

SIMULATION THERMISCHER AREALVERNETZUNG MIT IDA-ICE

Philipp Kräuchi¹, Matthias Kolb²

¹Hochschule Luzern – Zentrum für Integrale Gebäudetechnik, Horw, Schweiz

²Amstein+Walthert AG Zürich, Schweiz

KURZFASSUNG

Das Ziel des vorgestellten Projekts ist der Aufbau eines Simulationstools für gebäudeübergreifende Energieversorgungssysteme mit Abwärmelieferanten, -bezüglern und Erdsondenfeldern (Wärmespeicherung). Es soll erlauben thermische Arealvernetzungen schnell und zuverlässig planen und auslegen zu können, sowie optimierte Betriebs- und Regelungsstrategien zu entwickeln. Das Simulationsprogramm IDA-ICE bietet die Möglichkeit, neue Anwendungen zu programmieren. Eine der unterstützten Programmiersprachen dazu ist NMF (Neutral Model Format). Neue Bibliothekselemente werden mit NMF erstellt für die Hauptkomponenten einer thermischen Arealvernetzung: für die doppelte Ringleitung, ein Gebäudezentrale, ein Gebäude, einen Wärmelieferanten, ein Erdsondenfeld. Diese Bibliothekselemente lassen sich dann zu einem thermischen Netz zusammenfügen. Die Elemente sind parametrierbar, und mehrfache Elemente vom gleichen Typ sind unterstützt. Das erlaubt ein konkretes Arealvernetzungs-Vorhaben für die Auslegung einfach und schnell in ein Simulationsmodell abzubilden und zu simulieren.

ABSTRACT

We present a project that has the objective to build up a simulation tool for thermal networks including several buildings, waste heat suppliers and heat storage in the ground. The simulation tool will allow reliable planning of such networks as well as testing of operational and control strategies.

The simulation program IDA ICE offers the ability to program new applications. One of the supported programming languages is NMF (Neutral Model Format). New library items are created with NMF for the main components of a thermal network: for the double ring loop, a heat pump unit, a building, a heat supplier. These library elements can then be interconnected. The elements are parameterized, and multiple elements of the same type are supported. This allows for a specific thermal network to quickly and easily map into a simulation model to simulate the network.

EINLEITUNG

Funktionsweise von Anergienetzen

Anergienetze¹ (sogenannte „kalte Nahwärmenetze“) sind Wärme- und/oder Kältenetze, anhand derer unveredelte Wärme bzw. Kälte zwischen Lieferanten und Bezüglern transportiert wird, wobei zur Wärmebereitstellung Wärmepumpen dezentral bei den Wärmebezüglern eingesetzt werden (keine zentrale Wärmeaufbereitung). Dank den Abwärmelieferanten erreichen die Wärmepumpen eine hohe Arbeitszahl. Im Sommer kann das Anergienetz direkt oder mittels Kältemaschinen zur Gebäudekühlung verwendet werden. Die Abwärmelieferanten ihrerseits profitieren ganzjährig von der Wärmeabnahme (Einsparungen bei der Kühlung). Erdspeicher haben die Funktion, Wärme saisonal zwischenspeichern. Voraussetzung für eine erfolgreiche thermische Arealvernetzung ist eine über das Jahr ausgeglichene Wärmebilanz: der jährliche Wärmebezug aus dem Anergienetz muss gleich hoch sein, wie die jährliche Wärme-einspeisung.

Die thermische Vernetzung, wie sie in der vorliegenden Studie untersucht wird, besteht aus folgenden vier 'Grundelementen':

- Anergieleitungsnetz
- Abwärmebezüglern
- Abwärmelieferanten
- Erdspeicher

Das Anergieleitungsnetz ist das Rohrleitungsnetz, das Abwärme und Erdwärme (Anergie) zwischen Abwärmelieferanten, Abwärmebezüglern und Erdspeichern leitet. Es stellt die thermische Vernetzung zwischen Abwärmelieferanten, -bezüglern und -speichern her. Energieträger ist Leitungswasser ohne Zusatz von Frostschutzmitteln, wodurch die Systemtemperatur im Anergienetz grösser als 4 °C sein muss (Kaltleiter-Temperatur). Je nach Temperaturniveau der Abwärmelieferung und Entzugsleistung steigt die Temperatur. Im Allgemeinen ist das Netz auf eine Temperatur von

¹ Der Begriff Anergienetz hat sich mittlerweile in der Schweiz etabliert im Zusammenhang mit dezentraler Wärme-Veredelung (Temperaturerhöhung). Die Referenz an den physikalischen Begriff „Anergie“ ist darin begründet, dass Wärmepumpen notwendig sind, um die Wärmeenergie in den Verbundleitungen für Heizzwecke zu verwenden.

40 °C ausgelegt (max. zulässige Temperatur für den Wärmetausch in den Erdspeichern). Da die transportierte Wärme auf tiefem Temperaturniveau ist und die Abwärme ansonsten an die Umgebungsluft abgegeben würde, kann ein geringer Wärmeverlust während dem Transport im Anergienetz in Kauf genommen werden. Die Anergieleitungen werden deshalb nicht zusätzlich isoliert.

Jeder Wärmebezüger kann im Heizungssystem eine dem Gebäudestandard angepasste Vorlauftemperatur fahren (dezentrale Wärmeaufbereitung mittels Wärmepumpe). Im Gegensatz dazu muss bei Fernwärmenetzen mit einer zentralen Wärmeaufbereitung die Systemtemperatur auf den weitesten entfernten Bezüger oder jenen mit der höchsten Vorlauftemperatur ausgelegt sein.

Als potenzielle Wärmelieferanten kommen alle Nutzungen, die über das Jahr gesehen einen Wärmeüberschuss verzeichnen, in Frage. Dies sind im Allgemeinen Nutzungen mit hohen internen Lasten, wie bspw. Industrien (Nahrungsmittel, Pharma, weitere Produktionen), Spitäler, Rechenzentren, Kunsteisbahnen, Bürogebäude etc. Aufgrund interner Wärmerückgewinnungen während den Wintermonaten ist das Potenzial für Abwärmelieferungen im Winter kleiner als im Sommer. Des Weiteren eignen sich auch Wärmequellen wie Sonnenkollektoren, Abwasser Wärmerückgewinnungen oder Grundwasser-Wärmenutzungen.

Auf der anderen Seite fungiert das Anergienetz bei der Wärmeabgabe als Kältequelle für die Abwärmelieferanten. Synergien zwischen bspw. Rechenzentren und Wohngebieten bestehen darin, dass neben der Wärmelieferung an das Wohngebiet, das Rechenzentrum direkt gekühlt wird (Freecooling, bzw. Geocooling bei der Einbindung eines Erdspeichers). Das heisst, neben dem Vorteil der Abwärmennutzung zu Heizzwecken, entsteht auch ein Vorteil bei der Kühlung von Abwärmelieferanten.

Der Bau von Erdspeichern ist dann sinnvoll, wenn Abwärmennachfrage und -angebot zeitlich verschoben sind. Anhand von Erdspeichern kann die Sommerabwärme gespeichert und saisonal in die Wintermonate verlagert werden. Erdspeicher bestehen aus mehreren in einem Raster von ca. 6 m angeordneten Erdwärmesonden, die auf 150 bis 300 m abgeteuft sind. Ausschlaggebend für die Speicherfähigkeit sind die Geometrie bzw. Kompaktheit des Erdspeichers (kleines Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis) sowie die geophysikalischen Eigenschaften des Erdreichs.

Mehrere Anergienetz-Bauprojekte² werden aktuell in der Schweiz umgesetzt.

² Aktuelle Beispiele sind die Familienheim-Genossenschaft Zürich mit 2'200 Wohneinheiten (FGZ, 2012), der ETH Campus Hönggerberg (Altenburger, 2012) und ein Baufeld in Rotkreuz mit 600 Wohnungen und bis 2500 Arbeitsplätzen (Suurstoffi, 2012).

Ziele, Anwendungsbereich

Das Ziel der hier präsentierten Entwicklungsarbeiten ist ein Software-Tool zur Simulation von Anergienetzen. Unterschiedliche Wärmebezüger, -lieferanten und Erdspeicher sollen modular einbindbar sein. Die Planung und Auslegung von Anergienetzen erfolgte bei Amstein+Walthert bisher mit manuellen Berechnungsschritten und Einzelsimulationen. Eine vorgängige Tool-Evaluation brachte den Entscheid das Simulationsprogramm IDA-ICE zu verwenden, welches bereits bei Amstein+Walthert eingesetzt wird. IDA-ICE erlaubt in der Standardanwendung die Simulation eines einzelnen, auch sehr komplexen Gebäudes; nicht aber den thermischen Verbund mehrerer Gebäude. Für die Simulation von Erdsondenfeldern oder hydraulischen Netzen existieren etliche spezialisierte, kommerzielle Softwarelösungen.

Die Entwicklungsarbeiten orientieren sich an einem konkreten Anergienetz-Bauvorhaben als Fallbeispiel (Abbildung 1). Dieser Netztyp, wie nachfolgend beschrieben, ist der Anwendungsbereich des präsentierten Entwicklungsstandes des Tools. Weiter wird vorausgesetzt, dass die Gebäude ausschliesslich als Wärmebezüger agieren.

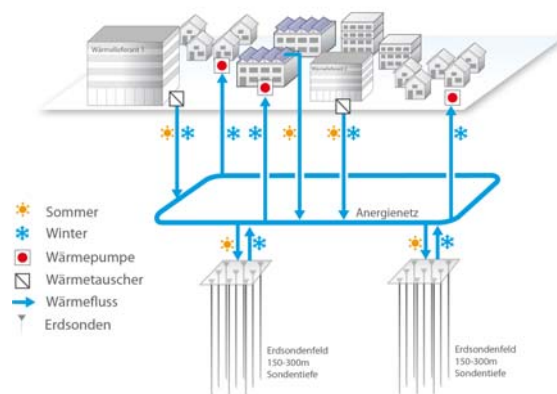


Abbildung 1 Fallbeispiel

Das Anergie-Rohrleitungsnetz besteht aus einem Kalt- und einem Warmleiter (2-Leiter-System). Die Temperatur in beiden Leitern variiert jahreszeitlich; der Warmleiter ist stets wärmer als der Kaltleiter. Die Fliessrichtung in beiden Leitern ist ungerichtet (Fliessrichtung beidseitig möglich, außer Zuleitungen Abwärmebezüger und -lieferanten). Die Pumpen befinden sich ausschliesslich in den Gebäudezentralen sowie in den Abwärmeezentralen (keine Pumpen bei den Erdspeichern).

Gebäudezentralen, Abwärmeezentralen und Erdsondenfelder sind jeweils sowohl an den Kaltleiter wie den Warmleiter angeschlossen (geschlossenes System). Deshalb besteht eine Abhängigkeit der Wasserzuströme zu den Ringleitern. Beispielsweise bewirkt ein Wasserfortstrom vom Warmring zu einem Wärmebezüger einen betragsmässig gleich grossen Wasserzuström vom Wärme-

bezügler in den Kaltring, dieser wiederum einen Wasserfortstrom vom Kaltring zum Erdsondenfeld und/oder einem Wärmelieferanten. Diese Fluss-situation ist in Abbildung 2 dargestellt.

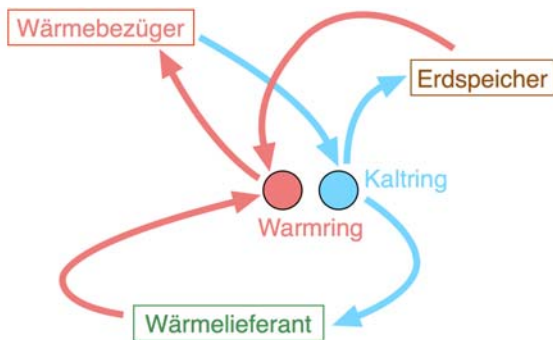


Abbildung 2 Wasserflüsse, sofern der Wärmebezug der Gebäudezentralen grösser ist als die Wärmelieferung der Abwärmelieferanten

Ist die Abwärmeeinspeisung grösser als der Wärmebezug der Gebäude, resultiert ein Wasserfluss durch das Erdsondenfeld in umgekehrter Fliessrichtung. Diese Fluss-situation ist in Abbildung 3 dargestellt. In der Regel wird bei dieser Fluss-situation das Erdsondenfeld regeneriert, das heisst das Erdreich wieder erwärmt. Die Voraussetzung für das Regenerieren ist eine höhere Zuflusstemperatur zum Erdsondenfeld als dessen Erdreichtemperatur.

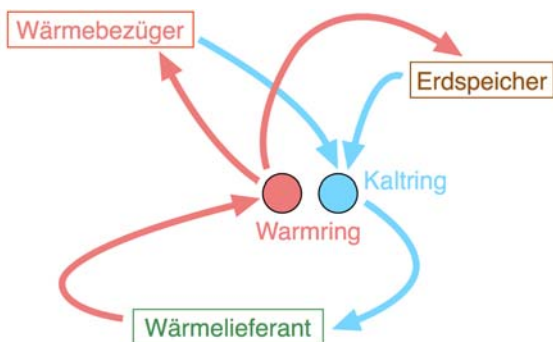


Abbildung 3 Wasserflüsse, sofern der Wärmebezug der Gebäudezentralen kleiner ist als die Wärmelieferung der Abwärmelieferanten

METHODIK

Für die Entwicklungsarbeiten wurde ein Vorgehen gewählt, das es erlaubt zu einem möglichst frühen Zeitpunkt ein Modell des Gesamtsystems zu haben, dafür ein bewusst minimal gehaltenes Gesamtsystem. Der Ausbau von diesem Minimal-System zu einem detaillierteren System ist schrittweise geplant (siehe AUSBLICK).

Für viele konkrete Fragestellungen zur Planung des Verbundnetzes ist die jetzige Modellierungstiefe noch nicht genügend, insbesondere bedingt durch das

stark idealisierte Erdsondenfeld-Modell. Dennoch erlauben die aktuellen Modelle bereits einige Planungsfragen zu plausibilisieren. Beispielsweise können maximale Leistungen ermittelt werden, ebenso maximale Fliessgeschwindigkeiten, oder der elektrische Verbrauch der Wärmepumpen realistisch abgeschätzt werden aufgrund der dynamisch berechneten COPs für Raumheizung und Gebrauchswassererwärmung.

Modellbildung

Das Minimal-System macht folgende Abstraktionen und Vereinfachungen:

- Die beiden Ringleitungen des Nahwärmernetzes sind je als ein Wasservolumen abgebildet
- Keine Wärmeverluste (ausgenommen die Gebäude)
- Keine Begrenzungen (Leistungen, Volumenströme, Temperaturen, etc.)
- Keine Pumpenleistungen für die Wasserzirkulation

Unterstützt sind eine beliebige Anzahl Gebäude (bzw. Gebäudetypen) und Abwärme-Lieferanten.

Entsprechend den vier Grundelementen eines thermischen Verbundes wurde eine Modellbibliothek entwickelt, die aus vier Modellkomponenten besteht: „Gebäude“, „Zentrale“ (Wärmebezügler), „Industrie“ (Abwärmelieferant) und „Areal“ (doppelte Ringleitung). Nachfolgend wird die Funktion dieser Komponenten beschrieben. Für die Parameter der einzelnen Komponenten sei verwiesen auf die Spalte „Parameter“ in Tabelle 1 im Absatz SIMULATION.

Die Modellkomponenten „Gebäude“ und „Industrie“ sind derart ausgestaltet, dass diese eine Vorgabe jährlicher Energiewerte sowie die Vorgabe von zeitlichen Verteilungen erlauben. Letztere müssen übers Jahr aufintegriert den Wert 1 ergeben. Solche zeitliche Verteilung werden als Textdatei gespeichert und beim Aufsetzen der Anwendung mit den Modellkomponenten verknüpft (Abbildung 5 in Absatz SIMULATION).

Die Modellkomponente „Zentrale“ summiert die Heiz- und Warmwasserbezüge der zugehörigen Gebäude. Es wird davon ausgegangen, dass das Heiz- und Brauchwarmwasser mit derselben Wärmepumpe erzeugt wird, indem alternierend der Heizkreislauf (beispielsweise ein Speicher) und die Speicherwassererwärmung des Brauchwassers gespeist werden. Entsprechend werden für Heiz- und Brauchwasser zwei verschiedene COP berechnet. Die dynamische Berechnung des COP erfolgt nach Gleichung (1).

$$(1) \quad \text{COP} = \eta T_w / (T_w - T_k)$$

; wobei η : Gütegrad der Wärmepumpe ($COP_{real} / COP_{Carnot}$)

T_w in Kelvin: Austrittstemperatur der Wärmepumpe (unterschiedlich für Heiz- und Brauchwasser)

T_k in Kelvin: Quelltemperatur, hier berechnet als Mittelwert der Zufluss- und Rückflusstemperatur in den Abgängen vom Anergienetz zur Zentrale.

Die Modellkomponente „Areal“ berechnet über ein gekoppeltes Gleichungssystem die folgenden Größen:

- Volumenstrom durch das Erdsondenfeld (gerichtet)
- Temperatur jeder Ringleitung

Eingangsgrößen von Seiten der Gebäudezentralen und Abwärmelieferanten sind die zu- und abgeführten Wärmeleistungen sowie die vorgegeben Temperaturdifferenzen (Differenz zwischen Vor- und Rücklauf in den Abgängen). Der Volumenstrom durch das Erdsondenfeld ergibt sich aus der Volumenstrom-Bilanz über einen Ring: die Summe der gerichteten Volumenströme muss immer Null ergeben. Die Ringleitungstemperaturen werden über die Zuflussmengen und Zuflusstemperaturen mittels einer Differentialgleichung für jeden Ring berechnet.

Die Modellkomponente „Erdsonde“ beinhaltet als rudimentäres Modell für einen Erdspeicher ein „Wassertank-Modell“ mit perfekter Durchmischung. Anstelle der Wärmekapazität und Dichte von Wasser fungieren die Parameter Wärmekapazität und Dichte des Erdreichs. Beim gewählten Modell handelt es sich gewissermassen um den idealen Speicher: er nimmt die zugeführte Wärmeleistung vollständig auf. Real entspräche das einem Erdsondenfeld mit unendlicher Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs sowie unendlich hoher Wärmeübertragungsleistung der Erdsonden.

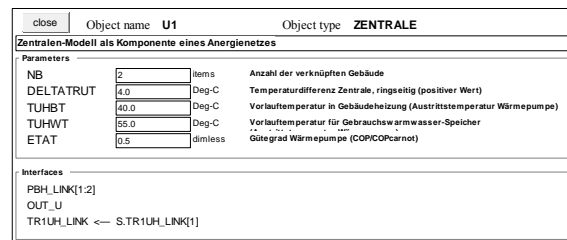
Entwicklungsumgebung

Als Entwicklungsumgebung diente IDA. Die Komponentenmodelle wurden in der Sprache NMF programmiert. NMF erlaubt, Gleichungssysteme anzugeben, ohne deren Auflösung programmieren zu müssen. Zeitliche Ableitungen sind dabei möglich. Eine numerische Lösung wird schliesslich vom IDA-Solver ermittelt. Eine Dokumentation der Sprache NMF ist gegeben in Sahlin, 1996.

Als Programmierumgebung wurde der Editor des NMF-Translators von EQUA – dem Entwickler von IDA – gewählt. Der NMF-Translator ist ferner zwingend, um aus dem NMF-Code die kompilierten Modelle für IDA zu generieren. Der NMF-Translator kann von allen IDA-Anwendern mit Lizenz „Expert“ kostenlos bei EQUA Simulation AB angefordert werden.

Verwendet werden die kompilierten NMF-Modelle als Modellbibliothek in einer zunächst leeren IDA-ICE Anwendung auf Stufe „Advanced Level“.

Zur Parametereingabe lassen sich in IDA automatisch Formulare generieren (Abbildung 4). Die Formulare lassen sich manuell nachbearbeiten.



Parameters		Items	Description
NB	2	Items	Anzahl der verknüpften Gebäude
DELTA TRUT	4.0	Deg-C	Temperaturdifferenz Zentrale, ringseitig (positiver Wert)
TUHBT	40.0	Deg-C	Vorlauftemperatur in Gebäudeheizung (Austrittstemperatur Wärmepumpe)
TUHWT	55.0	Deg-C	Vorlauftemperatur für Gebrauchswasser-Speicher
ETAT	0.5	dimless	Gütegrad Wärmepumpe (COP/COPcarnot)

Interfaces

PBH_LINK[1:2]
 OUT_U
 TR1UH_LINK ← S.TR1UH_LINK[1]

Abbildung 4 Beispiel eines automatisch generierten Eingabeformulars

SIMULATION

In einer IDA-ICE Anwendung wurde ein Fallbeispiel simuliert: ein Areal mit Wohngebiet (Wärmebezüger), angrenzenden Dienstleistungsbetrieben mit Rechenzentren (Wärmelieferanten) sowie einem Erdspeicher. Die Anwendung dient hier zur Überprüfung des korrekten Funktionierens der Modellkomponenten sowie zur Illustration, wie die Modellkomponenten verwendet werden können.

Abbilden des Fallbeispiels

Um die hier präsentierte Beispiel-Anwendung einfach zu halten, wurden die Gebäude auf dem betrachteten Areal in drei Gruppen zusammengefasst, entsprechend den drei Komponenten vom Typ „Gebäude“ (Komponenten „B1“ bis „B3“ in Abbildung 5). Für realitätsnähere Simulationen kann für jedes einzelne Gebäude (oder Gruppen gleichartiger Gebäude) eine separate Komponente „Gebäude“ verwendet werden. Die Komponenten B1 bis B3 sind exemplarisch mit je einem anderen Zeitprofil des Heizwärmebezugs verknüpft. Im Falle von B1 ist dies die Quelldatei 1, im Falle von B2 die Quelldatei 2, und für B3 schliesslich ein Makro, das ein Zeitprofil nach Heizgradtagen liefert. Der Wärmebezug für die Warmwassererwärmung ist im Beispiel für alle drei Gebäudegruppen als zeitlich konstant vorgegeben (anstelle der Konstante $1.1447E-4$ wäre auch ein Zeitprofil möglich). Aufgrund der verknüpften Zeitprofile und der vorgegebenen jährlichen Wärmemengen wird für jede Gebäudegruppe die erforderliche, zeitlich variable Wärmeleistung berechnet, separat für die Raumheizung und das Warmwasser.

Diese Wärmeleistungen werden an die Komponenten vom Typ „Zentrale“ weitergereicht. Eine Zentrale kann die Wärmebezüge von mehreren Gebäudegruppen abdecken, so im Fallbeispiel die Zentrale „U1“, welche die Gebäudegruppen „B1“ und „B2“ beliefert. Mittels Wärmepumpe entnehmen die Zentralen ihrerseits die weiterzureichende Wärme dem Arealnetz „S“. Gespeist wird das Arealnetz primär von den Abwärmelieferanten, im Modell die Komponenten vom Typ „Industrie“ (Komponente

„I1“ und „I2“). Weiter speist zeitweise das Erdsondenfeld „D“ Wärme ins Arealnetz.

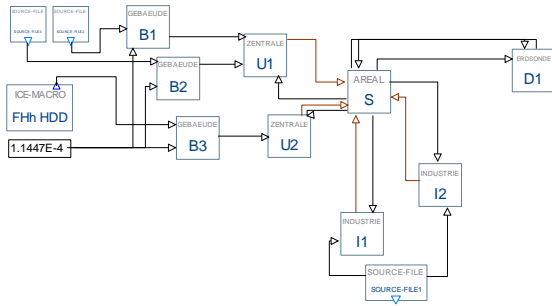


Abbildung 5 Simulationsanwendung aufgebaut aus Komponenten

Die verwendeten Parameter sind in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1
Parameterwerte, verwendet in der Simulation

TYP KOMPONENTE	PARAMETER	WERT
Gebäude	Wärmebezug für Heizung, jährlich	³ B1: 4359 MWh/a B2: 3471 MWh/a B3: 2615 MWh/a
	Vorlauftemperatur Heizsystem	40 °Celsius
	Wärmebezug für Warmwasser, jährlich	⁴ B1: 2347 MWh/a B2: 1869 MWh/a B3: 1408 MWh/a
	Vorlauftemperatur Speicherwassererwärmung	55 °Celsius
	Temperaturabsenkung in Abgängen	4 °Celsius
Abwärmelieferant	Wärmelieferung, jährlich	⁵ I1: 6750 MWh/a I2: 6000 MWh/a
	Temperaturerhöhung in Abgängen	4 °Celsius
Erdsondenfeld	Volumen Erdreich	1'000'000 m ³
	Dichte Erdreich	2000 kg/m ³
	Spezifische Wärmekapazität	1500 J/(kg K)
	Starttemperatur zu Jahresbeginn	14 °Celsius
Netz (2 Ringe gleicher Dimensionen)	Durchmesser	0.4 m
	Länge	4750 m

³ B1, B2: Zeitliche Verteilung aus Gebäudesimulation
B3: Zeitliche Verteilung nach Heizgradtagen (Außentemperatur nach „SMA_dry_normal“)

⁴ Zeitliche Gleichverteilung

⁵ Identische zeitliche Gleichverteilung mit saisonalem Sprung am 1. April und 30. September

Simulationsresultate

Die Gebäudewärmebezüge sind exemplarisch für die Gebäudegruppe B1 in Abbildung 6 sowie für Gebäudegruppe B3 in gezeigt. Die Verläufe von B1 und B3 reflektieren die unterschiedlichen Vorgaben: bei B1 als Zeitverlauf nach einer Gebäudesimulation mittels IDA-ICE, bei B3 nach Heizgradtagen. Nach Heizgradtagen ergeben sich weniger akzentuierte Heizbedarfsspitzen im Winter; in den Sommermonaten bis in den Frühherbst andererseits (unrealistisch) hohe Heizbedarfsspitzen.

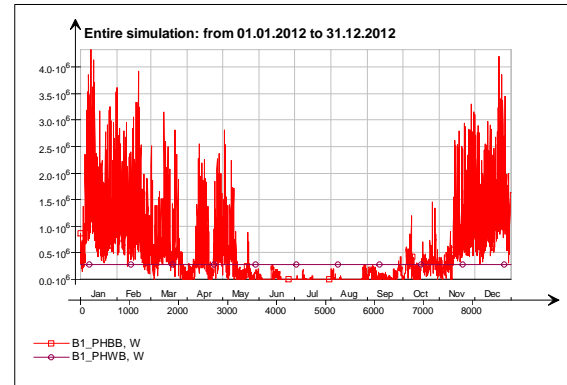


Abbildung 6 Wärmebezug von Gebäudegruppe B1 (rot: Heizwasser, weinrot: Warmwasser)

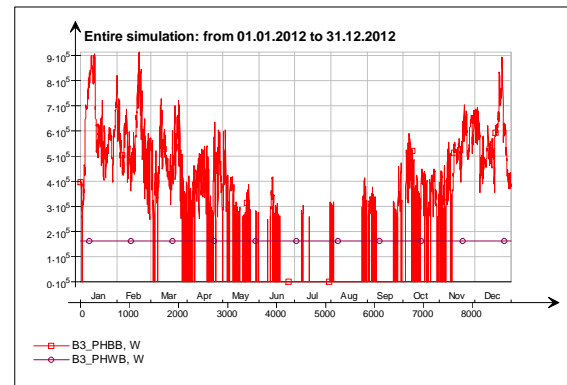


Abbildung 7 Wärmebezug von Gebäudegruppe B3 (rot: Heizwasser, weinrot: Warmwasser)

Die Wärmebezüge der Gebäude werden von Wärmepumpen gedeckt. Die COPs für die Heiz- und Warmwassererwärmung (Abbildung 8) ergeben sich aus den System- und Quelltemperaturen. Die COP-Kurve für die Raumheizung liegt höher als jene für die Brauchwassererwärmung aufgrund der tieferen Vorlauftemperatur im Heizsystem. Der Jahres-COP, berechnet als Verhältnis von elektrischem Energieverbrauch der Wärmepumpe und abgegebener Wärmeenergie (für Heizung und Warmwasser) ergibt sich aus der Simulation zu 4.9 bei beiden Gebäudenzentralen.

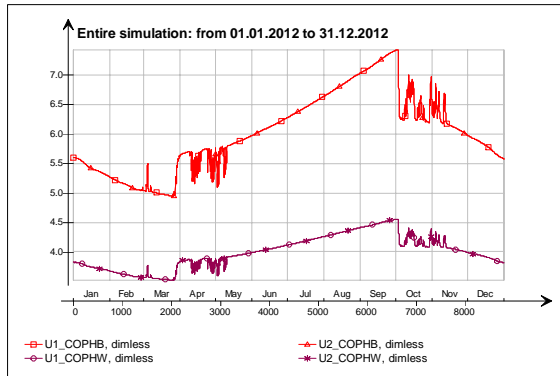


Abbildung 8 COPs
(rot: Heizwasser, weinrot: Warmwasser)

Die Temperatur in den beiden Ringleitungen (Abbildung 10) widerspiegelt im Wesentlichen die Rücklauftemperatur vom Erdsondenfeld (Abbildung 9). Voraussetzung dafür sind die angenommenen Regelungen der Gebäudezentralen und Abwärmelieferanten, welche jeweils eine individuell vorgegebene Temperaturdifferenz über den Wärmetauscher einhalten (auf der Seite des Anergie-Leitungsnetzes). Bemerkenswert sind die typischen Sprünge von 4° Celsius. Diese Sprünge sind zurückzuführen auf ein Wechsel der Fließrichtung durch das Erdsondenfeld: Der Zufluss von der Erdsonde erfolgt in den anderen Ring als vor dem Sprung. Die Temperatur dieses Rings wird nun von der Zuflusstemperatur des Erdsondenfeldes bestimmt. Die Flussrichtung in den Gebäudezentralen und Abwärmelieferanten bleibt unverändert, ebenso deren Temperaturdifferenzen (sichergestellt durch die Regelung). So verändern sich die Temperaturen der beiden Ringleitungen jeweils parallel zueinander.

Die Temperatur des Warmrings in der Simulation zu Jahresbeginn und zu Jahresende ist praktisch gleich hoch. Das bedeutet, dass in der simulierten Situation ins Erdreich des Erdsondenfeldes im Jahresverlauf gleich viel Wärme eingespeist wird wie entnommen. Deshalb ist die simulierte Lastsituation auch langfristig funktionierend.

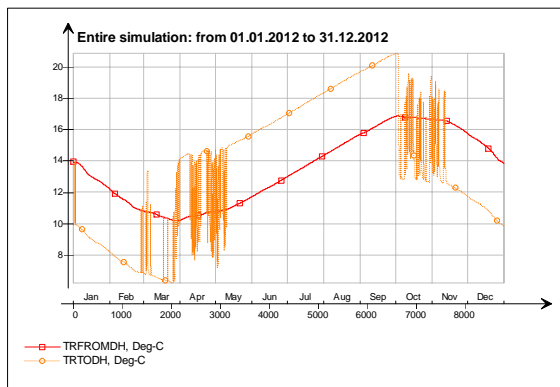


Abbildung 9 Vorlauftemperatur (durchgezogen) und Rücklauftemperatur (gestrichelt) des Erdsondenfeldes

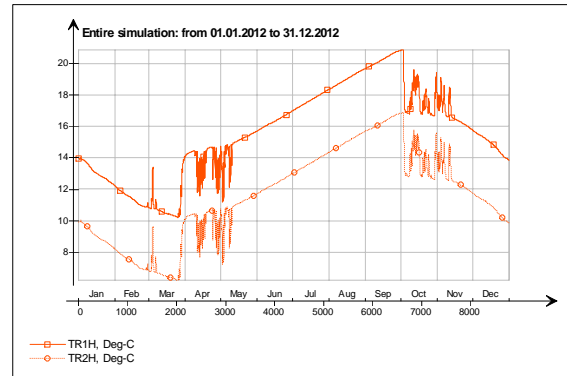


Abbildung 10 Temperatur der beiden Ringleitungen
(durchgezogen: Warmring; gestrichelt: Kaltring)

Die aggregierten Wärmebezüge und Wärmeleistungen vom/ans AnergieNetz sind in Abbildung 11 dargestellt. Gut erkennbar ist der spiegelbildliche Charakter der Erdsondenfeld-Leistung zu den Wärmebezügen der Gebäudezentralen, überlagert von der Wärmeeinspeisung der Abwärmeeinheiten (zu beachten: der Lastsprung am 1. April).

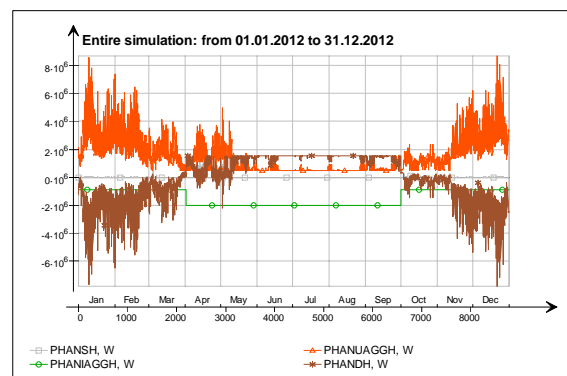


Abbildung 11 Wärmeleistungen aggregiert (hellrot: Zentralen, grün: Wärmelieferanten; braun: Erdsondenfeld; grau: Summe)

Die simulierte Strömungsgeschwindigkeit (Abbildung 12) in den Ringleitungen kann als maximale Strömungsgeschwindigkeit im realen System verstanden werden (das Modell unterscheidet keine Abschnitte der Ringleitungen). Deutlich erkennbar in der Kurvenform ist wiederum der Verlauf des Wärmebezugs der Gebäudezentralen sowie jener der Abwärmeeinspeisung.

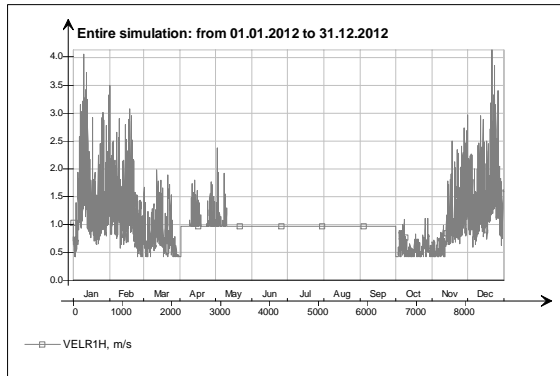


Abbildung 12 Maximale Strömungsgeschwindigkeiten in den Ringleitungen

DISKUSSION

Mit den erstellten neuen Komponenten für IDA-ICE kann das Fallbeispiel erfolgreich simuliert werden, mit den eingangs des Kapitels Methodik erwähnten Ansprüchen an die Modellierungstiefe.

Die Ergebnisse sind konform mit anderweitig erarbeiteten Planungsergebnissen. Beispielsweise beträgt in der Simulation die maximale Bezugsleistung vom Erdsondenfeld 5.9 MW (Spitzenwert am 22. Dezember), die maximale Regenerierung 1.6 MW (Spitzenwert am 1. April). Die entsprechenden Planungswerte betragen für die maximale Bezugsleistung 6.4 MW, für die Regenerierung 3.5 MW.

Die aktuellen Komponenten erlauben bereits eine Vielzahl von Szenarien abzubilden, welche sich unterscheiden durch:

- Höhe der Wärmebezüge (z.B. tieferer Bezug nach Gebäudesanierung)
- Zeitprofil des Wärmebezugs (z.B. durch Glättung basierend auf Lastabwurf)
- Vorlauftemperaturen für Heiz- und Warmwassersystem
- Temperaturdifferenz in Abgängen (individuell für Gebäudezentralen und Abwärmeeinheiten)
- Höhe und Zeitprofil der Abwärmeeinspeisung
- Dimensionierung des Erdspeichers
- Dimensionierung der Anergie-Doppelringleitung

AUSBLICK

Wie im Kapitel eingangs erwähnt, ist eine größere Modellierungstiefe für viele praktische Fragestellungen notwendig, insbesondere für die Systemdimensionierung, die Optimierung der Regelung sowie die Quantifizierung des Systemnutzens.

Ein detaillierteres Erdsondenmodell dürfte vordringlich sein für realitätsnahe Ergebnisse. Dank des modularen Aufbaus des Anergienetz-Simulations-

tools dürften bestehende Erdsondenmodelle mit kompatibler Schnittstelle einfach einbindbar sein.

Bezüglich der Abwärmelieferung wäre eine detailliertere Modellierung (Wärmetauscher) insbesondere wertvoll, um auch die energetischen Einsparungen seitens der Abwärmelieferanten zu quantifizieren.

Mit den obigen Erweiterungen könnte eine erste Validierung mit Messdaten vorgenommen werden.

Weitere angedachte Erweiterungen sind:

- Segmentierung der Anergie-Doppelringleitung in Teilabschnitte
- Ausprägungen der bisherigen Komponenten für verschiedene Netztypen
- Komponente für PVT-Kollektoren
- Kältespeicherung (beim Anergienetz der ETH Campus Höggerberg gelöst über ein Dreileitersystem)
- Betriebs- und Regelstrategien

ZUSAMMENFASSUNG

Mit den erstellten NMF-Komponenten können Anergienetze eines bestimmten Typs (bestehend aus einem 2-Leiter-System, Wärmebezügern, Wärmelieferanten und einem Erdspeicher) einfach und schnell in ein Simulationsmodell in IDA-ICE umgesetzt werden. Die Simulationsergebnisse erlauben, trotz noch geringer Modellierungstiefe, bereits erste aussagekräftige Systembetrachtungen; beispielsweise eine Abschätzung des Jahres-COP.

DANKSAGUNG

Unser Dank gebührt Thomas Gautschi (Amstein+Walthert AG) für die Ermöglichung dieser Arbeiten und seine fachlichen Anregungen, Iwan Plüss (Hochschule Luzern) für seine wertvollen Modellierungsideen, sowie Dr. Sven Moosberger (EQUA Solutions AG) für seine hilfreichen Tipps.

LITERATUR

Sahlén, P., 1996. NMF Handbook. An Introduction to the Neutral Model Format, Building Sciences KTH, Stockholm

FGZ, 2012. Online Projektvorstellung. <http://www.fgz.ch/index.cfm?Nav=31&ID=151>, zugegriffen am 27.7.2012

Suurstoffi, 2012. Online Projektvorstellung. <http://www.suurstoffi.ch>, zugegriffen am 27.7.2012

Altenburger, A., 2012. Arealvernetzung – Pionierprojekt ETH Höggerberg. <http://blog.swissbau.ch/2012/05/08/arealvernetzung-pionierprojekt-eth-honggerberg/>, zugegriffen am 27.7.2012