

Studiengang Systemtechnik

Vertiefungsrichtung Power & Control

Diplom 2011

Sandro Walker

*Giesserei Novelis und
Fernheizung der Stadt Siders*

Dozent

Michel Bonvin

Experte

Réginald Germanier

SI	TV
X	X

<input checked="" type="checkbox"/> FSI <input type="checkbox"/> FTV	Année académique / Studienjahr 2010/2011	No TD / Nr. DA pc/2011/70
Mandant / Auftraggeber <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input checked="" type="checkbox"/> Industrie Novelis Switzerland SA <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>	Etudiant / Student Sandro Walker Professeur / Dozent Michel Bonvin	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Wallis <input checked="" type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja ¹ <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) Réginald Germanier Novelis Switzerland SA, Rte des Laminoirs 15, 3960 Sierre	

Titre / Titel

Giesserei Novelis und Fernheizung der Stadt Siders

Description et Objectifs / Beschreibung und Ziele

Im Rahmen der Semesterarbeit wurde die Energiebilanz der wichtigsten Prozesse der Giesserei Novelis in Siders untersucht.

Die Ziele der weiterführenden Diplomarbeit sind:

1. Anpassung der erhaltenen Bilanz in Abhängigkeit der verschiedenen bereits existierenden oder geplanten Produktionszyklen, um das Wärmerückgewinnungspotential und dessen Verteilung über das ganze Jahr genauer zu bestimmen
2. In Zusammenarbeit mit der Stadt Siders und den zuständigen Büros Mitwirkung an der Vorstudie für das Fernheizsystem, um sowohl für die Stadt als auch für Novelis eine interessante Lösung zu finden
3. Vorschlag der Umsetzungsvarianten auf der Basis von Prinzipschemas, Auflistung der Vor- und Nachteile für die Stadt und Novelis.
4. Umsetzungsphase
 - Dimensionierung der Wärmetauscher, Pumpen, Leitungen
 - Studie und Anpassung der bestehenden hydraulischen Schemas (Kalt- und Warmwasser)
 - Einschätzung der notwendigen finanziellen Mittel und Aufstellung eines Budgets

Für den Punkt 4 muss auf die Kompetenzen und Ressourcen der Ingenieure, Zeichner und Techniker von Novelis zurückgegriffen werden.

Délais / Termine

 Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags:
 16.05.2011

 Exposition publique / Ausstellung Diplomarbeiten:
 02.09.2011

 Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts:
 11.07.2011 | 12.00 Uhr

 Défense orale / Mündliche Verteidigung:
 dès la semaine 36 / ab Woche 36

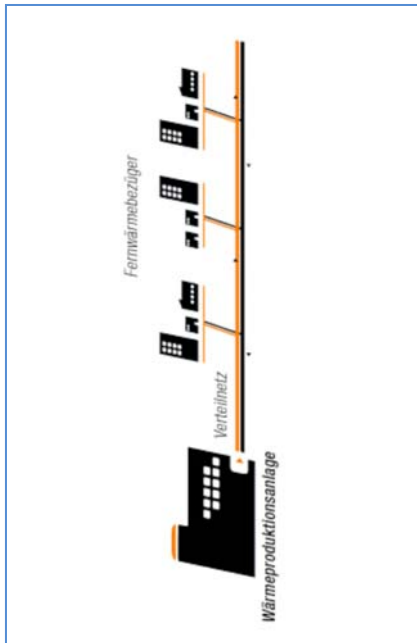
Signature ou visa / Unterschrift oder Visum

Responsable de l'orientation

Leiter der Vertiefungsrichtung:

¹ Etudiant/Student:

¹ Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive et le caractère confidentiel du travail de diplôme qui lui est confié et des informations mises à sa disposition.
 Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der Student, die Richtlinie einzuhalten sowie die Vertraulichkeit der Diplomarbeit und der dafür zur Verfügung gestellten Informationen zu wahren.



Diplomarbeit | 2011 |



Studiengang
Systemtechnik

Anwendungsbereich
Power and Control

Verantwortliche/r Dozent/in
Michel Bonvin
michel.bonvin@hevs.ch

Partner
Novelis

Giesserei Novelis und Fernheizung der Stadt Siders



Diplomand/in Sandro Walker

Ziel des Projekts

Mittels einer Wärmerückgewinnung soll Warmwasser, welches durch die Aluminiumproduktion der Gießerei Novelis entsteht, verwendet werden, um ein Fernwärmenetz für die Stadt Siders und die umliegende Industriezone zu dimensionieren.

Methoden | Experimente | Resultate

Die Energiebilanzen wurden für die Aluminiumtypen 6120 und 8810 bestimmt. Diese Resultate wurden mit der von dem Wasser aufgenommenen Energie verglichen um sagen zu können, welcher Energieanteil verloren geht und somit nicht von Nutzen für das Fernwärmenetz ist.

Es wurden verschiedene Methoden für die Realisierung des Fernwärmesystems aufgezeigt. Für das endgültige Schema wurden diverse Berechnungen und Varianten der Fernwärmenutzer wie Wohngebiete oder Industriezonen aufgestellt.

Die produzierte, sowie konsumierte Energie des Fernwärmenetzes wurden auf einer Jahresbilanz aufgezeigt und verglichen.

Die Temperaturniveaus sowie die Rohrleitungsverluste für das Fernwärmenetz wurden berechnet. Dazu gehört auch die Dimensionierung der bekannten Wärmetauscher.

Es wurde ein geografisches Schema, welches die Platzierung der Wärmetauscher, Pumpen und Leitungen zeigt, erstellt.

Giesserei Novelis und Fernheizung der Stadt Siders

Diplomarbeit



Student:
Studiengang:
Vertiefungsrichtung:
Projektnummer:

Sandro Walker
Systemtechnik
Power and Control
pc/2011/70

Betreuer:
Assistent:

Michel Bonvin
Sebastien Dervev

Experte Novelis:

Réginald Germanier

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Vorwort	1
1.2	Projektbeschreibung	1
1.3	Ziele der Diplomarbeit	1
2	FERNWÄRME	2
2.1	Was ist Fernwärme	2
2.1.1	<i>Das Prinzip Fernwärme auf einen Blick</i>	2
2.1.2	<i>Wie funktioniert die Fernwärme?</i>	2
2.1.3	<i>Woher kommt die Wärme</i>	2
3	KÜHLWASSER-SYSTEM	3
3.1	Beschreibung des aktuell installierten Systems	3
3.2	Modell	3
4	KÜHLVORGANG DES ALUMINIUMS	4
4.1	Beschreibung	4
4.2	Modellierung	4
4.3	Berechnungen	4
4.4	Ermittlung der spez. Wärmekapazität zwischen 660°C und 50°C	6
4.4.1	<i>Beschreibung</i>	6
4.4.2	<i>Empirische Gleichung</i>	6
5	LEISTUNGSBILANZ ALUMINIUM - WASSER	7
5.1	Beschreibung	7
5.2	Wärmeleistungs-Abgabe des Aluminiums	7
5.3	Wärmeleistungs-Aufnahme des Wassers	7
5.3.1	<i>Effektive aufgenommene Wärmeleistung des Kühlwassers</i>	7
5.3.2	<i>Leistungsverluste des Kühlwassers</i>	8
5.4	Schluss-Bilanz	10
5.4.1	<i>Aluminium 6120</i>	10
5.4.2	<i>Aluminium 8810</i>	11
5.4.3	<i>Überprüfung der Resultate</i>	11
6	DAS FERNWÄRMENETZ NOVELIS – SIDERS	13
6.1	Beschreibung & Schema	13
6.1.1	<i>Energieproduktion: Kühlprozess Novelis</i>	13
6.1.2	<i>Energieverbrauch: Siders</i>	13
6.1.3	<i>Schema des Fernwärmenetzes</i>	14
6.2	Wärmeproduktion: Novelis	15
6.2.1	<i>Die eingespiesene mittlere Leistung für das Fernwärmenetz</i>	15
6.3	Wärmeverbrauch: Siders	18
6.3.1	<i>Technopôle (Realisierung: Vorhanden)</i>	18
6.3.2	<i>HES-SO (Realisierung: Vorhanden)</i>	19
6.3.3	<i>Stadt Siders (Realisierung: Vorhanden)</i>	20
6.3.4	<i>Sous gare (Realisierung: Zukunft)</i>	21
6.3.5	<i>Daval (Realisierung: Zukunft)</i>	23
6.3.6	<i>Schwimmbad (Realisierung: Zukunft)</i>	24
6.3.7	<i>Fischzucht (Realisierung: Zukunft)</i>	27
6.3.8	<i>Gewächshaus (Realisierung: Zukunft)</i>	29
6.4	Energiebilanz Novelis – Siders	30
6.4.1	<i>Variante zu Verbrauchertyp 1 (siehe Abb. 35)</i>	30

6.4.2	<i>Variante mit allen analysierten Verbrauchern</i>	31
6.5	Rohrleitungen und deren Wärmeverluste	32
6.5.1	<i>Rohrtypen</i>	32
6.5.2	<i>Berechnung der Rohrleitungsverluste</i>	32
6.5.3	<i>Wichtige Bemerkung</i>	35
6.6	Kühlung: Kühltürme & Grundwasserregelung	35
6.6.1	<i>Kühltürme</i>	35
6.6.2	<i>Grundwasserregelung</i>	38
6.7	Wahl der Wärmetauscher, Pumpen und Rohrleitungen	39
6.7.1	<i>Wärmetauscher</i>	39
6.7.2	<i>Pumpen</i>	40
6.7.3	<i>Rohrleitungen</i>	40
6.8	Die verschiedenen Temperaturniveaus und Durchflüsse	40
6.8.1	<i>Heizung & Sanitär (Warmwasser)</i>	43
6.9	Geografisches Schema	45
6.9.1	<i>Realisierungstyp 1</i>	45
6.9.2	<i>Realisierungstyp 2</i>	46
6.10	Realisierung	46
7	BUDGET	48
8	VOR- UND NACHTEILE DES FERNWÄRMENETZES	49
8.1	Siders	49
8.2	Novelis	49
9	SCHLUSSFOLGERUNG	50
10	INFORMATIKVERZEICHNIS	51
11	DATUM UND UNTERSCHRIFT	52
12	ANHANG	53
12.1	Thermische Konvektion	53
12.1.1	<i>Aufgabenbeispiel</i>	53
12.1.2	<i>Berechnung für den Wärmeüberganskoeffizient h</i>	54

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 - Prinzip Fernwärme	2
Abb. 2 - Kühlwasser-System	3
Abb. 3 - Kühlvorgang des Aluminiums	4
Abb. 4 - Phasen-Diagramm	4
Abb. 5 - Kennlinie der spez. Wärmekapazität	6
Abb. 6 - Leistungsbilanz Alu 6120	10
Abb. 7 - Leistungsbilanz Alu 8810	11
Abb. 8 - Schematische Darstellung des zukünftigen Fernwärmenetzes	14
Abb. 9 - Kühlvorgang des Alu 6120 (4 Balken) und Alu 8810 (3 Balken), exakte Werte	16
Abb. 10 - Kühlvorgang des Alu 6120 (4 Balken) und Alu 8810 (3 Balken), gemittelte Werte	16
Abb. 11 - Kühlvorgang des Alu 6120 (4 Balken) und Alu 8810 (5 Balken), exakte Werte	17
Abb. 12 - Kühlvorgang des Alu 6120 (4 Balken) und Alu 8810 (5 Balken), gemittelte Werte	17
Abb. 13 - Wärmebedarf Technopôle	19
Abb. 14 - Wärmebedarf HES-SO	20
Abb. 15 - Der Wärmebedarf für 29 Wohnungen der Stadt Siders	21
Abb. 16 - Der Wärmebedarf des Gebiets Sous gare	23
Abb. 17 - Energiebilanz Schwimmbad	26
Abb. 18 - Energiebedarf Schwimmbad	26
Abb. 19 - Energiebilanz Fischzucht	28
Abb. 20 - Energiebedarf Fischzucht	29
Abb. 21 - Wärmebedarf Gewächshaus	30
Abb. 22 - Energiebilanz Produktion/Verbrauch (Typ 1), Vergleich	31
Abb. 23 - Energiebilanz Produktion/Verbrauch (Typ 1), Anteile	31
Abb. 24 - Energiebilanz Produktion/Verbrauch (alle Verbraucher), Vergleich	31
Abb. 25 - Energiebilanz Produktion/Verbrauch (alle Verbraucher), Anteile	32
Abb. 26 - Temperaturverluste der Rohrleitung (Vorlauf) bei einem Durchfluss von 1500 l/min	33
Abb. 27 - Temperaturverluste der Rohrleitung (Rücklauf) bei einem Durchfluss von 1500 l/min	34
Abb. 28 - Schematische Darstellung der 3 Kühltürme	36
Abb. 29 - Geschlossener Betriebszyklus ohne Verbraucher	37
Abb. 30 - Schema Grundwasserregelung	38
Abb. 31 - Temperaturniveaus und Durchflüsse im Monat Dezember	41
Abb. 32 - Schema der Warmwasseraufbereitung (Sanitär)	43
Abb. 33 - Schema Heizung	44
Abb. 34 - Schema Heizung + Warmwasseraufbereitung (Sanitär)	44
Abb. 35 - Provisorisches geografisches Schema (Typ 1)	45
Abb. 36 - Vereinfachte Darstellung des geografischen Schemas (Typ 2)	46

1 Einleitung

1.1 Vorwort

An erster Stelle möchte ich all denen danken, welche zum Gelingen meiner Diplomarbeit beigetragen haben:

Michel Bonvin, Dozent an der Fachhochschule HES-SO Wallis, für die Leitung meiner Diplomarbeit und die hilfreiche Unterstützung.

Sebastien Dervey, sein Assistent, für die gute Zusammenarbeit und die hilfreiche Unterstützung meiner Arbeit sowie dafür, dass er sich für meine Fragen stets Zeit genommen hat.

Réginald Germanier, Projektverantwortlicher der Firma Novelis, für die hilfreiche Unterstützung und das Bereitstellen der nötigen Unterlagen.

1.2 Projektbeschreibung

Die Gießerei Novelis verwendet kaltes Wasser, um das flüssige Rohstoff-Aluminium abzukühlen und in große Blöcke zu gießen. Dabei gibt das heiße Aluminium seine Wärme an das Kühlwasser ab und erwärmt dieses. Mittels einer Wärmerückgewinnung soll dieses Warmwasser nun verwendet werden, um ein Fernwärmenetz für die Stadt Siders und die umliegende Industriezone zu dimensionieren.

1.3 Ziele der Diplomarbeit

Im Rahmen der Semesterarbeit wurde die Energiebilanz der wichtigsten Prozesse der Gießerei Novelis untersucht.

Die Ziele der weiterführenden Diplomarbeit sind:

1. Anpassung der erhaltenen Bilanz in Abhängigkeit der verschiedenen bereits existierenden oder geplanten Produktionszyklen, um das Wärmerückgewinnungspotential und dessen Verteilung über das ganze Jahr genauer zu bestimmen.
2. In Zusammenarbeit mit der Stadt Siders und den zuständigen Büros Mitwirkung an der Vorstudie für das Fernheizsystem, um sowohl für die Stadt Siders als auch für Novelis einen interessante Lösung zu finden.
3. Vorschlag der umsetzungsvarianten auf der Basis von Prinzipschemas, Auflistung der Vor- und Nachteile für die Stadt und Novelis.
4. Umsetzungsphase:
 - a. Dimensionierung der Wärmetauscher, Pumpen, und Leitungen.
 - b. Studie und Anpassung der bestehenden hydraulischen Schemas (Kalt -und Warmwasser).
 - c. Einschätzung der notwendigen finanziellen Mittel und Aufstellung eines Budgets.

2 Fernwärme

2.1 Was ist Fernwärme¹

Fernwärme bedeutet, dass die Wärmeerzeugung nicht unmittelbar am Ort des Verbrauchs geschieht und die vom Endkunden genutzte Wärme angeliefert wird.

2.1.1 Das Prinzip Fernwärme auf einen Blick

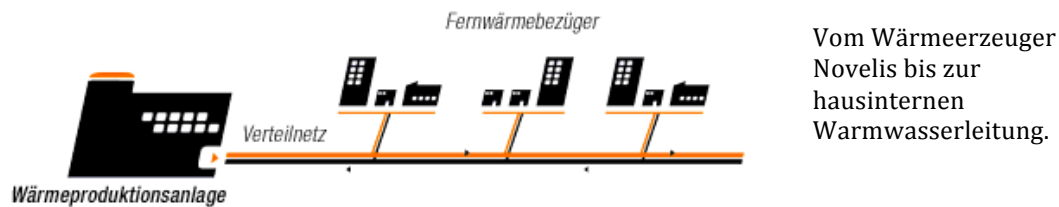


Abb. 1 - Prinzip Fernwärme

2.1.2 Wie funktioniert die Fernwärme?

Die Fernwärme wird in der zentralen Anlage, der Gießerei Novelis, erzeugt und über ein Rohrleitungsnetz den Kunden zum Heizen und zur Warmwasser-Aufbereitung zugeleitet. Bildlich ausgedrückt funktioniert die Fernwärme wie eine große Zentralheizung, die Gemeinden, Quartiere, Städte und Regionen mit Wärme von einem oder mehreren großen Wärmequellen versorgt.

2.1.3 Woher kommt die Wärme

Die Wärme kommt vom Kühlprozess des Aluminiums, welches die Firma Novelis in große Blöcke gießt. Dabei gibt das sich abkühlende Aluminium seine Wärme an das Kühlwasser ab. Das Wasser wird erwärmt und kann somit ein Fernwärmenetz speisen.

¹ Quelle: <http://www.fernwaerme-schweiz.ch> (28. Juni 2011)

3 Kühlwasser-System

3.1 Beschreibung des aktuell installierten Systems

Das benötigte Kühlwasser kommt von der Stadt Siders und der Firma Alcan. Es wird aufgeteilt – ein Teil fließt zum *Supply Tank*, von dort weiter in den *Cast Pit*, wo das Aluminium gekühlt wird. Der andere Teil wird zur Kühlung des heißen Wassers auf 30°C benötigt, damit es in die Rohne gebracht werden darf.

Das Wasser in den *Cast Pit* wird erwärmt und fließt direkt zur *Mixing Chamber*. Ein Teil fließt in den *Hot Tank*, sein Level steigt während des Kühlvorgangs. Sobald der Kühlvorgang beendet ist, wird der *Mono Water Flow* (Kühlwasser) abgebrochen. Das heiße Wasser fließt nur noch vom *Hot Tank* zur *Mixing Chamber*. Sein Level sinkt. Der Wasserfluss zur *Mixing Chamber* wird somit nie unterbrochen.

3.2 Modell

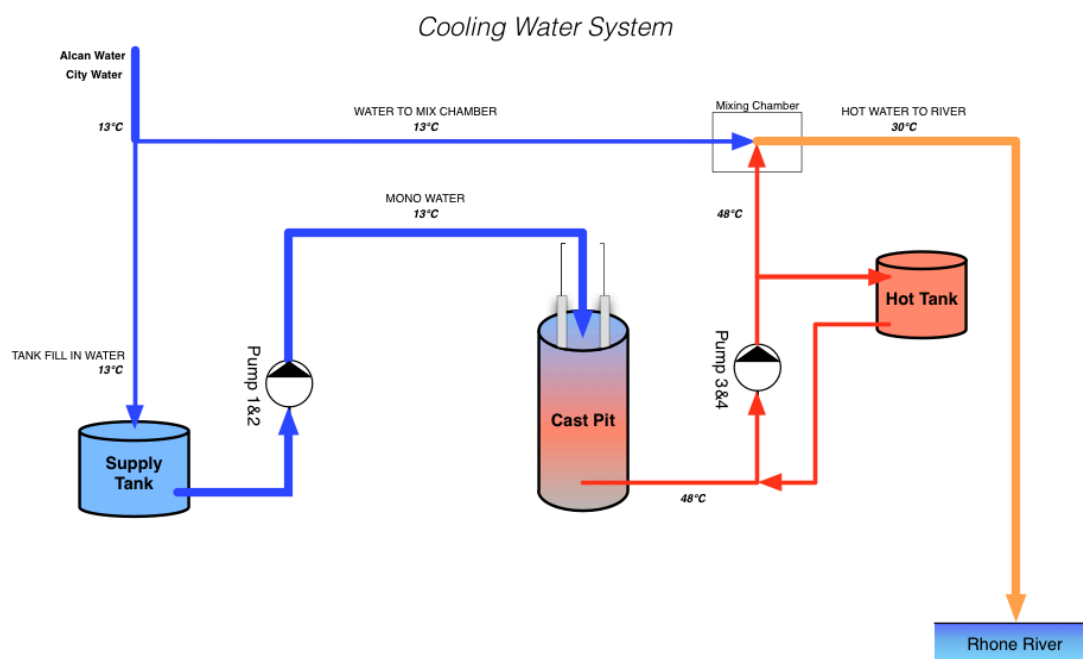


Abb. 2 - Kühlwasser-System

4 Kühlvorgang des Aluminiums

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden die Kühlvorgänge von zwei Aluminiumtypen untersucht:

- Typ 6120
- Typ 8810

4.1 Beschreibung

1. Flüssiges Aluminium wird mit 700°C in eine Form gegossen. Es wird durch Kühlgehäusekontakt, in welchem das Kühlwasser durchfließt, bis auf 660°C abgekühlt.

Achtung: Der Aluminiumtyp 8810 wird nicht von 700°C sondern von 670°C auf 660°C abgekühlt!

Abgegebene Wärme = Q1

2. Ist die Temperatur von 660°C erreicht, geht das Aluminium in den Phasenübergang über und beginnt sich zu verfestigen. Das Wasser strömt aus Düsen aus dem Kühlgehäuse und ist nun in direktem Kontakt mit dem Aluminium. Es vermischt sich dann mit dem Wasser im Cast Pit.

Abgegebene Wärme = Q2

3. Während des gesamten Vorgangs bewegt sich die Gussform mit Hilfe eines Zylinderkolbens immer weiter in den Cast Pit hinein, kommt aber mit dem sich darin befindenden Wasser nie in Berührung.

Das Aluminium kühlt sich dann weiter von 660°C auf die Endtemperatur von 50°C ab.

Abgegebene Wärme = Q3

4.2 Modellierung

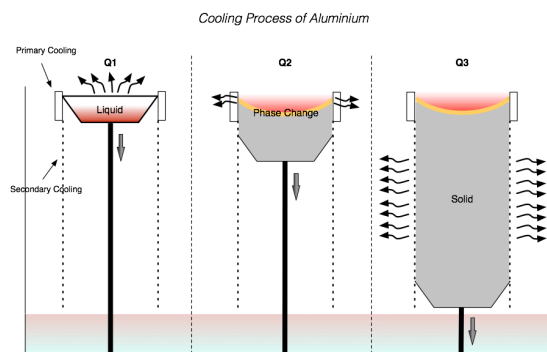


Abb. 3 - Kühlvorgang des Aluminiums

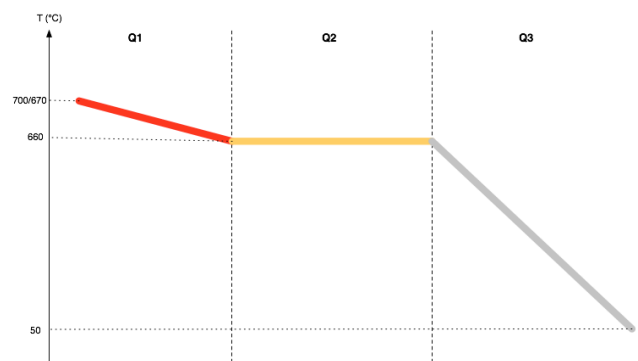


Abb. 4 - Phasen-Diagramm

4.3 Berechnungen

$$\rho_{Al} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{Al,6120} = 0.525 \text{ m} \cdot 1.9 \text{ m} \cdot 5.1 \text{ m} = 5.09 \text{ m}^3$$

$$V_{Al,8810} = 0.485 \text{ m} \cdot 1.6 \text{ m} \cdot 5.2 \text{ m} = 4.04 \text{ m}^3$$

$$m_{Al} = V_{Al} \cdot \rho_{Al}$$

$$L_{Al} = 396 \text{ kJ/kg}$$

$$c_{Al,solid} = 900 \text{ J/kg K}$$

$$a_{Al} = 20.67 \text{ kJ/mol K}$$

$$M_{Al} = 26.982 \text{ g mol}^{-1}$$

$$c_{Al,liquid} = 1090 \text{ J/kg K}$$

$$b_{Al} = 12.38 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/mol K}^2$$

1. Flüssiges Aluminium von 700°C / 670°C auf 660°C

$$Q1 = m_{Al} \cdot c_{Al,liquid} \cdot \Delta T$$

Aluminium Typ	m_{Al}	ΔT	Q1
6120	13'736 kg	40 °C	598.9 MJ
8810	10'895 kg	10 °C	118.8 MJ

2. Phasenübergang (T = konst)

$$Q2 = m_{Al} \cdot L_{Al}$$

Aluminium Typ	m_{Al}	ΔT	Q2
6120	13'736 kg	0	5'439.5 MJ
8810	10'895 kg	0	4'314.4 MJ

3. Festes Aluminium von 660°C auf 50°C (Erläuterung siehe Kapitel 4.4)

Approximiert:

$$Q3 = m_{Al} \cdot c_{Al,solid} \cdot \Delta T$$

Exakt:

$$dQ3 = m_{Al} \cdot \left(\frac{a + bT}{M_{Al}} \right) \cdot dT$$

$$Q3 = \frac{m_{Al}}{M_{Al}} \int_{T2}^{T1} (a + bT) dT = \frac{m_{Al}}{M_{Al}} \left[a(T2 - T1) + \frac{1}{2} b (T2^2 - T1^2) \right]$$

Fehler:

$$Q_{Fehler} = Q3_{exakt} - Q3_{approx}$$

Aluminium Typ	m_{Al}	ΔT	Q3approx	Q3exakt	QFehler	ϵ
6120	13'736 kg	610 °C	7'541.1 MJ	7'774.8 MJ	233.8 MJ	3.1 %
8810	10'895 kg	610 °C	5'981.4 MJ	6'166.8 MJ	185.4 MJ	3.1 %

Es konnte gezeigt werden, dass die Abweichung der abgegebenen Wärme für die approximierten Wärme des Aluminiums, beim Abkühlen von 660°C auf 50°C nur sehr gering ist (3.1%). Daher kann mit dem approximierten Wert gerechnet werden.

Somit ergibt sich für die abgegeben Wärme **pro Aluminium-Balken** während des Kühlvorgangs:

$$Q_{ab} = Q1 + Q2 + Q3_{approx}$$

Aluminium Typ	Q1	Q2	Q3approx	Qab
6120	598.9 MJ	5'439.5 MJ	7'541.1 MJ	13'579.4 MJ
8810	118.8 MJ	4'314.4 MJ	5'981.4 MJ	10'414.5 MJ

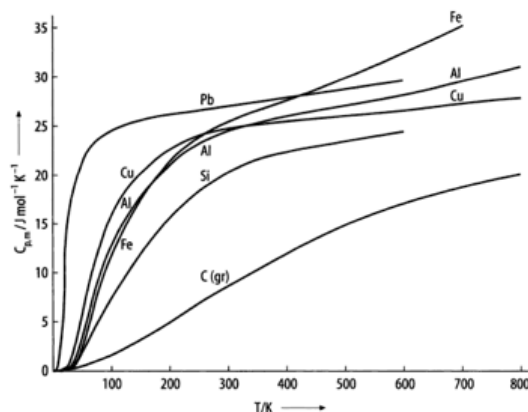
4.4 Ermittlung der spez. Wärmekapazität zwischen 660°C und 50°C

4.4.1 Beschreibung

Da das Aluminium im festen Zustand über eine sehr große Temperaturdifferenz abgekühlt wird, muss überprüft werden, wie stark die spezifische Wärmekapazität in diesem Bereich variiert. Der Berechnungsfehler kann somit auf ein Minimum reduziert werden.

4.4.2 Empirische Gleichung²

Da die spez. Wärmekapazität des Aluminiums zwischen 660°C und 50°C eine nicht lineare Charakteristik aufweist, muss mit der empirischen Gleichung gerechnet werden:



$$\frac{c_{p,m}}{J \text{ mol}^{-1} K^{-1}} = a + b \frac{T}{K} + c \left(\frac{T}{K}\right)^{-2}$$

mit:

$$a = 20.67 \text{ kJ/mol K}$$

$$b = 12.38 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/mol K}^2$$

$$c = 0 \text{ kJ/mol K}^3$$

$$c_p = \frac{c_{p,m}}{M_{Al}} = \frac{a + bT}{M_{Al}}$$

Abb. 5 - Kennlinie der spez. Wärmekapazität

² Quelle: Thermodynamik: Physikalisch-chemische Grundlagen der thermischen Verfahrenstechnik (Springer-Lehrbuch)

5 Leistungsbilanz Aluminium - Wasser

5.1 Beschreibung

Um den Kühlvorgang besser zu analysieren, wurden die einzelnen Leistungsbilanzen durchgeführt. Es standen diverse Messungen, welche im Minutentakt durchgeführt wurden, zur Verfügung. Auf die genauen Messergebnisse wird in diesem Punkt nicht weiter eingegangen (Sie werden als richtig angenommen).

Es werden nur die verschiedenen Berechnungen erläutert, um das System besser zu verstehen.

Es gilt zu beachten:

Die Gießerei Novelis stellt aktuell pro Kühlzyklus 4 Balken des Aluminiumtyps 6120 und 3 Balken des Typs 8810 her. In Zukunft wird Novelis jedoch 5 Balken pro Kühlzyklus des Aluminiumtyps 8810 herstellen (Erläuterung siehe **Kapitel 6.2.1 - Die eingespiesene mittlere Leistung für das Fernwärmenetz**).

Die Berechnungen für die folgende Leistungsabgabe des Aluminiums 8810 wurden jedoch für die erhaltenen Messresultate mit 3 Blöcken gemacht!

5.2 Wärmeleistungs-Abgabe des Aluminiums

Die abgegebene Energie für einen Aluminium-Balken wurde im **Kapitel 4.3 - Berechnungen** berechnet.

$$P_{tot,Al} = \frac{Q_{Al,tot}}{t_{cooling}}$$

Aluminium Typ	Anzahl Balken	Q _{Balken}	Q _{Al,tot}	t _{Cooling}	P _{Al,tot}
6120	4	13'579.4 MJ	54.32 GJ	7000 s	7.76 MW
8810	3	10'414.5 MJ	31.24 GJ	6720 s	4.65 MW

5.3 Wärmeleistungs-Aufnahme des Wassers

5.3.1 Effektive aufgenommene Wärmeleistung des Kühlwassers

Die Resultate für die effektiv im Kühlwasser enthaltene Wärmeleistung sind auf der CD-ROM im Excel-File **Data - Alu 6120 8810_V1.xls** im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

Um die aufgenommene Wärmeenergie des Wassers zu berechnen wurden der *Mono water flow* sowie die Temperaturdifferenz des eintretenden Kühlwassers und dem austretenden heißen Wassers, benötigt.

Die gemessenen stationären Werte wurden mit Excel (siehe **Data - Alu 6120 8810_V1.xls**) berechnet und addiert, so dass die gesamte Wärmeleistung resultiert.

$$P_{H2O} = \sum \frac{dm_{H2O}}{dt} \cdot c_{H2O} \cdot (T_{H2O,in} - T_{H2O,out})$$

Bemerkung:

$\left[\frac{dm_{H2O}}{dt}\right] = \frac{kg}{s}$ Da 1 kg Wasser, 1 Liter Wasser entspricht $\rightarrow \frac{kg}{s} = \frac{l}{s}$, was dem *Mono water flow* entspricht.

Aluminium Typ	Mono water flow	T _{H2O,in}	T _{H2O,out}	P _{H2O}
6120	2'423.0 l/min	12°C	54°C	7.10 MW
8810	1'694.7 l/min	12°C	46°C	4.02 MW

Diese Leistung P_{H2O} ist der Wert, welcher von größter Wichtigkeit ist. In ihr steckt die Energie, welche dann weiter verwendet wird, um das Fernwärmenetz zu speisen!

5.3.2 Leistungsverluste des Kühlwassers

Verdampfungs-Energie³

Um die verlorene Verdampfungsleistung berechnen zu können, musste zuerst bestimmt werden, wie viel Prozent des *Mono water flows* (Kühlwasser) effektiv verdampft. Da sich das Wasser nicht über 100°C erwärmt, wird keine Verdampfung durch den Wärmeaustausch mit dem Aluminium hervorgerufen, sondern durch die Feuchtigkeitsdifferenz zwischen dem heißen Wasser und der Umgebung.

$$A = A_{\text{Tank}} + n_{\text{Balken}} A_{\text{Balken,AVG}} \quad (\text{Berechnet für halbe Balkenfläche, } l_{\text{AVG}})$$

$$\sigma = 25 + 19 v_{\text{real}} \approx 82 \text{ kg/m}^2\text{h} \quad (v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 4 \text{ m}} = 9 \text{ m/s})$$

-> Hypothese: $v_{\text{real}} \approx 3 \text{ m/s}$

- A_{Tank} Wasseroberfläche des *Cast Pit*, 26.6 m²
- A_{Balken} Balkenoberfläche für die mittlere Länge l_{AVG} des Balkens (da der Balken immer grösser wird muss mit halber Länge l_{AVG} angenähert werden)
- n_{Balken} die Anzahl Balken welche gekühlt werden
- σ Stefan-Boltzmann-Konstante
- x_s spezifische Feuchte des Wassers bei Wassertemperatur [kg/kg]
- x spezifische Feuchte der Luft bei Umgebungstemperatur [kg/kg]

$$\frac{dm_{\text{evap}}}{dt} = A \cdot \sigma \cdot (x_{s_{100\%}}^{T_{H2O,out}} - x_{40\%}^{T_{amb}})$$

Aluminium Typ	A	x_s	x	m_{evap}
6120	76.07 m ²	0.098	0.006	573.87 kg/h
8810	59.13 m ²	0.064	0.006	281.22 kg/h

$$P_{\text{vap}} = \frac{dQ_{\text{vap}}}{dt} = \frac{dm_{\text{evap}}}{dt} \cdot L_{H2O}$$

Aluminium Typ	m_{evap}	L_{H2O}	P_{vap}
6120	573.87 kg/h	$2.3 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$	0.37 MW
8810	281.22 kg/h	$2.3 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$	0.18 MW

Thermische Konvektion

Wenn ein Fluid mit einer bestimmten Temperatur über eine Oberfläche mit einer anderen Temperatur fließt, erfolgt eine Wärmeübertragung. In diesem Fall ist dies die Wärmeübertragung an die Umgebungsluft. Daraus folgt:

- S Die Oberfläche wurde mit der Wasserfallhöhe des Kühlwassers von 6m und dem Aluminiumblockumfang gerechnet.

³ Quelle: Génie Climatique, Recknagel, Sprenger, Schramek

$h \approx 3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Wärmeübergangskoeffizient (Die Berechnung für h , sowie das dazugehörige Aufgabenbeispiel ist im **Anhang 12.1 - Thermische Konvektion** zu finden.)

$T_{\text{amb}} \approx 20^\circ\text{C}$

Umgebungstemperatur

$$P_{\text{konv}} = \frac{dQ_{\text{kon}}}{dt} = S \cdot h \cdot (T_{\text{H}_2\text{O}} - T_{\text{amb}})$$

Aluminium Typ	S	$T_{\text{H}_2\text{O}}$	P_{konv}
6120	116.4 m ²	54 °C	0.01 MW
8810	62.6 m ²	46 °C	0.01 MW

Konduktion (Wärmeleitung)⁴

Um die Leistungsbilanzrechnung weiter zu optimieren, wurde die Konduktion berücksichtigt. Die Konduktion ist der Energieverlust durch ein Medium (Hier die Mauer des *Cast Pit*).

$\lambda_{\text{Beton}} = 2.1 \text{ W/mK}$

Wärmeleitfähigkeit von Beton

$A = H \cdot D \cdot \pi = 2.5 \text{ m} \cdot 5.8 \text{ m} \cdot \pi = 45.6 \text{ m}^2$

Mantelfläche des *Cast Pit*

$d \approx 20 \text{ cm}$

Dicke der Betonmauer (Annahme)

$T_{\text{amb}} = 20^\circ\text{C}$

Umgebungstemperatur

$$P_{\text{kon}} = \frac{\lambda}{d} \cdot A \cdot (T_{\text{H}_2\text{O}} - T_{\text{amb}})$$

Aluminium Typ	$T_{\text{H}_2\text{O}}$	P_{konv}
6120	54 °C	0.02 MW
8810	46 °C	0.01 MW

Chillbar

Diese Verlustleistung ist nur beim **Aluminiumtyp 8810** vorhanden. Da es sich um einen Fusionstyp handelt, wird hier ein weiterer Wärmeaustausch zwischen dem sich abkühlenden Aluminium und einem Kaltwasserfluss (*Chillbar water flow*) benötigt. Nur so kann eine einwandfreie Aluminiumproduktion gewährleistet werden.

Die gemessenen stationären Werte wurden mit Excel berechnet und addiert, so dass die gesamte Wärmemenge resultiert (siehe auf der CD-ROM im Exel-File **Data - Alu 8810 (Chillbar)_V2.xls** im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit**).

$$P_{\text{Chill}} = \sum \frac{dm_{\text{Chill}}}{dt} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{\text{Chill,in}} - T_{\text{Chill,out}})$$

Bemerkung:

$\left[\frac{dm_{\text{Chill}}}{dt}\right] = \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ Da 1 kg Wasser, 1 Liter Wasser entspricht $\rightarrow \frac{\text{kg}}{\text{s}} = \frac{\text{l}}{\text{s}}$, was dem *Chill water flow* entspricht.

Aluminium Typ	Chill flow	$T_{\text{Chill,in}}$	$T_{\text{Chill,out}}$	P_{Chill}
8810	142 l/min	30 °C	40 °C	0.1 MW

⁴ Quelle: SET, Theoriekurs: Energiesysteme – Thermodynamik
Michel Bonvin

5.4 Schluss-Bilanz

Die Schluss-Bilanz wird aus der Differenz der Leistungsabgabe des Aluminiums und der Leistungsaufnahme des Wassers ersichtlich.

Die Daten sind auf der CD-ROM im Excel-File *Leistungsbilanz Alu & Wasser.xls* im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

5.4.1 Aluminium 6120

4 Blocs	Aluminium heat	54,32 GJ	7,76 MW	15,09 MWh	
	Water heat		7,10 MW	13,81 MWh	91,50%
	Vaporization		0,37 MW	0,71 MWh	4,73%
	Konvection		0,01 MW	0,03 MWh	0,18%
	Konduction		0,02 MW	0,03 MWh	0,21%
	Other loss		0,26 MW	0,51 MWh	3,38%
			7,50 MW	14,58 MWh	100,00%

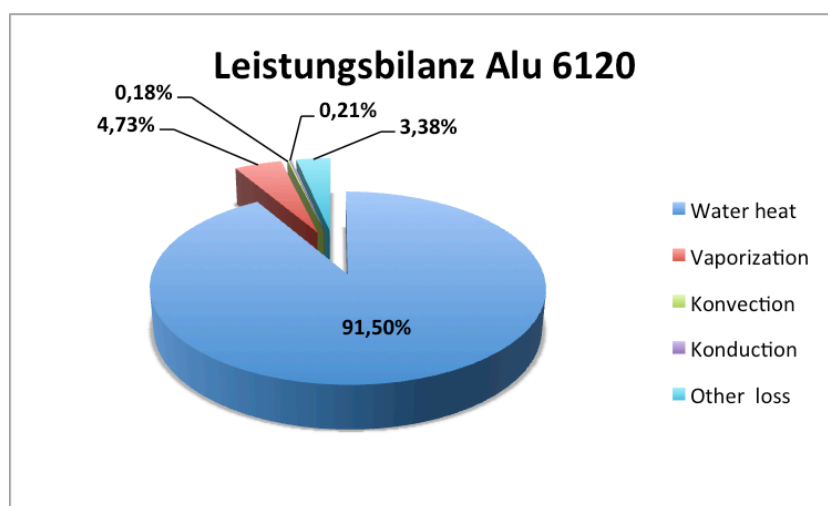


Abb. 6 - Leistungsbilanz Alu 6120

Das **Kühlwasser** nimmt **91.50 %** der abgegebenen Aluminiumwärme auf. Nur 3.38 % konnte nicht zugeordnet werden.

5.4.2 Aluminium 8810

3 Blocs	Aluminium heat	31,24 GJ	4,65 MW	8,68 MWh	
	Water heat		4,02 MW	7,50 MWh	86,46%
	Vaporization		0,18 MW	0,34 MWh	3,86%
	Konvection		0,01 MW	0,01 MWh	0,12%
	Konduktion		0,01 MW	0,02 MWh	0,27%
	Chill bar		0,10 MW	0,19 MWh	2,15%
	Other loss		0,33 MW	0,62 MWh	7,13%
			4,32 MW	8,40 MWh	100,00%

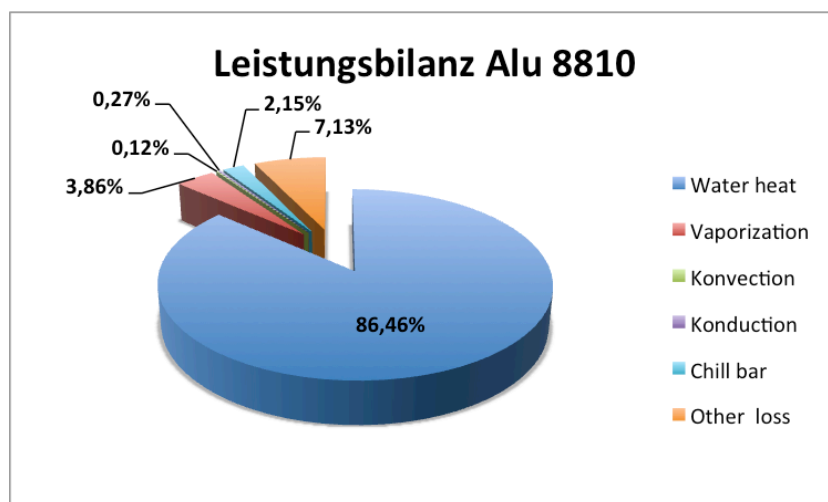


Abb. 7 - Leistungsbilanz Alu 8810

Das **Kühlwasser** nimmt **86.46 %** der abgegebenen Aluminiumwärme auf. Nur 7.13 % konnte nicht zugeordnet werden.

5.4.3 Überprüfung der Resultate

In Abb. 6 und Abb. 7 ist die aufgenommene Energie des Wassers blau gekennzeichnet. Der Rest geht durch Verdampfen, Konvektion, Konduktion (Wärmeleitung) oder ungeklärte Vorgänge verloren.

Es wurde versucht, die ungeklärten Vorgänge unter 10 % zu halten. Das Ziel konnte mit 3,38 bzw. 7,13 % erreicht werden.

Es gilt nun zu kontrollieren, ob das Aluminium noch eine große Menge an Restenergie in sich trägt, und für die Energiebilanz auch ins Gewicht fällt.

Erläuterung⁵: Um die Energie, welche im Aluminium gespeichert bleibt vernachlässigen zu können, muss angenähert werden, wie lange das Aluminium braucht, um die gespeicherte Energie von innen nach außen zu transportieren:

$$\frac{\lambda_{Al} \cdot t}{c_{Al,solid} \cdot \rho_{Al} \cdot d^2} \approx 1$$

λ_{Al} Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums
 $c_{Al,solid}$ spez. Wärmekapazität des festen Aluminiums
 ρ_{Al} Dichte des Aluminiums

⁵ Quelle: SET, Theoriekurs: Energiesysteme – Thermodynamik
 Michel Bonvin

- d Breite des Aluminiums durch welche die Wärmeübertragung statt findet
(Hier für die halbe Breite des Aluminiumtyp 6120, da $d_{6120} > d_{8810}$)
- t Die Zeit, welche benötigt wird, um die im Aluminium gespeicherte Energie nach außen zu evakuieren.

Daraus folgt:

$$t = \frac{c_{Al,solid} \cdot \rho_{Al} \cdot d^2}{\lambda_{Al}} = \frac{900 \frac{J}{kg} \cdot 2700 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{0.525 m}{2}\right)^2}{235 \frac{W}{mK}} \approx 713 s \approx 12 min$$

Es wurde gezeigt, dass $t = 12min \ll t_{cooling} \approx 120min$. Das bedeutet, dass die Restenergie im Aluminium praktisch Null sein 'müsste' und somit vernachlässigt werden kann.

Trotzdem muss überprüft werden, wieso diese Abweichung zu Stande kommen kann. Mögliche Gründe sind:

- Kleine Berechnungsfehler
- Hypothesen nicht ganz richtig
- Messfehler
- Etc.

6 Das Fernwärmenetz Novelis – Siders

6.1 Beschreibung & Schema

6.1.1 Energieproduktion: Kühlprozess Novelis

Der Kühlungsprozess wurde im **Kapitel 3 – Kühlwasser-System** genauer erläutert. Es wird zukünftig jedoch ein paar Änderungen geben:

- Das Kühlwasser wird von Chippis anstelle von Siders kommen.
- Der Kühlprozess ist nun ein geschlossener Kreislauf, kann aber notfalls auch im offenen Kreislauf funktionieren.
- Im geschlossenen Kreislauf wird das Wasser nicht mehr in die Rhone, sondern zur Hälfte gefiltert wieder in den *Supply Tank* zurückgeführt. Der Filter ist dazu da, um das Wasser, welches mit dem Aluminium in Kontakt war, zu säubern und ihm die nötigen Mineralstoffe hinzuzufügen.
- Das System wird in Zukunft zwischen 60°C (Tout) und 20°C (Tin) funktionieren.
- Die Regelung am Ausgang des offenen Systems ist dazu da, um das heiße Wasser auf min 30°C abzukühlen, damit es wieder in die Rhone geführt werden darf.

6.1.2 Energieverbrauch: Siders

Über den Hauptwärmetauscher zwischen Novelis und Siders, wird die Produzierte Energie an die Verbraucher abgegeben. Das Ventil zwischen dem heißen Vorlauf und dem Rücklauf kurz vor dem Kühlturm, ist ein Überbrückungsventil, mit welchem die Verbraucher vom Fernwärmenetz entfernt werden können. Dies dient dazu, falls keine Energie konsumiert wird, über den Kühlturm und die Grundwasserregelung das Heisswasser zu kühlen.

Der Fernwärmenetzanschluss ganz unten auf dem Schema dient dazu Wasser, falls es nötig ist, in den Zyklus zu bringen, oder in einem Störfall den Kreislauf zu entleeren.

Durch die Verbraucher wird die Wassertemperatur des heißen Vorlaufs immer weiter sinken. Durch die installierten Kühltürme von Alcan kann die Rücklauftemperatur auf maximal 30.5°C (siehe **Kapitel 6.6.1 – Kühltürme**) gekühlt werden.

Um die Rücklauftemperatur dann auf den Betriebspunkt des Hauptwärmetauschers zwischen Siders und Novelis auf 15°C zu bringen, wird eine Grundwasserregelung zum Einsatz kommen (siehe **Kapitel 6.6.2 – Grundwasserregelung**).

6.1.3 Schema des Fernwärmenetzes

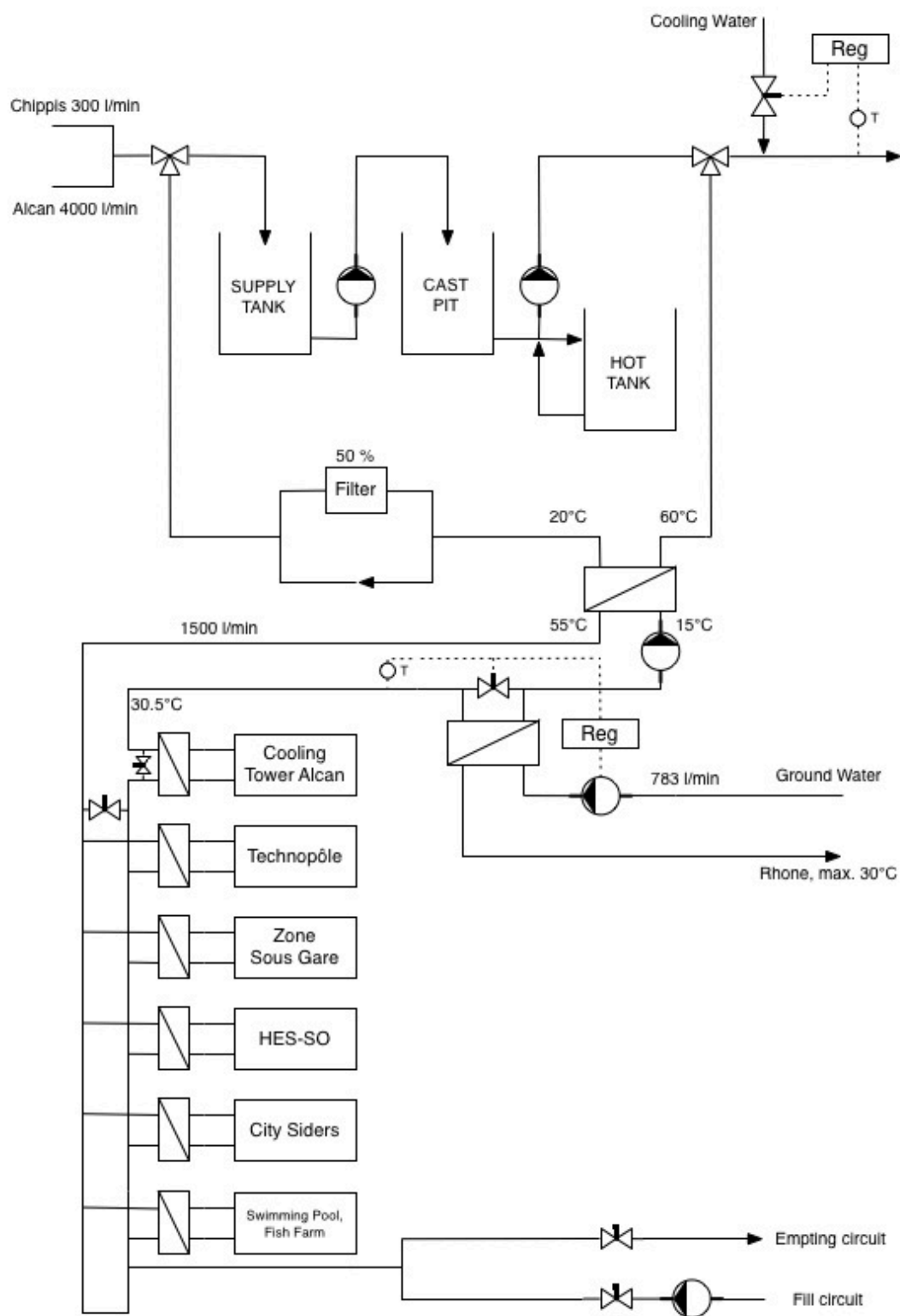


Abb. 8 - Schematische Darstellung des zukünftigen Fernwärmenetzes

6.2 Wärmeproduktion: Novelis

6.2.1 Die eingespiesene mittlere Leistung für das Fernwärmenetz

Um das Fernwärmenetz zu speisen müssen zwei Kühlzyklen untersucht werden:

- 1. Zyklus: Kühlvorgang von Aluminium Typ 6120 (*4 Blöcke*) und Typ 8810 (*3 Blöcke*)
- 2. Zyklus: Kühlvorgang von Aluminium Typ 6120 (*4 Blöcke*) und Typ 8810 (*5 Blöcke*)

Momentan wird das Aluminium gemäß dem 1. Zyklus gekühlt. Es muss untersucht werden, ob es besser wäre, den 2. Zyklus zu verwenden und somit aus dem Aluminium 8810 5 Blöcke statt 3 Blöcke herzustellen.

Die Berechnungen und Resultate sind auf der CD-ROM im Excel-File **Gelieferte Leistung Alu 6120 8810.xlsx** im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

1. Zyklus

Beim 1. Zyklus werden zuerst während 2 h 4 Blöcke des Aluminiumtyps 6120 gekühlt. Die Aluminiumwärme wird an das Kühlwasser abgegeben. Ein Teil des heißen Wassers fließt nun direkt in den Wärmetauscher, welcher die Schnittstelle zwischen Novelis und dem Fernwärmenetz bildet. Der Rest fließt in den *Hot Tank*.

Danach erfolgt eine Pause von 2 h. Während dieser Zeit wird kein Aluminium gekühlt. Damit die Energieübertragung des Wärmetauschers zwischen Novelis und Siders trotzdem gewährleistet bleibt, wird nun das gespeicherte heiße Wasser des *Hot Tanks* genommen um den Wärmetauscher primärseitig zu versorgen.

Nach den 2 h Pause erfolgt der 2. Kühlvorgang des Aluminiumtyps 6120 mit 4 neuen Blöcken. Danach wieder 2 h Pause.

Nach dieser Pause werden nun 3 Blöcke des Aluminiumtyps 8810 gekühlt. Danach wieder 2 h Pause. Zum Schluss kommt auch hier der 2. Kühlvorgang mit 3 neuen Blöcken, gefolgt von 2 h Pause.

Diese Vorgänge wiederholen sich ständig.

Dauer	Alu-Typ	Beschreibung	Leistung [MW]
2h	6120	Kühlung	7.15
2h	-	Pause	-
2h	6120	Kühlung	7.15
2h	-	Pause	-
2h	8810	Kühlung	4.00
2h	-	Pause	-
2h	8810	Kühlung	4.00
2h	-	Pause	-

In der Abb. 9 ist der 1. Zyklus ersichtlich:

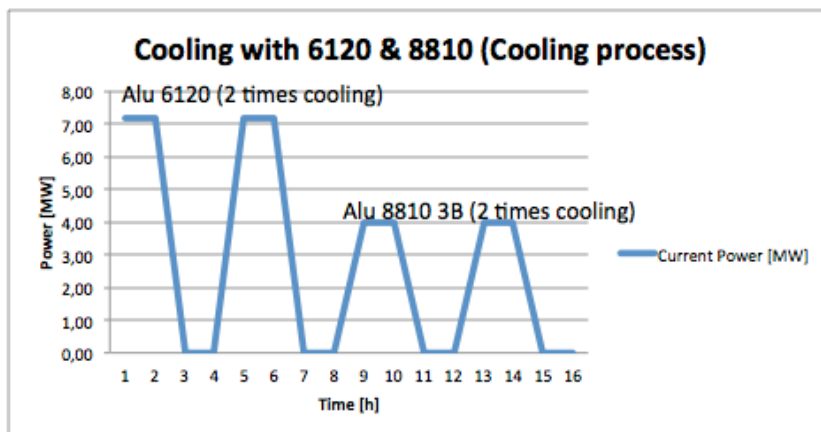


Abb. 9 - Kühlvorgang des Alu 6120 (4 Balken) und Alu 8810 (3 Balken), exakte Werte

Daraus folgt die mittlere konstant lancierte Leistung von **2.8 MW** (*Constant Power*, Abb. 9):

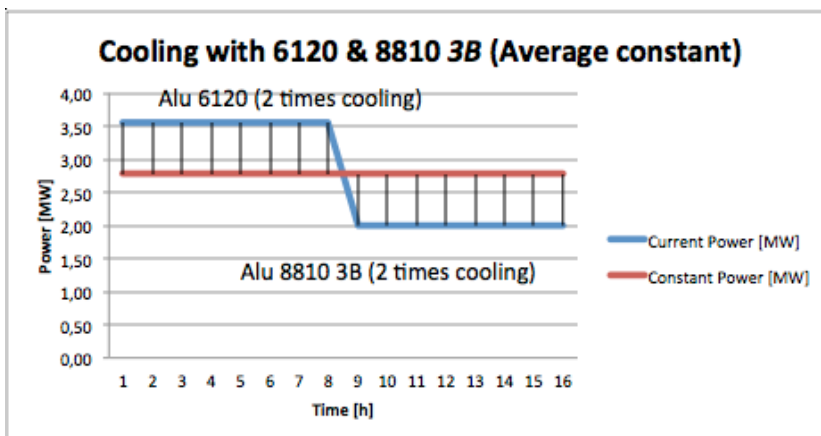


Abb. 10 - Kühlvorgang des Alu 6120 (4 Balken) und Alu 8810 (3 Balken), gemittelte Werte

Auf der oben stehenden Grafik ist ersichtlich, dass die mittlere Leistung von Kühlen und Pause zwischen 2 MW und 3.6 MW schwankt (*Current Power*, Abb. 10). Dies entspricht einer mittleren Leistungsdifferenz von 1.6 MW, was keine gute Voraussetzung für ein Fernwärmenetz bedeuten würde.

Aus der mittleren konstant lancierten Leistung (*Constant Power*) von 2.8 MW kann nun die für das Fernwärmenetz zur Verfügung stehende Energie berechnet werden:

per day	66,84	MWh	"24/24"
per week	467,88	MWh	"7/7"
per month	2005,20	MWh	"30/30"
per year	22725,60	MWh	"340/365"

2. Zyklus

Der Ablauf des 2. Zyklus ist identisch mit dem 1. Zyklus. Der einzige Unterschied besteht darin, dass nun nicht mehr 3 Balken, sondern 5 Balken des Aluminiumtyps 8810 gekühlt werden. Dies wird gemacht, um zu starke Leistungsschwankungen auf der Primärseite des Wärmetauschers, welcher an das Fernwärmenetz angeschlossen ist, zu vermeiden.

Die Leistungsabgabe für den Aluminiumtyp 8810 mit 5 Blöcken berechnet sich aus der Proportionalität der Leistung für die Anzahl Blöcke (Die Leistung steigt proportional zu den Anzahl Blöcken):

$$P_{8810,2.Zyklus} = P_{8810,1.Zyklus} \cdot \frac{n_{Blöcke,2.Zyklus}}{n_{Blöcke,1.Zyklus}} = 4 \text{ MW} \cdot \frac{5}{3} = 6.67 \text{ MW}$$

Die Leistungsabgabe für den Aluminiumtyp 6120 bleibt gleich wie im 1. Zyklus da die Anzahl gekühlte Blöcke unverändert bleibt.

Dauer	Alu-Typ	Beschreibung	Leistung [MW]
2h	6120	Kühlung	7.15
2h	-	Pause	-
2h	6120	Kühlung	7.15
2h	-	Pause	-
2h	8810	Kühlung	6.67
2h	-	Pause	-
2h	8810	Kühlung	6.67
2h	-	Pause	-

In der Abb. 11 ist der 2. Zyklus ersichtlich:

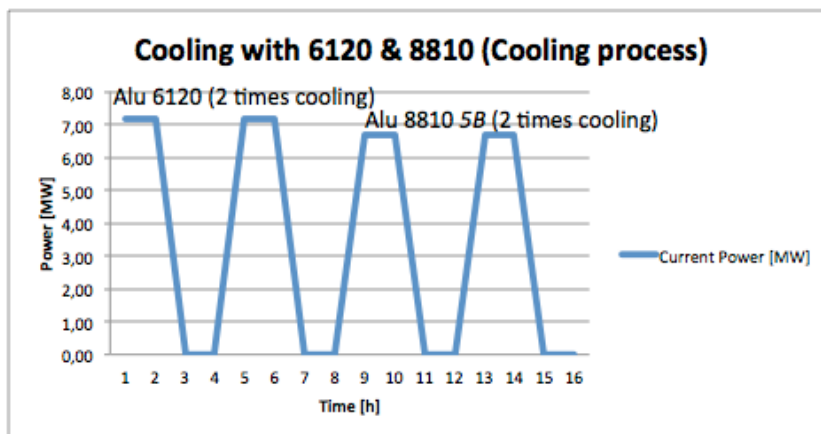


Abb. 11 - Kühlvorgang des Alu 6120 (4 Balken) und Alu 8810 (5 Balken), exakte Werte

Daraus folgt die mittlere konstant lancierte Leistung von **3.45 MW** (Constant Power, Abb. 11):

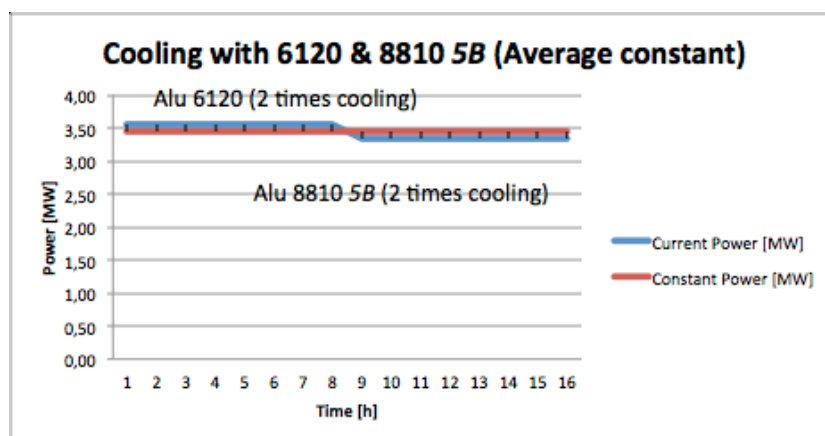


Abb. 12 - Kühlvorgang des Alu 6120 (4 Balken) und Alu 8810 (5 Balken), gemittelte Werte

Auf Abb. 12 ist ersichtlich, dass die mittlere Leistung von Kühlen und Pause zwischen 3.3 MW und 3.6 MW schwankt (Current Power, Abb. 12). Die mittlere Leistungsdifferenz beträgt nun nur noch 0.3 MW und konnte somit auf ein Minimum reduziert werden. Dies ist ein viel besseres

Resultat, welches nicht noch weiter optimiert werden kann und zwar weil Novelis nicht 4.5 Balken oder 5 produzieren kann, da Ihnen der Platz im *Cast Pit* nicht ausreicht.

Aus der mittleren konstanten Leistung (*Constant Power*) von 3.45 MW kann nun die für das Fernwärmenetz zur Verfügung stehende Energie berechnet werden:

per day	82,80	MWh	"24/24"
per week	579,60	MWh	"7/7"
per month	2484,00	MWh	"30/30"
per year	28152,00	MWh	"340/365"

Die Gießerei Novelis wird in Zukunft nur noch nach dem Prinzip des 2. Zyklus produzieren!

6.3 Wärmeverbrauch: Siders

6.3.1 Technopôle (Realisierung: Vorhanden)

Technopôle liegt direkt neben Novelis. Es handelt sich um ein Unternehmen, welches Jungunternehmen Platz bietet, um in die Karriere zu starten. Diese Anlage ist ein optimaler Energiekonsument für das Fernwärmenetz.

Um den Energieverbrauch von Technopôle zu berechnen wurden folgende Werte benötigt:

- Die Wärmeleistung⁶ 500 kW mit einem Wirkungsgrad von 80% (Normal: 65% - 85%)
- Die Anzahl Volllaststunden⁷ für den Wärmebedarf pro Monat

Der Wärmebedarf rechnet sich dann aus der Anzahl Volllaststunden pro Monat, multipliziert mit der effektiven Wärmeleistung. Daraus ergibt sich folgender Tabelle:

	Volllaststunden	Wärmebedarf [MWh]
Januar	528	184,80
Februar	439	153,65
März	397	138,95
April	58	20,30
Mai	48	16,80
Juni	9	3,15
Juli	0	0,00
August	9	3,15
September	63	22,05
Oktober	260	91,00
November	491	171,85
Dezember	616	215,60
Total/Jahr	2918	1021,30

⁶ Quelle: Schema Hydraulique Chaud – Froid, Réginald Germanier (siehe CD-ROM, Ordner 03)

⁷ Quelle: Valais degrés-jours.XLS – DJ2007 – Sion, Sebastien Dervev (siehe CD-ROM, Ordner 03)

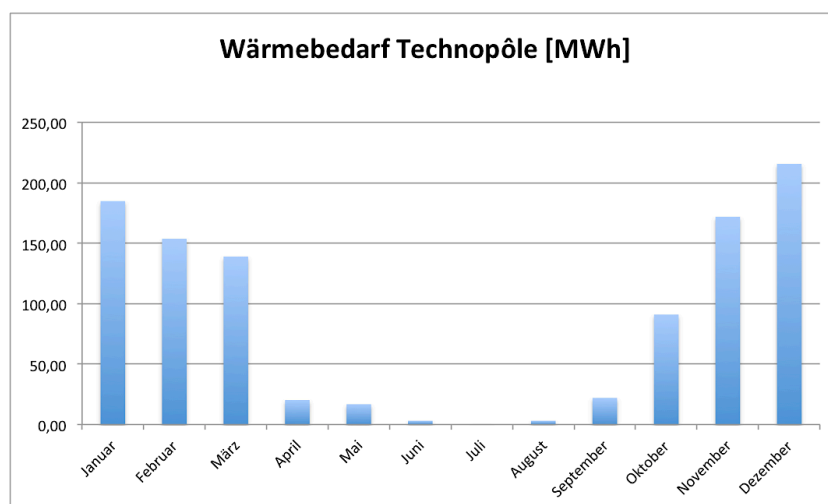


Abb. 13 - Wärmebedarf Technopôle

Die Berechnungen und Resultate für den Energieverbrauch von Technopôle ist auf der CD-ROM im Excel-File **Jährliche Energiebilanz Produktion/Konsumation - Sheet: Technopôle**, im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

6.3.2 HES-SO (Realisierung: Vorhanden)

In der Nähe des Bahnhofs befindet sich das HES-SO-Gebäude (Fachhochschule Westschweiz). Es handelt sich um ein Minergie-Gebäude. Der **jährliche Energieverbrauch**⁸ beträgt **300'000 kWh**.

Aus dem Anteil in Prozent, berechnet anhand der Volllaststunden, ergibt sich folgende Energieverteilung:

	Anzahl Tage	Volllaststunden Heizwärme ⁹	Anteil	Wärmebedarf [MWh]
Januar	31	528	18%	54,28
Februar	28	439	15%	45,13
März	31	397	14%	40,82
April	30	58	2%	5,96
Mai	31	48	2%	4,93
Juni	30	9	0%	0,93
Juli	31	0	0%	0,00
August	31	9	0%	0,93
September	30	63	2%	6,48
Oktober	31	260	9%	26,73
November	30	491	17%	50,48
Dezember	31	616	21%	63,33

⁸ Quelle: HES-SO

⁹ Quelle: Valais degrés-jours.xls – DJ2007 – Sion, Sebastien Dervey

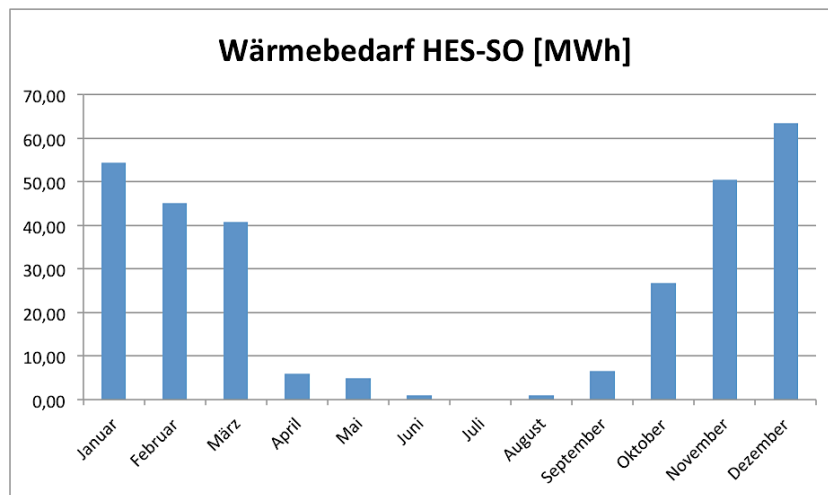


Abb. 14 - Wärmebedarf HES-SO

Die Berechnungen und Resultate für den Energieverbrauch der HES-SO ist auf der CD-ROM im Excel-File **Jährliche Energiebilanz Produktion/Konsumation - Sheet: HES-SO**, im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

6.3.3 Stadt Siders (Realisierung: Vorhanden)

Die Stadt Siders kommt als Energieverbraucher für das Fernwärmenetz ganz klar auch in Frage.

Da es sich für den Energieverbrauch der Häuser in der Stadt Siders nicht um Minergiehäuser (siehe **Kapitel 6.3.4 - Sous gare**) handelt, sondern Großteils um Häuser des Baujahres 1990, ist der Energieverbrauch pro Haushalt grösser.

$$\begin{aligned} \text{Heizwärme}_{\text{Siders}} &= 3 * \text{Heizwärme}_{\text{Sous gare}} = 15.24 \text{ MWh/Jahr} \\ \text{Sanitär}_{\text{Siders}} &= \text{Sanitär}_{\text{Sous gare}} = 2.5 \text{ MWh/Jahr} \end{aligned}$$

Daraus folgt der folgende Energieverbrauch für einen Haushalt:

	Anzahl Tage	Heizwärme [kWh]	Sanitär [kWh]	Wärmebedarf [kWh]
Januar	31	2759,43	212,33	2967,76
Februar	28	2294,28	191,78	2502,61
März	31	2074,80	212,33	2283,13
April	30	303,12	205,48	511,45
Mai	31	250,86	212,33	459,19
Juni	30	47,04	205,48	255,37
Juli	31	0,00	212,33	208,33
August	31	47,04	212,33	255,37
September	30	329,25	205,48	537,58
Oktober	31	1358,82	212,33	1567,15
November	30	2566,05	205,48	2774,38
Dezember	31	3219,33	212,33	3427,66

Im **Kapitel 6.8 - Die verschiedenen Temperaturniveaus und Durchflüsse** ist ersichtlich, dass der Durchfluss der Versorgungsleitung (1500 l/min) mit den angeschlossenen Verbrauchern für **29 Wohnungen** der Stadt Siders reicht.

Daher folgender Energieverbrauch für 29 Wohnungen:

	Anzahl Tage	Heizwärme [MWh]	Sanitär [MWh]	Wärmebedarf [MWh]
Januar	31	80,02	6,16	86,18
Februar	28	66,53	5,56	72,10
März	31	60,17	6,16	66,33
April	30	8,79	5,96	14,75
Mai	31	7,27	6,16	13,43
Juni	30	1,36	5,96	7,32
Juli	31	0,00	6,16	6,16
August	31	1,36	6,16	7,52
September	30	9,55	5,96	15,51
Oktober	31	39,41	6,16	45,56
November	30	74,42	5,96	80,37
Dezember	31	93,36	6,16	99,52

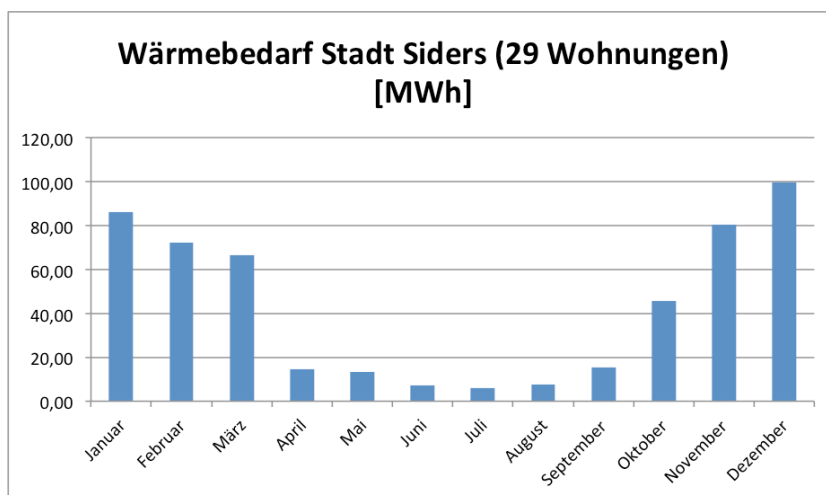


Abb. 15 - Der Wärmebedarf für 29 Wohnungen der Stadt Siders

Die Berechnungen und Resultate für den Energieverbrauch der Stadt Siders ist auf der CD-ROM im Excel-File **Jährliche Energiebilanz Produktion/Konsumation – Sheet: Siders**, im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

6.3.4 Sous gare (Realisierung: Zukunft)

Ganz in der Nähe des Bahnhofs befindet sich das Gebiet *Sous gare*. Es wird dort eine 250-Wohnungssiedlung entstehen. Dieses Wohngebiet eignet sich sehr als potentieller Wärmekonsument des Fernwärmenetzes.

Um den Energieverbrauch dieser Minergie-Wohnungen zu berechnen wurden folgende Werte benötigt:

- Durchschnittlich 4.5-Zimmerwohnung mit 120 m² Wohnfläche
- Durchschnittliche Heizwärme¹⁰ pro Jahr und pro Haushalt sowie die Vollaststunden¹¹ für eine Heizung

Die benötigte Heizenergie pro m² berechnet sich wie folgt:

¹⁰ Quelle: Norm SIA 2024, Ausgabe 2006 - Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik (siehe CD-ROM, Ordner 03)

¹¹ Quelle: Valais degrés-jours.xls – DJ2007 – Sion, Sebastien Dervy (siehe CD-ROM, Ordner 03)

$$Q_{h,li} = Q_{h,li0} + \Delta Q_{h,li} \cdot (A_{th}/A_E)$$

- $Q_{h,li}$ Heizenergie pro m^2
 $Q_{h,li0}$ 55 MJ/ m^2
 $\Delta Q_{h,li}$ 65 MJ/ m^2
 A_{th} Gebäudehüllfläche: Summe der Flächen der therm. Gebäudehülle
 A_E Energiebezugsfläche
 A_{th}/A_{th} Gebäudehüllzahl (Abhängig von der Gebäudeart): Standartwert 1.5

Der jährliche Energieverbrauch zum heizen beträgt also:

$$Q_{Heizung} = \frac{Q_{h,li} \cdot A_{Wohnfläche}}{3.6} = \frac{\left(55 \frac{MJ}{m^2} \cdot 65 \frac{MJ}{m^2} \cdot 1.5\right) \cdot 120 m^2}{3.6} = 5'083.33 kWh$$

- Jährlicher Wärmebedarf¹² für Warmwasser pro Haushalt: 20.83 kW/ m^2

	Anzahl Tage	Volllaststunden Heizwärme	Heizwärme [kWh]	Sanitär [kWh]	Wärmebedarf [kWh]
Januar	31	528	919,81	212,33	1132,14
Februar	28	439	764,76	191,78	956,55
März	31	397	691,60	212,33	903,93
April	30	58	101,04	205,48	306,52
Mai	31	48	83,62	212,33	295,95
Juni	30	9	15,68	205,48	221,16
Juli	31	0	0,00	212,33	212,33
August	31	9	15,68	212,33	228,01
September	30	63	109,75	205,48	315,23
Oktober	31	260	452,94	212,33	665,26
November	30	491	855,35	205,48	1060,83
Dezember	31	616	1073,11	212,33	1285,44
Total/Jahr	365	2918	5083,33	2500,00	7583,33

¹² Quelle: Norm SIA 380/1, Ausgabe 2007 – Thermische Energie im Hochbau (siehe CD-ROM, Ordner 03)

Für das Gebiet *Sous Gare*, mit 250 Wohnungen wurden die erhaltenen Werte für einen Haushalt mit 250 multipliziert. Daraus folgt:

	Heizwärme [MWh]	Sanitär [MWh]	Wärmebedarf [MWh]
Januar	229,95	53,08	283,03
Februar	191,19	47,95	239,14
März	172,90	53,08	225,98
April	25,26	51,37	76,63
Mai	20,90	53,08	73,99
Juni	3,92	51,37	55,29
Juli	0,00	53,08	53,08
August	3,92	53,08	57,00
September	27,44	51,37	78,81
Oktober	113,23	53,08	166,32
November	213,84	51,37	265,21
Dezember	268,28	53,08	321,36
Total/Jahr	1270,83	625,00	1895,83

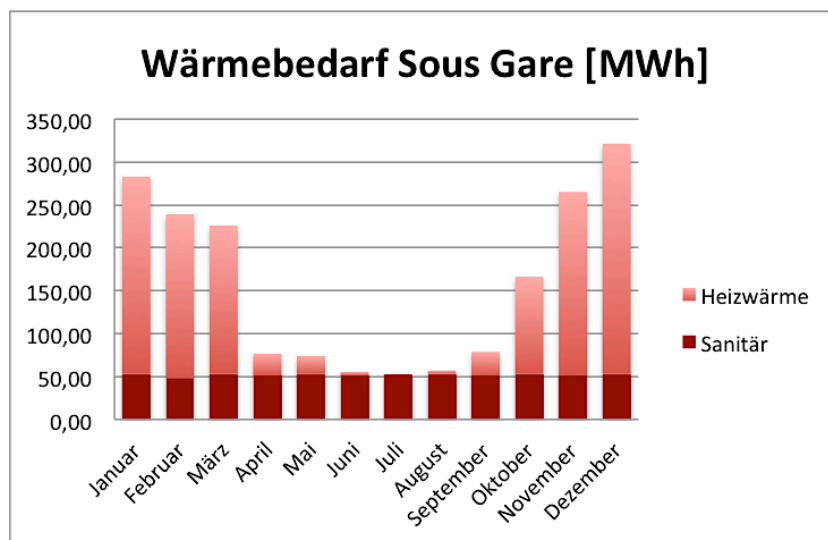


Abb. 16 - Der Wärmebedarf des Gebiets *Sous gare*

Die Resultate, sowie die Berechnungen sind im Excel-File **Jährliche Energiebilanz Sous gare.xlsx** im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** der CD-ROM, ersichtlich.

6.3.5 Daval (Realisierung: Zukunft)

Das Gebiet Daval ist eine noch nicht realisierte Industriezone in der Nähe von Chippis. Daval bietet Platz für diverse Industrieunternehmen. Auch dieses Gebiet könnte ein potenzieller Wärmekonsument für das Fernwärmenetz darstellen.

Es wurden jedoch keine Berechnungen für den Wärmebedarf dieses Gebiets aufgestellt, da keine Datenangaben vorhanden sind.

6.3.6 Schwimmbad¹³ (Realisierung: Zukunft)

Als potentieller Wärmenutzer wäre ein Zukünftiges offenes Schwimmbad in der Region Siders durchaus denkbar. Es gibt schon ein offenes Schwimmbad (Lac de Géronde) welches in diesem Jahr renoviert wird. Wäre genau dieses Schwimmbad ein potentieller Wärmeverbraucher, so müsste in den Berechnungen nur die Oberfläche S angepasst werden. Hier wird jedoch ein allg. offenes Schwimmbad mit einer Oberfläche von 400 m^2 betrachtet.

In einem Schwimmbad geht viel Energie verloren. Die Gründe sind: Verdampfung, Strahlung, Konvektion und Frischwasser. Diese Energie muss dem Schwimmbad wider hinzugefügt werden, um es auf einer konstanten Wassertemperatur zu halten.

Hypothesen:

- Die Schwimmbadfläche wurde auf 400 m^2 festgelegt.
- Die Werte für die Luftfeuchtigkeit wurden mit der Internetapplikation Cactus 2000 berechnet.¹⁴
- Die Windgeschwindigkeit wurde anhand der Software METEONORM Version 5.1, am 22. Juni 20011 ermittelt (mittlere Windgeschwindigkeit in Siders für die Monate Mai, Juni, Juli und August)
- Die Wassertemperatur wurde auf 23°C festgelegt.
- Die Durchschnittliche Tagestemperatur (Luft) wurde auf 25°C festgelegt.
- Die Durchschnittliche Nachttemperatur (Luft) wurde auf 13°C festgelegt.
- Es wurde mit 11 h Tag und 13 h Nacht gerechnet (Intuitive Sommerwerte).
- Die Frischwassertemperatur wird auf 10°C festgelegt.
- Die Durchschnittliche Besucheranzahl beträgt 50 Pers./Tag.
- Für die Berechnung des Beckenwassers wurde eine Durchschnittliche Beckenhöhe von $h = 2 \text{ m}$ gewählt. Daraus folgt: $V_{\text{Becken}} = S \times h = 400 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m} = 800 \text{ m}^3 = 800'000 \text{ Liter}$.

Verdampfung

In einem ersten Schritt muss die Energie berechnet werden, welche dem Schwimmbad pro Tag durch das Verdampfungsphänomen entweicht. Dieses Phänomen kommt durch Windkontakt mit der Wasseroberfläche sowie Feuchtigkeitsunterschiede der Luft zu Stande.

$$P_{\text{evapo}} = (25 + 19V_v) \times S(X - X') \times L_v \times \frac{t}{1000}$$

Windgeschwindigkeit	V_v	2,925	m/s
Schwimmbadfläche	S	400	m^2
Feuchtigkeit Luft gesättigt (RH=100%)	X	17,422	g/kg (23°C)
Feuchtigkeit Luft amb (RH=60%)	X'	10,409	g/kg (23°C)
Lat. Wärme Wasser	L_v	0,68	Wh/g
Dauer	t	24	h

$$\text{Verdampftes Wasser} = \frac{3.69 \text{ MWh}}{0.68 \frac{\text{Wh}}{\text{g}} \cdot 1000} = 5425 \text{ Liter}$$

Der Energiewert 3.69 MWh ist in diesem Kapitel unter dem Titel *Resultate* in der Tabelle ersichtlich.

¹³ Quelle: http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9perditions_d%27un_bassin

(28. Juni 2011)

¹⁴ Quelle: <http://www.cactus2000.de/de/unit/masshum.shtml>

(28. Juni 2011)

Strahlung

Des Weiteren muss die Strahlung beachtet werden. Dabei wird am Tag dem Schwimmbad Wärme zugefügt (da T_f grösser als T_b) und in der Nacht entzogen (T_f kleiner als T_b).

$$P_{\text{rayon}} = U_R \times S \times \left[\left(\frac{T_b}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_f}{100} \right)^4 \right] \times \frac{t}{1000}$$

		<u>Tag</u>		<u>Nacht</u>	
Strahlungskoeffizient	U_R	1,85*	W/m ² K ⁴	3,7	W/m ² K ⁴
Schwimmbadfläche	S	400	m ²	400	m ²
Wassertemperatur	T_b	296	K	296	K
Lufttemperatur	T_f	298	K	291	K
Dauer	t	11	h	13	h

- * Während des Tages gibt es keine Verluste durch Infrarot -Strahlung, da sie von der Sonnen-Strahlung von weitem kompensiert werden. Der Gewinne wird also mit der Hälfte der Sonnenstrahlung auf eine horizontale Ebene gerechnet

Konvektion

Die Konvektion betrifft die Wärmeabgabe des warmen Schwimmbadwassers an die Umgebungsluft.

$$P_{\text{conv}} = U_e \times S \times \Delta\Theta \times \frac{t}{1000}$$

		<u>Tag</u>		<u>Nacht</u>	
Therm. Übertragungskoeffizient	U_e	7,6	W/m ² K	7,6	W/m ² K
Schwimmbadfläche	S	400	m ²	400	m ²
Temperaturdiff. Wasser/Luft	$\Delta\Theta$	2	K	10	K
Dauer	t	11	h	13	h

Frischwasser

Auch das Frischwasser, welches immer wider auf die Schwimmbadtemperatur erwärmt werden muss, muss mit einbezogen werden. Dazu kommt auch noch das verdampfte Wasser, welches dem Schwimmbad hinzugefügt werden muss.

$$P_{\text{renouv}} = \frac{V_R \times \Delta\Theta}{80}$$

Frischwasser	V_R	6925	Liter
	$\Delta\Theta$	13	°C

Die Menge Frischwasser wird wie folgt berechnet:

Anhand der Quelle 13 muss das Frischwasser pro Person min. 30 Liter/Person betragen.

$$\text{Frischwasser} = \frac{\text{Frischwasser}}{\text{Person}} \cdot \text{Anzahl Besucher} + \text{Verdampftes Wasser}$$

$$V_R = 30 \frac{l}{Pers.} \cdot 50 Pers. + \frac{3.69 MWh}{0.68 \frac{Wh}{g} \cdot 1000} = 6925 \text{ Liter } (\sim 0.86 \% \text{ des Beckenwassers})$$

Resultate

	Tag [kWh/Tag]	Nacht [kWh/Tag]	Gesamt [MWh/Tag]
P _{Verdampfung}			3.69
P _{Strahlung}	-17.1	97.3	0.08
P _{Konvektion}	66.9	197.6	0.46
P _{Frischwasser}			1.13
Total			5.36

Es ist ersichtlich, dass P_{Strahlung} während des Tages ein negatives Vorzeichen aufweist. Dies bedeutet, dass diese Energie kein Energieverlust sondern ein Energiegewinn darstellt. Das negative Vorzeichen kommt daher, dass die Außentemperatur T_f grösser ist als die Wassertemperatur T_b.

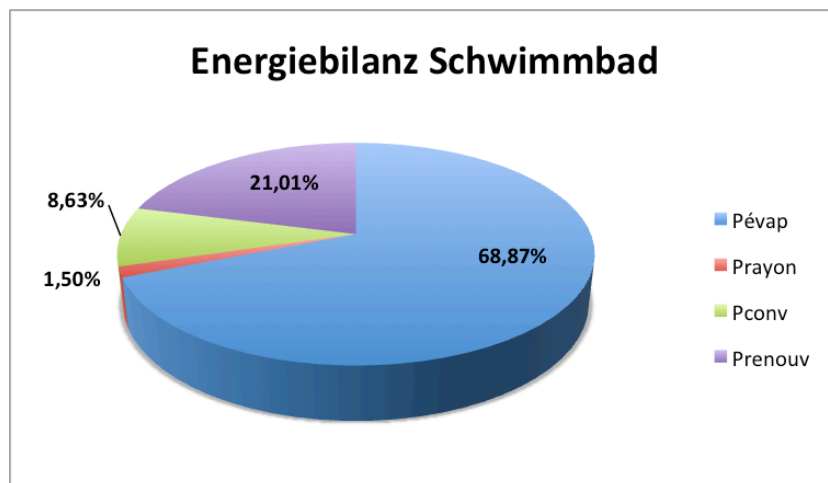


Abb. 17 - Energiebilanz Schwimmbad

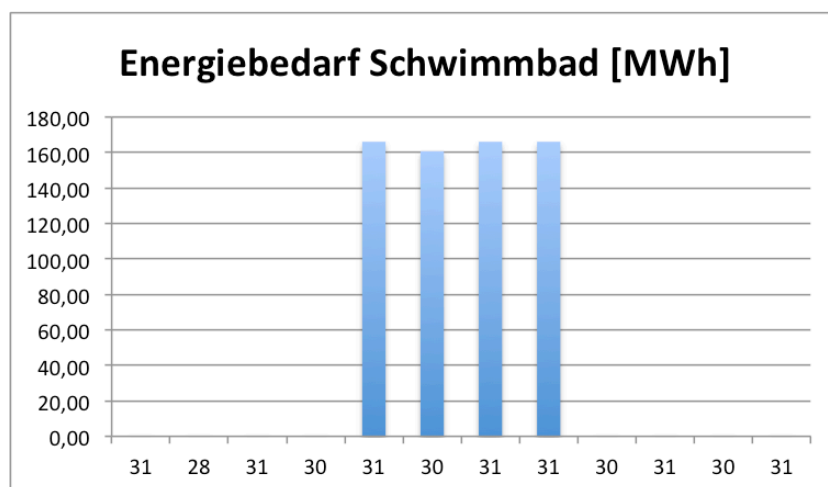


Abb. 18 - Energiebedarf Schwimmbad

Die Berechnungen und Resultate für den Energieverbrauch eines offenen Schwimmbads ist auf der CD-ROM im Excel-File **Jährliche Energiebilanz Produktion/Konsumation - Sheet: Schwimmbad**, im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

6.3.7 Fischzucht (Realisierung: Zukunft)

Eine Fischzucht wäre zukünftig auch ein idealer Wärmenutzer des Fernwärmenetzes. Als Berechnungsbeispiel wurde die Fischzucht in Raron gewählt. In einer Fischzucht muss das Wasser für die Fische eine konstante Temperatur haben. Ähnlich wie beim Schwimmbad sind auch hier Phänomene wie Verdampfen, Konvektion und Frischwasser vorhanden. Die Strahlung muss hier nicht berücksichtigt werden, da sich diese Fischzucht in einer Halle und nicht extern befindet.

Erhaltene Daten:

- 3 x 900 m³ = 2'700 m³ Wasser mit einer Temperatur von 22 °C für die Fischbecken
- Täglich 450 m³ Frischwasser mit einer Temperatur von 10 °C
- 10 Becken mit einem Durchmesser von 5 m
- 17 Becken mit einem Durchmesser von 9 m

Die gesamte Wasseroberfläche S wird anhand der Anzahl Becken mit den zugehörigen Durchmessern berechnet und beträgt 1277,8 m².

Verdampfung

Ähnlich wie beim Schwimmbad kommt es auch hier durch Feuchtigkeitsunterschiede der Luft zum Verdampfen von Wasser. Der Unterschied zum Schwimmbad besteht darin, dass die Windgeschwindigkeit in der Halle als 0 m/s angenommen werden kann.

$$P_{\text{evapo}} = (25 + 19V_v) \times S(X - X') \times L_v \times \frac{t}{1000}$$

Windgeschwindigkeit	V _v	0	m/s
Schwimmbadfläche	S	1277,8	m ²
Feuchtigkeit Luft gesättigt (RH=100%)	X	16,385	g/kg (22°C)
Feuchtigkeit Luft amb (RH=70% ¹⁵)	X'	11,435	g/kg (22°C)
Lat. Wärme Wasser	L _v	0,68	Wh/g
Dauer	t	24	h

Laut Quelle 15 beträgt die maximale relative Luftfeuchtigkeit (RH) in einem Hallenbad 70 %. Für die Fischzucht wurde mit dem selben Wert gerechnet.

Strahlung

Die Strahlung kann vernachlässigt werden, da sich die Becken intern in einer Halle befinden.

Konvektion

Die Wärmeabgabe der Fischbecken an die Umgebungsluft.

$$P_{\text{conv}} = U_e \times S \times \Delta\theta \times \frac{t}{1000}$$

Therm. Übertragungskoeffizient	U _e	7,6	W/m ² K
Schwimmbadfläche	S	1277,8	m ²
Temperaturdiff. Wasser/Luft	Δθ	0	K (W:22°C,L:22°C)
Dauer	t	24	h

¹⁵ Quelle: SIA Norm 2024 - S.115 Hallenbad Standardwert max 70% (siehe CD-ROM, Ordner 03)

Die Konvektion kann vernachlässigt werden, falls die Hallentemperatur und die Wassertemperatur identisch sind, was angenommen wurde.

Frishwasser

Es wird Täglich Frishwasser (450 m³, 10 °C) mit dem Beckenwasser (2700 m³, 22 °C) vermischt.

Daraus erfolgt die benötigte Energie, um das Frishwasser auf 22°C zu erwärmen:

$$P_{renouv} = m_{ges} \cdot c_{H_2O} \cdot (T_{Soll} - T_{in})$$

$$450'000 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot (22^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \cdot \frac{1}{3.6 \cdot 10^9} = 6.28 \text{ MWh}$$

Resultate

	Gesamt [MWh/Tag]
P _{Verdampfung}	2.58
P _{Strahlung}	0
P _{Konvektion}	0
P _{Frishwasser}	6.28
Total	8.86

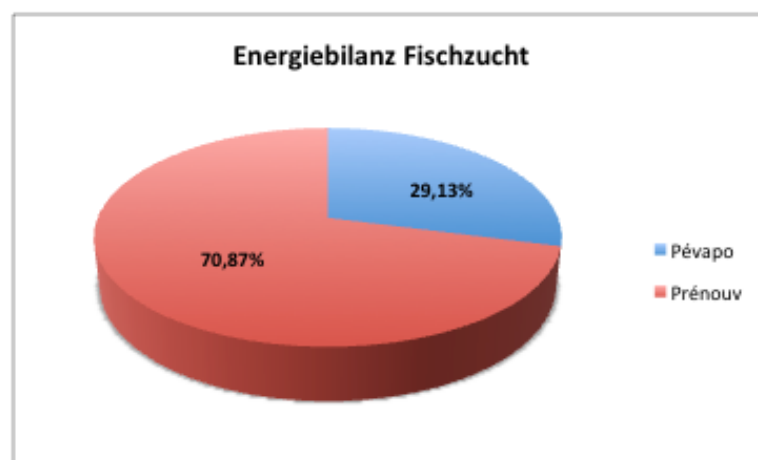


Abb. 19 - Energiebilanz Fischzucht

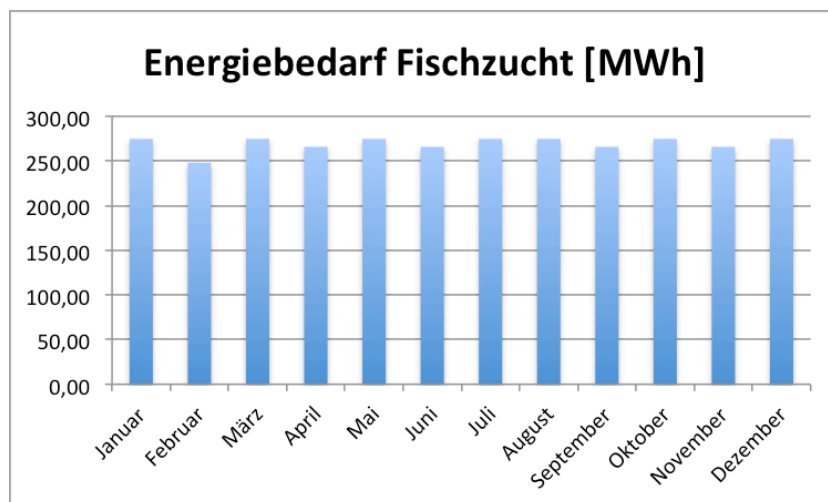


Abb. 20 - Energiebedarf Fischzucht

Die Berechnungen und Resultate für den Energieverbrauch einer Fischzucht ist auf der CD-ROM im Excel-File **Jährliche Energiebilanz Produktion/Konsumation - Sheet: Fischzucht**, im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

6.3.8 Gewächshaus¹⁶ (Realisierung: Zukunft)

Auch das Gewächshaus könnte in erster Linie ein interessanter Wärmenutzer des Fernwärmenetzes sein.

Es wurde ein Gewächshaus für Tomaten untersucht.

Die bekannten Daten sind:

- Energieverbrauch 305 kWh/m²
- Anbaufläche 20'000 m² (Annahme, wäre jedoch geografisch möglich in der Nähe von Novelis zu realisieren)
- T_{intern} 19.6 °C

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
T _{intern}	X	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	X
T _{extern}	X	1,1	5,7	9,1	13,7	16,4	20,2	19,1	15,4	10,2	4,0	X
ΔT	X	18,5	13,9	10,5	5,9	3,2	X	0,5	4,2	9,4	15,6	X
Energieanteil [%]	X	22,6	17,0	12,9	7,2	3,9	X	0,6	5,1	11,5	19,1	X
Energieverbrauch [MWh]	X	1381	1038	784	440	239	X	37	314	702	1165	X

¹⁶ Quelle: Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW

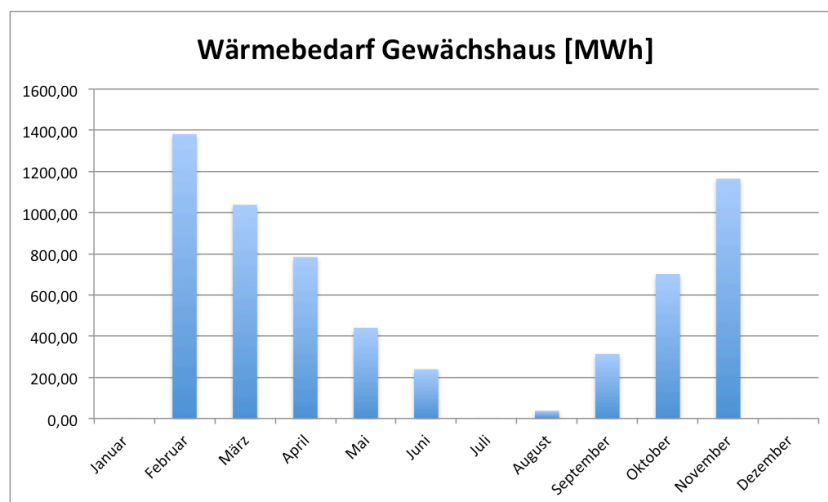


Abb. 21 - Wärmebedarf Gewächshaus

Die Berechnungen und Resultate für den Energieverbrauch eines Gewächshauses ist auf der CD-ROM im Excel-File **Jährliche Energiebilanz Produktion/Konsumation - Sheet: Gewächshaus**, im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

Auf Abb. 21 ist ersichtlich, dass im Januar, Juli und Dezember keine Energie konsumiert wird und somit das Gewächshaus nicht geheizt werden muss.

Die Gründe sind folgende: Im Januar und Dezember wäre der Wärmebedarf zu hoch und im Juli ist die Temperatur extern, höher als die Temperatur intern.

Trotzdem muss zum Schluss gesagt werden, dass es nicht möglich ist mit einem Fernwärmenetz ein Gewächshaus zu versorgen. Der Wärmebedarf könnte zwar ohne Probleme abgedeckt werden, die Versorgungstemperatur ist ein Problem. 50 – 55°C ist einfach zu wenig! Dieses Problem könnte jedoch mit einer Wärmepumpe behoben werden. Doch das Hauptproblem besteht darin, dass die Gewächsanlagen meist mit Gasheizungen heizen. So erhalten sie direkt das CO₂ für die Flora. Müsste das CO₂ noch zusätzlich beschafft werden, wären die Kosten viel zu hoch!

6.4 Energiebilanz Novelis – Siders

Die Resultate für die Energiebilanz sind auf der CD-ROM im Excel-File **Jährliche Energiebilanz Produktion/Konsumation - Sheet: Energiebilanz**, im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** ersichtlich.

6.4.1 Variante zu Verbrauchertyp 1 (siehe Abb. 35)

Wärmeerzeuger:

Novelis

Verbraucher:

Technopôle, Zone Sous Gare, HES-SO, City Siders (29 Wohnungen)

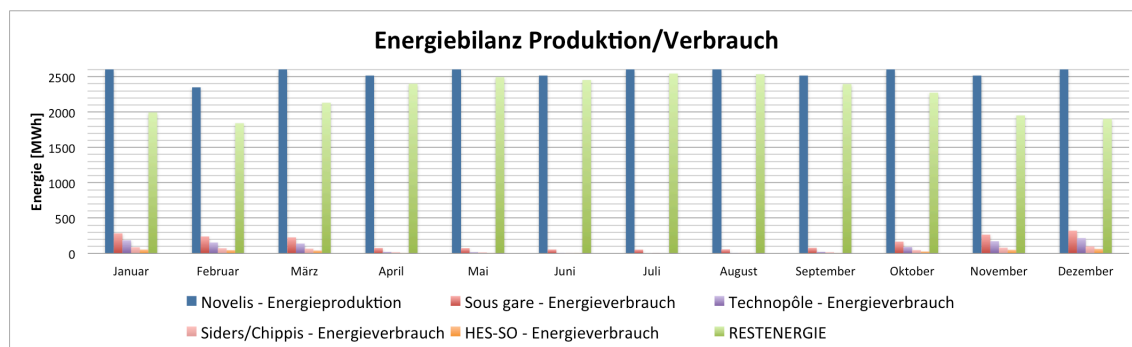


Abb. 22 - Energiebilanz Produktion/Verbrauch (Typ 1), Vergleich

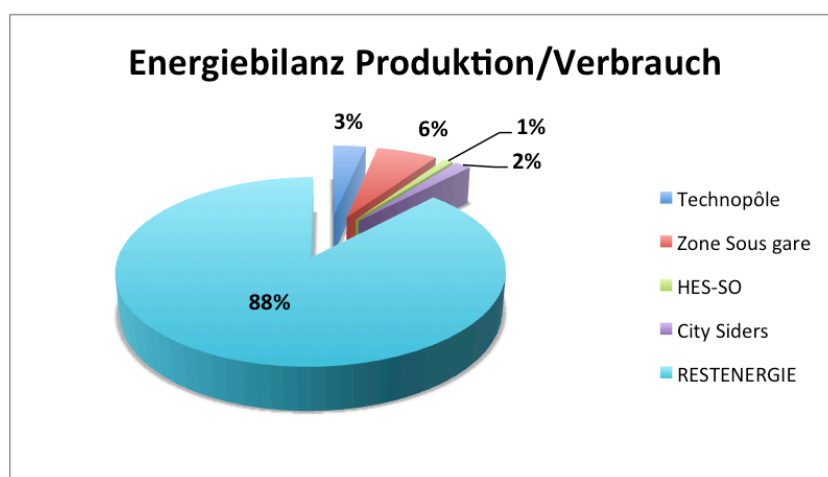


Abb. 23 - Energiebilanz Produktion/Verbrauch (Typ 1), Anteile

6.4.2 Variante mit allen analysierten Verbrauchern

Wärmeerzeuger:

Novelis

Verbraucher:

Technopôle, Zone Sous Gare, HES-SO, City Siders (300 Wohnungen), Fischzucht, Schwimmbad

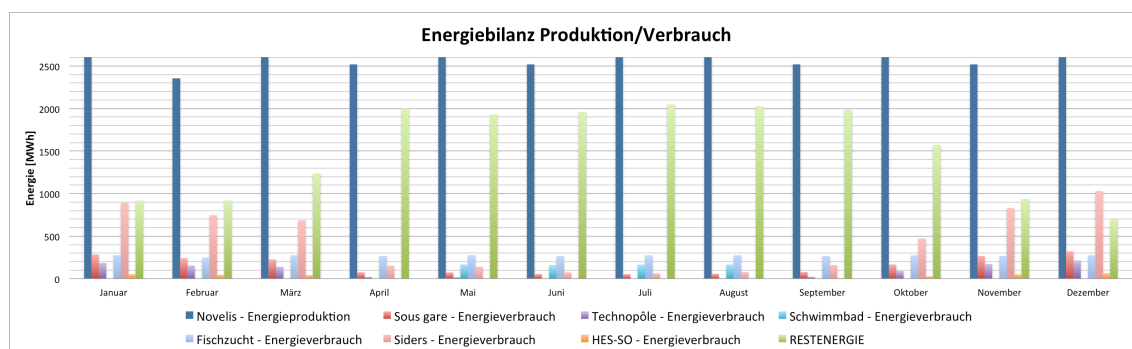


Abb. 24 - Energiebilanz Produktion/Verbrauch (alle Verbraucher), Vergleich

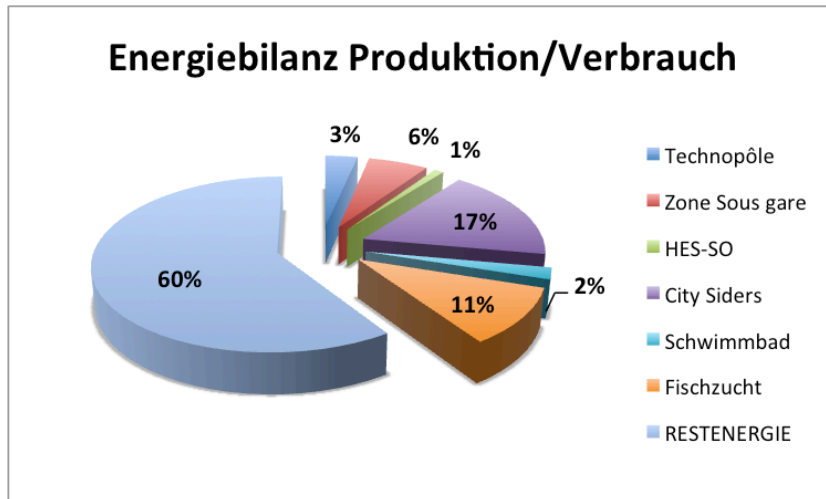


Abb. 25 - Energiebilanz Produktion/Verbrauch (alle Verbraucher), Anteile

6.5 Rohrleitungen und deren Wärmeverluste

6.5.1 Rohrtypen

Vorlauf¹⁷: Stahl, 2 x Verstärkt
DN125 (Innendurchmesser = 125 mm, Aussendurchmesser = 129 mm)
Wärmeduchgangskoeffizient $\lambda = 0.2275 \text{ W/mK}$ (mit Erdreich)

Rücklauf: Stahl, niedrig legiert
DN125 (Innendurchmesser = 125 mm, Aussendurchmesser = 129 mm)
Wärmeduchgangskoeffizient $\lambda_i = 42 \text{ W/mK}$ (ohne Erdreich)

6.5.2 Berechnung der Rohrleitungsverluste

Die Werte für die Temperaturverluste wurden mit dem Excel-File **Leitungsverluste Rohrleitung.xlsx** im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** der CD-ROM berechnet.

Vorlauf

Erdtemperatur	T_E	10 °C
Rohrdurchfluss	Q	1500 l/min = 25 kg/s
spez. Wärmekapazität	c_{H_2O}	4186 J/kgK
Länge der Rohrleitung	L	[m]
Rohr-Eintrittstemp.	T_{in}	[°C]
Rohr-Austrittstemp.	T_{out}	[°C]

Zur Berechnung der Rohrleitungsverluste müssen folgende 2 Gleichungen verwendet werden:

1. Wärmeverluste in der Rohrleitung (Berechnung nach Iso Plus, siehe Quelle 17)
2. Wärmeabgabe des Fluids (Wasser) durch Temperaturänderung

1.	$P_V = \lambda \cdot L \cdot (T_m - T_E)$
2.	$P_V = Q \cdot c_{H_2O} \cdot (T_{in} - T_{out})$

Werden diese 2 Gleichungen zusammengefügt und ersetzt $T_m = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$ so findet man die Rohr-Austrittstemperatur T_{out} :

¹⁷ Quelle: Iso Plus Fernwärmetechnik, Rohre – Wärmeverlust Heizungsrohr (siehe CD-ROM, Ordner 03)

$$T_{out} = \frac{T_{in} \cdot \left(\frac{Q \cdot c_{H2O}}{\lambda \cdot L} - 0.5 \right) + T_E}{0.5 + \frac{Q \cdot c_{H2O}}{\lambda \cdot L}}$$

Daraus folgt für $Q = 1500 \text{ l/min}$:

L [m]	T _{in} [°C]	T _{out} [°C]	P _v [kW]
1000	55	54,90	10,23
1500	55	54,85	15,33
2000	55	54,80	20,43
2500	55	54,76	25,52
3000	55	54,71	30,61
3500	55	54,66	35,70
4000	55	54,61	40,77
4500	55	54,56	45,84
5000	55	54,51	50,91

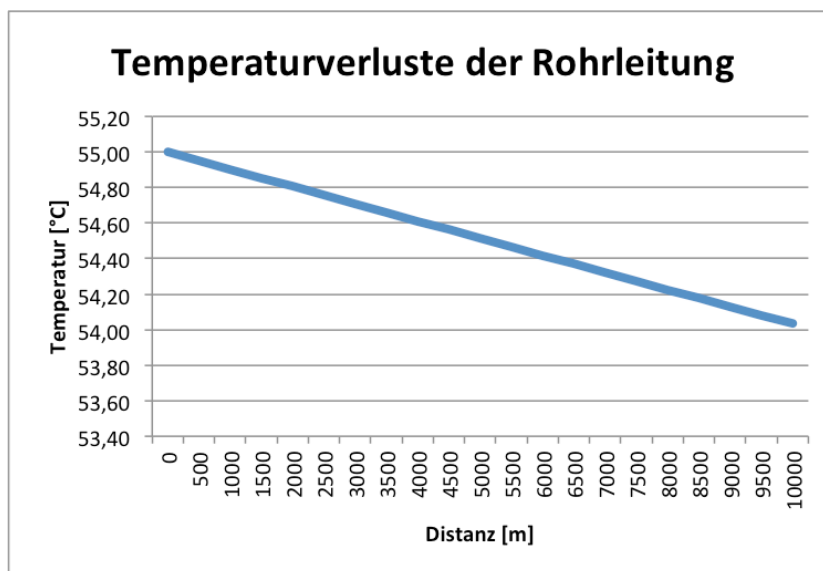


Abb. 26 - Temperaturverluste der Rohrleitung (Vorlauf) bei einem Durchfluss von 1500 l/min

Das Verhalten der Temperaturverluste ist bei konstantem Durchfluss sehr Linear. Die Verluste für den Vorlauf betragen **für 1500 l/min** in etwa **0.1°C/km** (entspricht einem Leistungsverlust von etwa **10.2 kW/km**) für den gewählten Rohrtyp.

Doch es gilt zu beachten, dass wenn der Durchfluss abnimmt die Temperaturverluste pro Kilometer zunehmen.

Rücklauf

Da für den Rücklauf ein niedrig legiertes Stahlrohr gewählt wurde, musste der Wärmedurchgangskoeffizient λ zuerst ermittelt werden. Das Erdreich ist eine zusätzliche Isolation welche in λ miteinbezogen werden muss.

Daher folgt die Berechnung¹⁸:

$$\lambda = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{d_e}{d_i}\right) + \frac{1}{2\lambda_s} \cdot \ln\left(\frac{4h}{d_e}\right)}$$

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 42 \frac{W}{mK}} \cdot \ln\left(\frac{129 \text{ mm}}{125 \text{ mm}}\right) + \frac{1}{2 \cdot 1.5 \frac{W}{mK}} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 1m}{129 \text{ mm}}\right)} = 0.8733 \frac{W}{mK}$$

Für das weitere Vorgehen wird gleich wie für den **Vorlauf** vorgegangen:

$$T_{out} = \frac{T_{in} \cdot \left(\frac{Q \cdot c_{H2O}}{\lambda \cdot L} - 0.5 \right) + T_E}{0.5 + \frac{Q \cdot c_{H2O}}{\lambda \cdot L}}$$

Daraus folgt für Q = 1500 l/min:

L [m]	Tin [°C]	Tout [°C]	Pv [kW]
500	55	54,81	19,61
1000	55	54,63	39,13
1500	55	54,44	58,58
2000	55	54,26	77,94
2500	55	54,07	97,23
3000	55	53,89	116,43
3500	55	53,70	135,56
4000	55	53,52	154,61
4500	55	53,34	173,58
5000	55	53,16	192,47

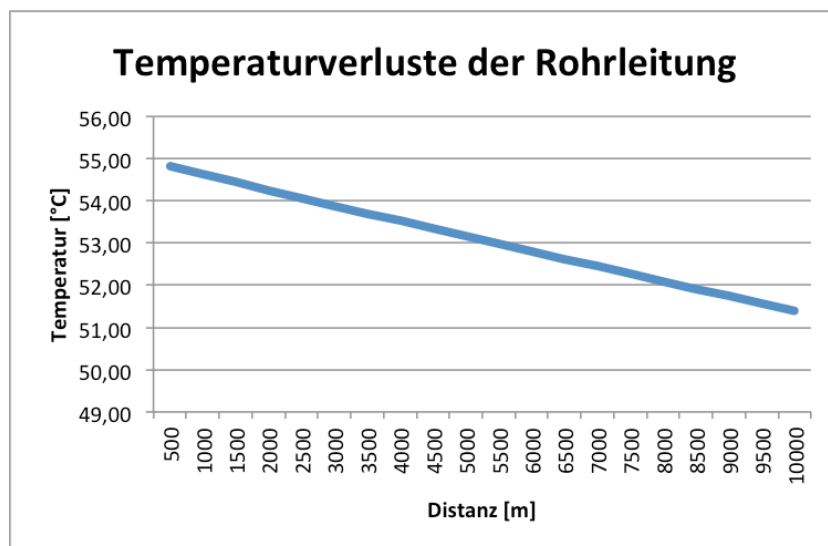


Abb. 27 - Temperaturverluste der Rohrleitung (Rücklauf) bei einem Durchfluss von 1500 l/min

¹⁸ Quelle: Génie Climatique, Recknagel, Sprenger, Schramek, S. 873 – Déperditions therm. des tuyaneries

Das Verhalten der Temperaturverluste ist auch hier bei konstantem Durchfluss sehr Linear. Die Verluste für den Vorlauf betragen **für 1500 l/min** in etwa **0.4°C/km** (entspricht einem Leistungsverlust von etwa **39.1 kW/km**) für den gewählten Rohrtyp.

Doch auch hier gilt es zu beachten, dass wenn der Durchfluss abnimmt die Temperaturverluste pro km zunehmen.

6.5.3 Wichtige Bemerkung¹⁹

Im Rahmen des Projekts wurde untersucht, ob es besser wäre den Rücklauf unisoliert zu verlegen. In unserem Fall wird das Temperaturmäßig nicht viel nützen. Die Idee war es, die Temperatur nach den Verbrauchern durch Leitungsverluste so stark zu sinken, dass es nicht mehr nötig wäre das Wasser mit den Kühltürmen von Alcan auf 30.5°C zu kühlen. Doch wie im vorgehenden Kapitel gezeigt wurde, ist der Temperaturabfall pro Kilometer für unisolierte Stahlrohre nicht drastisch grösser als für isolierte.

Der Vor- und Rücklauf wird normalerweise mit dem gleichen Rohrtyp (isoliert) verlegt. Der Grund ist einerseits die Korrosion und andererseits die Umweltverträglichkeit. Es ist Umweltschutzmäßig nicht erlaubt zu viel Wärmeverluste durch die Rohrleitung zu haben.

6.6 Kühlung: Kühltürme & Grundwasserregelung

Um das Rücklauf-Wasser auf die gewünschte Betriebstemperatur von 15°C zu bringen, wird es durch 2 getrennte Systeme gekühlt. Zuerst durch die Kühltürme von Alcan und danach durch die Grundwasserregelung.

6.6.1 Kühltürme

Zuerst fließt das Wasser durch die Primärseite des Wärmetauschers der Kühltürme. Sie gehören zur Firma Alcan. Es wurde von Novelis vorgegeben die 3 parallel geschalteten Kühltürme in das Fernwärmenetz einzubringen. Sie besitzen einen eigenen internen Zyklus, welcher an der Sekundärseite des Wärmetauschers angeschlossen ist. Die Kühltürme kühlen ihren Wasserdurchfluss mittels Luft.

Primärseitig kann das Wasser auf maximal 30.5°C abgekühlt werden, da die Eintrittstemperatur Sekundärseitig 30°C beträgt.²⁰

Der Zweck der Kühltürme ist es, das Wasser des Fernwärmenetzes von maximal 55 °C (ohne Verbraucher, ohne Leitungsverluste) auf 30.5°C abzukühlen. Dies hat den Vorteil, dass die Grundwasserregelung nun nicht mehr von 55°C auf 15°C, sondern nur noch von 30.5°C auf 15°C abkühlen muss. Mit diesem Verfahren kann 1238 l/min Grundwasser gespart werden (siehe **Kapitel 6.6.2 - Grundwasserregelung**).

Sollte die Eintrittstemperatur primärseitig des WT der Kühltürme weniger als 30.5°C so muss das installierte Bypass-Ventil geöffnet werden. Das Wasser fließt somit nicht mehr durch den WT und wird daher auch nicht aufgewärmt.

¹⁹ Quelle: <http://www.fernwaerme-schweiz.ch/db-fernwaerme/abfrage-planer/index.php> (5. Juli 2011)
Lier Energietechnik AG, Herr Martin Dönni

²⁰ Quelle: Wärmeaustausch Technologien AG, Hugo Broch

Schematische Darstellung des Kühlturmsystems

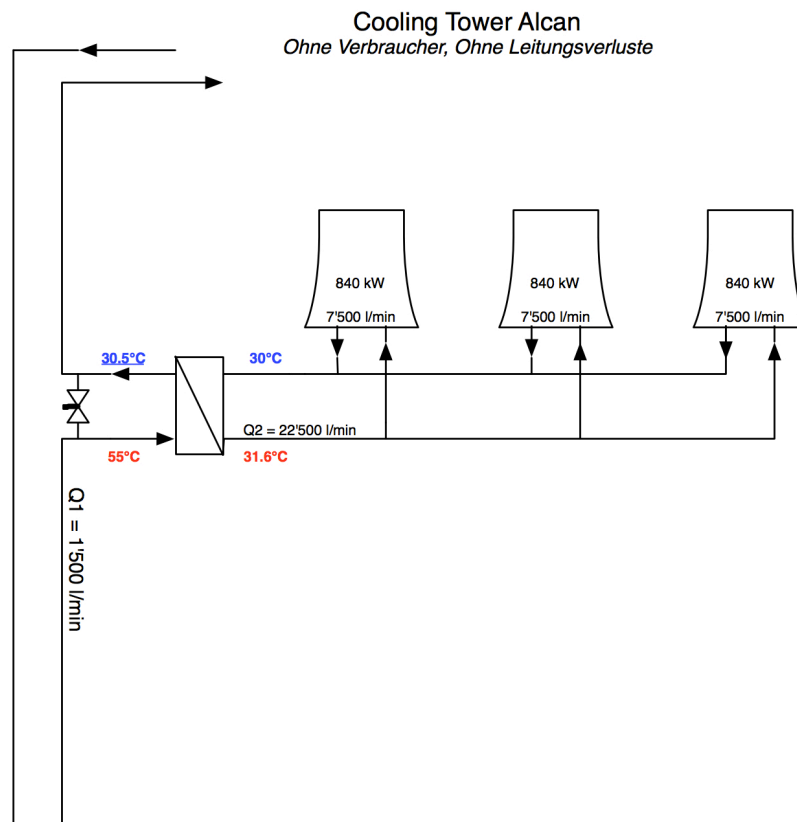


Abb. 28 - Schematische Darstellung der 3 Kühltürme

Berechnungen

Die Berechnungen sind auf der CD-ROM in der Exel-Datei **Kühlturm & Grundwasserregelung.xlsx** im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** zu finden.

Sie beruhen auf folgender Gleichung:

$$P = \frac{dm}{dt} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T$$

Nachteile:

- Das Fernwärmenetz muss bis zu den Kühltürmen gezogen werden. Die Kosten steigen.
- Der Wärmetauscher für die Kühltürme ist sehr groß, da sekundärseitig der Durchfluss 22'500 l/min beträgt. Daher ist der Wärmetauscher auch relativ teuer.

6.6.2 Grundwasserregelung

Um die Wassertemperatur von 30.5°C auf 15°C zu kühlen wird eine Grundwasserregelung gemacht.

Die Eintrittstemperatur sollte immer 30.5°C (dank den Kühltürmen) betragen. Sollte sie höher oder tiefer sein, wird der Grundwasserdurchfluss variiert.

Das gepumpte Grundwasser nimmt über den WT die Wärme des Warmwassers des Fernwärmenetzes auf und fließt mit einer maximalen Temperatur von 30°C in die Röhne.

Schematische Darstellung der Grundwasserregelung

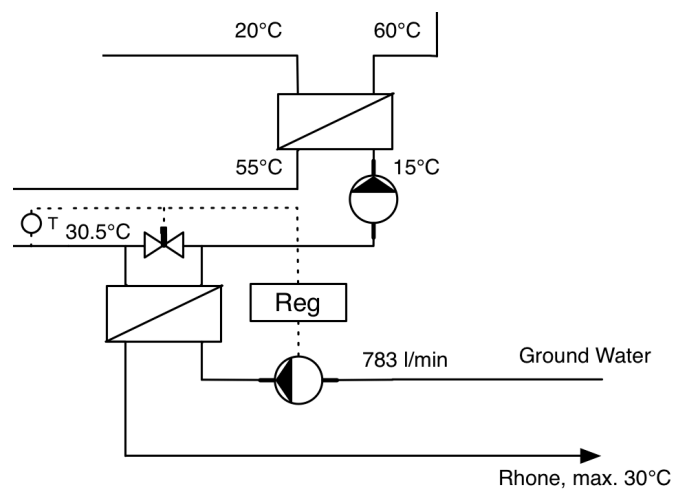


Abb. 30 - Schema Grundwasserregelung

Berechnungen

Die Berechnungen sind auf der CD-ROM in der Excel-Datei **Kühlturm & Grundwasserregelung.xlsx** im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** zu finden.

Sie beruhen auf folgender Gleichung:

$$P = \frac{dm}{dt} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T$$

Es wurde angenommen, dass das gesamte Wasser (1500 l/min) durch die Primärseite des WT fließt und das Bypass-Ventil somit geschlossen ist.

Tin,reg	30,50	°C
Tout,reg	15,00	°C
Q1	1500,00	l/min

Restliche zu evakuierende Leistung	1622,08	kW
------------------------------------	---------	----

Tin (Grundwasser)	13,00	°C
-------------------	-------	----

Tout (Rhône)	30,00	°C
--------------	-------	----

Wirkungsgrad Wärmetauscher	0,99	
----------------------------	------	--

Q2	782,91	l/min
----	--------	-------

6.7 Wahl der Wärmetauscher, Pumpen und Rohrleitungen

6.7.1 Wärmetauscher

Novelis-Siders

Primärseite:	Tin = 60°C Tout = 20 °C Q = 1500 l/min	Sekundärseite:	Tin = 15°C Tout = 55°C Q = 1500 l/min
--------------	--	----------------	---

Die Offerte mit den dazugehörigen Betriebsdaten des Wärmetauschers sind auf der CD-ROM im Ordner **Offerten Wärmetauscher** in der Datei **Wärmetauscher Novelis-Sierre.pdf** ersichtlich.

Kühltürme

Primärseite:	Tin = 55°C Tout = 30.5°C Q = 1500 l/min	Sekundärseite:	Tin = 30°C Tout = 31.5°C Q = 22'500 l/min
--------------	---	----------------	---

Die Offerte mit den dazugehörigen Betriebsdaten des Wärmetauschers sind auf der CD-ROM im Ordner **Offerten Wärmetauscher** in der Datei **Wärmetauscher Kühltürme.pdf** ersichtlich.

Grundwasserregelung

Primärseite:	Tin = 30.5°C Tout = 15°C Q = 1500 l/min	Sekundärseite:	Tin = 13°C Tout = 30°C Q = 780 l/min
--------------	---	----------------	--

Die Offerte mit den dazugehörigen Betriebsdaten des Wärmetauschers sind auf der CD-ROM im Ordner **Offerten Wärmetauscher** in der Datei **Wärmetauscher Grundwasserregelung.pdf** ersichtlich.

6.7.2 Pumpen²¹

Hauptpumpen vor dem WT Novelis-Siders (im Rücklauf)

3 parallel geschaltene Pumpen (1 Reserve)

Durchfluss 1500 l/min

Druckverluste Standardisiert (Die exakten Druckverluste konnten im Rahmen der Diplomarbeit nicht ermittelt werden. Die Druckverluste der WT auf der CD-ROM im Ordner **Offerten Wärmetauscher** zu finden.)

Eingangsleistung 3.5 MW

Betriebstemperatur 15°C

6.7.3 Rohrleitungen²¹

Die Rohrleitungen wurden mit Absprache von Herr Martin Dönni (Quelle 21) auf DN 125-Rohre festgelegt.

Vorlauf

Rohrtyp Stahl, DN125

Aussendurchmesser 129 mm

Innendurchmesser 125 mm

Isolationstyp 2 x Verstärkt

Wärmedurchgangskoeff. $\lambda = 0.2275 \text{ W/mK}$

Rücklauf

Rohrtyp Stahl, niedrig legiert, DN125

Aussendurchmesser 129 mm

Innendurchmesser 125 mm

Isolationstyp keine Isolation

Wärmedurchgangskoeff. $\lambda = 0.8733 \text{ W/mK}$ (Berechnung siehe **Kapitel 6.5.2**)

6.8 Die verschiedenen Temperaturniveaus und Durchflüsse

Um die verschiedenen Temperaturniveaus und Durchflüsse aufzuzeigen, wurde versucht so viele Verbraucher wie möglich am Fernwärmenetz anzuschließen.

Wie auf dem unten stehenden Schema zu erkennen ist, nimmt die Temperatur durch die Leitungsverluste im Vorlauf (rot) und im Rücklauf (blau) nur sehr gering ab. Die Versorgungstemperatur ist daher kein Problem. Das einzige Problem ist der Durchfluss. Dieser reicht nur für die Verbraucher:

- Technopôle
- Zone Sous Gare (250 Wohnungen)
- HES-SO
- City Siders (29 Wohnungen)

Damit der Durchfluss von 1500 l/min ausreicht, darf nie zur selben Zeit geheizt und Sanitärwasser (Warmwasser) aufbereitet werden! Der Wasserdurchfluss würde nicht mehr ausreichen!
Die Wasserdurchflüsse für die Wärmetauscher Primär-sowie Sekundärseitig sind identisch!

Auf dem folgenden Schema wurde angenommen, dass geheizt wird. Die Angaben entsprechen den Heizwerten. Die Durchflüsse sind beim Heizen grösser, da mehr Energie verbraucht wird. Funktioniert die Konsumierung mit dem Heizen, funktioniert sie auch mit der Warmwasseraufbereitung.

Im Monat Dezember wird am meisten geheizt (20 h pro Tag). Daher wurde dieser Monat als maximale Auslastung gewählt. Funktioniert dieser, sind die restlichen Monate kein Problem.

²¹ Quelle: <http://www.fernwaerme-schweiz.ch/db-fernwaerme/abfrage-planer/index.php> (5. Juli 2011)
Lier Energietechnik AG, Herr Martin Dönni

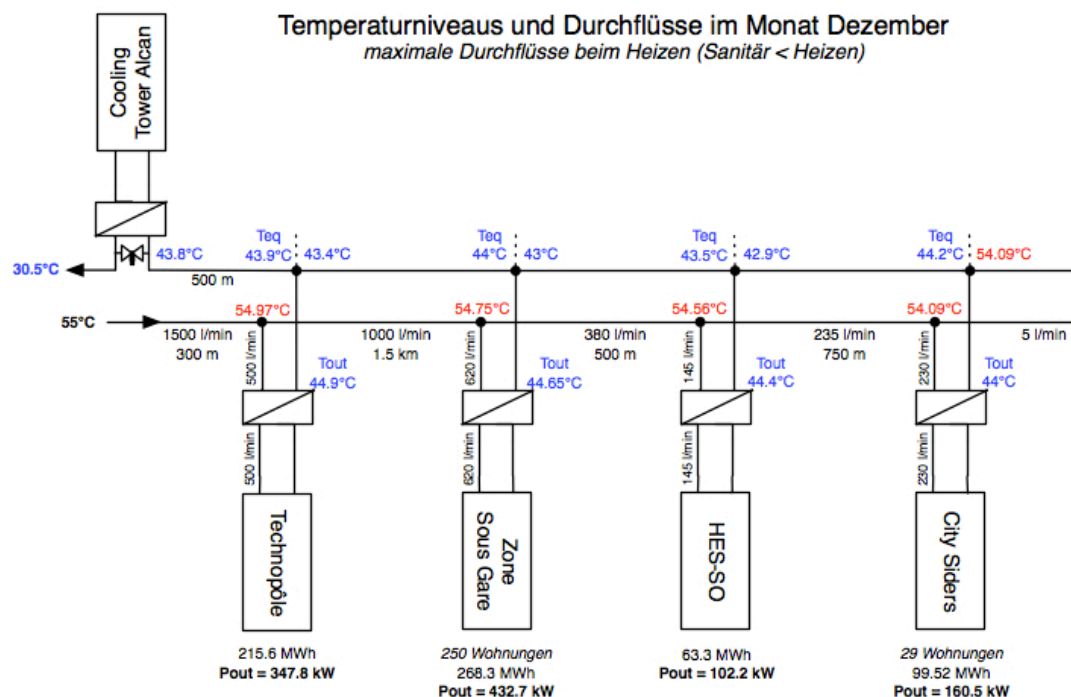


Abb. 31 - Temperaturniveaus und Durchflüsse im Monat Dezember

Berechnungen

Die Berechnungen für die verschiedenen Durchflüsse sind in der Excel-Datei **Durchflüsse.xlsx** im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** auf der CD-ROM ersichtlich.

Die Temperaturverluste wurden in Abhängigkeit der Durchflüsse mit dem Excel-File **Leitungsverluste Rohrleitung.xlsx** berechnet. Die Datei befindet sich im Ordner **02 Daten der Diplomarbeit** auf der CD-ROM.

Die Werte für den Energieverbrauch im Monat Dezember wurden dem **Kapitel 6.3 - Wärmeverbrauch: Siders** entnommen.

Für die Verbraucher wurde ein Wirkungsgrad der Wärmetauscher von 0.99 angenommen.

Technopôle			
Höchste monatl. Sanitärkonsum	0 kWh	(da nur Büros)	
Höchste monatl. Heizkonsum (Dezember)	215600,0 kWh		
Heizung			
Höchster monatl. Heizkonsum (Dezember)	215600,00 kWh	20 h pro Tag	
P	347,74 kW		
Tout	35,00 °C		
Tin	25,00 °C		
delta T	10,00 °C		
c	4186,00		
Qh	498,44 l/min		

In der Firma Technopôle sind fast nur Büros vorhanden. Daher wird der Warmwasserkonsum vernachlässigt.

Sous gare

Höchster monatl. Sanitärkonsum (31 Tage)	53080,0 kWh	67%
Höchster monatl. Heizkonsum (Dezember)	268280,0 kWh	33%

Sanitär (Warmwasser)

Höchster monatl. Sanitärkonsum (31 Tage)	53080,00 kWh	2 h pro Tag
--	--------------	-------------

P 856,13 kW

Tout 50,00 °C
Tin 10,00 °C
delta T 40,00 °C
c 4186,00

Qs 306,78 l/min

Heizung

Höchster monatl. Heizkonsum (Dezember)	268280,00 kWh	20 h pro Tag
--	---------------	--------------

P 432,71 kW

Tout 35,00 °C
Tin 25,00 °C
delta T 10,00 °C
c 4186,00

Qh 620,22 l/min

HES-SO

Energieverbrauch pro Jahr	300000 kWh	Alles Heizenergie, Sanitär = 0
---------------------------	------------	--------------------------------

Heizung

Monatl. Konsumierung	63330,00 kWh	20 h pro Tag
----------------------	--------------	--------------

P 102,15 kW

Tout 35,00 °C
Tin 25,00 °C
delta T 10,00 °C
c 4186,00

Qh 146,41 l/min

In der HES-SO sind fast nur Klassenzimmer vorhanden. Daher wird der Warmwasserkonsum vernachlässigt.

Siders

Höchste monatl. Sanitärkonsum (31 Tage) 9550,0 kWh
Höchste monatl. Heizkonsum (Dezember) 144870,0 kWh

Sanitär (Warmwasser)

Höchste monatl. Sanitärkonsum (31 Tage) 9550,00 kWh 2 h pro Tag

P 154,03 kW

Tout 50,00 °C
Tin 10,00 °C
delta T 40,00 °C
c 4186,00

Qs 55,20 l/min

Heizung

Höchste monatl. Heizkonsum (Dezember) 99520,00 kWh 20 h pro Tag

P 160,52 kW

Tout 35,00 °C
Tin 25,00 °C
delta T 10,00 °C
c 4186,00

Qh 230,08 l/min

Es wurde ausgerechnet, dass der Durchfluss genau reicht um 29 Wohnungen in der Stadt Siders zu heizen.

6.8.1 Heizung & Sanitär (Warmwasser)

Um den Heizvorgang und die Warmwasseraufbereitung besser verstehen zu können, wurden folgende Schemata erstellt:

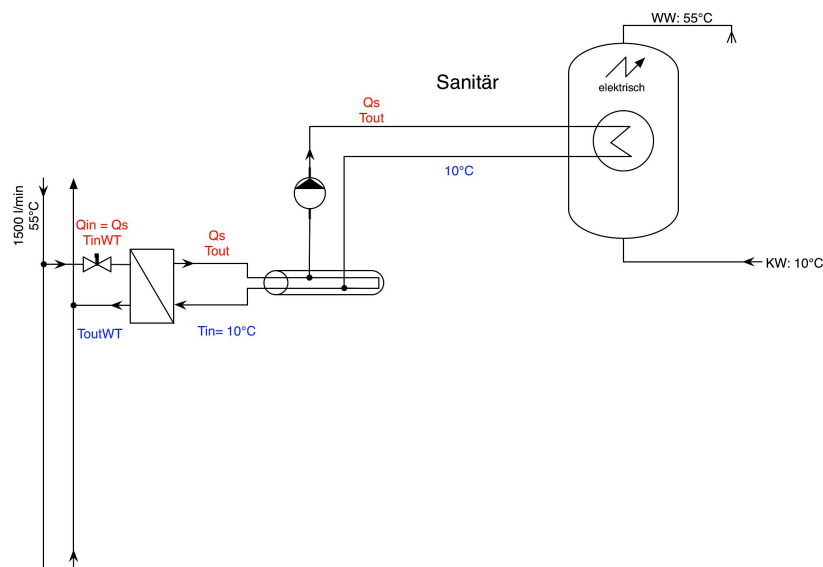


Abb. 32 - Schema der Warmwasseraufbereitung (Sanitär)

Das Warmwasser mit der Temperatur Tout, heizt das Boiler-Wasser von 10°C bis auf die Temperatur Tout. Um 55°C zu erreichen wird Notfalls elektrisch mit Heizstäben nachgeholfen. Das Wasser fließt mit etwa 10°C wider zurück und erwärmt sich wider auf die Temperatur Tout.

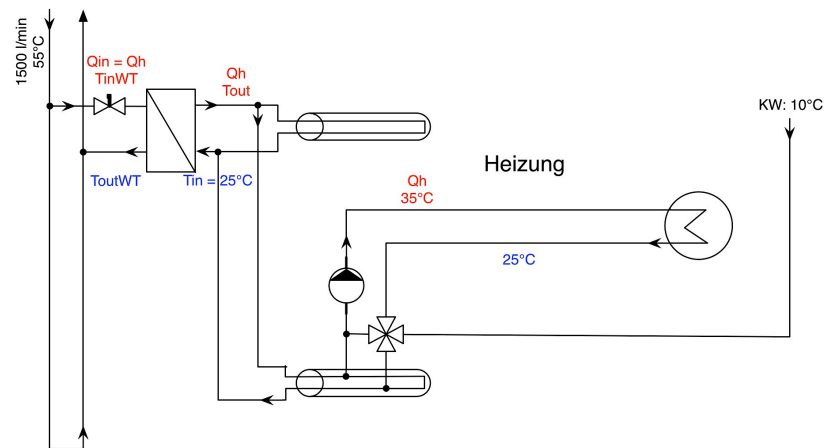


Abb. 33 - Schema Heizung

Das Warmwasser mit der Temperatur T_{out} wird mit Kaltwasser (KW) von $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ vermischt, so dass das Heizwasser $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ hat. Es fließt mit etwa $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ wider zurück in den WT und erwärmt sich aufs Neue.

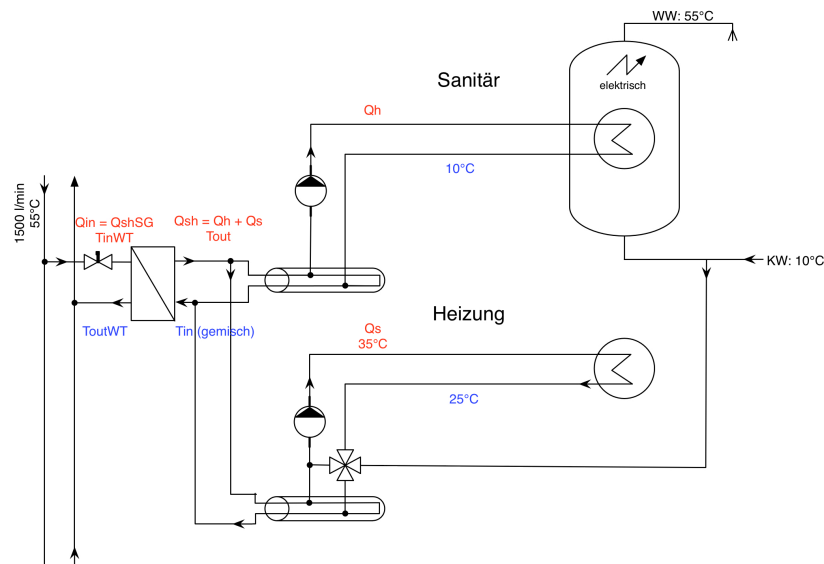


Abb. 34 - Schema Heizung + Warmwasseraufbereitung (Sanitär)

Nun werden beide Systeme kombiniert. Der Durchfluss Q_{sh} besteht nun aus den beiden Durchflüssen Q_s und Q_h . Daher muss Q_{in} auch grösser sein! Darum ist diese Variante nicht möglich.

6.9 Geografisches Schema

6.9.1 Realisierungstyp 1



Abb. 35 - Provisorisches geografisches Schema (Typ 1)

Das Geografische Schema aus Abb. 35 zeigt einen 1. Realisierungstyp wie ein Fernwärmenetz zwischen Siders und Novelis aussehen könnte.

Die Verbraucher sind:

Technopôle, Zone Sous gare (250 Wohnungen), HES-SO und City Siders (29 Wohnungen).

Der Energieverbrauch zu dieser Variante ist in Abb. 22 - Energiebilanz Produktion/Verbrauch (Typ 1), Vergleich, ersichtlich.

Die Temperaturniveaus für die maximale Auslastung sind in Abb. 31 - Temperaturniveaus und Durchflüsse im Monat Dezember, ersichtlich.

6.9.2 Realisierungstyp 2

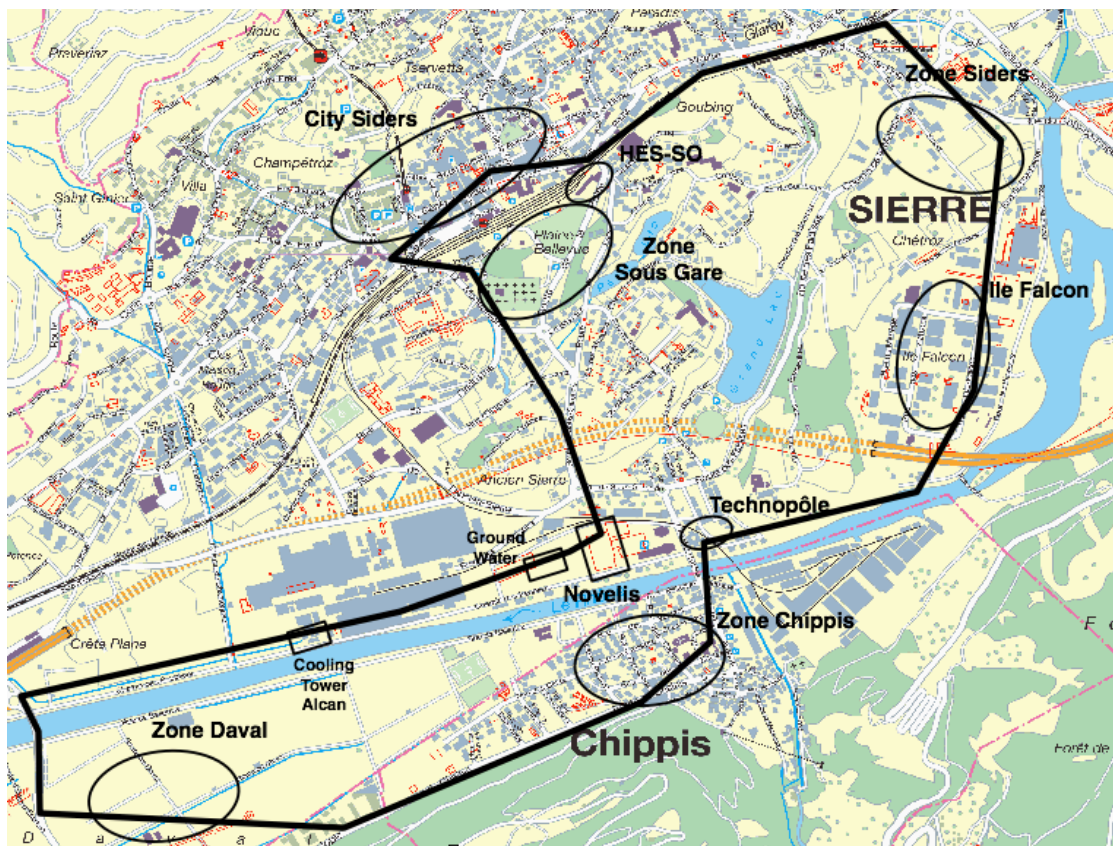


Abb. 36 - Vereinfachte Darstellung des geografischen Schemas (Typ 2)

Das Geografische Schema aus Abb. 36 zeigt einen 2. Realisierungstyp wie ein Fernwärmenetz zwischen Siders und Novelis in ferner Zukunft aussehen könnte. Es wurde nur ganz einfach dargestellt um zu zeigen, welche Verbraucher in Frage kommen könnten.

Die Verbraucher sind:

Technopôle, Zone Sous gare (250 Wohnungen), HES-SO und City Siders, Zone Siders, Ile Falcon, Zone Chippis und Zone Daval.

Dazu könnten auch noch ein offenes Schwimmbad und/oder eine Fischzucht kommen.

6.10 Realisierung

Etappe 1 Kühlzyklus anpassen

Es werden 4 Blöcke des Aluminiumtyps 6120 und neu 5 Blöcke des Aluminiumtyps 8810 hergestellt.

Etappe 2 Installationen Novelis

Die Leitungen werden gemäß Abb. 29 (geografisches Schema Abb. 35) verlegt. Der Wasserfilter für den Rücklauf in den *Supply Tank* wird installiert. Die Wärmetauscher zwischen Novelis-Siders, den Kühltürmen und der Grundwasserregelung, sowie die nötigen Bypass-Ventile werden platziert und angeschlossen.

Etappe 3 Kühltürme Alcan

Das System der Kühltürme wird auf das Fernwärmenetz angepasst:

Durchfluss: 22'500 l/min, Eintrittstemperatur: 30 °C

Etappe 4 Geschlossener Regelkreis

Novelis produziert nun im geschlossenen Regelkreis (siehe Abb. 29). Das erwärmte Kühlwasser fließt durch den Haupt-WT Novelis-Siders und gibt seine Wärme an den externen Zyklus mit Kühltürme und Grundwasserregelung ab. Es fließt dann durch den Filter zurück in den *Supply Tank*.

Etappe 5 Installationen Verbraucher (Typ 1)

Die Leitungen für die Verbraucher werden nun gemäß Abb. 35 verlegt. Die Wärmetauscher für die Verbraucher (Typ 1) werden platziert und angeschlossen.

Etappe 6 Betriebszyklus Fernwärmenetz (Realisierungstyp 1)

Novelis kühlt jetzt nicht mehr nur über die Kühltürme und die Grundwasserregelung, sondern zusätzlich über die angeschlossenen Verbraucher: Technopôle, Zone Sous gare (250 Wohnungen), HES-SO, City Siders (29 Wohnungen).

Etappe 7 Installationen Verbraucher (Typ 2)

Die Leitungen für die Verbraucher werden nun gemäß Abb. 36 (Achtung: Dies ist nur die vereinfachte Darstellung) verlegt. Die Wärmetauscher für die Verbraucher (Typ 2) werden platziert und angeschlossen.

Etappe 8 Betriebszyklus Fernwärmenetz (Realisierungstyp 2)

Zum Fernwärmenetz werden nun weitere Verbraucher zugeschaltet (siehe Abb. 36). Es handelt sich um die Verbraucher: Zone Siders, Ile Falcon, Zone Chippis und Zone Daval und vielleicht Schwimmbad und Fischzucht.

7 Budget

Die Kosten für das Fernwärmenetz wurden abgeschätzt:

- Die Angaben für die Wärmetauscher (Achtung: Ohne WT der Verbraucher!) sind exakt.
- ²²Die Kosten für die Rohrleitungen stimmen zwar für einen Meter für die bestimmte Verlegungsart, jedoch ist es relativ schwierig für mich abzuschätzen wie viele Meter durch Dorf oder Land verlegt werden müssen, oder für wie viele Meter der Graben für die Rohre schon vorhanden ist oder nicht. Daher kann der Gesamtpreis nur abgeschätzt werden.

Es wurde zudem angenommen, dass Vorlauf und Rücklauf mit dem selben Rohrtyp verlegt wurde (siehe **Kapitel 6.5.3 – Wichtige Bemerkung**)

- ²²Die Dimensionierungs-Angaben für die Pumpen konnten nur abgeschätzt werden. Die Kosten für die Grundwasserpumpe wurden nicht berechnet.

Für die Hauptpumpen vor dem Wärmetauscher Novelis-Siders wurden die Druckverluste von Herr Martin Dönni (Quelle 22) auf 5 km standardisiert, da es für mich zeitlich nicht möglich war, im Rahmen der Diplomarbeit, die Druckverluste der Leitungen zu berechnen. Die Druckverluste für die Wärmetauscher sind auf der CD-ROM im Ordner **Offerten Wärmetauscher**, ersichtlich.

	Beschreibung	Verlegungsart (VL+RL)			Distanz	Preis
		ohne Graben	mit Graben			
		Dorf	Dorf	Land		
Rohrleitung	DN125, 2xVerstärkt	720 Fr./m	1420 Fr./m	1050 Fr./m	ca. 5'000 m	
Gesamtpreis	Annahme: $\text{Preis}_{\text{AVG}} = (720 \text{ Fr./m} + 1420 \text{ Fr./m} + 1050 \text{ Fr./m}):3 = 1063 \text{ Fr./m}$					5'315'000 Fr.

Wärmetauscher	Beschreibung	Preis
Novelis-Siders	Plattentaucher GX-51M*265/3P DN 150 ss	27'000 Fr.
Kühltürme	Plattentaucher GX-85L*462/1P DN 300 ss	70'740 Fr.
Grundwasserregelung	Plattentaucher GC-54M*424/2P DN 150 ss	29'550 Fr.
Gesamtpreis		127'290 Fr

Pumpen	Beschreibung	Preis pro Pumpe	Anzahl Pumpen	Preis
Novelis-Siders	15°C, 1500 l/m, 5km, Druckverluste standardisiert	25'000 Fr	3	75'000 Fr.
Gesamtpreis				75'000 Fr.

Aus den oben stehenden Tabellen kann nun der Gesamtpreis (Ohne Wärmetauscher für die Verbraucher und ohne Grundwasserpumpe) ermittelt werden:

Rohrleitungen	5'315'000 Fr.
Wärmetauscher	127'290 Fr.
Pumpen	75'000 Fr.
5'517'290 Fr.	

²² Quelle: <http://www.fernwaerme-schweiz.ch/db-fernwaerme/abfrage-planer/index.php> (5. Juli 2011)
Lier Energietechnik AG, Herr Martin Dönni

8 Vor- und Nachteile des Fernwärmenetzes

8.1 Siders

Vorteile

- Fernwärme wird lokal hergestellt mit Energieträgern, die mehrheitlich stabile Marktpreise aufweisen.
- Das Anschluss- und Verteilsystem im Haus ist weitgehend wartungsfrei.
- Installationen für den Wärmeaustauscher im Haus benötigen einen geringen Platzbedarf und deshalb keinen separaten Raum.
- Keinen Aufwand für Brennerservice, Tankreinigung, Kaminfeger, Emissionsmessungen.
- Keine Beschaffung auf Vorrat, im Gegensatz zur Ölheizung.
- Schnelle und einfache Umstellung, ist an jedes Heizsystem anschließbar.
- Die Fernwärme ist eine saubere und benutzerfreundliche Energieversorgung.

Nachteile

- Die Verlegung der Rohrleitungen, sowie die Erstellung der Gräben sind Kosten- und Zeitaufwendig.

8.2 Novelis

Vorteile

- Eine Umweltfreundliche Produktion, im Sinne dass weniger Grundwasser gepumpt werden muss, ist gewährleistet.
- Die Produktionsenergie, welche durch das Kühlen der Aluminiumblöcke entsteht, geht nicht verloren.
- Einnahmen durch Energieverkauf

Nachteile

- Die Realisierung und Planung des Projekts ist aufwendig.
- Die Anpassungs- und Installationskosten für das bestehende System

9 Schlussfolgerung

Die Energiebilanzen wurden für die Aluminiumtypen 6120 und 8810 bestimmt. Diese Resultate wurden mit der von dem Wasser aufgenommenen Energie verglichen um sagen zu können, welcher Energieanteil verloren geht und somit nicht von Nutzen für das Fernwärmenetz ist.

Es wurden verschiedene Methoden für die Realisierung des Fernwärmesystems aufgezeigt. Für das endgültige Schema wurden diverse Berechnungen und Varianten der Fernwärmenutzer wie Wohngebiete oder Industriezonen aufgestellt.

Die produzierte, sowie konsumierte Energie des Fernwärmenetzes wurden auf einer Jahresbilanz aufgezeigt und verglichen.

Die Temperaturniveaus sowie die Rohrleitungsverluste für das Fernwärmenetz wurden berechnet. Dazu gehört auch die Dimensionierung der bekannten Wärmetauscher.

Es wurde ein geografisches Schema, welches die Platzierung der Wärmetauscher, Pumpen und Leitungen zeigt, erstellt.

10 Informatikverzeichnis


Auf der CD-ROM sind folgende Dateien vorhanden:

- 01 Bericht
 - Bericht.docx
 - Bericht.pdf
 - Titelblatt.pdf
 - Zusammenfassung.pdf
- 02 Daten der Diplomarbeit
 - Data - Alu 6120 8810_V1.xls
 - Data - Alu 8810 (Chillbar)_V2.xls
 - Durchflüsse.xlsx
 - Gelieferte Leistung Alu 6120 8810.xlsx
 - Jährliche Energiebilanz Produktion/Konsumation.xlsx
 - Jährliche Energiebilanz Sous gare.xlsx
 - Kühlturm & Grundwasserregelung.xlsx
 - Leistungsbilanz Alu & Wasser.xlsx
 - Leitungsverluste Rohrleitung.xlsx
- 03 Wissenschaftliche Informationen
 - Iso Plus Fernwärmetechnik - Rohre.pdf
 - Norm SIA 380/1.pdf
 - Norm SIA 2024.pdf
 - Schema Hydraulique Chaud-Froid (Technopôle).pdf
 - Valais degrés-jours.xls
- 04 Offerten Wärmetauscher
 - Wärmetauscher Grundwasserregelung.pdf
 - Wärmetauscher Kühltürme.pdf
 - Wärmetauscher Novelis-Sierre.pdf

11 Datum und Unterschrift

Datum: 11. Juli 2011

Unterschrift:


Walker Sandro

12 Anhang

12.1 Thermische Konvektion

12.1.1 Aufgabenbeispiel

Aufgabe 3.5: Berechnung eines Wärmeübergangskoeffizienten

Ein Körper mit der Oberfläche $A = 1 \text{ m}^2$ und der Temperatur $\vartheta_W = 30^\circ\text{C}$ wird mit Luft der Temperatur $\vartheta_F = 10^\circ\text{C}$ (Druck $p = 1 \text{ bar}$) angeströmt. Die Geschwindigkeit der Strömung beträgt in großer Entfernung vom Körper $w_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Für den Körper gilt folgende Wärmeübergangsbeziehung:

$$Nu = 0,664 \cdot \sqrt{Re} \cdot \sqrt[3]{Pr}$$

wobei die Stoffwerte bei $\vartheta_m = \frac{1}{2}(\vartheta_F + \vartheta_W)$ zu bestimmen sind. Die charakteristische Länge L beträgt 10 cm . Berechnen Sie den übertragenen Wärmestrom.

Lösung: Berechnung eines Wärmeübergangskoeffizienten

Stoffdaten der Luft bei $\vartheta_m = 20^\circ\text{C}$

$$\lambda = 0,02569 \frac{\text{W}}{\text{K m}} \quad \nu = 153,5 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr = 0,7148$$

Somit gilt:

$$Re = \frac{w_0 L}{\nu} = 32573 \quad \text{und} \quad Nu = 0,664 \cdot \sqrt{32573} \cdot \sqrt[3]{0,7148} = 107,15$$

Aus der Definition der Nußelt-Zahl folgt der Wärmeübergangskoeffizient α :

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} = 27,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Der übertragene Wärmestrom berechnet sich dann folgendermaßen:

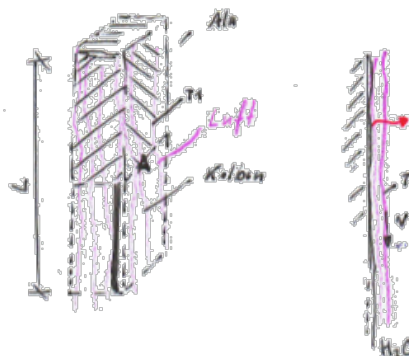
$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T = 550 \text{ W}$$

12.1.2 Berechnung für den Wärmeüberganskoeffizient h

Körper: $A = 90 \text{ m}^2$ $L = 6 \text{ m}$
 $T_1 = 50^\circ\text{C}$

Luft: $T_2 = 20^\circ\text{C}$ (1 bar)
 $v \approx 3 \dots 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$Nu = 0.664 \cdot \sqrt{Re} \cdot \sqrt[3]{Pr}$$



$$\lambda_L = 25.674 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad (\text{Wärmeleitfähigkeit}) \quad Pr_L = 0.74186 \quad (\text{Prandtl-Zahl})$$

$$\nu_L = 15.35 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (\text{kin. Viskosität})$$

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu_L} = 1.17 \cdot 10^5 \dots 1.95 \cdot 10^5$$

$$Nu = 0.664 \cdot \sqrt{Re} \cdot \sqrt[3]{Pr} = 642.7 \dots 828.74$$

Wärmeübergangskoeffizient:

$$h = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} = 2.75 \dots 3.55$$