

Zürich, 25. Februar 2013

B. Braun Medical AG, Werk Crissier Pinch-Analyse Schlussbericht

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Pinch Analyse	3
2. Wärmerückgewinnung innerhalb der einzelnen Prozesse	4
3. Direkte Wärmerückgewinnung zwischen mehreren Prozessen	5
4. Indirekte Wärmerückgewinnung durch Speicherung	10
5. Gesamthafte Einsparungen	13
Anhang	14

Zusammenfassung

Insgesamt können durch die vorgeschlagenen Massnahmen 4.6 GWh/a gespart werden. Davon entfallen 2.8 GWh/a auf die direkte Rückgewinnung und 1.8 GWh/a auf die indirekte Rückgewinnung. Die totale Einsparung entspricht ca. 25 % des bisherigen Dampfverbrauchs. Der durchschnittliche Payback über alle Massnahmen beträgt 2 Jahre.

In einem ersten Schritt wurde nach Wärmerückgewinnungspotential innerhalb der einzelnen Prozesse gesucht. Im zweiten Schritt wurden die Einsparmöglichkeiten der direkten Wärmerückgewinnung zwischen mehreren Prozessen analysiert und als dritter Schritt wurde die indirekte Wärmerückgewinnung durch Speicherung berücksichtigt. Aus diesen Schritten sind die im Folgenden beschriebenen Massnahmen entstanden.

Wärmerückgewinnung innerhalb einzelner Prozesse

Der grösste Teil dieser Art von Potential wird heute schon genutzt. Als zusätzlicher Wärmetauscher wird Nr. 10 vorgeschlagen, innerhalb des Prozesses "WFI Boucle 4".

Wärmerückgewinnung zwischen mehreren Prozessen

Für diese Analyse wurden nur quasi-kontinuierliche Prozesse berücksichtigt, also solche mit einer hohen Anzahl Volllaststunden. Damit wird sichergestellt, dass thermodynamisch sinnvolle Wärmetauscher, die mit der Pinch-Methode gefunden werden, auch wirtschaftlich betrieben werden können. Schlussendlich ergaben sich einerseits Wärmetauscher bei der Destillieranlage (Nr. 1 - 4), sowie andererseits bei der Dampfproduktion (Nr. 5 - 8).

Bei der Destillieranlage wird das Blowdown der Anlagen genutzt, um das RO Wasser vorzuwärmen (Nr. 1 und 3). Neu wird die Abkühlung des WFI Wasser nicht mehr durch Kühlwasser erreicht, sondern die Wärme wird ebenfalls zur Vorwärmung des RO Wasser benutzt (Nr. 2 und 4). Damit bleibt - im Gegensatz zur heutigen Situation - die gesamte Wärme im Kondensat ungenutzt, und steht für Massnahmen in der Dampfproduktion zur Verfügung. Dazu muss das Kondensat in einer eigenen Leitung zur Dampfproduktion geführt werden.

Dort wird ein erster Teil der Wärme an die Wasserzufuhr des Viessmann Kessels abgegeben, zwischen dem Entgaser und dem Economiser (Nr. 6). Derselbe Strom wird zudem auch durch das Abgas vorgewärmt. Dieser Wärmetauscher besteht bereits ("Condenseur"), wird nun jedoch in anderer Art genutzt. Diese beiden Wärmetauscher beeinflussen auch die Funktion des Economisers. Letzterer läuft nun bei etwas kleinerer Leistung auf einem höheren Temperaturniveau. Insgesamt wird durch die bisher beschriebenen Massnahmen in der Dampfproduktion letztlich die Eintrittstemperatur in den Dampfkessel erhöht.

Das Kondensat aus den Destillieranlagen wird weiter genutzt, um das Entgasergefäss auf die nötigen 105°C zu erwärmen. Dazu wird Wasser aus dem Entgaser über Wärmetauscher Nr. 5 zirkuliert. Die verbleibende Wärme im Kondensat wird schliesslich noch zur Vorwärmung des Speisewassers benutzt (Nr. 7). Das Speisewasser wird zudem noch mit der Wärme aus dem Abdampf des Entgasergefässes vorgewärmt (Nr. 8).

Indirekte Wärmerückgewinnung durch Speicherung

Eine indirekte Wärmerückgewinnung wird einerseits für Autoklave 8 vorgeschlagen. Dieser Sterilisationsprozess ist extrem energieintensiv und könnte durch eine Zwischenspeicherung von Wärme entlastet werden. Die sich über die Prozessdauer ändernden Temperaturen erfordern eine Speicherung auf mehreren unterschiedlichen Temperaturniveaus und eine temperaturgesteuerte Regelung der Massenströme über den Wärmetauscher

Nr. 9. Damit kann 60% der benötigten Heizenergie pro Zyklus durch Wärmerückgewinnung gedeckt werden.

Eine indirekte Rückgewinnung kann auch für den ECH Prozess genutzt werden. Dabei wird das Produkt nach dem ECH Prozess mit einer Temperatur von 85°C gespeichert, und die Wärme wird an das sogenannte Magic Water übertragen (Nr. 12). Ähnlich kann auch die Wärme für den Zufluss zum ECH Prozess durch gespeicherte Energie aus dem Prozess UF HES gedeckt werden (Nr. 11).

1. Pinch Analyse

1.1 Analyse der Ist-Situation

Eine Analyse aller kontinuierlichen Ströme mit der Pinch-Methode zeigt die beiden Grenzwerte in Bezug auf die Wärmerückgewinnung. Bei vollständiger Integration, also bei maximaler Wärmerückgewinnung, würde ein Hot-Utility Bedarf von 15.7 GWh/a verbleiben (siehe linkes Bild in Abbildung 1). Im anderen Extremfall, bei gar keiner Wärmerückgewinnung, würde ein Hot-Utility Bedarf von 27.3 GWh/a resultieren.

Zwischen diesen beiden Extremfällen lässt sich nun die Ist-Situation einordnen. Der Bedarf an Hot-Utility mit der jetzigen Wärmerückgewinnung, aber ohne weitere Massnahmen, beträgt ca. 19 GWh/a. Von der ursprünglich und insgesamt möglichen Wärmerückgewinnung werden rund 70% genutzt.

Mit Hilfe der Pinch-Analyse sollen nun Massnahmen gefunden werden, mit denen ein möglichst grosser Teil der verbleibenden 3.3 GWh ausgenutzt werden. Dabei gilt es jedoch festzuhalten, dass der Idealfall nur erreicht werden könnte, wenn auch die bestehende Wärmerückgewinnung unter Berücksichtigung des Gesamtsystems angepasst würde. Falls die bestehende Wärmerückgewinnung in der jetzigen Form beibehalten werden soll, lässt sich somit ein weiterer Zielwert bestimmen, nämlich der Idealfall unter Berücksichtigung der bestehenden Wärmerückgewinnung (siehe rechtes Bild in Abbildung 1). Für diesen Fall wird ein Hot-Utility Bedarf von 16.5 GWh pro Jahr berechnet.

Die maximale, zusätzliche Wärmerückgewinnung aus den kontinuierlichen Prozessen beträgt für den Standort Crissier zwischen 2.5 GWh/a (wenn die bestehende Wärmerückgewinnung unverändert bleibt) und 3.3 GWh/a (wenn die gesamte Wärmerückgewinnung angepasst wird).

In dieser Betrachtung bis hierhin nicht berücksichtigt ist das Rückgewinnungs-Potential, das mit Hilfe von Zwischenspeicherung bei Batch-Prozessen genutzt werden könnte. Auch hier kann ein idealer Zielwert ermittelt werden. Dieser Wert könnte allerdings nur erreicht werden, wenn jede Form von Energie beliebig lang auf einem beliebig hohen oder tiefen Temperaturniveau gespeichert werden könnte. Diese Betrachtung führt zu einem totalen Hot-Utility Einsparungs-Potential von 15.6 GWh/a. Das heisst also, dass sich im Vergleich zu den kontinuierlichen Prozessen noch eine Energie von ca. 4 GWh/a zusätzlich durch Wärmerückgewinnung mittels Speicherung einsparen liesse. Das Ausschöpfen dieses Potentials ist aber wegen den oben genannten Annahmen, die zur Berechnung dieses Idealfalls führen, sehr viel schwieriger als das Ausschöpfen des Potentials, das bei den kontinuierlichen Strömen vorhanden ist.

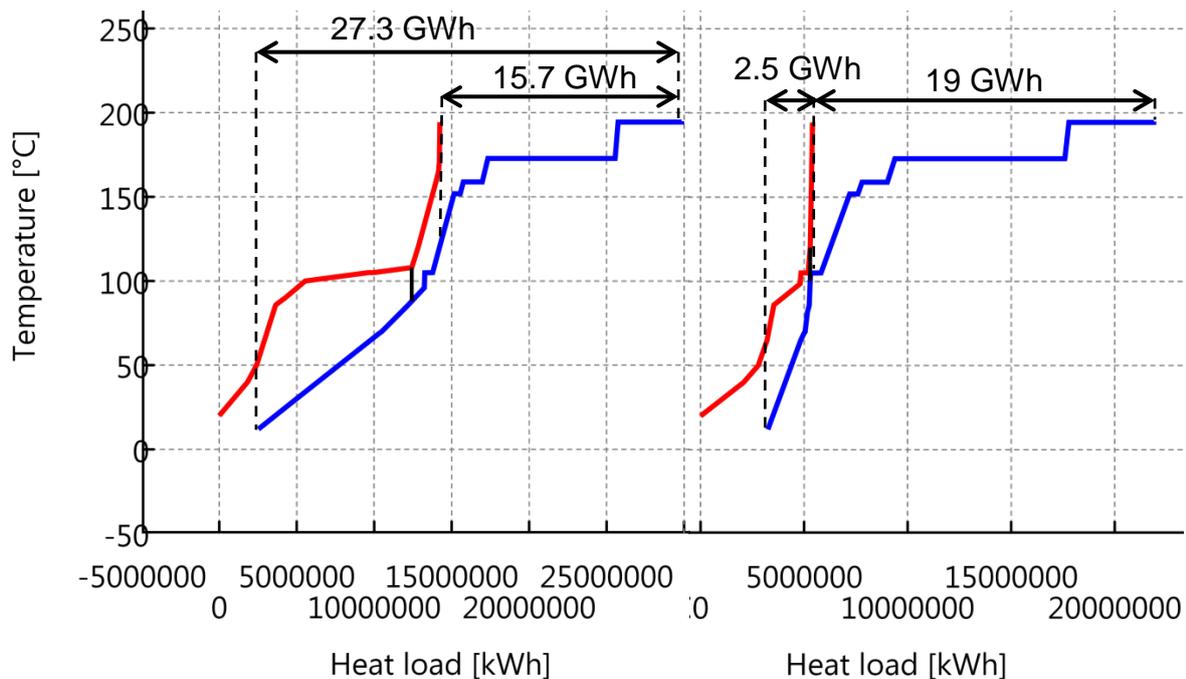


Abbildung 1: Gesamtverbundkurven aller kontinuierlichen Prozesse
 links: Idealfall, vollständige Integration rechts: übrigbleibende Ströme
 nach Abzug der bestehenden WRG

1.2 Grundlagen für die folgenden Berechnungen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Wärmetauscher stützen sich auf folgende Rahmenbedingungen:

- Es wurde mit einem Wärmepreis von 0.110 CHF/kWh gerechnet.
- Wärmetauscher wurden nur berücksichtigt, wenn sich in der Wirtschaftlichkeitsberechnung ein Payback von <4 Jahren ergab.
- Die Kosten wurden durch Offertanfragen der Hauptkomponenten (Wärmetauscher, Behälter), durch Ausmass von Leitungslängen auf den Grundrissplänen und anhand der Prinzipschemata geschätzt +/- 15%.
- Die Kosten beinhalten im Detail die Apparate, Leitungen inkl. Dämmung, Armaturen, Regel und Sicherheitsorgane sowie Schaltschränke inkl. SPS zur Automatisierung und die zugehörige Verdrahtung. Ebenso sind Kosten für Planung und Unvorhergesehenes eingerechnet.

Die Zusammenstellung der Kosten befindet sich im Anhang A.10.

2. Wärmerückgewinnung innerhalb der einzelnen Prozesse

In einem ersten Schritt wurde nach Wärmerückgewinnungspotential innerhalb der einzelnen Prozesse gesucht. Das grösste Potential dieser Art ist bei den Destillieranlagen vorhanden, wobei dies grösstenteils schon genutzt wird.

Es wird ein zusätzlicher Wärmetauscher innerhalb des Prozesses WFI Boucle 4 vorgeschlagen, wo noch ungenutztes Wärmerückgewinnungspotential besteht. Ein Wärmetauscher mit folgenden Kennzahlen kann installiert werden:

Nr.	Hot stream	Hot Tin	Hot Tout	Cold stream	Cold Tin	Cold Tout	heat exchanger costs	energy saving	net energy costs saving	Payback
		°C	°C		°C	°C	CHF	kWh/a	CHF/a	a
10	Hot WFI Loop BCL4_cool recipe	86.0	81.0	Hot WFI Loop BCL4_reheat return	65.0	76.0	53'000	124'226	13'665	3.9

Tabelle 1 Kennzahlen WFI Wärmetauscher

Der betreffende Strom WFI Boucle 4 ist ein Zirkulationsstrom, der aus dem WFI Tank fließt, die verschiedenen Reaktoren der PrepSol bei Bedarf speist, und anschliessend wieder zurück in den Tank fließt. Der Tank muss eine konstante Temperatur von 86°C aufweisen. Für die Reaktoren der PrepSol ist diese Temperatur allerdings zu hoch, weshalb eine vorgängige Kühlung nötig ist. Diese wird momentan im Wärmetauscher W840.1.1 mit Turmwasser erreicht. Der WFI Rückfluss von den Reaktoren ist in der Folge auf einem zu tiefen Temperaturniveau, um wieder in den 86°C heissen Tank zurückzufließen, deshalb ist eine entsprechende Aufwärmung nötig, momentan durch den Wärmetauscher W845.7.1. Wärmetauscher Nr. 10 verbindet diese beiden Vorgänge und kann dadurch den Energiebedarf für Abkühlen und Aufwärmen senken.

3. Direkte Wärmerückgewinnung zwischen mehreren Prozessen

In einem nächsten Schritt wurde das Rückgewinnungspotential zwischen verschiedenen Prozessen untersucht. Für diese Analyse wurden nur quasi-kontinuierliche Prozesse berücksichtigt, also solche mit einer hohen Anzahl Volllaststunden. Damit wird sichergestellt, dass thermodynamisch sinnvolle Wärmetauscher, die mit der Pinch-Methode gefunden werden, schlussendlich auch wirtschaftlich betrieben werden können.

Als quasi-kontinuierliche Prozesse gelten:

- Distilleuse A
- Distilleuse B
- ROW Prozesse¹
- Osmose Prozesse²
- Production de vapeur noire
- Production de vapeur blanche
- Station de neutralisation
- Air comprime

¹ Die Prozesse rund um das ROW Wasser, welche eigentlich auch als quasi-kontinuierlich eingestuft werden müssen, wurden schlussendlich für diese Analyse nicht berücksichtigt, da diese Ströme nach der geplanten Umsetzung des Projektes "Magic Water", nicht mehr wie bisher existieren werden.

² Bei den Osmose Strömen sind die Temperaturen nicht fix vorgegeben, es besteht ein gewisser Spielraum. Da die Massenströme relativ gross sind, handelt es sich um entsprechend grosse Energiemengen, die diesen Strömen zugegeben oder entnommen werden könnten. Das Temperaturniveau ist allerdings sehr tief (20°C), sodass es sich herausgestellt hat, dass eine sinnvolle Einbindung dieser Ströme in die Pinch-Analyse nicht möglich ist.

3.1 Resultate

Energieintensive Ströme, deren Temperaturniveau für eine Weiterverwendung genug hoch ist, sind hauptsächlich bei den beiden Destillieranlagen (Distilleuse A und Distilleuse B), sowie bei der Dampfproduktion vorhanden. Die vorgeschlagenen Wärmetauscher zur direkten WRG befinden sich deshalb in diesen zwei Bereichen.

Eine Zusammenstellung der Daten aller vorgeschlagenen Wärmetauscher findet sich in Anhang A.2, und Prinzipschemata dazu ab Anhang A.4. Neue Wärmetauscher sind darauf so gekennzeichnet: ①.

3.1.1 Distilleuse

Bei den beiden Destillieranlagen gibt es drei Hauptströme: Das RO Wasser, das in die Anlage fließt, muss vorgewärmt werden. Das WFI Wasser, das Produkt das aus der Anlage fließt, muss gekühlt werden bevor es in die Speichertanks geführt werden kann. Das Kondensat, das aus dem Dampf entsteht, der die Anlage mit Energie versorgt, muss gekühlt werden, bevor es schlussendlich in den Kondensatbehälter zurückfließt.

Damit diese Anforderungen erfüllt werden können und die Situation aus energetischer Sicht gleichzeitig verbessert werden kann, werden pro Destillieranlage zwei zusätzliche Wärmetauscher vorgeschlagen.

Wärmetauscher Nr. 1 und 3 übernehmen den ersten Schritt der Vorwärmung des RO Wassers, indem sie dem kontinuierlich anfallenden Blowdown Wärme entziehen. Das Blowdown fließt grundsätzlich mit einer nicht näher definierten Temperatur in den Abfluss, weshalb diesem Strom so viel Wärme wie möglich entzogen werden darf. Dies wird durch die Wärmetauscher Nr. 1 und 3 erreicht, da darin das RO Wasser mit der tiefst möglichen Temperatur verwendet wird, wodurch das Blowdown soweit wie möglich gekühlt werden kann.

Die Kühlung des WFI Wassers erfolgt bereits teilweise durch eine Wärmerückgewinnung. Um diese Kühlung vollständig durch Wärmerückgewinnung zu erreichen, werden die Wärmetauscher Nr. 2 und 4 vorgeschlagen. Dieser letzte Schritt der Kühlung des WFI Wassers kann auf der anderen Seite einen Teil der Vorwärmung des RO Wassers sicherstellen.

Dadurch ist eine Vorwärmung durch das Kondensat, wie es bisher ebenfalls gemacht wurde, nicht mehr nötig. Die gesamte Wärmeenergie im Kondensat bleibt also ungenutzt, und kann anderweitig verwendet werden. Diese Wärmeenergie ist besonders wertvoll, da es sich dabei um ein sehr hohes Temperaturniveau (165°C) handelt. Gemäss den Regeln der Thermodynamik und der Pinch-Analyse ist es vorteilhaft, die Wärme auf einem möglichst hohen Temperaturniveau wieder zu verwenden. Aufgrund dieser Argumentation wurde eine Erhöhung der Eintrittstemperatur des RO Wassers in die Destillieranlage (heute ca. 96°C) geprüft. Diese Erhöhung hätte durch einen Teil der Wärmeenergie des Kondensats erreicht werden können. Der Folgeaufwand eines solchen Eingriffs in den Betriebszustand der Destillieranlage wäre allerdings sehr hoch, weshalb diese Verwendung des Kondensats wieder verworfen wurde. Die Energie aus dem Kondensat soll deshalb in der Dampfproduktion eingesetzt werden, wo ebenfalls die Möglichkeit besteht, die Wärme auf einem hohen Temperaturniveau einzusetzen.

Verbesserungen im Vergleich zur heutigen Situation

- Die im Blowdown enthaltene Wärme wird genutzt und fließt nicht mehr in den Abfluss
- Die Kühlung des WFI Wassers erfolgt vollständig durch Wärmerückgewinnung, nicht mehr teilweise durch Kühlwasser

- Die hochtemperaturige Wärmeenergie des Kondensats kann besser genutzt werden, indem sie zukünftig auf einem höheren Temperaturniveau genutzt wird als heute

Änderungen im Vergleich zur heutigen Situation

- Die Wärmetauscher Nr. 1 bis 4 sind neu in Betrieb
- Der bisherige Wärmetauscher Kühlwasser/WFI Wasser (145 kW) ist nicht mehr in Betrieb
- Der bisherige Wärmetauscher Kondensat/RO Wasser (270 kW) ist nicht mehr in Betrieb
- Das Kondensat der Destillieranlagen darf nicht mehr in die allgemeine Kondensatrückleitung geführt werden. Damit das hohe Temperaturniveau erhalten bleibt, muss es in einer zusätzlichen, separaten Leitung zur Dampfproduktion geführt werden.

Nr.	Hot stream	Hot Tin	Hot Tout	Cold stream	Cold Tin	Cold Tout	heat exchanger costs	energy saving	net energy costs saving	Payback
		°C	°C		°C	°C				
1	Steris Cond&Subcool Blowdown	A 120.0	20.0	Steris A Pre-heat RO Water	12.0	17.0	24'000	251'911	25'257	1.0
2	Steris A Sub-cool WFI	100.0	86.0	Steris A Pre-heat RO Water	17.0	30.3	24'000	665'382	70'739	0.3
3	Steris Cond&Subcool Blowdown	B 120.0	20.0	Steris B Pre-heat RO Water	12.0	17.0	24'000	243'901	24'454	1.0
4	Steris B Sub-cool WFI	100.0	86.0	Steris B Pre-heat RO Water	17.0	30.3	24'000	644'224	68'490	0.4

Tabelle 2: Kennzahlen Wärmetauscher Distilleuse

3.1.2 Dampfproduktion

Wie oben erwähnt soll Wärmeenergie generell auf dem höchstmöglichen Temperaturniveau weiterverwendet werden. In der Dampfproduktion ergibt sich aus dieser Forderung, dass alle Kondensatrückflüsse (Rückfluss aus Destillieranlagen sowie aus allen weiteren Anlagen) nur noch auf 92°C gekühlt werden sollen. Diese Temperatur entspricht der Maximaltemperatur, die das Kondensat beim Eintritt in den Entgaser haben sollte, damit dessen Funktion gewährleistet werden kann. In der heutigen Situation wird das Kondensat zuerst bis auf ca. 50°C gekühlt, und danach vor und im Entgaser wieder auf das nötige Temperaturniveau erwärmt.

Weiter ergibt sich aus dieser Forderung, dass das 165°C Kondensat aus der Destillieranlagen zur Erhöhung der Wassertemperatur zwischen dem Entgaser und dem Eintritt in den Economiser verwendet werden soll. Dieses Wasser fließt momentan mit 105°C in den Economiser und anschliessend mit ca. 130°C in den Dampfkessel, wo es dann noch auf die Verdampfungstemperatur von 194°C erhitzt werden muss. Neben dem Kondensat ist auch im Abgasstrom des Dampfkessels noch Wärme auf einem hohen Temperaturniveau

veau verfügbar - und soll ebenfalls am diesem Ort verwendet werden. Der Wasserstrom zwischen Entgaser und Dampfkessel wird deshalb aufgeteilt: Ca. $\frac{3}{4}$ des Stroms werden im Wärmetauscher Nr. 6 durch das Kondensat erwärmt, und der andere Teil wird durch den Abgasstrom erwärmt. Für diesen zweiten Teil kann ein schon bestehender Wärmetauscher, der sogenannte "Condenseur" benutzt werden. Berechnungen zeigen, dass eine solche Umnutzung möglich ist (siehe Anhang A.9), und sich so die geforderten Temperaturen erreichen lassen. Der "Condenseur" wärmt momentan den Kondensatstrom zwischen Kondensatgefäß und Entgaser. Diese Erwärmung ist neu nicht mehr nötig, da allen Kondensatrückflüssen weniger Wärme entzogen wird. Die beiden Wärmetauscher zwischen Entgaser und Economiser beeinflussen den Betriebspunkt des Economisers. Dieser läuft nun bei etwas kleinerer Leistung auf einem höheren Temperaturniveau (Berechnungen dazu sind im Anhang A.8 aufgeführt). Letztlich wird durch die soeben beschriebenen Massnahmen in der Dampfproduktion die Wassertemperatur beim Eintritt in den Dampfkessel erhöht. Dies führt zu einem geringeren Erdgas- oder Ölverbrauch im Dampfkessel.

Das Kondensat aus den Destillieranlagen wird danach weiter genutzt, um das zum Viessmann Kessel gehörige Entgasergefäß mit Wärme zu versorgen. Um die Funktion des Entgasers zu gewährleisten, muss das Gefäß konstant auf eine Temperatur von 105°C erwärmt werden. Die dazu nötige Energie soll dem Entgaser via Wärmetauscher Nr. 5 zugebracht werden. Über diesen Wärmetauscher wird auf der einen Seite Wasser aus dem Entgaser zirkuliert, auf der anderen Seite fließt das Kondensat. Die verbleibende Wärme im Kondensat nach diesem Wärmetauscher wird schliesslich noch zur Vorwärmung des Speisewassers benutzt (Nr. 7). Dieser Wärmetauscher ist nach dem Speisewassergefäß ("Accumulateur") platziert, jedoch noch vor der Verzweigung, wo sich der Speisewasserfluss zum Entgaser des Viessmann Kessels und der Zufluss zum Entgaser des zweiten Kessels teilen.

Als weitere Abwärmequelle in der Dampfproduktion kann der Abdampf, der aus dem Viessmann Entgaser entweicht, zur Vorwärmung des Speisewassers genutzt werden. Da der kondensierte Dampf schlussendlich in den Abfluss fließen wird, kann daraus so viel Wärme wie möglich entzogen werden. Dies geschieht im Wärmetauscher Nr. 8, wo das frische Speisewasser mit 12°C noch vor dem Eintritt in den "Accumulateur" vorgewärmt wird.

Verbesserungen im Vergleich zur heutigen Situation

- Verwendung der vorhandenen Energie auf höheren Temperaturniveaus als bisher
- Verminderung des fossilen Energiebedarfs des Viessmann Kessels
- Das Speisewasser wird auf eine höhere Temperatur vorgeheizt als bisher
- Die Abwärme aus dem Entgaser wird nun genutzt
- Der Entgaser wird neu mit Abwärme, nicht mehr durch Frischdampf beheizt

Änderungen im Vergleich zur heutigen Situation

- Die Wärmetauscher Nr. 5 bis 8 sind neu in Betrieb
- Im Wärmetauscher "Condenseur" wird ein anderer Strom als bisher geheizt
- Der Betriebspunkt des Economisers wird leicht verändert
- Der Entgaser wird neu durch einen Zirkulationsstrom geheizt, nicht mehr indem Dampf direkt ins Gefäß gebracht wird
- Es fließt weniger Wärme vom Kondensatrücklauf in den Heizungskreislauf

3.2 Einfluss auf die bisherige Wärmerückgewinnung

Zur korrekten Berechnung der Einsparung und des Paybacks dürfen nur diejenigen Wirkungen berücksichtigt werden, welche im Vergleich zur heutigen Situation durch die vorgeschlagenen Massnahmen zusätzlich wirken werden.

Um in diesem Sinne exakte Resultate zu erhalten, werden in der Gesamtbilanz (siehe Anhang A.2) zwei negative Wirkungen eingetragen, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

3.2.1 Vorwärmung des Speisewassers

Das Speisewasser wurde bisher von 12°C bis ca. 80°C durch Wärmerückgewinnung vorgewärmt. Neu wird es von 12°C bis 92°C vorgewärmt. Durch den Abzug von 558'000 kWh wird gewährleistet, dass die bisher vorhandene Wärmerückgewinnung beim Speisewasser in der Bilanz nicht doppelt gezählt wird.

3.2.2 Heizung

Der allgemeine Kondensatrückfluss wird neu nur noch auf 92°C abgekühlt, es bleibt also weniger Wärme übrig, die ins Heizungsnetz fliessen kann. Der Abzug von 406'000 kWh entspricht der Differenz zwischen der neuen und der bisherigen Rückgewinnung aus dem Kondensat.

Abschätzung der bisherigen Wärmerückgewinnung ins Heizungsnetz³:

Heizölbedarf vor WRG:		200'000	l/a
Heizölbedarf mit WRG:		50'000	l/a
Energie durch WRG:	ca.	1'500'000	kWh/a
WRG Anteil Druckluft:	2/3	1'000'000	kWh/a
WRG Anteil Kondensat:	1/3	500'000	kWh/a

³ Gemäss Angaben von Herrn Zaugg

Nr.	Hot stream	Hot Tin	Hot Tout	Cold stream	Cold Tin	Cold Tout	heat exchanger costs	energy saving	net energy costs saving	Payback	
											°C
5	Steris Condensate	Cool	118.8	105.0	SteamProd heating deaeration	104.9	105.0	41'750	232'860	20'893	2.0
6	Steris Condensate	Cool	165.0	118.8	SteamProd Heat before Viessmann	105.0	163.9	41'750	776'959	80'817	0.5
7	Steris Condensate	Cool	105.0	92.0	SteamProd MakeUpWater heating	58.7	91.9	41'750	218'781	19'360	2.2
8	Steam Abdampfgaser	Prod Ent-	105.0	20.0	SteamProd MakeUpWater heating	12.0	37.2	41'750	236'131	24'068	1.7

Tabelle 3: Kennzahlen Wärmetauscher Dampfproduktion

3.3 Wärmetauscher-Kosten

Die Kosten für die vorgeschlagenen Massnahmen zur direkten Wärmerückgewinnung wurden nicht pro Wärmetauscher geschätzt, sondern für die "Gesamtmassnahme Distilleuse" und die "Gesamtmassnahme Dampfproduktion". Die Beträge wurden in Tabelle 3 sodann auf die jeweils 4 einzelnen Wärmetauscher aufgeteilt. Dieses Vorgehen macht Sinn, da durch die kaskadierte Wärmenutzung das Wärmetauschernetzwerk als Ganzes funktioniert und eine Veränderung des Netzwerkes wiederum eine Veränderung der Einsparungen und Auslegungen der Wärmetauscher nach sich zieht.

4. Indirekte Wärmerückgewinnung durch Speicherung

4.1 Autoklave 8

Beim Sterilisationsprozess in den Autoklaven wird zeitversetzt geheizt und gekühlt. Eine allfällige Wärmerückgewinnung muss deshalb indirekt über einen Speicher erfolgen. Am besten geeignet für diese Art von Wärmerückgewinnung ist Autoklav Nr. 8. Der grosse Energieverbrauch dieser Anlage bietet genug Potential für eine wirtschaftliche Massnahme. Zudem erfolgt bei dieser Anlage das Heizen und Kühlen indirekt über Wärmetauscher (und nicht durch direktes Einspritzen von Dampf oder Kühlwasser, wie bei anderen Autoklaven). Es existiert also ein Zirkulationskreislauf, in den Wärme eingebracht oder von dem Wärme entnommen werden kann.

Eine wesentliche Schwierigkeit bei der Umsetzung der indirekten Wärmerückgewinnung besteht in diesem Fall aus den sich während dem Prozess ändernden Temperaturen. Die rückgewonnene Wärme kann nicht auf einem einheitlichen Temperaturniveau gespeichert werden. Deshalb werden mehrere Speicherbehälter verwendet, wobei in jedem ein bestimmtes Temperaturniveau festgelegt ist. So gibt es 6 Speicher mit Temperaturen von 45°C bis 95°C.

Detaillierte Berechnungen zur WRG bei Autoklave Nr. 8 sind im Anhang A.7 aufgeführt.

Grundsätzliche Funktion der Rückgewinnung

Das Prinzipschema für diese Anlage ist in Anhang A.5 abgebildet. Wasser aus dem Speicher fließt über Wärmetauscher Nr. 9 und kühlt oder wärmt dabei den Zirkulationsstrom aus Autoklave 8. Dadurch wird das Wasser selber erwärmt oder gekühlt und fließt in den Speicher mit der entsprechenden Temperatur zurück (nicht derselbe Speicher, aus dem das Wasser entnommen wurde).

Damit sich das Wasser immer um genau 10°C erwärmt oder abkühlt, werden die beiden Massenströme über Tauscher Nr. 9 geregelt.

Der Prozess kann zyklisch betrieben werden, da der Pegelstand und die Temperatur nach einer Aufwärm- und Abkühlphase wieder im Ausgangszustand sind.

Abkühlen des Autoklaven

Das heiße Wasser aus dem Autoklaven wird gekühlt, indem das Wasser aus dem 85°C Speicher auf 95°C angehoben und in den entsprechenden Tank gefüllt wird. Danach wird das 75°C Wasser auf 85°C angehoben, usw. Die Abkühlung von 65°C auf 40°C muss wie bis anhin mit Kühlwasser und dem bestehenden Wärmetauscher gemacht werden.

Aufwärmen des Autoklaven

Zuerst wird das Wasser aus dem Autoklaven gewärmt, indem dem 55°C Wasser aus dem Zwischenspeicher Wärme entzogen und dies somit auf 45°C abgekühlt wird. Danach wird gespeichertes Wasser des Speichers mit der nächsthöheren Temperatur verwendet, usw. Die Erhitzung des Autoklaven von 80°C auf 110°C muss wie bis anhin mit Dampf über den bestehenden Wärmetauscher gemacht werden.

Regelung Massenströme

Eine Regelung der Massenströme über Wärmetauscher Nr. 9 ist nötig, damit das Speicherwasser immer um genau 10°C erwärmt oder gekühlt wird, und somit ohne zusätzliches Nachheizen oder Nachkühlen in den Speichertank mit dem entsprechenden Temperaturniveau gefüllt werden kann. Die Grösse, die sich verändert und eine Regelung nötig macht, ist die Temperatur im Autoklaven, die laufend steigt oder sinkt.

Die Massenströme werden so geregelt, dass die Speicherwassertemperatur nach Wärmetauscher Nr. 9 dem gewünschten Wert entspricht.

Beispiel: Aufwärmphase des Autoklaven von 50°C auf 60°C

Diese Phase der Erwärmung wird mit 75°C Wasser aus dem Speichertank erreicht (konstante Temperatur), das auf die ebenfalls konstante Temperatur von 65°C gekühlt werden soll. Auf der Gegenseite strömt zuerst 50°C Wasser aus dem Autoklaven, sodass sich ein $\log \Delta T$ von 15°C ergibt. Daraus folgt, dass die Zirkulationsmenge maximal 257 m³/h betragen darf. Durch die sich laufend erhöhende Temperatur im Autoklaven strömt immer wärmeres Wasser über die Gegenseite des Wärmetauschers, sodass sich das $\log \Delta T$ laufend verkleinert. Die Leistung im Wärmetauscher nimmt dadurch ab, und um die konstante Austrittstemperatur von 65°C des Speicherwassers zu halten, muss der Zirkulationsstrom laufend vermindert werden, bis auf minimal 85 m³/h am Ende dieser Aufwärmphase, wenn das $\log \Delta T$ auf 5°C gesunken ist ($\log \Delta T$ und der Zirkulationsstrom verändern sich also parallel um einen Faktor 3 während dieser Aufwärmphase).

Regelung Ventile zu Tanks

Die Ein- und Austrittsventile der einzelnen Speichertanks werden abhängig von gemessenen Temperaturen geöffnet und geschlossen.

Für die Austrittsventile ist die Temperatur des Zirkulationsstroms beim Austritt aus dem Autoklaven massgebend. Zudem muss bekannt sein, ob es sich derzeit um einen Aufwärm- oder Abkühlvorgang handelt.

Die Eintrittsventile werden abhängig von der Speicherwassertemperatur nach Wärmetauscher Nr. 9 geöffnet oder geschlossen.

Abschätzung Wärmerückgewinnungspotential

Mit dem oben beschriebenen System lassen sich 60% des benötigten Heizwärmebedarfs von 1'080 kWh pro Zyklus durch WRG decken. Dieser Anteil ist beschränkt - einerseits da die Speicherwassertemperatur auf max. 100°C limitiert ist, damit die Speicherung bei Atmosphärendruck ohne Verdampfungsvorgänge möglich ist, und andererseits durch die vorgegebenen Temperaturniveaus im Autoklaven.

Die erste Limitierung führt dazu, dass der letzte Teil der Aufwärmphase immer noch mit Dampf erreicht werden muss. Die zweite Limitierung entsteht dadurch, dass Wärme immer nur von höheren zu tieferen Temperaturniveaus fliesst. Das tiefste Temperaturniveau, dem Wärme entzogen wird, muss also immer noch höher sein als das tiefste Temperaturniveau dem diese Wärme wieder zugegeben wird. Das führt dazu, dass der letzte Teil der Abkühlphase mit Kühlwasser erreicht werden muss, da das Temperaturniveau der in dieser Phase entzogenen Wärme zu tief für eine spätere Wiederverwendung ist.

Kennzahlen Wärmetauscher/Massnahme Nr. 9

Nr.	Hot stream	Hot Tin	Hot Tout	Cold stream	Cold Tin	Cold Tout	heat exchanger costs	energy saving	net energy costs saving	Payback
		°C	°C		°C	°C	CHF	kWh/a	CHF/a	a
9	Speicherwasser	75	65	Zirkulation Autoklave	55	65	438'000	1'061'420	116'756	3.8

Tabelle 4: Kennzahlen Wärmetauscher Autoklave 8

4.2 ECH Prozess

Diese Massnahme wird auf Wunsch von B.Braun aufgeführt. Es handelt sich um ein geplantes Projekt, das sogenannte "Magic Water", das in der näheren Zukunft umgesetzt werden soll. Die Details dazu sind jedoch noch nicht bekannt.

Der ECH Prozess ist ein Batch Prozess, bei dem pro Zyklus eine Wassermenge von ca. 60 m³ einem chemischen Prozess unterzogen wird. Diese Wassermenge muss zu Beginn des Prozesses auf die nötige Temperatur von 86°C erwärmt werden. Nachdem Prozess fließt das Produkt schlussendlich in den Abfluss, es darf also beliebig viel Wärme entzogen werden.

Massnahme Nr. 11

Die Wärmemenge zum Aufheizen der Wassermenge zu Beginn des ECH Prozesses könnte grösstenteils durch eine indirekte Wärmerückgewinnung zur Verfügung gestellt werden. Als Wärmequelle soll der Prozess UF HES genutzt werden. Für diesen Prozess wird die WFI Boucle 2 gekühlt, wobei die entzogene Wärmemenge nun gespeichert und später zum Aufheizen beim ECH Prozess genutzt werden soll.

Massnahme Nr. 12

Das geplante "Magic Water" muss geheizt werden. Ein Teil der dafür benötigten Energie kann durch das ECH Wasser zur Verfügung gestellt werden. Um dies zu erreichen, soll das 85°C heisse Produkt nach dem ECH Prozess aus den zwei bestehenden 30 m³ Tanks nicht direkt in die Neutralisation, sondern über den Wärmetauscher Nr. 12 geführt werden, und damit Wärmeenergie an das Magic Water abgeben.

Nr.	Hot stream	Hot Tin	Hot Tout	Cold stream	Cold Tin	Cold Tout	heat exchanger costs	energy saving	net energy costs saving	Payback
		°C	°C		°C	°C	CHF	kWh/a	CHF/a	a
11	UF, HES	-	-	ECH	62.0	86.0	80'000	210'924	23'202	3.4
12	ECH	85.0	45	"Magic Water"	-	-	113'000	488'160	53'698	2.1

Tabelle 5: Kennzahlen Wärmetauscher ECH Prozess

5. Gesamthafte Einsparungen

Wenn alle vorgeschlagenen Massnahmen umgesetzt werden, können insgesamt bis zu 4.6 GWh/a zusätzlich gespart werden. Davon entfallen 2.8 GWh/a auf die direkte Rückgewinnung bei den Destillationsanlagen und bei der Dampfproduktion, sowie 1.8 GWh/a auf die Massnahmen mit indirekter Rückgewinnung durch Speicherung.

In Kapitel 1.1 wurde dargelegt, dass die maximale, zusätzliche Wärmerückgewinnung aus den kontinuierlichen Prozessen für den Standort Crissier zwischen 2.5 GWh/a (wenn die bestehende Wärmerückgewinnung unverändert bleibt) und 3.3 GWh/a (wenn die gesamte Wärmerückgewinnung angepasst wird) liegen muss. Die mit den vorgeschlagenen Massnahmen möglichen 2.8 GWh/a liegen also zwischen diesen Werten. Dieser Wert liegt also nahe am Optimum, wenn nicht die gesamte bestehende Rückgewinnung verändert werden soll. Dass der Wert über 2.5 GWh/a liegt ist möglich, da ein Teil der bestehenden Wärmerückgewinnung verändert und verbessert wird, insbesondere indem das Kondensat aus den Destillationsanlagen auf einem viel höheren Temperaturniveau verwendet wird.

Ebenfalls in Kapitel 1.1 wurde gezeigt, dass sich durch Speicherung noch eine maximale Einsparung von 4 GWh ergeben könnte, aber dass dieser Wert viel schwieriger zu erreichen ist als die Einsparung bei den kontinuierlichen Strömen, da dafür jede Form von Energie beliebig lang auf einem beliebig hohen oder tiefen Temperaturniveau gespeichert werden müsste. Dies zeigt sich dadurch, dass mit den vorgeschlagenen Massnahmen dieser Art zwar immerhin ca. 1.8 GWh/a Einsparung möglich wären, dass aber gleichzeitig der Payback bei diesen Massnahmen schlechter ist als bei den Massnahmen mit direkter Wärmerückgewinnung.

Die total mögliche Einsparung von 4.6 GWh entspricht ca. 25 % des bisherigen Dampfverbrauchs.

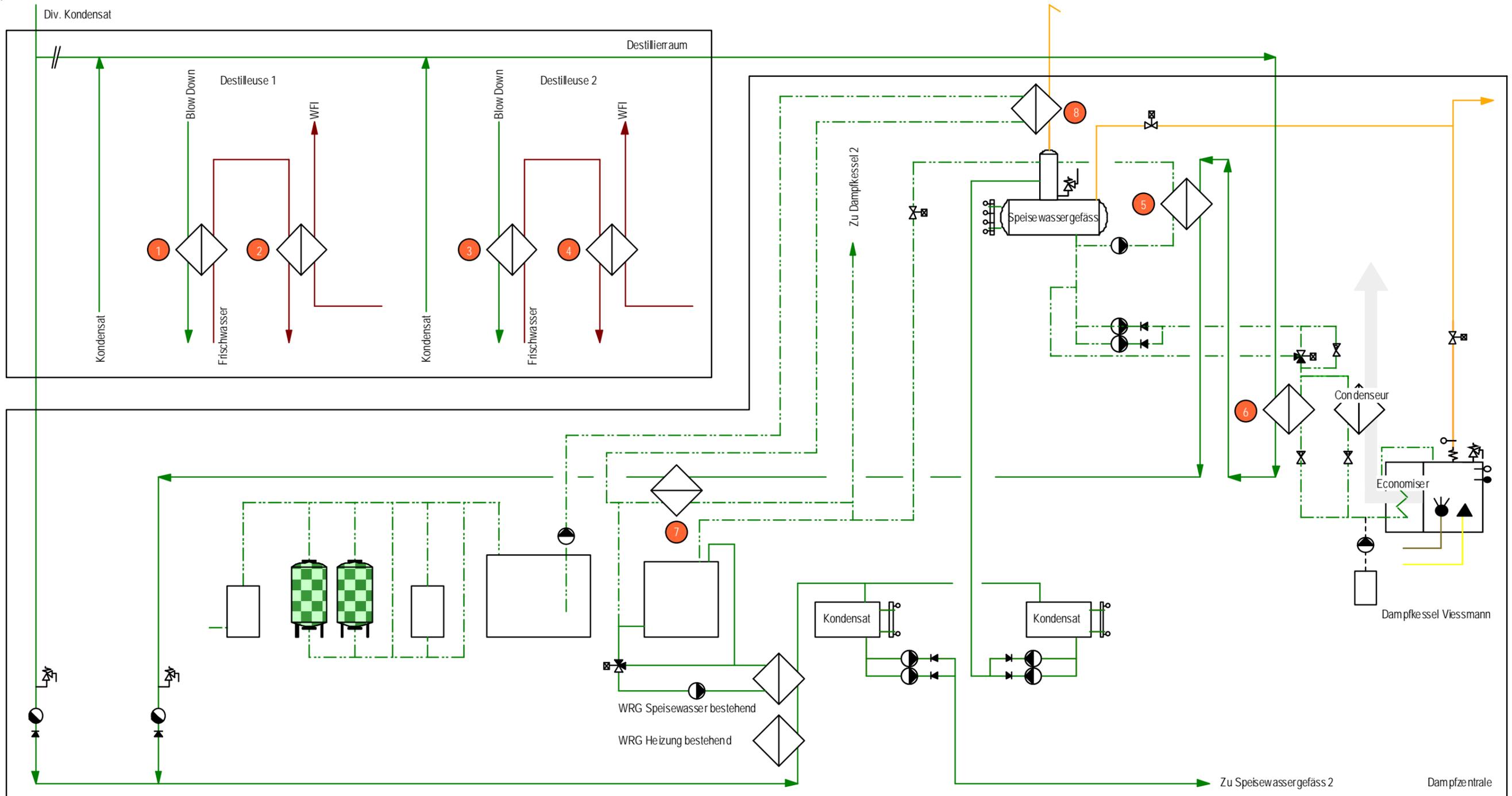
A.2 Wärmetauscher Daten

Nr.	Name	Q	Hot Tin	Hot Tout	Hot mass flow	Cold Tin	Cold Tout	Cold mass flow	heat exchanger costs	Running hours	energy saving	net energy costs saving	Payback
		kW	°C	°C	kg/s	°C	°C	kg/s	CHF	h/a	kWh/a	CHF/a	a
1	Steris A_Cond&Subcool Blowdown - Steris A_Preheat RO Water	63	120	20	0.2	12.00	17.03	2.98	24'000	4'008	251'911	25'257	1.0
2	Steris A_Subcool WFI - Steris A_Preheat RO Water	166	100	86	2.8	17.03	30.33	2.98	24'000	4'008	665'382	70'739	0.3
3	Steris B_Cond&Subcool Blowdown - Steris B_Preheat RO Water	63	120	20	0.2	12.00	17.03	2.98	24'000	3'881	243'901	24'454	1.0
4	Steris B_Subcool WFI - Steris B_Preheat RO Water	166	100	86	2.8	17.03	30.33	2.98	24'000	3'881	644'224	68'490	0.4
5	Steris Cool Condensate - SteamProd_heating_deaeration	60	119	105	1.0	104.90	104.97	215.31	41'750	3'881	232'860	20'893	2.0
6	Steris Cool Condensate - SteamProd_Heat_before_Viessmann	200	165	119	1.0	105.00	163.88	0.79	41'750	3'881	776'959	80'817	0.5
7	Steris Cool Condensate - SteamProd_MakeUpWater_heating	56	105	92	1.0	58.74	91.88	0.40	41'750	3'881	218'781	19'360	2.2
8	Steam_Prod_Abdampf_Entgaser - SteamProd_MakeUpWater_heating	43	105	20	0.0	12.00	37.24	0.40	41'750	5'500	236'131	24'068	1.7
	SteamProd_FlueGas_cooling_Viessmann - SteamProd_Heat_before_Viessmann	79	164	118	1.7	105.00	163.90	0.31		5'500	435'312	39'226	0.0
	Differenz Heizung (vorher Rückgewinn von 500'000 kWh)										-406'835	-44'752	
	Differenz Makeup Water (vorher bereits bis ca. 80° vorgeheizt)										-558'248	-61'407	
9	Autoklave 8								438'000		1'061'420	116'756	3.8
10	WFI	179	86	81	9.2	65.00	76.00	3.89	53'000	694	124'226	13'665	3.9
11	UF - ECH	279				62.00	86.00	2.78	80'000	1'080	210'924	23'202	3.4
12	ECH - Magic Water	565	85	45	2.1				113'000	1'440	488'160	53'698	2.1
									947'000		4'625'109	474'466	2.0

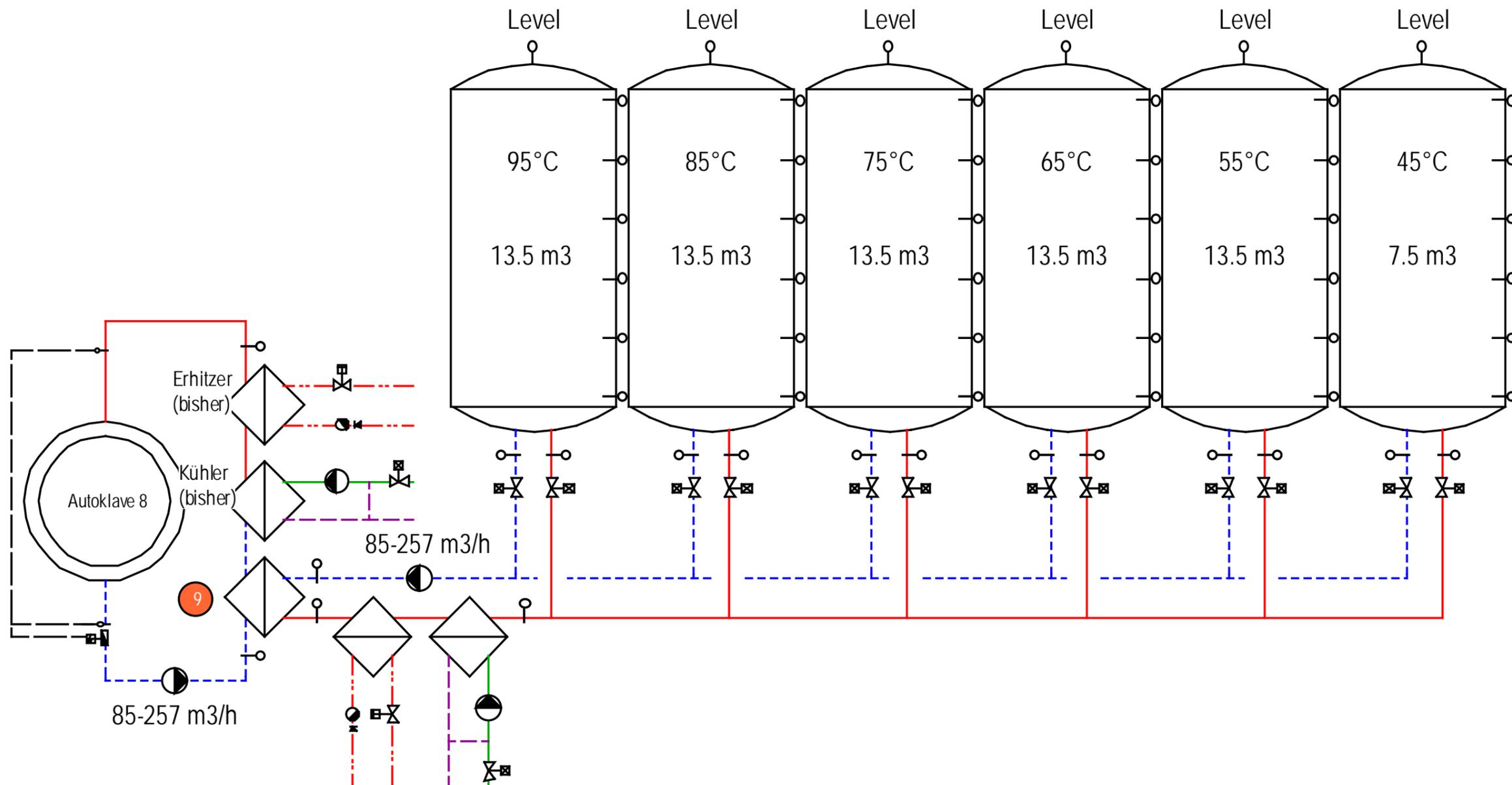
A.3 Ströme für direkte Wärmerückgewinnung zwischen mehreren Prozessen

Name	Hot/Cold	Tin [°C]	Tout [°C]	Flow [kg/s]	Cp [kJ/(kg*K)]	Phase Change [kJ/kg]	Alpha [W/(m²*K)]	Pressure [bar]	MCp [kW/K]	Heat Duty [kW]	Fluid	Humidity Ratio In [kg/kg]	Soft	tstart [h]	tstop [h]
Steris A_Cool Condensate	✓	165	92	0.51	4.2517	-	1000	-	2.17	158.29	Simple	-	<input type="checkbox"/>	0	4008.14
Steris B_Cool Condensate	✓	165	92	0.51	4.2517	-	1000	8.47	2.17	158.29	Water	-	<input type="checkbox"/>	0	3880.69
SteamProd_MakeUpWater_heating	✓	12	92	0.4044	4.2061	-	1000	1.5	1.7	136.09	Water	-	<input type="checkbox"/>	0	5500
SteamProd_Condensate_cooling_excluding Steris condensate	✓	158.83	92	0.312	4.242	-	1000	6	1.32	88.45	Water	-	<input type="checkbox"/>	0	5500
SteamProd_heating_deaeration	✓	104.9	105	215.311	4.18	-	1000	-	900	90	Simple	-	<input type="checkbox"/>	0	5500
SteamProd_FlueGas_cooling_Viessmann	✓	270	40	1.6932	1.004	-	50	-	1.7	391	Simple	-	<input type="checkbox"/>	0	5500
SteamProd_BlowDown_cooling	✓	194.38	20	0.0213	4.2554	-	1000	13.8	0.09	15.77	Water	-	<input type="checkbox"/>	0	5500
SteamProd_Deconcentration_cooling	✓	194.38	20	0.0354	4.2554	-	1000	13.8	0.15	26.28	Water	-	<input type="checkbox"/>	0	5500
Steam_Prod_Abdampf_Entgaser	✓	105	20	0.0165	30.6117	-	-	1	0.51	42.93	Water	-	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5500
SteamProd_Heat_before_Viessmann	✓	105	194	1.1	4.3125	-	1000	13.8	4.74	422.19	Water	-	<input type="checkbox"/>	0	5500
SteamProd_Heat_before_non_Viessmann	✓	105	194	0.63	4.3125	-	1000	13.8	2.72	241.8	Water	-	<input type="checkbox"/>	0	5500
VPB_heating	✓	20	151.84	0.1528	4.215	-	1000	5	0.64	84.9	Water	-	<input type="checkbox"/>	0	1354
VPB_evaporating	✓	x0	x1	0.1389	-	2108.49	1000	5	-	292.85	Water	-	<input type="checkbox"/>	0	1354
VPB_HR_deconcentration	✓	151.84	20	0.0139	4.2158	-	2500	-	0.06	7.72	Simple	-	<input checked="" type="checkbox"/>	0	1354
Neutralisation_Effluent_T1_cooling	✓	70	20	5.5556	4.186	-	1000	-	23.26	1162.78	Simple	-	<input checked="" type="checkbox"/>	0	1087.5
Neutralisation_Effluent_T2_cooling	✓	60	20	6.9444	4.186	-	1000	-	29.07	1162.78	Simple	-	<input checked="" type="checkbox"/>	1087.5	1957.5
Neutralisation_Effluent_T3_cooling	✓	50	20	8.3333	4.186	-	1000	-	34.88	1046.5	Simple	-	<input checked="" type="checkbox"/>	1957.5	3165.83
Neutralisation_Effluent_T4_cooling	✓	40	20	6.9444	4.186	-	1000	-	29.07	581.39	Simple	-	<input checked="" type="checkbox"/>	3165.83	4615.83
Neutralisation_Effluent_T5_cooling	✓	30	20	5.5556	4.186	-	1000	-	23.26	232.56	Simple	-	<input checked="" type="checkbox"/>	4615.83	6065.83
Heizung	✓	60	80	2	4.18	-	1000	-	8.36	167.2	Simple	-	<input type="checkbox"/>	0	3000
CompAir_BuildingsABCD_heat recovery	✓	90	50	0.5305	4.186	-	1000	-	2.22	88.83	Simple	-	<input checked="" type="checkbox"/>	0	8400

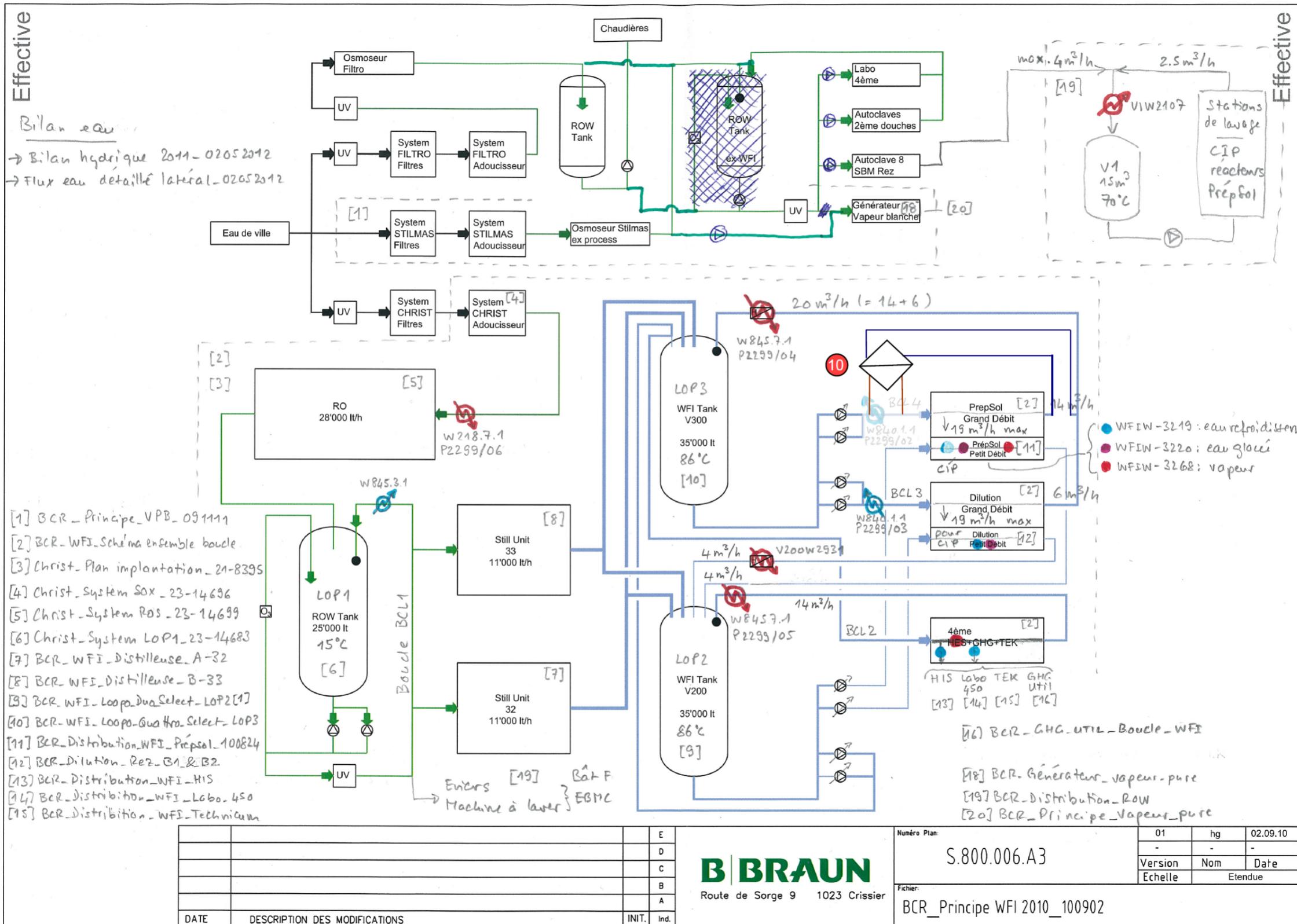
A.4 Prinzipschema Distilleuse und Dampfproduktion



A.5 Prinzipschema Autoklave 8



A.6 Prinzipschema WFI Boucle 4



A.8 Abschätzung Änderung Economiser

Eingabe

Resultat

Bisherige Auslegung Economiser	
Leistung	243 kW
Hot T _{in}	270 °C
Hot T _{out}	130 °C
Cold T _{in}	105 °C
Cold T _{out}	135 °C
Hot M*cp	1.74 kW/K
Cold M*cp	8.1 kW/K
Log DT	65.23 K
"Faktor"	3.73 kW/K

Neue Auslegung Economiser	
Hot T _{in}	270 °C
Hot T _{out}	180.06 °C
Cold T _{in}	164 °C
Cold T _{out}	183.27 °C
Log DT	41.91 K
Leistung	156.11 kW

Iteration	
Cold T _{out}	183.272 °C
Leistung aus DT Cold	156.10 kW
Leistung aus Faktor und Log DT	156.12 kW

A.9 Abschätzung Änderung Condenseur

Eingabe

Resultat

Bisherige Auslegung Condenseur	
Leistung	115 kW
Hot T _{in}	130 °C
Hot T _{out}	75 °C
Cold T _{in}	60 °C
Cold T _{out}	75 °C
Hot M*cp	2.09 kW/K
Log DT	30.79 K
"Faktor"	3.74 kW/K

Neue Auslegung Condenseur	
Cold M*cp	1.34 kW/K
Hot T _{in}	180 °C
Hot T _{out}	140.15 °C
Cold T _{in}	105 °C
Cold T _{out}	167.00 °C
Log DT	22.27 K
Leistung	83.25 kW

Iteration	
Cold T _{out}	167 °C
Leistung aus DT Cold	83.33 kW
Leistung aus Faktor und Log DT	83.18 kW

A.10 Kostenschätzungen

ZUSAMMENFASSUNG INVESTITIONEN	Destillieranlage	Dampfproduktion	Autoklave 8	ECH
1. Wärme- / Kälteerzeugung	44'248.-	81'720.-	10'365.-	69'750.-
2. Wärmeverteilung	12'000.-	30'000.-	238'190.-	90'000.-
3. Wärme- / Kälteabgabe	3'000.-			
4. MSRL	3'200.-	3'200.-	69'800.-	9'000.-
5. Elektro	5'000.-	5'000.-	12'000.-	7'000.-
6. Unvorhergesehenes	6'700.-	12'000.-	33'000.-	17'600.-
7. Honorare / Nebenkosten	22'000.-	35'000.-	75'000.-	
GESAMTTOTAL	96'148.-	166'920.-	438'355.-	193'350.-