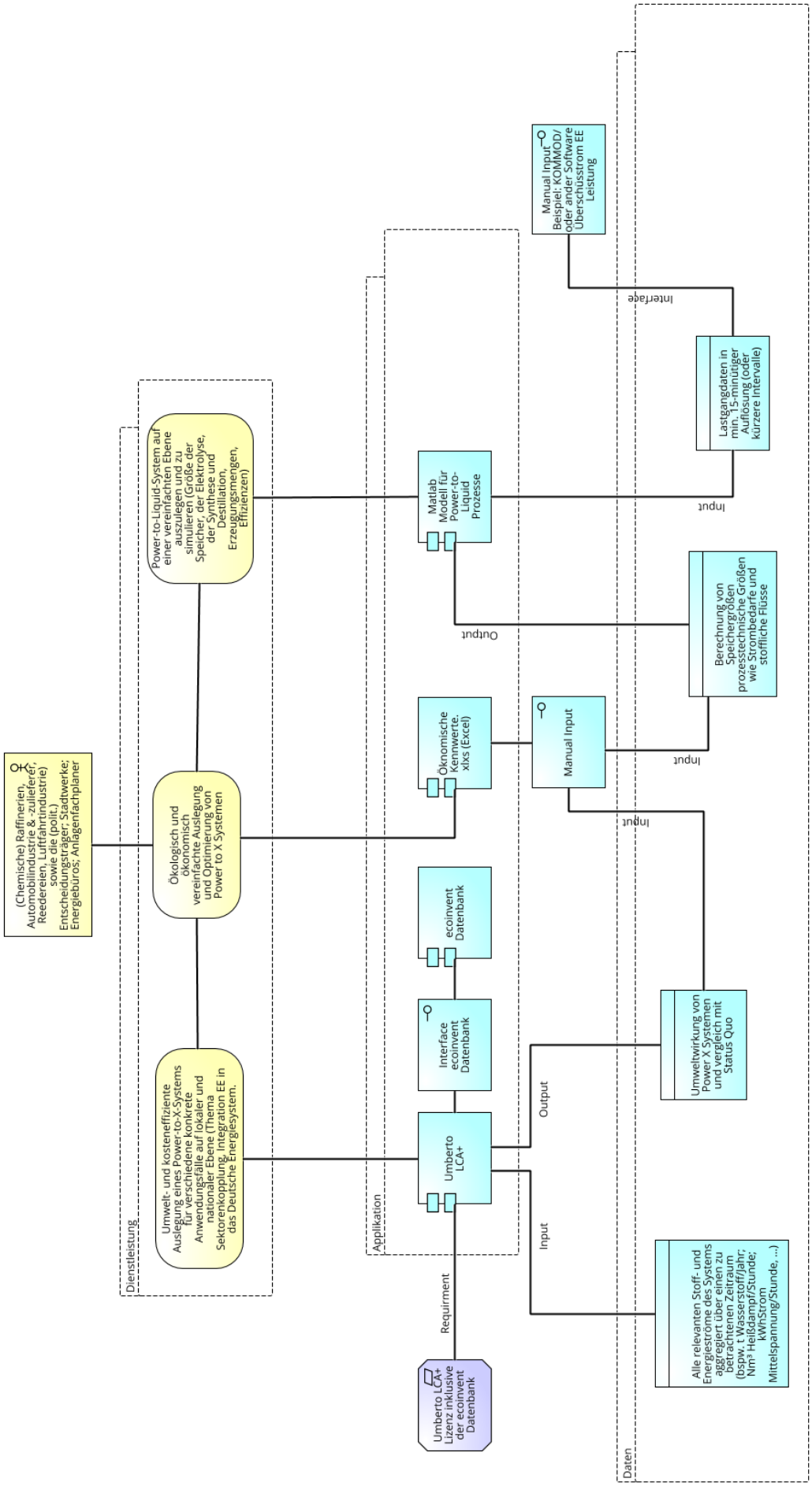


Abbildung 12. ArchiMate Modellierung des Tools Power to X Prozesse.

3.9 Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodell

Übersicht: Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodell	
Kurzbeschreibung	Mit dem Prognose Tool können verschiedene biogenen Abfälle, vorrangig Biotonne Abfälle, die wiederum aus verschiedenen Stoffklassen bestehen, in ihren Stoffeigenschaften charakterisiert werden. Basierend darauf werden in Abhängigkeit von Außenbedingungen (Temperatur, Zeit bzw. Lagerungsdauer) Energieerträge berechnet. Zusätzlich kann die Prozess-kinetik des Biogasprozesses dargestellt werden (also wie schnell der Abbau von Organik realisiert werden kann). Letztlich kann mit dem Tool das Energiepotenzial von biogenen Reststoffen abgeschätzt werden – vorrangig für den Biogasprozess. Rückschlüsse auf Verbrennung (also einen thermochemischen Konversionspfad sind ebenfalls möglich und weitere Fragestellungen/Themen, die in Modell integriert werden oder separat für sich existieren (alles im Bereich Reststoff-Verwertung). • Langzeit-Charakterisierung von Biotonne-Abfällen und Ableitung von Handlungsmaximen (Logistik und Biogasanlagen-Prozesse) • Optimierung von Biogasanlagen (Ertrag) über Betriebstemperatur • Optimierung Abfallvergärung mittels Co-Substraten • Vergleich Konversionspfade Biogas und Verbrennung inkl. Hydrothermale Karbonisierung • Small-Scale Fermentation lokaler Abfälle • Von kostenpflichtigem Abfall zum Wertstoff → Holzasche-Verwertung Software: Excel bzw. Formel-basiert und in keine spezielle Software (Matlab) bisher übertragen.
Stakeholder	• Abfallwirtschaft im Allg. (Praxis/Forschung) • Betreiber von Kompostierungs- und Biogasanlagen • Projektierer/Planer/Hersteller von Biogasanlagen • Betriebe, die eine Abfallvergärung planen • Kommunen/kommunale Dienstleister (Abfallwirtschaftsbetriebe) • ggf. Energieversorger (Stadtwerke etc.)

Funktionalität	Basierend auf einfach zu ermittelnden/einzuschätzenden Inputdaten sollen Energieerträge und Stoffeigenschaften von Bioabfällen prognostiziert werden.
	• Charakterisierung von Bioabfällen (chemisch-physikalisch)
	• Unter Berücksichtigung von Lagerungsdauer, Jahreszeit bzw. Temperatur und Zusammensetzung (qualitative Einschätzung)
	• Berechnung von Energieerträgen (für alle Stoffgruppen)
	• Darstellung chemischer Eigenschaften
	• Modellierung Prozesskinetik
	• Einflüsse von Lagerungsart und Außenbedingungen auf Stoffeigenschaften bzw. Energiegehalt
	• Handlungsmaximen für idealen Anlagenbetrieb und Verwertung → Aufzeigen von Optimierungspotenzial (Energieverluste)
	  ○ Logistik
	  ○ Aufbereitung
	  ○ Konversion

Input	Stoffeigenschaften (chemisch-physikalisch) des Reststoffes bzw. der Biomasse (wahlweise abgeschätzt oder detailliert), ggf. Wetterdaten, letztlich kann das Tool mit in Datenbanken vorhandenen Daten oder eigenen Daten

	gefüttert werden, sodass gar keine oder alle vorhandenen Daten verwendet werden können.
Output	Energieerträge und Stoffeigenschaften zum definierten Endzeitpunkt + Prozesskinetik (z.B. Energieertrag z.B. in kWh)
Schnittstellen	In Phase 1 wurden größtenteils experimentelle Daten als Grundlage für das Modell erhoben. Teilweise haben die Daten bereits Anwendung in der FS Mainau gefunden. Für Phase 2 ist angedacht, die Daten der HFR mit dem BGA Modell der Hochschule Aalen und ggf. auch mit dem Methanolmodell des Fraunhofer ISE zu verknüpfen. In der FS Mainau werden die Erkenntnisse des Tools zur Projektierung einer BGA verwendet. Außerdem können basierend auf den Outputs des Modells Energieszenarien in der FS Mainau berechnet werden (beispielsweise mittels KOMMOD oder den Wärmebedarfsberechnungen des IGTE).
Ansprechpartner	Prof. Dr. Stefan Pelz, Hochschule Rottenburg, Pelz@hs-rottenburg.de

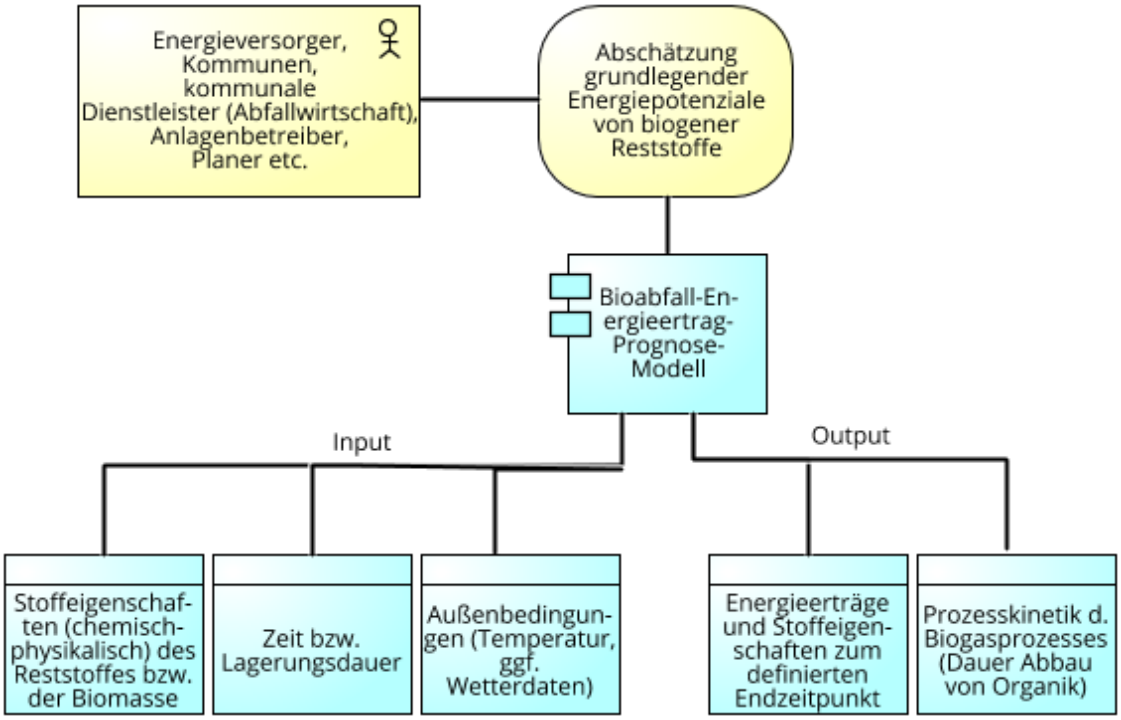


Abbildung 8. ArchiMate Modellierung des Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodells.

3.10 Wirtschaftlichkeitsanalyse einer Biogasanlage

Übersicht: Wirtschaftlichkeitsanalyse einer Biogasanlage	
Kurzbeschreibung	Wirtschaftlichkeitsanalyse verschiedener Vermarktungsstrategien für eine kommunale Biogasanlage.
Anwender	Übertragbarkeit der Wirtschaftlichkeitsberechnung auf andere Kommunen. Einbindung der Berechnung in andere Tools, um dortige Ergebnisse hinsichtlich Biomassepotenzial für Wirtschaftswissenschaftler (wie z.B. für Banken als Grundlage der Kreditvergabe) aufzubereiten und damit entsprechende Hürden abzubauen.
Funktionalität	Berechnung der Investitionsrechnung, der Finanzanalyse für die einzelnen Szenarien mit den zugehörigen Szenario- und Sensitivitätsanalysen
Input	Brennwert/ Energiegehalt Rohbiogas (1 Nm^3), Betriebsjahre (geplant), Volllaststunden (jährlich), geplante Leistung Rohbiogas, geplante Leistungel Biogasanlage, spez. Invest.kosten EUR/kWh inst. Leistung el, Max. Mögliche Elektroenerige, Elektroenergie Eigenversorgungs-BHKW, Investitionskosten, Bautechnik (Fundamente, Fahrsilo, Geb.), Maschinen, techn. Ausrüstung, Steuerrungstech., Behälter (Fermenter, Gaspuffer, Restlager), Kleines BHKW, Gasaufbereitung (Fackel, etc.), Planungs- u. Projektierungskosten, Investitionssumme, Förderbetrag, Grundstückskosten (Pacht), Grundstückskosten (Kauf), Anteil Eigenkapitel, Anteil Fremdkapital, Zinsen Darlehen, Laufzeit Darlehen, Dividenenausschüttung EK Genossenschaft, Eigenstrombedarf in % (von max. mögl. Elektroenergie), Strompreis EUR/kWh, Eigenwärmebedarf in % (von max. mögl. Elektroenergie), Wärmekosten EUR/kWh, Rohbiogasbedarf BHKW (bei ca. 50% Methan), Wirkungsgrad el., Wirkungsgrad Th., Kosten Eisensalze, Eisensalze, Lager-/ Handling Substrat, Substrat Kosten, Silomais, Grassilage, Festmist, Gülle, Silomais, Grassilage, Festmist, Gülle, Gesamtinput Substrat, Gärreste, Verkaufserlöse Gärreste, Wartungskosten Biogasanlage, Laboranalyse und Umweltgutachter, Versicherungsbeitrag, Arbeitszeitansatz, Arbeitslohn, Verkaufspreis Rohbiogas
Output	Jeweils auf das Betriebsjahr bezogen: Kosten und Leistungsrechnung, geplante Volllaststunden [h/a], Investitionskosten, Grundstückskosten, Abschreibungen, Grundstückskosten (Pacht) [Euro/a], Zinskosten, Rohbiogaskosten, Wasserkosten, Stromkosten, Wartungs- u. Instandhaltungskosten, Versicherung, Umweltgutachter, Personalkosten, Verwaltungskosten/Analytik, Summe Kosten, Preissteigerung [%], Summe Kosten inkl. Preissteigerung, Ertrag Biomethanverkauf, Ertrag (Ab-)Wärmeverkauf, Summe Erträge, Inflationsrate, Einnahmen nominal, Einzahlungsüberschüsse, Gewinn und Verlustrechnung, Umsatzerlöse, Rohbiogaskosten, Wasserkosten, Stromkosten, Summe, Rohgewinn, Rohgewinn-Marge [%],Personalkosten, Kosten Laboranalyse, Wartungs- u. Instandhaltungskosten, Versicherungen, Umweltgutachter, Summe Kosten, Preissteigerungsrate [%], Summe Kosten inkl. Preissteigerung, Operatives Ergebnis EBITDA, EBITDA-Marge, Abschreibungen, EBIT, EBIT-Marge [%], Zinskosten, EBT, EBT-Marge [%], Steuern, Jahresüberschuss, Gewinnmarge [%], Ek-Rendite vor Steuern [%], Ek-Rendite nach Steuern [%], GK-Rendite vor Steuern [%], GK-Rendite nach Steuern [%], Cashflow, Betriebsjahr, Jahresüberschuss, Abschreibungen, Basis CF, Veränderung FoLL, Veränderung Vorräte, Veränderung Verb., Summe Working Capital, Operativer CF, "Einzahlungen aus dem Abgang von Anlagen", Auszahlungen für Investitionen, CF aus Investitionstätigkeit, Freier CF, Schuldentilgung, Neukreditaufnahme Bank, Auszahlungen an die Eigentümer, Einzahlungen in

	das Eigenkapital, CF nach Finanzmaßnahmen, "zahlungswirksame Veränderungen der Finanzmittelbestände", "Finanzmittelbestand zu Beginn der Periode", Freie Banklinie, Summe, "Finanzmittelbestand zum Ende der Periode
Schnittstellen	Ergebnisse aus KOMMOD hinsichtlich Biomassepotenzial können auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht werden (über die Funktionalitäten von KOMMOD hinaus) →falls möglich, direkte Einbindung des Tools in KOMMOD
Ansprechpartner	Martin Hein, Hochschule Aalen, martin.hein@hs-aalen.de

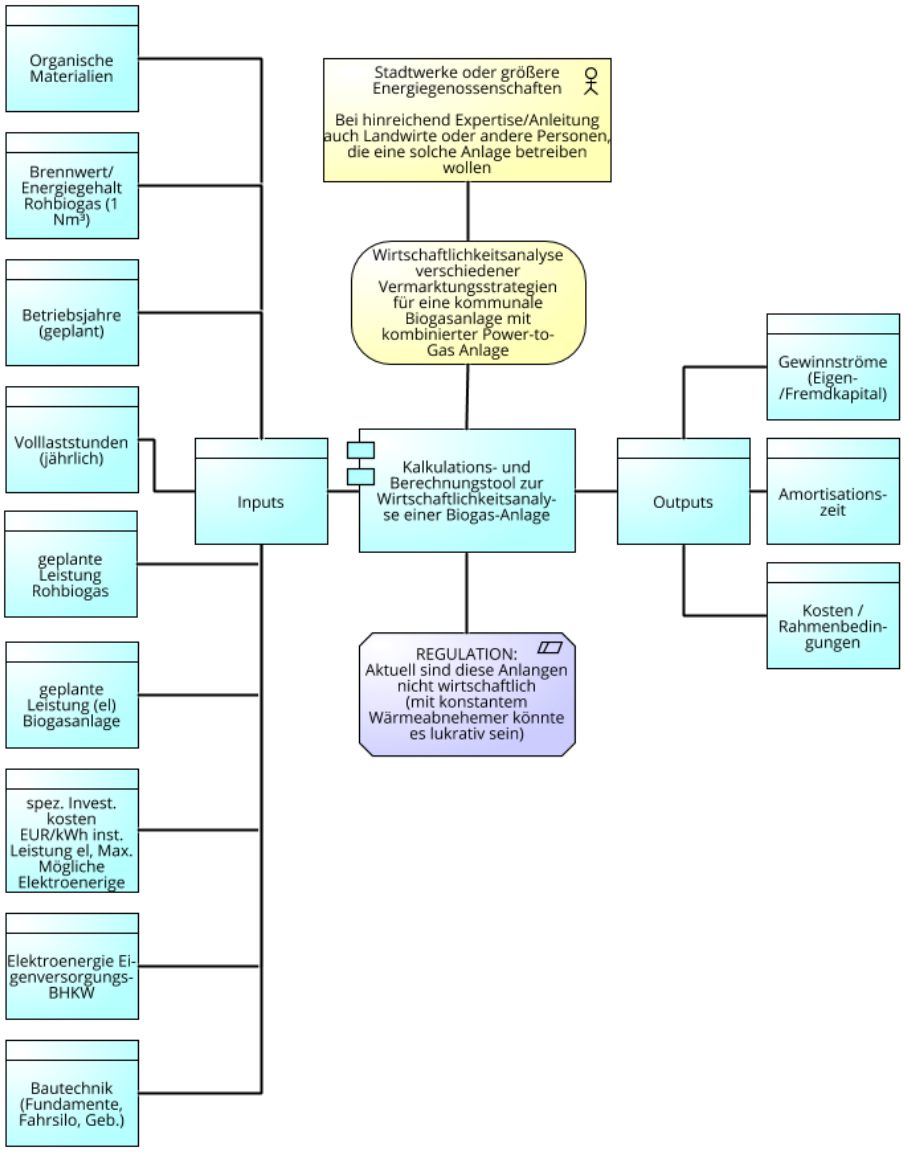


Abbildung 18. ArchiMate Modellierung des Tools Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage.

3.11 Wirtschaftlichkeitsanalyse einer Power-to-Gas-Anlage

Übersicht: Wirtschaftlichkeitsanalyse einer Power-to-Gas-Anlage	
Kurzbeschreibung	Wirtschaftlichkeitsanalyse verschiedener Vermarktungsstrategien für eine kommunale Biogasanlage mit kombinierter Power-to-Gas Anlage.
Anwender	Übertragbarkeit der Wirtschaftlichkeitsberechnung auf andere Kommunen. Einbindung der Berechnung in andere Tools. um dortige Ergebnisse hinsichtlich Biomassepotenzial für Wirtschaftswissenschaftler (wie z.B. für Banken als Grundlage der Kreditvergabe) aufzubereiten und damit entsprechende Hürden abzubauen.
Funktionalität	Berechnung der Investitionsrechnung, der Finanzanalyse für die einzelnen Szenarien mit den zugehörigen Szenario- und Sensitivitätsanalysen
Input	Betriebsjahre (geplant), Volllaststunden (jährlich bis 2022 bzw. 5 a), Volllaststunden (jährlich ab 2023 bzw. 15 a), Gesamtinvestition Power-to-Gas-Anlage, Gesamtinvestition Gemeinde, Eigenkapital, Fremdkapital, Förderung Investition, Abschreibungsdauer, Abschreibung, Zinsen Darlehen, Laufzeit Darlehen, Dividenenausschüttung EK Genossenschaft, Grundstückskosten, Wartung, Wasser, Strom, Rohbiogas, Personalkosten, Verwaltung/ Analytik, Verkaufspreis Biomethan, Gasertrag (Biomethan), (AB-)Wärme Verkaufspreis, Abwärmeertrag
Output	Jeweils auf das Betriebsjahr bezogen: Kosten und Leistungsrechnung, geplante Volllaststunden [h/a], Investitionskosten, Grundstückskosten, Abschreibungen, Grundstückskosten (Pacht) [Euro/a], Zinskosten, Rohbiogaskosten, Wasserkosten, Stromkosten, Wartungs- u. Instandhaltungskosten, Versicherung, Umweltgutachter, Personalkosten, Verwaltungskosten/Analytik, Summe Kosten, Preissteigerung [%], Summe Kosten inkl. Preissteigerung, Ertrag Biomethanverkauf, Ertrag (Ab-)Wärmeverkauf, Summe Erträge, Inflationsrate, Einnahmen nominal, Einzahlungsüberschüsse, Gewinn und Verlustrechnung, Umsatzerlöse, Rohbiogaskosten, Wasserkosten, Stromkosten, Summe, Rohgewinn, Rohgewinn-Marge [%],Personalkosten, Kosten Laboranalyse, Wartungs- u. Instandhaltungskosten, Versicherungen, Umweltgutachter, Summe Kosten, Preissteigerungsrate [%], Summe Kosten inkl. Preissteigerung, Operatives Ergebnis EBITDA, EBITDA-Marge, Abschreibungen, EBIT, EBIT-Marge [%], Zinskosten, EBT, EBT-Marge [%], Steuern, Jahresüberschuss, Gewinnmarge [%], Ek-Rendite vor Steuern [%], Ek-Rendite nach Steuern [%], GK-Rendite vor Steuern [%], GK-Rendite nach Steuern [%], Cashflow, Betriebsjahr, Jahresüberschuss, Abschreibungen, Basis CF, Veränderung FoLL, Veränderung Vorräte, Veränderung Verb., Summe Working Capital, Operativer CF, "Einzahlungen aus dem Abgang von Anlagen", Auszahlungen für Investitionen, CF aus Investitionstätigkeit, Freier CF, Schuldentilgung, Neukreditaufnahme Bank, Auszahlungen an die Eigentümer, Einzahlungen in das Eigenkapital, CF nach Finanzmaßnahmen, "zahlungswirksame Veränderungen der Finanzmittelbestände", "Finanzmittelbestand zu Beginn der Periode", Freie Banklinie, Summe, "Finanzmittelbestand zum Ende der Periode
Schnittstellen	Ergebnisse aus KOMMOD hinsichtlich Biomassepotenzial können auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht werden (über die Funktionalitäten von KOMMOD hinaus) → falls möglich, direkte Einbindung des Tools in KOMMOD
Ansprechpartner	Martin Hein, Hochschule Aalen, martin.hein@hs-aalen.de

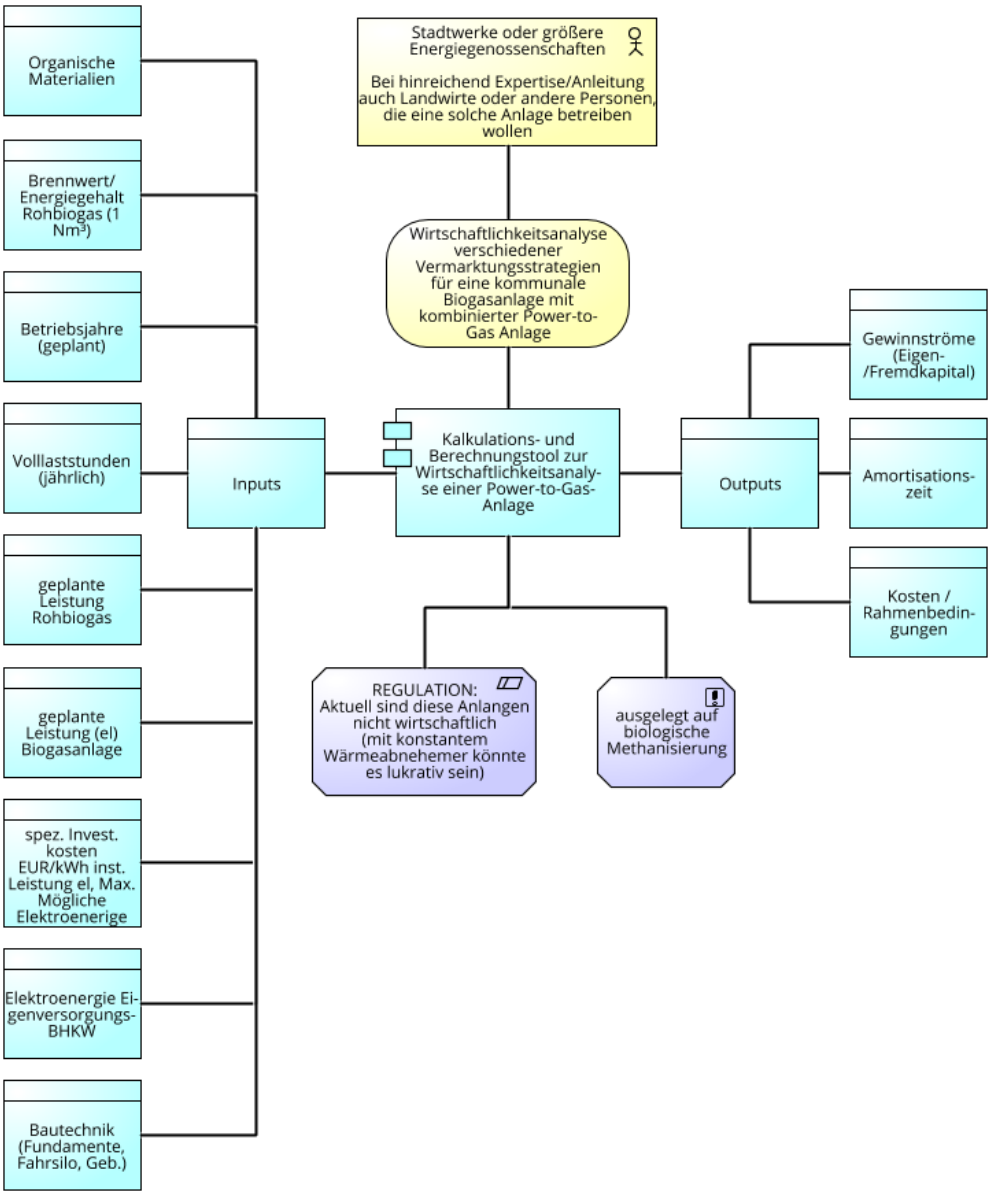


Abbildung 19. ArchiMate Modellierung des Tools Wirtschaftlichkeit einer Power-to-Gas-Anlage.

3.12 Ressourcenaufwandsbewertung

Übersicht: Ressourceneffizienz im Gesamtzusammenhang (Umberto LCA+)	
Kurzbeschreibung	Auf Stoffstromnetzen basierende Software zur Durchführung von Lebenszyklus-, Energie- und Stoffstromanalyen (Life-Cycle-Assessment, LCA). Bei einer Stoffstromanalyse werden die Mengen und Wege der Stoff-, Material- und Energieflüsse eines Systems ausgewertet. Durch den visuellen Aufbau eines Modells, welches alle Stoffströme berücksichtigt, werden energetische und stoffliche Ineffizienzen sichtbar. Die Energie und Stoffströme können anschließend in Umweltwirkungskategorien umgerechnet werden und so das Treibhausgaspotenzial, Eutrophizierung, Landnutzungsbedarf (etc.) ermitteln zu können. Die ökobilanzielle Auswertung umfasst die Einbeziehung generischer Sachbilanzdaten (insbesondere Datenbank ecoinvent Version3) sowie anerkannter Wirkungsabschätzungsmethoden.
Anwender	Energieversorger/Stadtwerke, Energiebüros, Anlagenfachplaner, Energiesystem-Planer, Städteplaner, Beratung/Consulting, Umweltagenturen, Bürgerschaften, … (Unterstützung durch Experten/ LCA-Fachleute notwendig)

Funktionalität	• Ressourcenaufwand quantifizieren (Ökobilanzierung) unter Berücksichtigung
	  ○ verschiedener Kategorien (Klima, Energie, Rohstoffe, Land…)
	  ○ des ganzen Lebenszyklus der Technologien
	→ Identifizierung ressourceneffizienter Szenarien
	→ Identifizierung von Hotspots (Ursachen von hohem Ressourcenaufwand, im Energieversorgungssystem bis in die Vorkette)

Input	Alle relevanten Stoff- und Energieströme des Systems aggregiert über einen zu betrachtenden Zeitraum (bspw. t Wasserstoff/Jahr; Nm³ Heißdampf/Stunde; kWhStrom Mittelspannung/Stunde, …
	• Eingangsdaten stammen im Wesentlichen aus KomMod (Format: Excel-Tabelle), umfasst insbesondere:
	  ○ von allen energieerzeugenden Technologien die erzeugte Strom-/Wärmemenge pro Jahr
	  ○ charakteristische Parameter der Anlagen (z.B. Volllaststunden)

Output	• Ressourcenaufwände (14 Indikatoren) pro Energiesystem und Jahr • Aufschlüsselung für einzelne Technologien • Format: Excel-Tabelle
Schnittstellen	Bisher erfolgen die Planung möglicher Energiesysteme (bspw. KomMod, oder SimStadt) und die Bewertung des Ressourcenaufwands sequentiell. Im Sinne einer praxisorientierten Entscheidungsunterstützung ist eine engere Verknüpfung der Planungswerkzeuge für Energiesystemdesigns und Ressourcenaufwandsberechnungen (LCA/Stoffstrom-Modell) sinnvoll.
Ansprechpartner	Prof. Dr. Hendrik Lambrecht, INEC/ Hochschule Pforzheim Christoph Hank, Fraunhofer ISE hendrik.lambrecht@hs-pforzheim.de

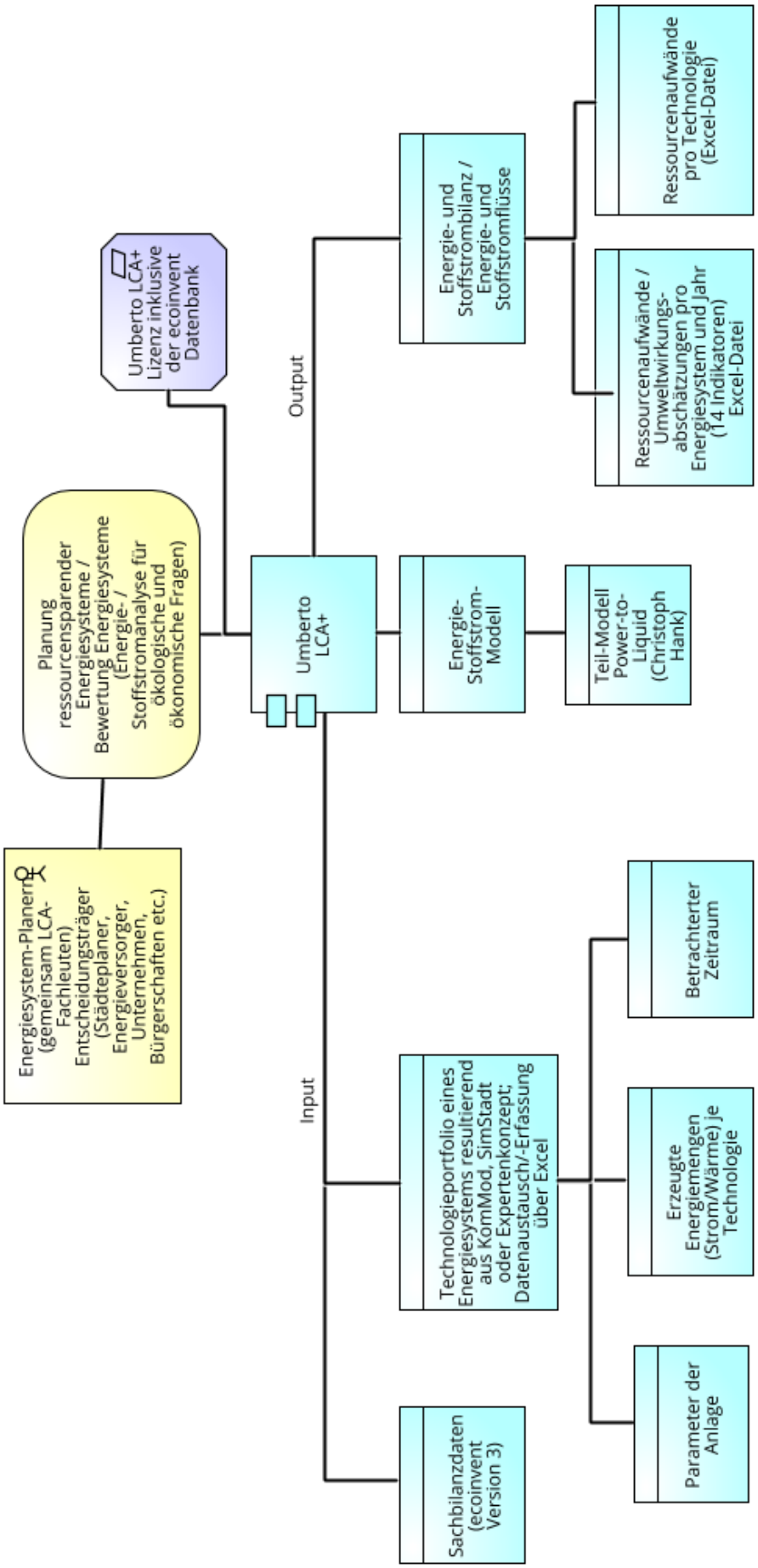


Abbildung 17. ArchiMate Modellierung des Tools UmbertoLCA+.

4 ENsource-Framework

Das ENsource Framework stellt ein Rahmenmodell der entwickelten Tools und Methoden dar. Die ENsource-Tools wurden dafür entlang zentraler Prozessschritte des Energiesystemmanagements angeordnet. Es soll so aufgezeigt werden an welchen Punkten des Managementsprozesses die Tools eingesetzt werden können.

4.1 Einsatz der ENsource-Tools im Energiesystemmanagement

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über den Einsatz der ENsource-Tools im Energiesystemmanagement. Die ENsource-Tools wurden dafür zentralen Prozessschritten des Energiesystemmanagements zugeordnet. Es soll so aufgezeigt werden an welchen Punkten des Managementsprozesses die jeweiligen Tools in der Praxis eingesetzt werden können.

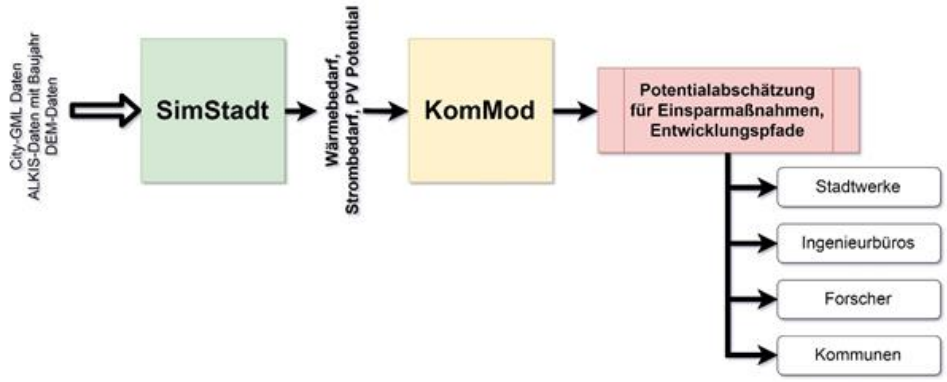
	VOR-LAUF	PLANUNG			BETRIEB / DESIGN				BEWERTUNG / NACHBEREITUNG	
	Entwicklung	Wärmebedarf	Energiebedarf	Energieerzeugungs-potential	Implementierung	Optimierung	Transformation	Monitoring	Ökon. Bewertung	Ökologische Bewertung
SimStadt	**X**	X	X	X						X
KomMod	**X**			X		X		X	X	X
TRNSYS	**X**	X	**X**	X	X	X	X			
KWK/Wärmepumpen Optimierung und Simulation	**X**				X	X	X	X	X	
Kälteanlagen Optimierung	**X**					X	X	X		
Quartierssteuerung	**X**					X	X	X	**X**	**X**
PtX-Prozesse	X			X		X	X		X	X
Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodell	**X**			X		**X**				
Wirtschaftlichkeits-analyse Power-to-Gas-/Biogasanlage	**X**								X	
Ressourcen-aufwandsbewertung	**X**					**X**	**X**	X		X

4.2 Darstellung exemplarischer Schnittstellen (Tool-Chains)

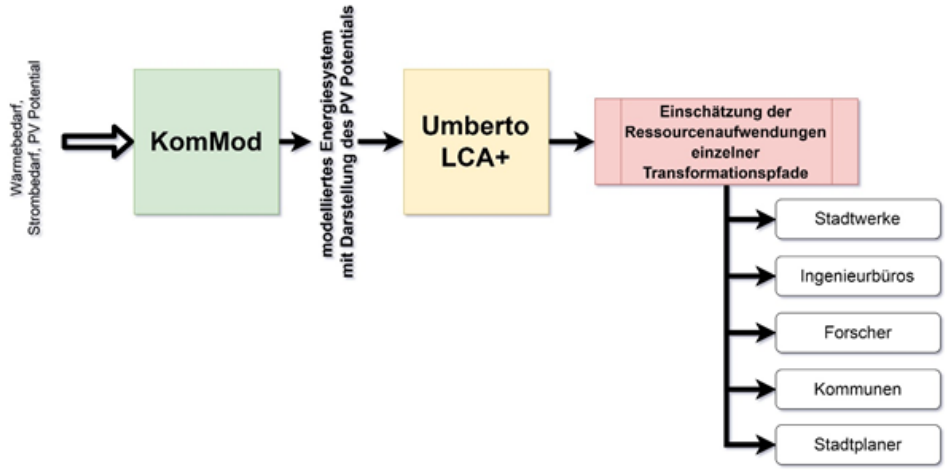
Im folgenden Abschnitt werden exemplarisch zentrale Schnittstellen von ENsource-Tools dargestellt. Es soll dadurch aufgezeigt werden, welcher Mehrwert sich durch die Kombination einzelner Tools (Tool-Chains) ergibt und welche Stakeholdergruppen davon profitieren können.

SimStadt & KomMod

- **KomMod & SimStadt** (Output von SimStadt, Wärmebedarf, Strombedarf, PV-Potential jedes Gebäudes kann als Input für KomMod verwendet werden)

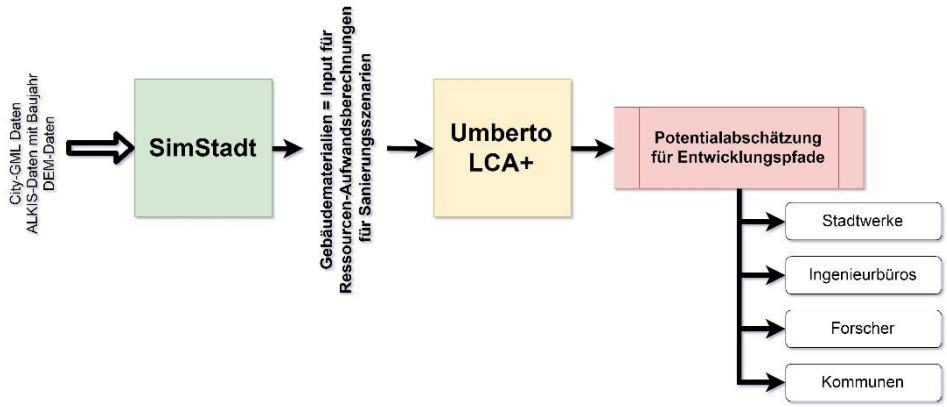


Ressourcenaufwandsbewertung (Umberto LCA+) & KomMod



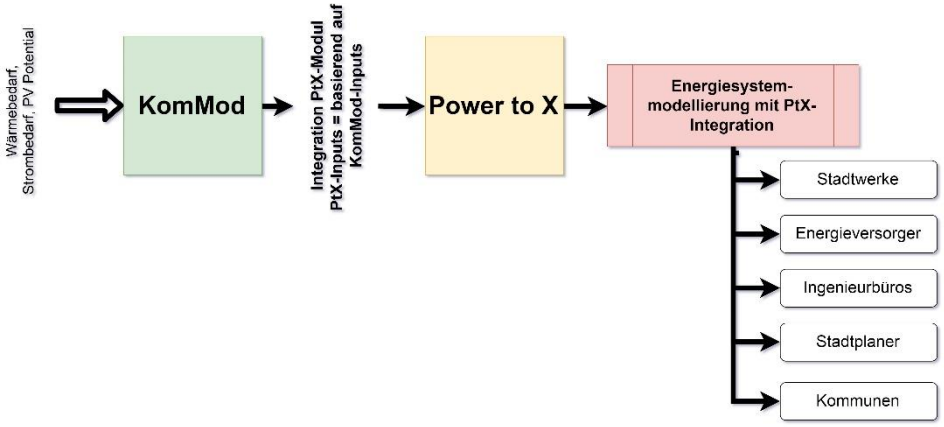
Ressourcenaufwandsbewertung (Umberto LCA+) & SimStadt

- (Gebäudematerialien und entsprechende Fassadeflächen der Gebäude können als Input Daten die Ressourcen-Aufwandsberechnungen für Sanierungsszenarien dienen)



KomMod & Power to X

- (Integration eines PtL-Moduls in KOMMOD bietet eine neuartige Energiespeichermöglichkeit sowie Sektorenkopplungsthematik in der Berechnungslogik von KOMMOD, Berechnung von LCA-Umweltwirkungen für die verschiedenen Energieerzeugungsszenarien aus KOMMOD)



Weitere mögliche Schnittstellen von ENsource-Tools

- Der Output des Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodells lässt sich in Tool einspeisen, die Energieszenarien berechnen (z.B. KomMod)
- Das Tool zur Fahrplansteuerung / Betriebsführung von Kälteanlagen bietet eine Schnittstelle zu den Lastprofilen aus SimStadt
- Die Ergebnisse aus dem Tool zur Fahrplansteuerung / Betriebsführung von Kälteanlagen kann zur Verifizierung von Daten aus KomMod dienen
- Die Tools zur Wirtschaftlichkeitsanalyse von Power-to-Gas und Biogasanlagen können in KomMod einfließen
- TRNSYS & Betriebsführung-Tools (die Ergebnisse der zentralen/dezentralen Betriebsführung könnten in die Abbildung und Optimierung der Regelung der Energieerzeugungsanlagen in den TRNSYS-Modellen eingebaut)

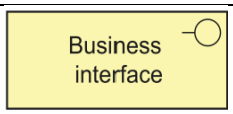
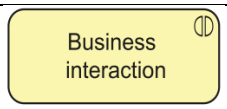
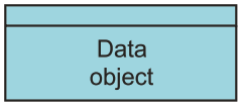
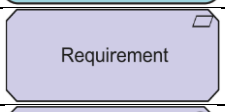
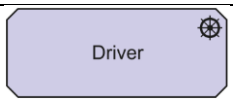
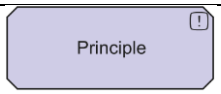
4.3 Tool-Schnittstellen

Die folgende Übersicht zeigt, wie sich die verschiedenen ENsource Tools miteinander kombinieren lassen. Der Fokus liegt dabei nicht auf der technischen Integration der Tools, sondern auf den Kopplungsmöglichkeiten zweier Tools im Rahmen eines Planungsprozesses. Es werden Schnittstellen der Tools dargestellt und hervorgehoben, welche Output-Daten als Input-Daten für ein anderes Tool dienen. So zeigt sich z.B. in der zweiten Zeile der Tabelle, dass SimStadt Output-Daten generiert, die für die Tools KomMod und den Geschäftsmodellkonfigurator als Input-Daten genutzt werden können. Ein Datenaustausch zwischen SimStadt und der Ressourcenaufwandsbewertung ist zudem zweiseitig möglich: sowohl SimStadt als auch die Ressourcenaufwandsbewertung können Daten des jeweils anderen Tools in ihre Berechnung einfließen lassen und so einen Mehrwert zu generieren.

Tool-Schnitt-stellen	SimStadt	KomMod	Dynamische Energie-versorgungsanalyse	BHKW / Wärmepumpe Optimierung	BHKW / Wärmepumpe Energiesystem Simulation	Kälteanlagen Optimierung	Quartierssteuerung	Power-to-X-Prozesse	Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodell	Wirtschaftlichkeits-analyse PtG- / Biogas-Anlage	Geschäftsmodell-konfigurator	Ressourcenaufwands-bewertung
SimStadt		↑							↓		↑	↑
KomMod	↓		↑		↑	↑		↑	↓	↓	↑	↑
Dynamische Energie-versorgungsanalyse		↓					↓	↓				↑
BHKW / Wärmepumpe Optimierung							↓					
BHKW / Wärmepumpe Energiesystem Simulation		↓					↓				↑	
Kälteanlagen Optimierung		↓					↓					
Quartierssteuerung			↑	↑	↑	↑						
Power-to-X-Prozesse		↓	↑									
Bioabfall-Energieertrag-Prognosemodell	↑	↑								↑		
Wirtschaftlichkeits-analyse PtG- / Biogas-Anlage		↑							↓			
Geschäftsmodell-konfigurator	↓	↓			↓							
Ressourcenaufwands-bewertung	↑	↑	↓									

Tabelle 5 - Schnittstellen zwischen den ENsource Tools: Die Pfeile verdeutlichen, zwischen welchen Tools ein Datenaustausch einen Mehrwert generieren kann.

Anhang

Element	Definition	Notation
Business service	Eine Dienstleistung (englisch „service“) ist ein immaterielles Gut, das entsteht, wenn ein Akteur für einen anderen Akteur eine entgeltliche Tätigkeit ausübt.	
Business interface	Ein Zugangspunkt, an dem eine Dienstleistung anderen Marktteilnehmern zur Verfügung gestellt wird.	
Business actor	Ein Business Actor ist eine Geschäftseinheit, welche z.B. ein Unternehmen, eine Unternehmensabteilung, ein Mitarbeiter, aber auch z.B. einen Kunden darstellen kann.	
Business role	Die Zuständigkeit für die Ausführung einer bestimmten Tätigkeit, die einem Business Actor zugeordnet werden kann, oder die Rolle, die ein Akteur in einer bestimmten Handlung oder einem bestimmten Ereignis übernimmt.	
Business interaction	Eine Einheit von kollektivem Geschäftsverhalten, die von (einer Zusammenarbeit von) zwei oder mehr Business Roles ausgeführt wird.	
Business function	Eine Kollektion von Geschäftsverhalten, die auf einer Reihe ausgewählter Kriterien basiert (typischerweise erforderliche Geschäftsressourcen und/oder Kompetenzen).	
Application component	Eine Application Component ist eine konkrete Applikation. Sie kapselt ihr Verhalten und ihre Daten, stellt Services bereit und macht sie über Schnittstellen verfügbar.	
Application interface	Ein Zugriffspunkt, wie ein Benutzer oder eine andere Application Component, welche Anwendungsdienste zur Verfügung stellt.	
Data object	Ein Objekt für die automatisierte Verarbeitung strukturierte Daten und zur Darstellung von verwendeten Daten in einer Anwendungskomponente.	
Application collaboration	Eine Aggregation aus zwei oder mehr Anwendungskomponenten, die zusammenwirken, um ein kollektives Anwendungsverhalten zu erreichen.	
Application function	Automatisiertes Verhalten, welches von einer Anwendungskomponente durchgeführt werden kann.	
Requirement	Eine Anforderung, die von der Architektur erfüllt werden muss.	
Goal	Eine Absichtserklärung, welche, eine Richtungsangabe oder einen gewünschten Endzustand für eine Organisation und ihre Interessenvertreter beschreibt.	
Driver	Ein Auslöser oder Zustand, der eine Organisation dazu motiviert, ihre Ziele zu definieren und die zu ihrer Erreichung notwendigen Veränderungen durchzuführen.	
Principle	Eine qualitative Anforderung, die von der Architektur erfüllt werden sollte.