

Ph. Kräuchi¹, M. Kolb², Th. Gautschi², U.-P. Menti¹ und M. Sulzer¹
¹Hochschule Luzern – Zentrum für Integrale Gebäudetechnik, Horw, Schweiz
²Amstein+Walthert AG, Zürich, Schweiz

Ausgangslage

Niedertemperatur-Wärmeverbunde sind eine Variante der thermischen Arealvernetzung. Im Grundprinzip wird in Niedertemperatur-Wärmenetzen Abwärme und Umweltwärme auf geringem Temperaturniveau in das Wärmenetz eingespiesen und wiederum aus diesem Netz von Wärmebezügern mittels Wärmepumpen bezogen. Das Wärmenetz weist typischerweise Temperaturen auf zwischen 8 °C und 18 °C. Während der Heizperiode liegt dieses Temperaturniveau um einiges höher als die Luft-Aussentemperatur oder die ungestörte Erdreichtemperatur. Deshalb erreichen die Wärmepumpen eine deutlich höhere Leistungszahl als ohne Niedertemperatur-Wärmenetz. Im Sommer kann das Niedertemperatur-Wärmenetz direkt oder mittels Kältemaschinen zur Gebäudekühlung verwendet werden. Die Wärmelieferanten, wie beispielsweise Rechenzentren, profitieren ganzjährig von der Wärmeabnahme (Einsparungen bei der Kühlung). Mittels Erdwärmespeicher kann die Wärme saisonal zwischengespeichert werden. Erdwärmespeicher sind dann sinnvoll, wenn das Wärmeangebot und die Wärmenachfrage zeitlich auseinanderklaffen und übers Jahr in etwa eine ausgewogene Bilanz zeigen.

In 2-Leiter-Niedertemperatur-Wärmeverbunden gibt es einen Kalt- und einen Warmleiter. Die Wassertemperatur im Warmleiter ist stets um einige Kelvin wärmer als im Kaltleiter. Wärmebezüger (Heizzentralen), Wärmelieferanten und Erdwärmespeicher sind jeweils sowohl an den Kaltleiter wie auch an den Warmleiter angeschlossen (geschlossenes System). Deshalb besteht eine Abhängigkeit der Massenströme in den Abgängen beider Hauptleiter. Es ergeben sich zwei typische Flusssituationen (Abbildung 1), die sich in der Fließrichtung im Erdwärmespeicher unterscheiden.

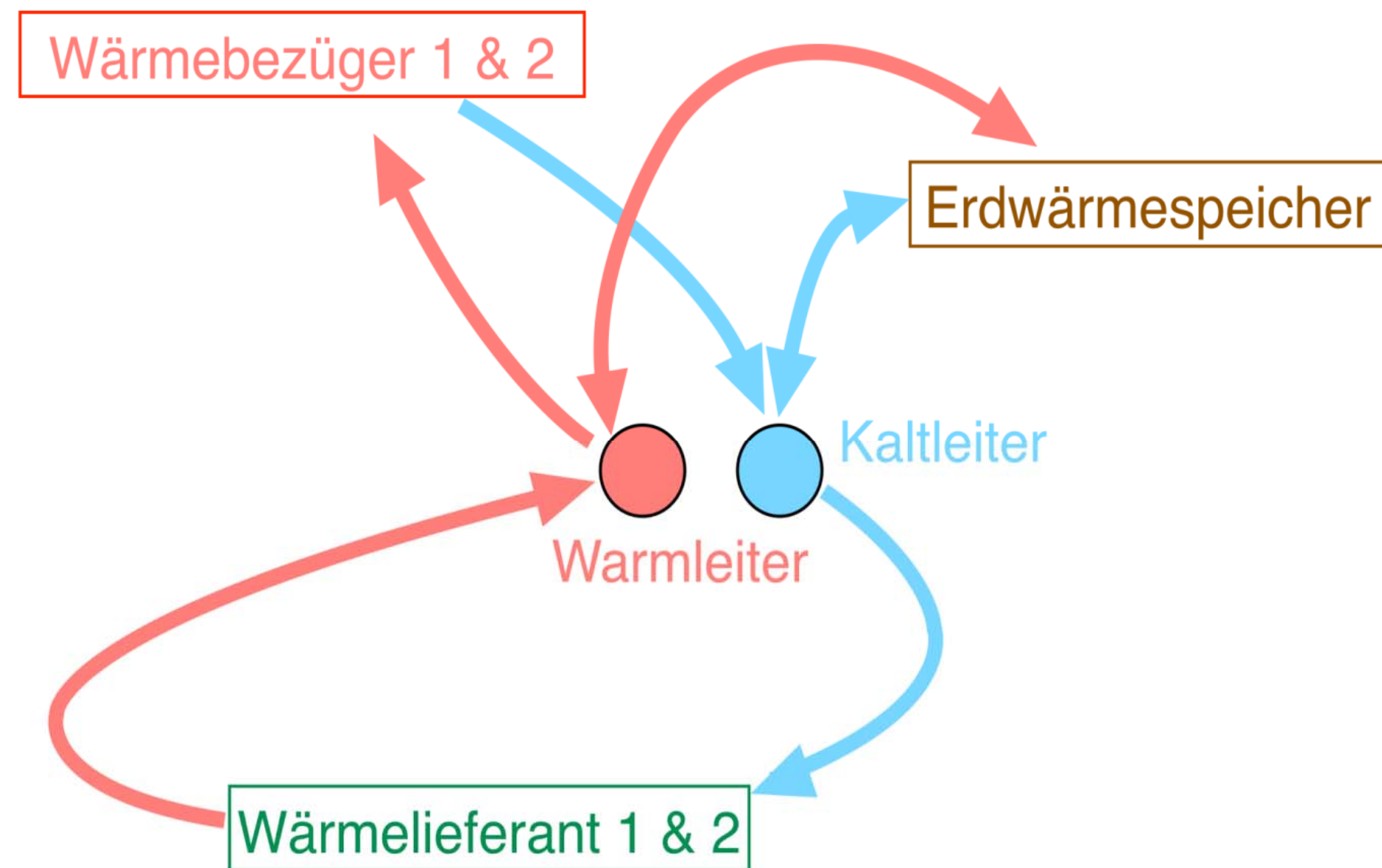


Abbildung 1: Fließrichtungen im Beispiel-System

Vorgehen

Das Ziel der hier präsentierten Entwicklungsarbeiten sind Bibliothekselemente zur Simulation von Wärmeverbunden. Die Bibliothekselemente sollen im Gebäudesimulationsprogramm IDA-ICE verwendet werden können. Der Anwendungsfokus liegt dabei auf Niedertemperatur-Wärmeverbunden mit einem 2-Leiter-Netz (Warm- und Kaltleiter). Wärmebezüger, -lieferanten und Erdwärmespeicher sollen modular einbindbar sein.

Es wird für die Entwicklungsarbeiten ein schrittweises Verfeinern der Elemente gewählt; so dass nach jedem Entwicklungsschritt ein Gesamtsystem modelliert werden kann. In einem ersten Schritt wurden die beiden Leiter lediglich als Wasservolumen modelliert, das heisst ohne der Hydraulik in den Leitungen. Dieser Entwicklungsstand ist beschrieben in Kräuchi et al. (2012). Mittlerweile sind die beiden Leiter als eigentliche Leitungen modellierbar. Die dazu entwickelten Modell-Komponenten und ihre Anwendung sind ausführlich beschrieben in Kräuchi et al. (2014-2, 2014-3).

Modell des Wärmeverbundes

Die entwickelten Komponenten können in IDA-ICE zu einem Modell eines Niedertemperatur-Wärmeverbundes zusammengebaut werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 2 dargestellt.

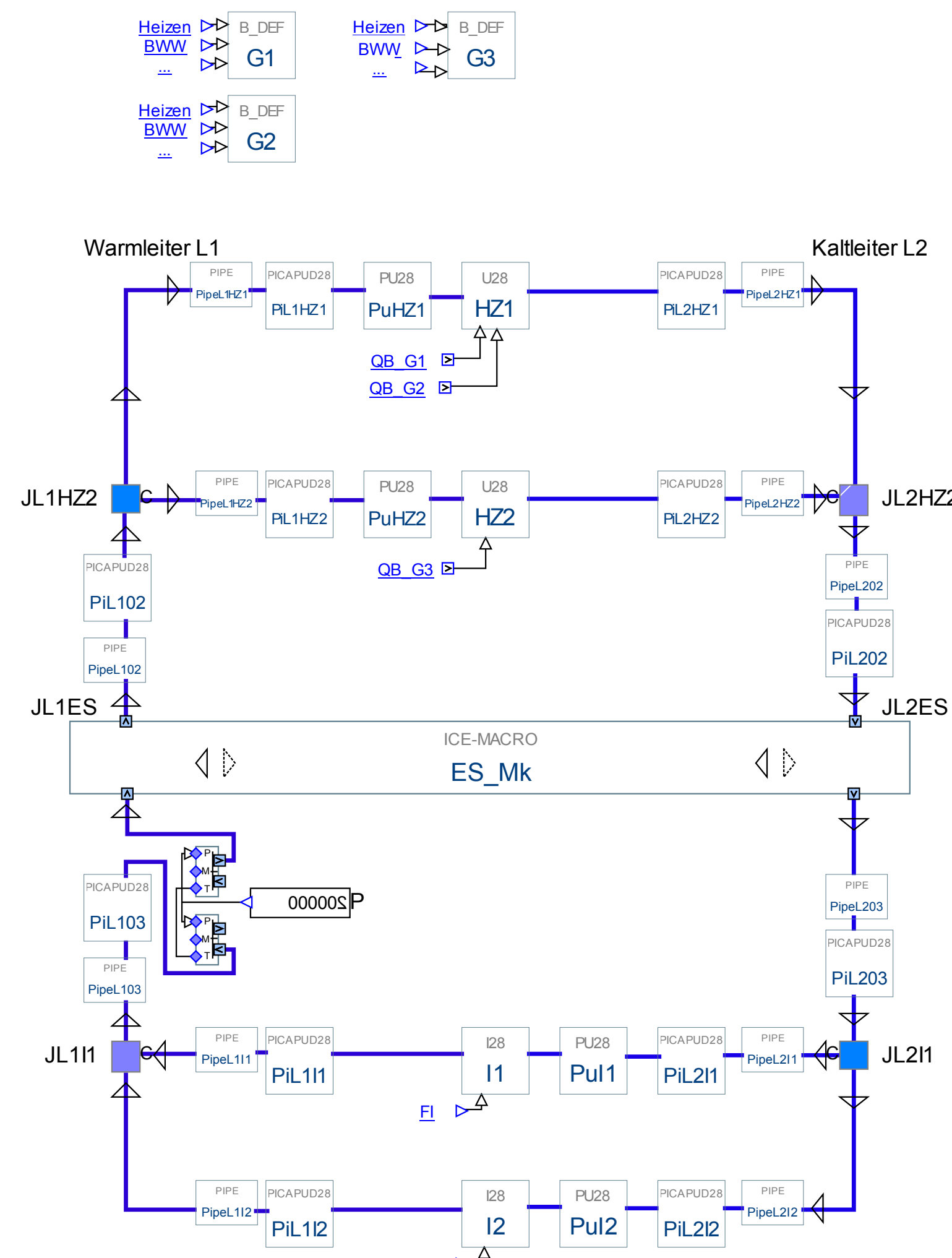


Abbildung 2: Anwendungsbeispiels in IDA-ICE

Nomenklatur

G	Gebäude	HZ..	Heizzentrale
Pipe	Rohr («pipe»), für Druckverlust	J..	Abzweigung («junction»)
Pi..	Rohr, für Wärmespeicherung	ES..	Erdwärmespeicher
Pu..	Pumpe	I..	Wärmelieferant («industry»)

Die Parametrierung des Anwendungsbeispiels ist in Tabelle 1 wiedergegeben.

Komponente	Parameter	Wert
Gebäude	Wärmebezug für Heizung, jährlich	G1: 3500 MWh G2: 80 MWh G3: 2100 MWh
	Vorlauftemperatur Heizsystem	40 °C
	Wärmebezug für Brauchwarmwasser, jährlich	G1: 1500 MWh G2: 120 MWh G3: 700 MWh
	Vorlauftemperatur Speicherwassererwärmung	55 °C
	Temperaturabsenkung in Abgängen	4 °C
Wärmelieferant	Wärmelieferung, jährlich	I1: 3230 MWh I2: 2580 MWh
	Temperaturerhöhung in Abgängen	4 °C
Erdwärmespeicher	Volumen Erdreich	1'500'000 m ³
	Dichte Erdreich	2000 kg/m ³
	Spezifische Wärmekapazität	1500 J/(Kg K)
	Starttemperatur zu Jahresbeginn	14 °Celsius
	Anzahl Sonden	150
	Bohrtiefe	250 m
Hauptleiter	Innendurchmesser	0,032 m
	Rauigkeit	0,045 * 10 ⁻³ m
	Länge	800 m (PIL102, PIL202) 1000 m (PIL103, PIL203)
Abgänge von Warm- und Kaltleiter	Innendurchmesser	0,5 m
	Rauigkeit	0,45 * 10 ⁻³ m
	Länge	150 m (je Rohr im Modell)
Abgänge von Warm- und Kaltleiter	Innendurchmesser	0,4 m
	Rauigkeit	0,45 * 10 ⁻³ m
	Länge	150 m (je Rohr im Modell)

Tabelle 1 Parametrierung des Anwendungsbeispiels

Ergebnisse

Simuliert werden unter anderem Massenstrom (Abbildung 3), Temperatur (Abbildung 4) und Druck (Abbildung 5) in allen Rohrleitungen.

Die Massenströme und Druckdifferenzen zeigen teilweise hohe Werte und starke kurzzeitige Änderungen. Beides ist eine Folge davon, dass die Bedarfsprofile in der Simulation zwingend gedeckt werden. Im realen System kann eine Unterdeckung von Spitzen in Kauf genommen werden und es resultieren leicht geglättete Bedarfsprofile. Die Massenströme und Drücke im realen Netz sind folglich weniger volatil als in der Simulation dargestellt. Dies hat insbesondere kleinere Druckdifferenzspitzen zur Folge, welche von den Pumpen gedeckt werden müssen.

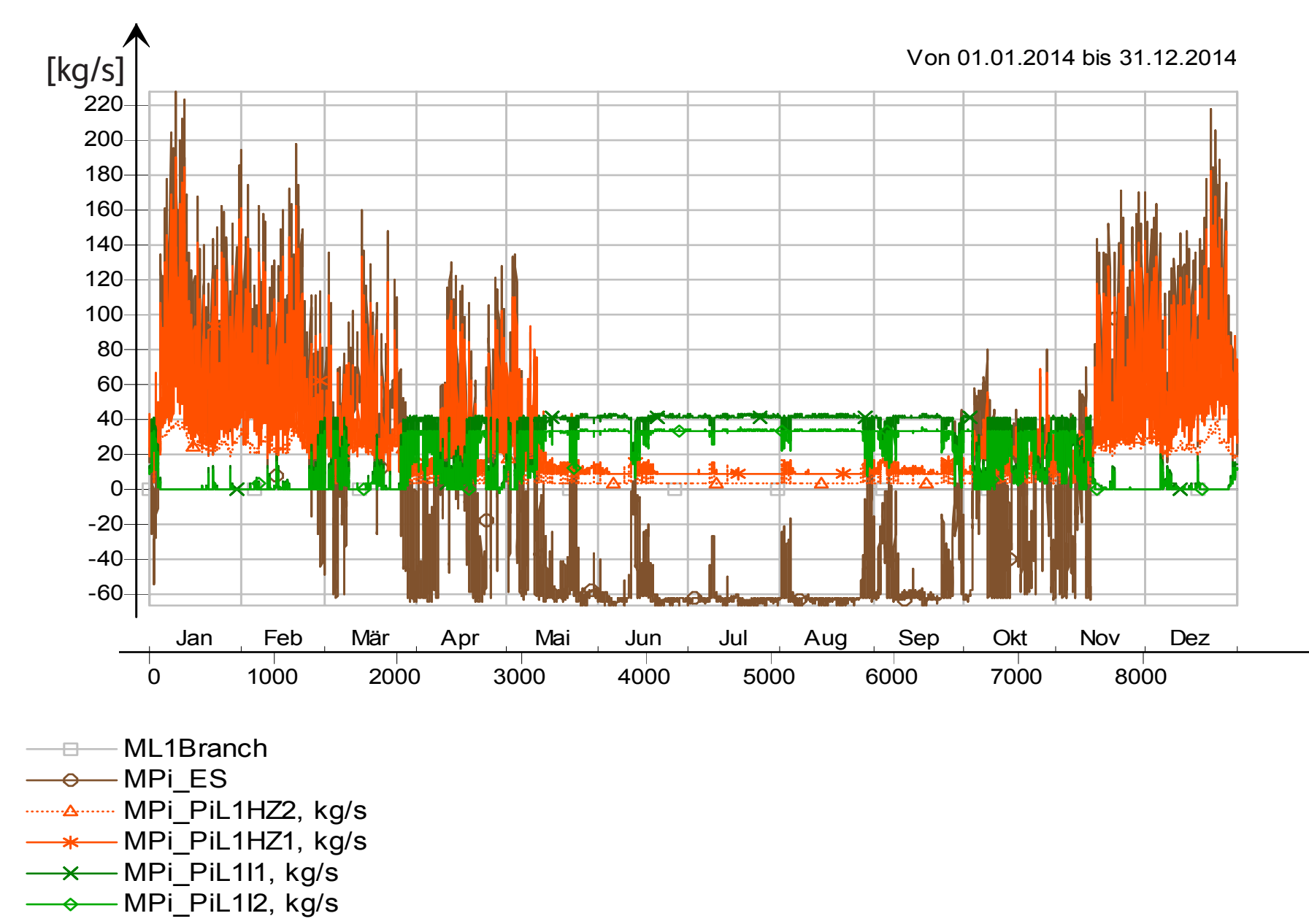


Abbildung 3: Massenströme in allen Abgängen (Wärmebezüger: rot; Erdwärmespeicher: braun; Wärmelieferanten: grün); bemerkenswert sind die Fließrichtungswechsel im Erdwärmespeicher.

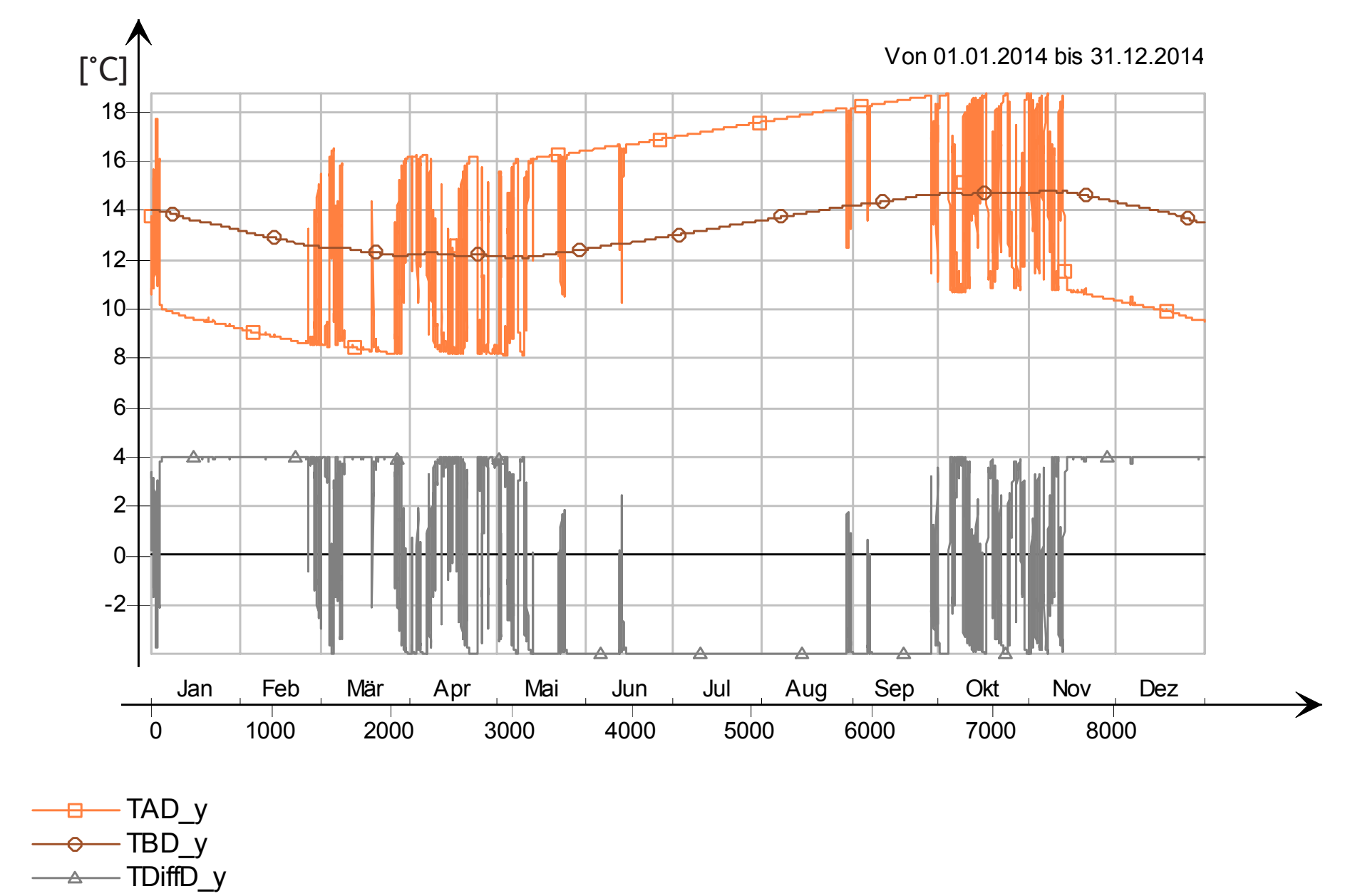


Abbildung 4: Zufluss- (orange) und Fortfluss-Temperatur (braun) des Erdwärmespeichers; Temperaturdifferenz (grau) beider Temperaturen

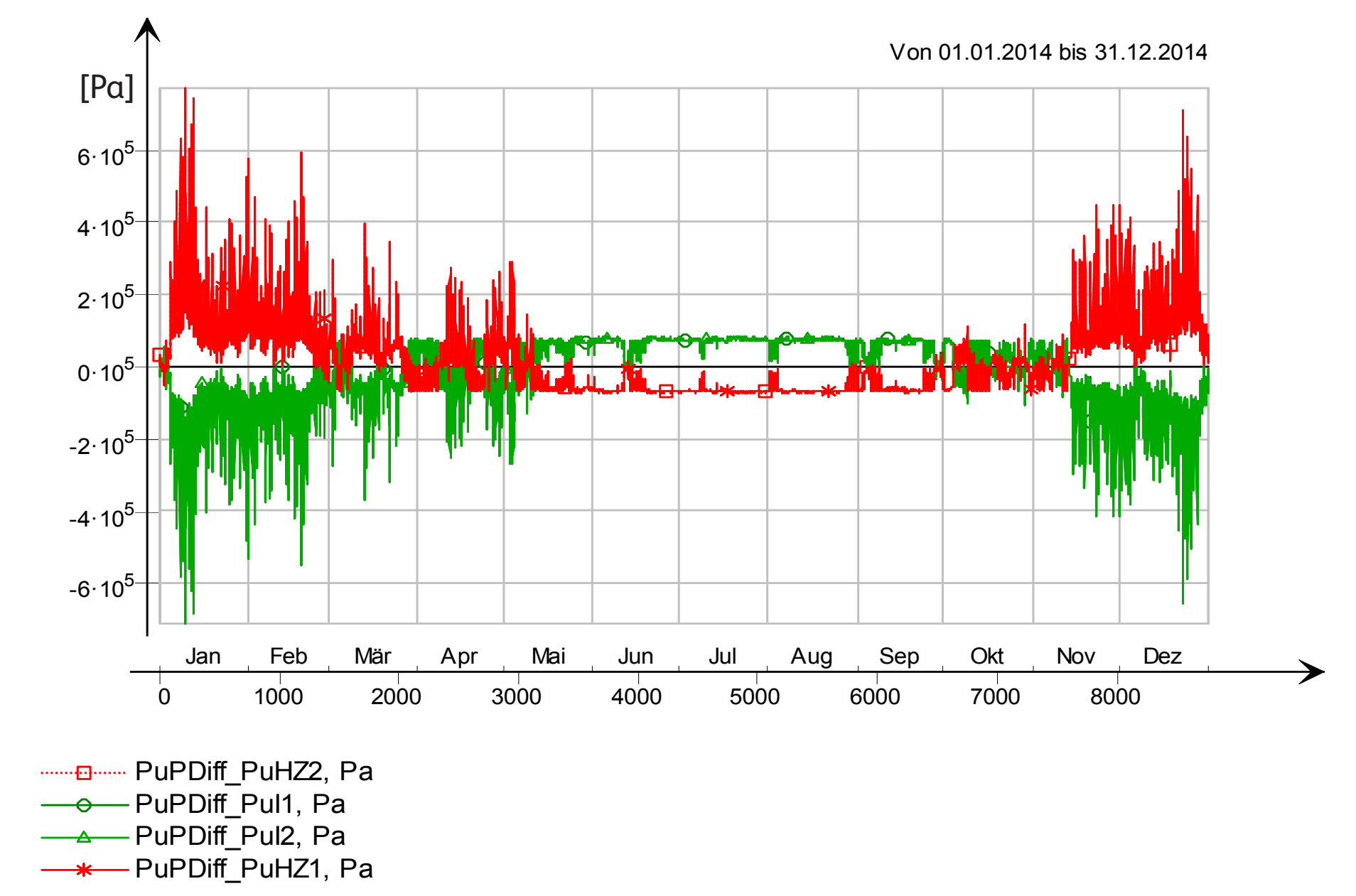


Abbildung 5: Druckdifferenz, welche an den Pumpen anliegt (Pumpen bei Wärmebezügern: rot; Pumpen bei Wärmelieferanten: grün)

Diskussion

Mit den erstellten neuen Komponenten für IDA-ICE kann das Anwendungsbeispiel erfolgreich simuliert werden. Die Ergebnisse (Wärme- und Massenflüsse, Temperaturen, Drücke und Pumpleistungen) sind plausibel.

Referenzen

- [1] Kräuchi, Ph., Kolb, M., 2012. Simulation thermischer Arealvernetzung mit IDA-ICE, BauSIM 2012, Berlin Deutschland.
- [2] Kräuchi, Ph., Kolb, M., Gautschi, Th., Menti, U.-P., Sulzer, M., 2014. Simulation thermischer Arealvernetzung mit IDA-ICE, 18. Status-Seminar, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Schweiz, 4. – 5. September 2014.
- [3] Kräuchi, Ph., Kolb, M., Gautschi, Th., Menti, U.-P., Sulzer, M., 2014. Modellbildung für thermische Arealvernetzung mit IDA-ICE, BauSIM 2014, Aachen Deutschland.

Kontakt: Philipp Kräuchi
 T: +41 (0)41 349 32 24
 philipp.kraeuchi@hslu.ch

