



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**  
**F&E Programm Verfahrenstechnische Prozesse VTP**

# KÄLTEPRODUKTION AUS ABWÄRME

## STUDIE ZENTRALE KÄLTEVERSORGUNG BEI DER TELA-KIMBERLY SWITZERLAND

### Schlussbericht

Ausgearbeitet durch  
Rainer Bendel, Helbling Beratung + Bauplanung AG  
Hohlstrasse 614, 8048 Zürich; rainer.bendel@helbling.ch; www.helbling.ch

## **Impressum**

Datum: Januar 2007

**Im Auftrag des Bundesamt für Energie, F&E Programm Verfahrenstechnische Prozesse VTP**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

BFE-Projektleiter: Bereichsleiter, [martin.stettler@bfe.admin.ch](mailto:martin.stettler@bfe.admin.ch)

Projektnummer: 101848

Bezugsort der Publikation: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## Inhaltsverzeichnis

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Zusammenfassung.....  | 3  |
| 2     | Ausgangslage .....  | 4  |
| 3     | Ziel der Arbeit.....  | 4  |
| 4     | Lösungsweg .....  | 5  |
| 5     | Ergebnisse .....  | 6  |
| 5.1   | Kältebedarf der bereits installierten Kühlgeräte .....  | 6  |
| 5.2   | Ermittlung der abgegebenen Wärmeleistung Modul 2 und 5.....                                       | 7  |
| 5.3   | Zentrale Kälteversorgung Variante 1 .....   | 7  |
| 5.3.1 | Beschreibung.....   | 7  |
| 5.3.2 | Investitionskostenschätzung Variante 1 .....  | 9  |
| 5.3.3 | Gestehungskosten Kälte: Erzeugung und Grobverteilung .....  | 9  |
| 5.3.4 | Gestehungskosten Kälte inkl. Feinverteilung und Umluftkühler.....                                 | 10 |
| 5.4   | Dezentrale Kälteversorgung Variante 1 .....   | 10 |
| 5.5   | Variante 2: Teilersatz von dezentralen Kühlgeräten plus Kühlung der Konfektionshallen Modul 2 + 5 | 11 |
| 5.5.1 | Ist-Situation.....  | 11 |
| 5.5.2 | Konzept Kühlung Konfektionshallen Modul 5.....  | 12 |
| 5.5.3 | Konzept Kühlung der Konfektionshalle Modul 2.....   | 13 |
| 5.5.4 | Kältebedarf für die Auslegung der Kältemaschine .....   | 14 |
| 5.5.5 | Auslegungseckdaten der zentralen Kälteerzeugung Variante 2 .....                                  | 15 |
| 5.5.6 | Layout-Skizze Variante 2.....   | 15 |
| 5.5.7 | Investitionskostenschätzung Variante 2 .....  | 16 |
| 5.5.8 | Gestehungskosten Kälte Variante 2 .....   | 17 |
| 5.6   | Beurteilung der zwei Varianten .....  | 18 |
| 5.7   | Variante 3: zentrale Kälteerzeugung und Kühlung der Module 2 und 5 .....                          | 19 |
| 5.7.1 | Kältebedarf .....   | 19 |
| 5.7.2 | Eckdaten der Kältemaschine .....  | 19 |
| 5.7.3 | Layout-Skizze Variante 3.....   | 20 |
| 5.7.4 | Investitionskostenschätzung für die Variante 3 .....  | 21 |
| 5.7.5 | Gestehungskosten Kälte .....  | 22 |
| 6     | Beurteilung der Resultate.....  | 23 |
| 6.1   | Zentrale versus dezentrale Kälteerzeugung .....   | 23 |
| 6.2   | Absorptionskälte versus Kompressionskälte.....  | 23 |

## **Verzeichnis der Grafiken**

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Grafik 1 | Layout-Skizze Variante 1.....  | 8  |
| Grafik 2 | Schema der Konfektionshallen, Ist-Situation.....                               | 11 |
| Grafik 3 | Schema der Konfektionshalle Modul 5, mit Kühlung.....                          | 12 |
| Grafik 4 | Schema der Konfektionshalle 2, mit Kühlung der bestehenden Zuluftanlagen ..... | 13 |
| Grafik 5 | Schema der Konfektionshalle 2, mit Kühlung der Zuluftanlagen .....             | 14 |
| Grafik 6 | Skizze Layout Variante 2.....  | 15 |
| Grafik 7 | Layout-Skizze Variante 3.....  | 20 |

## **Verzeichnis der Tabellen**

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabelle 1  | Feldbezeichnungen der Datentabelle der dezentralen Klimageräte .....                              | 5  |
| Tabelle 2  | Zusammenfassung der bereits installierten dezentralen Kälteleistungen, geordnet nach Gebäude..... | 6  |
| Tabelle 3  | Technische Eckdaten Variante 1.....   | 8  |
| Tabelle 4  | Investitionskostenschätzung Variante 1 .....  | 9  |
| Tabelle 5  | Gestehungskosten zentral Kälte: Erzeugung und Grobverteilung .....                                | 9  |
| Tabelle 6  | Gestehungskosten zentral Kälte inkl. Feinverteilung und Umluftkühler .....                        | 10 |
| Tabelle 7  | Gestehungskosten dezentral Variante 1 .....   | 10 |
| Tabelle 8  | Kältebedarf Variante 2.....   | 14 |
| Tabelle 9  | Auslegungseckdaten der zentralen Kälteerzeugung Variante 2 .....                                  | 15 |
| Tabelle 10 | Investitionskostenschätzung Variante 2 .....  | 16 |
| Tabelle 11 | Gestehungskosten Kälteerzeugung und Grobverteilung.....   | 17 |
| Tabelle 12 | Gestehungskosten gesamt.....  | 17 |
| Tabelle 13 | Kältebedarf Variante 3.....   | 19 |
| Tabelle 14 | Eckdaten Variante Absorptionskältemaschine .....  | 19 |
| Tabelle 15 | Eckdaten Variante Kompressionskältemaschine .....   | 19 |
| Tabelle 16 | Investitionskostenschätzung Variante3 für AKM und Kompr.KM .....                                  | 21 |
| Tabelle 17 | Gestehungskosten Kälte für Variante 3 (AKM und Kompr.KM) .....                                    | 22 |

## Zusammenfassung

Die TELA Kimberly Switzerland produziert in einem räumlich ausgedehnten Werk Papierhygiene-Produkte. Die grossen Konfektionshallen M2 und M5 werden nicht klimatisiert; dort treten im Sommer Raumtemperaturen bis zu 42 °C auf. Zahlreiche kleinere und mittlere Klimakältekompressoren werden verteilt im ganzen Werk betrieben. Suboptimale Wirkungsgrade, hoher Stromverbrauch, hoher Reparaturunterhalt prägen die Ist-Situation. Ein beträchtlicher Teil dieser Geräte wird in der Zukunft ersetzt werden müssen, sei es aufgrund des technischen Zustandes oder aufgrund des zukünftig nicht mehr zulässigen Kältemittels.

Andererseits steht aus der Abfall- und Papierreststoffverbrennung (Wirbelschichtverbrennung) hochwertiger Dampf im Überschuss zur Verfügung. Aufgrund dieser Situation entstand die Idee, Kälte aus der Abwärme auf Basis einer Absorptionskältemaschine zu erzeugen und im Werk zu verteilen. Die dezentralen Splitgeräte sollten durch Umluftkühler ersetzt werden. In der Studie wurde untersucht, wie diese Lösung umgesetzt werden könnte und wie die zentralisierte Lösung wirtschaftlich gegenüber der dezentralen Lösung abschneidet.

In einem ersten Schritt wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Betrieb die Daten der bestehenden dezentralen Geräte (total 101 Geräte) aufgenommen und aktualisiert. Die Gesamtkälteleistung dieser Klimageräte beträgt 474 kW. Die Berechnungen der Ersatzinvestitionen für Kälteerzeugung, Kälteverteilung und Kälteabgabe zeigten rasch, dass die primären Parameter Leitungsanschlusslänge zur nächsten Hauptleitung, Kälteleistung und jährliche Betriebszeit massgebend sind für den Entscheid des Wechsels. Die wirtschaftlich vertretbarste Lösung ergab eine Auswahl von Kältegeräten, die zusammen 320 kW Kälteleistung benötigen und eine Vollastbetriebsstundenzahl von 5410 Std./a aufweisen. Bei Gesamtinvestitionen von ca. 802'000 CHF entstehen mit der zentralen Lösung spezifische Kältegesamtkosten von 4.75 Rp/kWh. Sie konkurrieren mit Kältegesamtkosten bei dezentraler Erneuerung der Splitgeräte von 4.64 Rp/kWh. Mit der zentralen Lösung können 567 MWh Elektrizität eingespart werden. Von der Energieeffizienz ist diese Lösung positiv zu bewerten: alternativ könnte der Dampf auch via Dampfturbine in Elektrizität umgewandelt werden; abschätzungsweise könnte über dieses System lediglich 248 MWh Elektrizität, also 44 % erzeugt werden.

In einer zweiten Variante wurde eine grössere Kälteerzeugungsanlage untersucht, die zusätzlich zum Ersatz der Splitgeräte auch die Konfektionsmoule M2 und M5 so klimatisieren, dass erträgliche Raumtemperaturen für die Arbeitenden entstehen. Der Kälteleistungsbedarf wurde ermittelt und beträgt 1490 kW (Modul 2, Modul 5 + Ersatz Kleingeräte gem. 1. Variante). Die Kühlung kann beim M5 ganz, beim M2 teilweise über den Einbau von neuen Kühlregistern in die bestehenden Monoblocs der Hallenzuluft relativ einfach bewerkstelligt werden. Gewählt wurde eine Doppeleffect-Absorptionskältemaschine mit einer Wärmezahl von 1.37. Diese Maschine benötigt pro Stunde 1.6 t Dampf von 10 bar Druck und erzeugt eine Rückkühlleistung von knapp 2.6 MW. Gesamthaft sind 2,175 Mio CHF an Investitionen notwendig, sie führen zu spezifischen Kältegesamtkosten von 5.9 Rp/kWh.

Als Folge dieser Ergebnisse verlangte TELA noch die Berechnung einer zusätzlichen Variante: Aufbau einer zentralen Kälteerzeugung nur zur Kühlung der Module 2 und 5 (ohne Einbezug der Splitgeräte), jedoch inkl. der zusätzlichen Lüftungsanlage für das Modul 2. Dieser Variante soll einer Kälteerzeugungsanlage mit Kompressionsprinzip bez. Investitionen und Betriebskosten gegenübergestellt werden. Dabei wurden die folgenden Ergebnisse berechnet: In den Gesamtinvestitionen ist die Variante Absorptionskältemaschine mit 2,0 Mio CHF gegenüber 1,84 Mio etwas teurer, in den Gesamtgestehungskosten Kälte schneidet die Variante Absorptionskältemaschine mit 5.63 Rp/kWh deutlich günstiger ab als die Vergleichsvariante (7.94 Rp/kWh). Mit einer AKM können 870 MWh elektrische Energie eingespart werden.

Fazit der Studie:

Obwohl die an sich hochwertige Dampfenergie mit Energiepreis 0 eingesetzt worden ist, ist die Wirtschaftlichkeitsgrenze (Anschlusslänge, Grösse) bei den kleinen Klimageräten rasch erreicht, da die Verteilkosten von Kälte sehr hoch sind. Energetisch sinnvoll und wirtschaftlich ist der Einsatz der Absorptionskältetechnik für zentrale grosse Kälteverbraucher; es kann wertvolle elektrische Energie eingespart werden, die dafür notwendige Mehrinvestition ist innerhalb von 2,5 Jahren amortisiert.

## Ausgangslage

Im Jahr 2003 hat Helbling für die Firma Tela Kimberly Clark eine umfassende Energiestudie durchgeführt. Die damals eruierten Energiesparmassnahmen wurden in den folgenden Jahren konsequent umgesetzt. Der Erfolg dieser Massnahmen und ein Anstieg der verbrennten Abfälle im eigenen Betrieb führten dazu, dass anfangs des Jahres 2006 die in der eigenen Abfallverbrennungsanlage (Wirlbelschichtfeuerung) hergestellte hochwertige Dampfenergie nicht mehr vollständig für die Produktion genutzt werden konnte; es herrschte ein eigentlicher Energieüberschuss von thermischer Energie. Eine Eigenstromerzeugung existiert nicht.

Gleichzeitig benötigt Tela aber viel Elektrizität, unter anderem auch für die vielen dezentral eingesetzten Kleinklimaanlagen. Ein weiteres Problem, welches gelöst werden muss, sind die im Sommer in einzelnen Produktionshallen auftretenden Temperaturen bei hohen Außentemperaturen. Diese Räume weisen hohe interne Lasten auf, sind aber nicht gekühlt.

Diese Ausgangslage führte zur Idee, die nicht sinnvoll nutzbare hochwertige thermische Überschussenergie zur Kälteherstellung mittels Absorptionstechnologie zu nutzen und damit den Bezug von Elektrizität von Aussen zu senken.

Die Studie „Zentrale Kälteversorgung und Aufbau der Kühlung in den Konvektionshallen“ wurde gemeinsam von der Firma Tela-Kimberly Switzerland GmbH mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie finanziert. Die Arbeiten wurden in der zweiten Jahreshälfte des Jahres 2006 durchgeführt.

## Ziel der Arbeit

Im Auftrag sind die folgenden Zielsetzungen der Studie festgehalten:

- Ermittlung der notwendigen Leistungen für die Klimatisierung der Konfektionshallen (Modul 2 und Modul 5)
- Aufzeigen der sinnvollsten Möglichkeit, die Kälte in diesen Räumen zu verteilen und ein verbessertes Raumklima zu schaffen
- Auslegung einer zentralen Kälteerzeugungsanlage auf Basis Absorptionskältemaschine zur Nutzung der Abwärme, in drei Varianten
  - Nur Ersatz der Klimageräte, die absehbarer Frist ersetzt werden müssen
  - Ersatz sämtlicher dezentraler Klimageräte
  - Ersatz sämtlicher dezentraler Klimageräte plus Klimaverbesserung Modul 2 und Modul 5)
- Berechnung der Investitions- und Betriebskosten der zentralen Kälteanlage. Ermittlung der Kältegestehungskosten und Vergleich zu einer konventionellen Kälteerzeugung.
- Aufzeigen eines möglichen Umsetzungskonzeptes inkl. Realisierungsplan.

## Lösungsweg

Basis für die Auslegung der Kälteanlagen war eine seriöse Ermittlung des Leistungsbedarfes. Für die jetzt schon gekühlten Räume sollten die Leistungsdaten der bestehenden Anlagen (Kälteleistungen) übernommen werden und bei Bedarf allenfalls angepasst werden können. Leider waren die vorhandenen Daten aus der Anlagenwartung lückenhaft. Helbling eruierte aus verschiedenen Wartungsunterlagen die verfügbaren Daten und stellte die Daten in einer neuen Tabelle zusammen, woraus alle für diesen Zweck notwendigen Daten ersichtlich waren. Der technische Dienst der Tela komplettierte dann diese Tabelle, so dass eine verlässliche Datenbasis der heute installierten dezentralen Klimaanlagen entstand.

| Raum-Nr | Ort | Raum-Bezeichnung | Kühl-leistung | Kühlleis-tung nach Rigg-en-bach AG | Kühlleis-tung nach TELA | Modell | Fabrikat | Typ | Kälte-mittel | *Her-kunft |
|---------|-----|------------------|---------------|------------------------------------|-------------------------|--------|----------|-----|--------------|------------|
|---------|-----|------------------|---------------|------------------------------------|-------------------------|--------|----------|-----|--------------|------------|

Tabelle 1 Feldbezeichnungen der Datentabelle der dezentralen Klimageräte

Der Kühlleistungsbedarf der grossen Produktionshallen musste ermittelt werden. Bei den Arbeiten zeigte sich rasch, dass Transmissionen und Wärmestrahlung durch die Gebäudehülle gegenüber den sehr hohen durch die Maschinen eingebrachten internen Lasten vernachlässigt werden konnten. Ebenfalls konnten die Gebäudespeichermassen vernachlässigt werden. Mit verschiedenen Massnahmenstufen wurden die dadurch erzielten Komfortverbesserungen in den Räumen berechnet.

Die Kombination der Resultate aus der Datentabelle der dezentralen Klimageräte und des Leistungsbedarfes der Module ergab dann die Auslegungswerte für die Kälteerzeugung und die Eckdaten der Kälteverteilsysteme. Aus diesen Daten konnten die Investitions- und Betriebskosten berechnet werden und in Vergleichen zu den heutigen Kosten der dezentralen Geräte gegenübergestellt werden.

## Ergebnisse

### KÄLTEBEDARF DER BEREITS INSTALLIERTEN KÜHLGERÄTE

Die Zusammenfassung der erarbeiteten Tabelle der bereits installierten Kälteleistungen ergab die folgenden Ergebnisse:

| Ort (Gebäude) | Anzahl Geräte | Summe der installierten Kälteleistung in kW |
|---------------|---------------|---|
| TM-Halle      | 22            | 163.3                                       |
| Modul 2       | 47            | 70.1  |
| Modul 3       | 4             | 36.9  |
| Modul 5       | 17            | 30.9  |
| Verwaltung    | 1             | 49.1  |
| APA           | 10            | 123.8                                       |
| <b>Total</b>  | <b>101</b>    | <b>474.1</b>                                |

Tabelle 2      Zusammenfassung der bereits installierten dezentralen Kälteleistungen, geordnet nach Gebäude.

Fazit: Es gibt eine Vielzahl von sehr kleinen Geräten (Leistung < 1 kW), so dass der Durchschnitt der Kälteleistung je Gerät kleiner als 5 kW ist. Nur gerade 17 Geräte haben Kälteleistungen von > 10 kW. Die grösste Einzelleistung ist die Klimatisierung der Verwaltung mit 49.1 kW. Hier besteht schon ein zentrales Gerät und eine Kaltwasserverteilung zu diversen Räumen, so dass hier einfach das Gerät durch einen Kaltwasseranschluss ersetzt werden könnte.

Erschwerend für das Projekt kommt hinzu, dass die Geräte auf einem sehr grossen Areal in diversen Gebäuden verteilt sind; so dass hohe Leitungslängen zu bauen sind, um kleine Leistungen zu ersetzen.

## **ERMITTlung DER ABGEGEBENEN WÄRMELEISTUNG MODUL 2 UND 5**

Der Leistungsbedarf für die grossen Module 2 und 5 wurde rechnerisch, aufgrund der von der Tela abgegebenen elektrischen Verbrauchsenergien ermittelt. Für die Berechnung wurde der Durchschnittswert über die gemessenen 17 Monate ermittelt. Dieser liegt für das Modul 2 bei 298'400 kWh/Monat und für das Modul 5 bei 201'500 kWh/Monat.

Bei dieser Berechnung wurden die folgenden Grundlagen in Abstimmung mit Tela angenommen:

- zweischichtiger Arbeitsbetrieb: -> 16 Arbeitsstunden pro Tag
- 21 Arbeitstage pro Monat

Dies führt zu den folgenden Wärmelasten:

- Modul 2: 890 kW
- Modul 5: 600 kW

## **ZENTRALE KÄLTEVERSORGUNG VARIANTE 1**

### Beschreibung

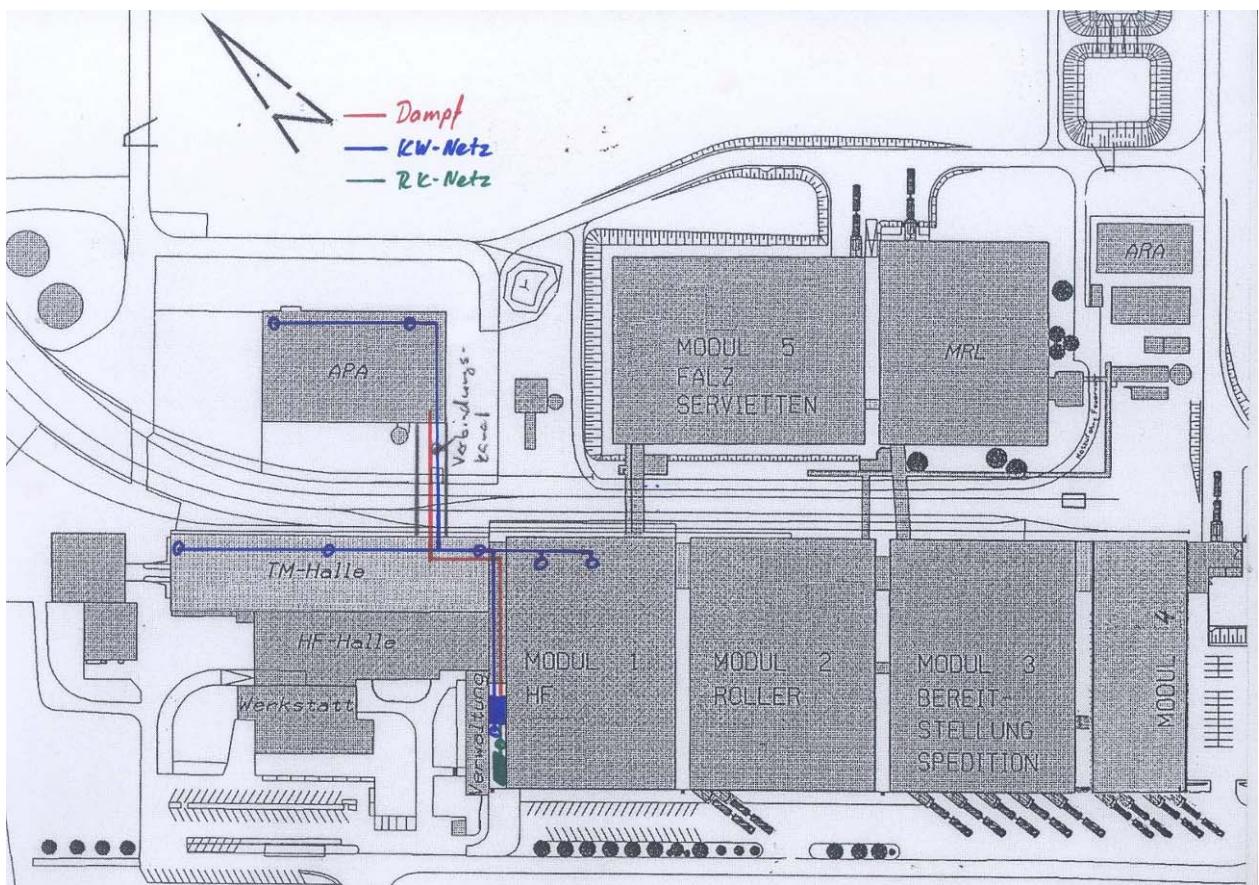
Die Variante 1 geht davon aus, dass nur die Kälteanlagen an die neue zentrale Kälteanlage angeschlossen werden, die aufgrund des heutigen technischen Zustandes oder aufgrund der Verschärfung der Kältemittelverordnung ersetzt werden müssen.

Die Grobrechnung hat gezeigt, dass diese Auswahl nicht ein sinnvolles Kriterium ist. Auch bei den Geräten, die in nächster Zeit ersetzt werden müssen, ist es notwendig, aufgrund der Gesamtbetriebskosten zu entscheiden, ob ein neues separates Gerät angeschafft werden soll oder ob ein neuer Umluftkühler an die zentrale Anlagen angeschlossen werden soll. Es hat sich gezeigt, dass die Parameter Anschlusslänge, Leistung und Betriebszeiten pro Jahr massgeblich sind. Wir haben deshalb für jedes Gerät eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt (Reinvestition dezentral oder zentral) und nur die Geräte in dieser Variante berücksichtigt, die wirtschaftlich sinnvoll sind.

Diese Variante kann mit folgenden Eckdaten beschrieben werden:

- Eine zentrale Kälteanlage mit Verteilleitungen zu den Gebäuden versorgt die ausgewählten Räume mit Kälteenergie.
- Die installierten Splitgeräte sollen ersetzt werden. Neu kommen Umluftkühlgeräte, welche vom Kaltwassernetz gespiesen werden, zum Einsatz.
- Als Primärenergie für die Kaltwassererzeugung soll Hochtemperaturwärme (Dampf) aus der Abfall-Wirbelschichtverbrennung genutzt werden. Geplant ist eine Absorptionskältemaschine.
- Die Kältemaschine wird im geografischen Schwerpunkt der anzuschliessenden Wärmelasten installiert

## Layout-Skizze Variante 1



Grafik 1 Layout-Skizze Variante 1

|   |      |                                     |
|---|------|-------------------------------------|
| Auslegung Kälteleistung max.            | kW   | 320                                 |
| Kälteleistung Absorptions-Kältemaschine | kW   | 320                                 |
| Dampfbedarf 10 bar                      | kg/h | 390                                 |
| Rückkühlleistung                        | kW   | 560                                 |
| Aufstellungsplatz AKM                   |      | Keller Verwaltungsgebäude           |
| Rückkühlung                             |      | Nutzung zur Aufwärmung Ersatzwasser |

Tabelle 3 Technische Eckdaten Variante 1

## Investitionskostenschätzung Variante 1

| Anlageteil                 | Kostenschätzung CHF | Auszuführende Arbeiten  |
|----------------------------|---------------------|---|
| Kälteerzeugung             | 295'000             | Installation Absorptionskältemaschine, Kondensatorpumpen, Armaturen, Isolationen, Regulierungen |
| Hauptverteilung            | 42'000              | Verbraucherpumpen, Rohrleitungen, Armaturen, Isolationen  |
| Erschliessung TM-Halle     | 145'000             | Rohrleitungen (ohne Feinverteilung im Gebäude), Armaturen, Isolationen                          |
| Erschliessung Verwaltung   | 18'000              | Rohrleitungen (ohne Feinverteilung im Gebäude), Armaturen, Isolationen                          |
| Erschliessung APA          | 155'000             | Rohrleitungen (ohne Feinverteilung im Gebäude), Armaturen, Isolationen                          |
| Gesamttotal Kälteanlage    | <b>655'000</b>      |   |
| Bauliche Massnahmen        | 20'000              | Sockel, Durchbrüche,  |
| Elektrische Installationen | 22'000              | für AKM, Pumpen   |
| Honorare                   | 105'000             |   |
| Gesamttotal                | <b>802'000</b>      |   |

Tabelle 4 Investitionskostenschätzung Variante 1

In dieser Kostenaufstellung sind die zentrale Kälteerzeugung und die Grobverteilung in die angeschlossenen Gebäude berücksichtigt. Die Investitionen für die Feinverteilung und die neuen Geräte werden in der Gestehungskostenberechnung berücksichtigt.

## Gestehungskosten Kälte: Erzeugung und Grobverteilung

|                             |        | Variante 1    |
|-----------------------------|--------|---------------|
| Kälteleistung               | kW     | 320           |
| Investition                 | CHF    | <b>802000</b> |
| Nutzungsdauer               | a      | 25            |
| Kapitalzins                 | % p.a. | 5.0%          |
| Annuität                    | % p.a. | 7.1%          |
| Kapitalkosten               | CHF/a  | 56'904        |
| Unterhalt - Wartung         | CHF/a  | 20'050        |
| Leistung elektr.            | kW     | 1.8           |
| Kälteenergieerzeugung       | kWh/a  | 1731250       |
| durchschn. Vollast-Betr.std | VBH/a  | 5'410         |
| Elektr. Energiebedarf       | kWh/a  | 9'738         |
| Stromkosten                 | CHF/a  | 876           |
| Totalkosten                 | CHF/a  | 77'830        |
| Kälteerzeugungskosten spez. | Rp/kWh | 4.50          |

Tabelle 5 Gestehungskosten zentral Kälte: Erzeugung und Grobverteilung

Gestehungskosten Kälte inkl. Feinverteilung und Umluftkühler

|                                    |          |               |
|------------------------------------|----------|---------------|
| Investition Umluftkühler           | CHF      | <b>41'417</b> |
| Gesamtinvestition mit Umluftkühler | CHF      | <b>59'518</b> |
| Nutzungsdauer                      | a        | <b>20</b>     |
| Annuität                           | % p.a.   | <b>8.0%</b>   |
| Kapitalkosten                      | CHF/a    | <b>3'323</b>  |
| Unterhalt - Wartung                | CHF/a    | <b>1'190</b>  |
| Betriebskosten Kälteerzeugung AKM  | CHF/a    | <b>77'733</b> |
| Totalkosten pro Jahr               | CHF/a    | <b>82'247</b> |
| spez. Kosten pro kWh Kälte         | Rp / kWh | <b>4.75</b>   |

Tabelle 6     Gestehungskosten zentral Kälte inkl. Feinverteilung und Umluftkühler

Die Berechnung zeigt, dass der Hauptanteil der Kältegestehungskosten aus der Kälteerzeugung und der Grobverteilung stammt; die Feinverteilung trägt nur mit 0.25 Rp/kWh zu den Gesamtgestehungskosten bei.

### DEZENTRALE KÄLTEVERSORGUNG VARIANTE 1

Die dezentrale Variante geht davon aus, dass die einzelnen Geräte separat ersetzt werden. Die Gestehungskosten errechnen sich wie folgt:

|                                 |          | <b>Summe</b>     |
|---------------------------------|----------|------------------|
| <b>Reinvestition Splitgerät</b> |          |                  |
| Leistung                        | kW       | <b>319</b>       |
| Reinvestition Splitgerät        | CHF      | <b>160'898</b>   |
| Nutzungsdauer                   | a        | <b>15</b>        |
| Kapitalzins                     | % p.a.   | <b>5.0%</b>      |
| Annuität                        | % p.a.   | <b>9.6%</b>      |
| Kapitalkosten                   | CHF/a    | <b>15'501</b>    |
| Unterhalt - Wartung             | CHF/a    | <b>12'872</b>    |
| Mittlerer COP                   | -        | <b>3</b>         |
| Leistungsbedarf Elektrizität    | kW       | <b>106</b>       |
| Kälteenergie pro Jahr           | kWh/a    | <b>1'731'250</b> |
| Elektrizitätsbedarf p.a.        | kWh p.a. | <b>577'083</b>   |
| Stromkosten p.a.                | CHF/a    | <b>51'938</b>    |
| Totalkosten pro Jahr            | CHF/a    | <b>80'311</b>    |
| spez. Kosten pro kWh Kälte      | Rp / kWh | <b>4.64</b>      |

Tabelle 7     Gestehungskosten dezentral Variante 1

Die spezifischen Gestehungskosten der dezentralen Variante liegen knapp tiefer als mit der zentralen Variante. Allerdings könnten mit dem Einsatz der Absorptionstechnik ca. 560 MWh Elektrizität pro Jahr eingespart werden.

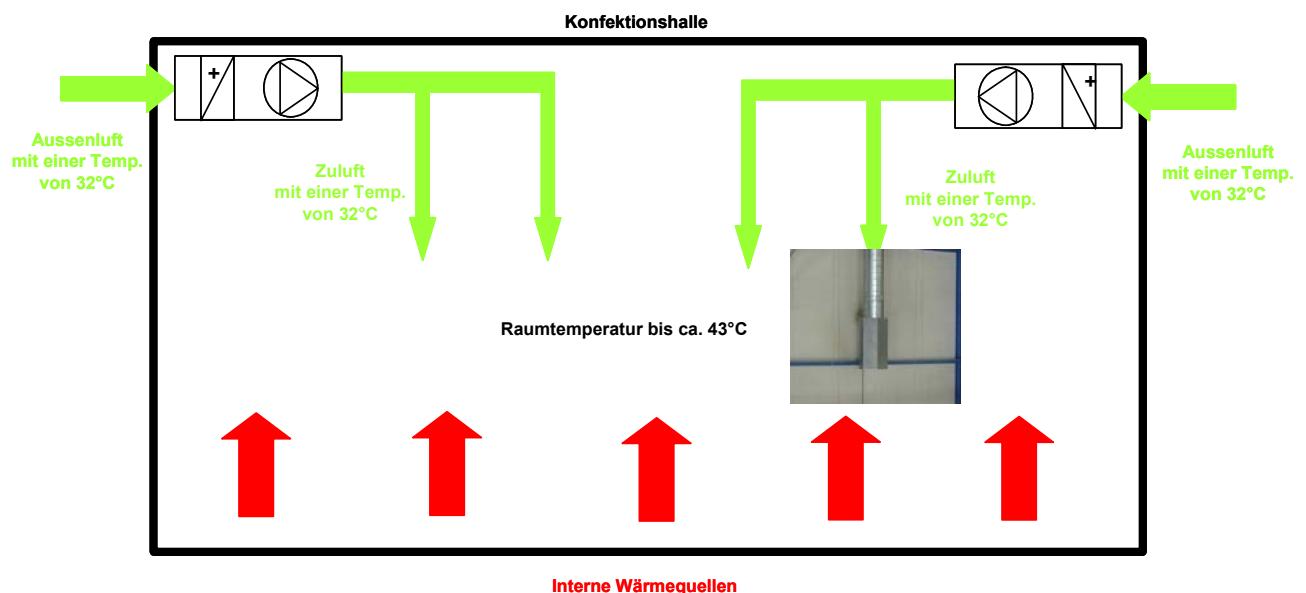
## VARIANTE 2: TEILERSATZ VON DEZENTRALEN KÜHLGERÄTEN PLUS KÜHLUNG DER KONFEKTIONSHALLEN MODUL 2 + 5

### Ist-Situation

Die Konfektionshallen haben je zwei Lüftungsanlagen (Zu- und Abluftanlagen) mit einem Luftvolumenstrom von je 90'000 m<sup>3</sup>/h. Die Luft kann bei Bedarf aufgeheizt, aber im Sommer nicht gekühlt werden.

Die Verteilung der Zuluft erfolgt über Kanäle und an den Seitenwänden installierte Quellluftauslässe.

Begehungen vor Ort und Aussagen des Technischen Dienstes zufolge, kann im Hochsommer in den Konfektionshallen, Modul 2 und 5, eine Raumtemperatur von bis zu 43°C erreicht werden.



Grafik 2 Schema der Konfektionshallen, Ist-Situation

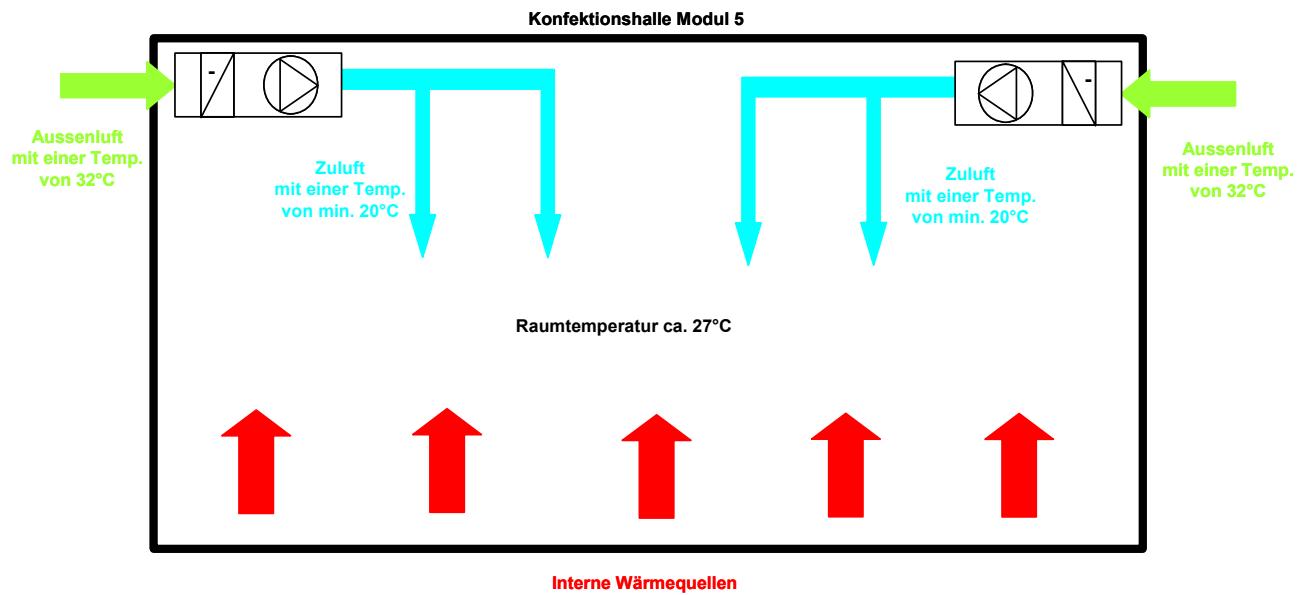
## Konzept Kühlung Konfektionshallen Modul 5

Die bestehenden Luftverteilssysteme eignen sich gut, um eine gewisse (begrenzte) Kälteleistung einzubringen. Um den Komfort für die Mitarbeitenden sicherzustellen (keine Zugsercheinungen), ist eine minimale Lufteinblasttemperatur von 20 °C nicht zu unterschreiten.

Es wird deshalb vorgesehen, die Wärmeregister der Monoblocks auszutauschen und Register einzubauen, die zum Heizen **und Kühlen** geeignet sind.

Der Ausbau der bestehenden Frischluft-Lüftungsanlagen reicht aus, um eine maximale Wärmelast von 676 kW aus der Halle abzuführen. Dies reicht aus, um im Modul 5 die gesamte über die Maschinen eingebaute Wärmelast abzuführen. Der Wärmeeintrag über die Gebäudehülle kann bei diesen Verhältnissen vernachlässigt werden.

Die Raumtemperatur im Modul 5 kann mit dieser Massnahme, im Hochsommer (bei 32°C Außen temperatur) bei 27°C gehalten werden.



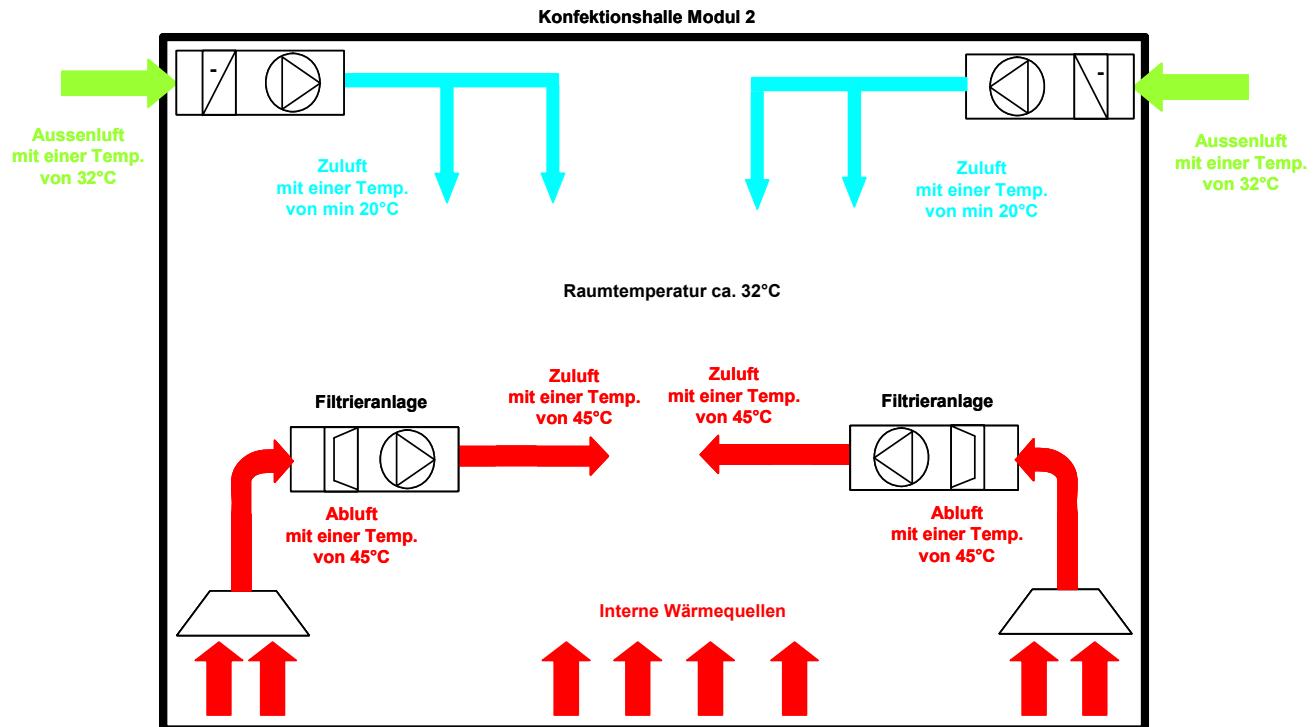
Grafik 3 Schema der Konfektionshalle Modul 5, mit Kühlung

## Konzept Kühlung der Konfektionshalle Modul 2

Der Ausbau der bestehenden Frischluft-Lüftungsanlagen reicht aus um eine maximale Wärmelast von 676 kW aus der Halle abzuführen. Dies reicht nicht ganz aus, um im Modul 2 die gesamte Wärmelast abzuführen. Eine verleibende Wärmelast von 214 kW wärmt die Konfektionshalle weiterhin auf.

Somit kann die Raumtemperatur im Modul 2 mit dieser Massnahme, im Hochsommer bei 32°C Außentemperatur, lediglich auf 33°C gehalten werden.

Will man in der Konfektionshalle Modul 2 im Hochsommer ebenfalls eine Raumtemperatur von 27°C sicherstellen, so sind zusätzliche Massnahmen notwendig.

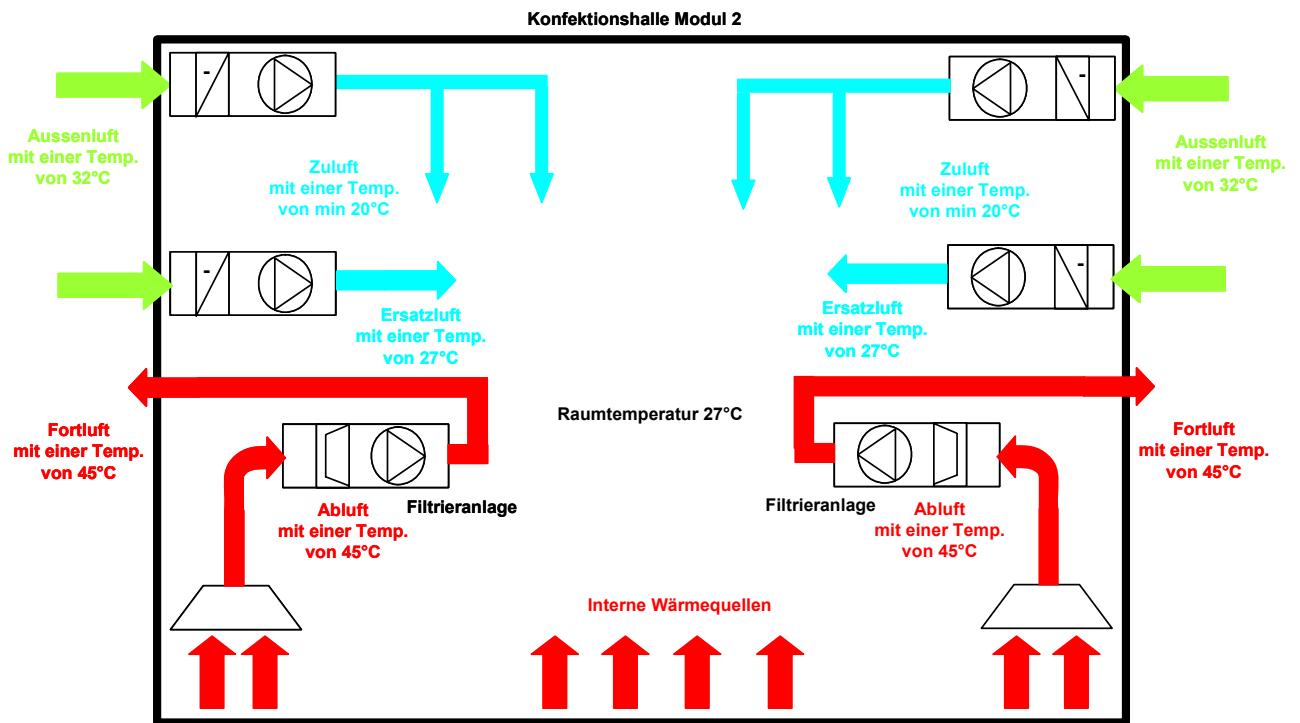


Grafik 4 Schema der Konfektionshalle 2, mit Kühlung der bestehenden Zuluftanlagen

### Möglichkeiten zur Zusatzkühlung

- Zusätzliche Kühlelemente wie Umluftkühler oder statische Kühlelemente
- Die Halle Modul 2 ist mit Entstaubungsanlagen (Lüftungsfilteranlagen) ausgerüstet. Diese Anlagen saugen die Luft über den Maschinen ab, filtern diese und blasen die Luft ungekühlt wieder in die Halle ein. Die filtrierte Luft könnte über Dach ins Freie befördert werden, mittels zusätzlichen Lüftungsanlagen kann gekühlte Ersatzluft in die Halle eingeblasen werden.

Wir erachten die zweite Möglichkeit als sinnvoll. Die erwärmte Abluft der Maschinen kann im Sommer, ins Freie befördert werden. Dadurch wird eine grosse Wärmelast direkt abgeführt und gar nicht in die Halle eingebracht. Die Luftbilanz der Halle wird dadurch aber ins Ungleichgewicht gebracht. Deshalb muss durch neue Zuluftanlagen frische Außenluft, vorgekühlt auf 27°C, in die Halle eingeblasen werden. Mit dieser Massnahme kann zusätzlich eine Wärmelast von 268 kW abgeführt werden, was ausreicht, um die Konfektionshalle Modul 2 ebenfalls (bei einer Außentemperatur von 32°C) auf eine Raumtemperatur von 27°C zu kühlen.



Grafik 5 Schema der Konfektionshalle 2, mit Kühlung der Zuluftanlagen

#### Kältebedarf für die Auslegung der Kältemaschine

Zur Umsetzung der vorstehend beschriebenen Konzepte zur Kühlung der Module 2 und 5, zusammen mit dem Teilersatz der bestehenden dezentralen Kühlgeräte errechnet sich der nachstehende Kältebedarf. Beim Modul 2 ist das Konzept gemäss Grafik 3 einkalkuliert (d.h. ohne zusätzliche Lüftungsanlagen).

| Kältebezüger                               | Kältebedarf [kW] |
|--|------------------|
| Bereits installierte dezentrale Kühlgeräte | 319              |
| Modul 2 Lüftungsanlagen                    | 676              |
| Modul 5 Lüftungsanlagen                    | 600              |
| <b>Total</b>                               | <b>1'595</b>     |

Tabelle 8 Kältebedarf Variante 2

## Auslegungseckdaten der zentralen Kälteerzeugung Variante 2

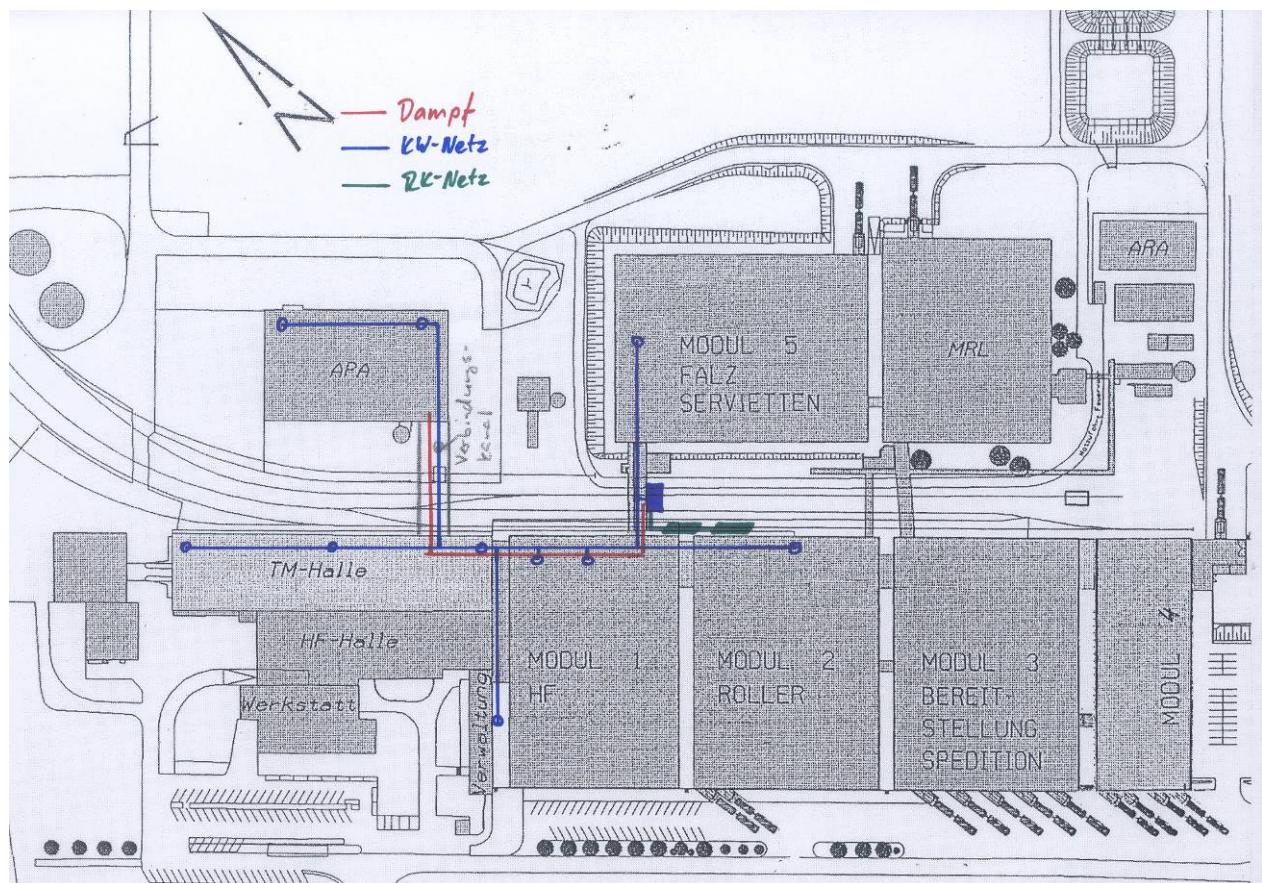
|  |      |       |
|--|------|-------|
| Auslegung Kälteleistung max.               | kW   | 1'600 |
| Kälteleistung<br>Absorptions-Kältemaschine | kW   | 1'600 |
| Dampfbedarf 10 bar                         | kg/h | 1'741 |
| Rückkühlleistung                           | kW   | 2'750 |

Tabelle 9 Auslegungseckdaten der zentralen Kälteerzeugung Variante 2

Wie in der Variante 1 ist gewährleistet, dass die Rückkühlleistung in die Aufwärmung des Zusatzwassers eingebracht werden kann. Ein separater Rückkühler mit Abgabe der Abwärme an die Außenluft ist nicht notwendig.

### Layout-Skizze Variante 2

Die AKM soll im Schwerpunkt der Kältebezüger zwischen den Modulen 2 und 5 über den Gleisen aufgestellt werden.



Grafik 6 Skizze Layout Variante 2

## Investitionskostenschätzung Variante 2

| Anlageteil                                     | Kostenschätzung CHF | Auszuführende Arbeiten   |
|--|---------------------|--|
| <b>Kälteerzeugung</b>                          | 830'000             | Installation Absorptionskältemaschine, Kondensatorpumpen, Armaturen, Isolationen, Regulierungen              |
| <b>Hauptverteilung</b>                         | 103'000             | Verbraucherpumpen, Rohrleitungen, Armaturen, Isolationen   |
| <b>Erschliessung TM-Halle, Verwaltung, APA</b> | 318'000             | Rohrleitungen (ohne Feinverteilung im Gebäude), Armaturen, Isolationen                                       |
| <b>Modul 2</b>                                 | 310'000             | Ausrüstung Lüftungsanlage mit Kühler, Rohrleitungen (inkl. Erschliessung Luftkühler), Armaturen, Isolationen |
| <b>Modul 5</b>                                 | 210'000             | Ausrüstung Lüftungsanlage mit Kühler, Rohrleitungen (inkl. Erschliessung Luftkühler), Armaturen, Isolationen |
| <b>Gesamttotal Kälteanlage</b>                 | <b>1'771'000</b>    |  |
| <b>Bauliche Massnahmen</b>                     | 65'000              | Durchbrüche, Sockel, Stahltisch für AKM  |
| <b>Elektrische Erschliessung</b>               | 55'000              | für AKM, Pumpen  |
| <b>Honorare</b>                                | 284'000             |  |
| <b>Gesamttotal</b>                             | <b>2'175'000</b>    |  |

Tabelle 10 Investitionskostenschätzung Variante 2

Gestehungskosten Kälte Variante 2

|                             |        | Variante 3 |
|-----------------------------|--------|------------|
| Kälteleistung               | kW     | 1600       |
| Investition                 | CHF    | 2175000    |
| Nutzungsdauer               | a      | 25         |
| Kapitalzins                 | % p.a. | 5.0%       |
| Annuität                    | % p.a. | 7.1%       |
| Kapitalkosten               | CHF/a  | 154'322    |
| Unterhalt - Wartung         | CHF/a  | 54'375     |
| Leistung elektr.            | kW     | 4.5        |
| Kälteenergieerzeugung       | kWh/a  | 3645000    |
| durchschn. Vollast-Betr.std | VBH/a  | 2'278      |
| Elektr. Energiebedarf       | kWh/a  | 10'252     |
| Stromkosten                 | CHF/a  | 923        |
| Totalkosten                 | CHF/a  | 209'619    |
| Kälteerzeugungskosten spez. | Rp/kWh | 5.75       |

Tabelle 11 Gestehungskosten Kälteerzeugung und Grobverteilung

| Zentrale Kälteerzeugung            |          |         |
|------------------------------------|----------|---------|
| Investition Umluftkühler           | CHF      | 41'417  |
| Investitionen pro m Anschluss      | CHF/m    |         |
| Anschlusslänge                     | m        |         |
| Gesamtinvestition mit Umluftkühler | CHF      | 76'856  |
| Nutzungsdauer                      | a        | 20      |
| Annuität                           | % p.a.   | 8.0%    |
| Kapitalkosten                      | CHF/a    | 3'323   |
| Unterhalt - Wartung                | CHF/a    | 1'537   |
| Betriebskosten Kälteerzeugung AKM  | CHF/a    | 209'602 |
| Totalkosten pro Jahr               | CHF/a    | 214'462 |
| spez. Kosten pro kWh Kälte         | Rp / kWh | 5.88    |

Tabelle 12 Gestehungskosten gesamt

## **BEURTEILUNG DER ZWEI VARIANTEN**

Obwohl für den Dampf als Überschussenergie kein Bezugspreis eingesetzt worden ist, ist die zentrale Kälteerzeugung für die optimierte Variante 1 (knapp) nicht wirtschaftlich. Die folgenden Gründe sind für dieses Ergebnis massgebend:

- Die notwendigen Investitionen für die Verteilung der Kälteenergie sind sehr hoch. Die geringe Temperaturdifferenz Vorlauf / Rücklauf von 6 K bedingen grosse Wasserumlaufmengen, entsprechend grosse Leitungsdimensionen. Ebenfalls sind die grossen Arealdimensionen, damit Leitungslängen massgebend für die Kosten.
- Die Kaltwasserleitungen müssen mit viel Aufwand gegen Kondenswasser isoliert werden (Armafex).
- Durch die vergleichsweise tiefen Strompreise sind die Einsparungen tiefer als der Aufwand für die zentrale Kälteerzeugung und –verteilung.

Die Kostenrechnung bei der Variante 2 verschlechtert das Gesamtergebnis noch. Die Konditionierung der Module 2 und 5 ist nicht mit direkten Kostensenkungen verbunden. Der Nutzen muss gemessen werden an den stark verbesserten Arbeitsbedingungen in diesen Gebäuden, die indirekt zu Qualitäts- und/oder Produktivitätsvorteilen führen kann.

In der Präsentation der Ergebnisse bei TELA wurden die in dieser Studie erarbeiteten Ansätze zur teilweisen Klimaverbesserung in den Modulen 2 und 5 durch Kühlung der Zuluft als interessant betrachtet. Helbling wurde beauftragt, im weiteren Verlauf der Arbeiten diese wie folgt anzupassen:

- Es soll die Möglichkeit geschaffen werden, im Modul 2 im Sommer die stark erwärmte Luft aus den grossen Filteranlagen nach draussen umzuleiten und diese Luft durch neue aufbereitete Aussenluft zu ersetzen.
- Die Lüftungsanlagen der Module 2 und 5 sollen mit Kühlregistern ausgestattet werden.
- Die Kälteerzeugung soll in zwei Varianten ausgearbeitet werden: erstens mittels einer Absorptionskältemaschine, zweitens mit einer Kompressionskältemaschine. Die Gesamtkosten sollen miteinander verglichen werden.

### **VARIANTE 3: ZENTRALE KÄLTEERZEUGUNG UND KÜHLUNG DER MODULE 2 UND 5**

#### Kältebedarf

Der Kältebedarf für diese Variante kann aus der Variante 2 mit folgenden Änderungen abgeleitet werden:

- Wegfall des Kältebedarfes für die bereits installierten dezentralen Kühlgeräte
- Erhöhung des Kältebedarfes für die neue zusätzliche Lüftungsanlage im Modul 2

Dies führt zum folgenden Kältebedarf für diese Variante:

| <b>Kältebezüger</b>     | <b>Kältebedarf [kW]</b> |
|-------------------------|-------------------------|
| Modul 2 Lüftungsanlagen | 890                     |
| Modul 5 Lüftungsanlagen | 600                     |
| <b>Total</b>            | <b>1'490</b>            |

Tabelle 13 Kältebedarf Variante 3

#### Eckdaten der Kältemaschine

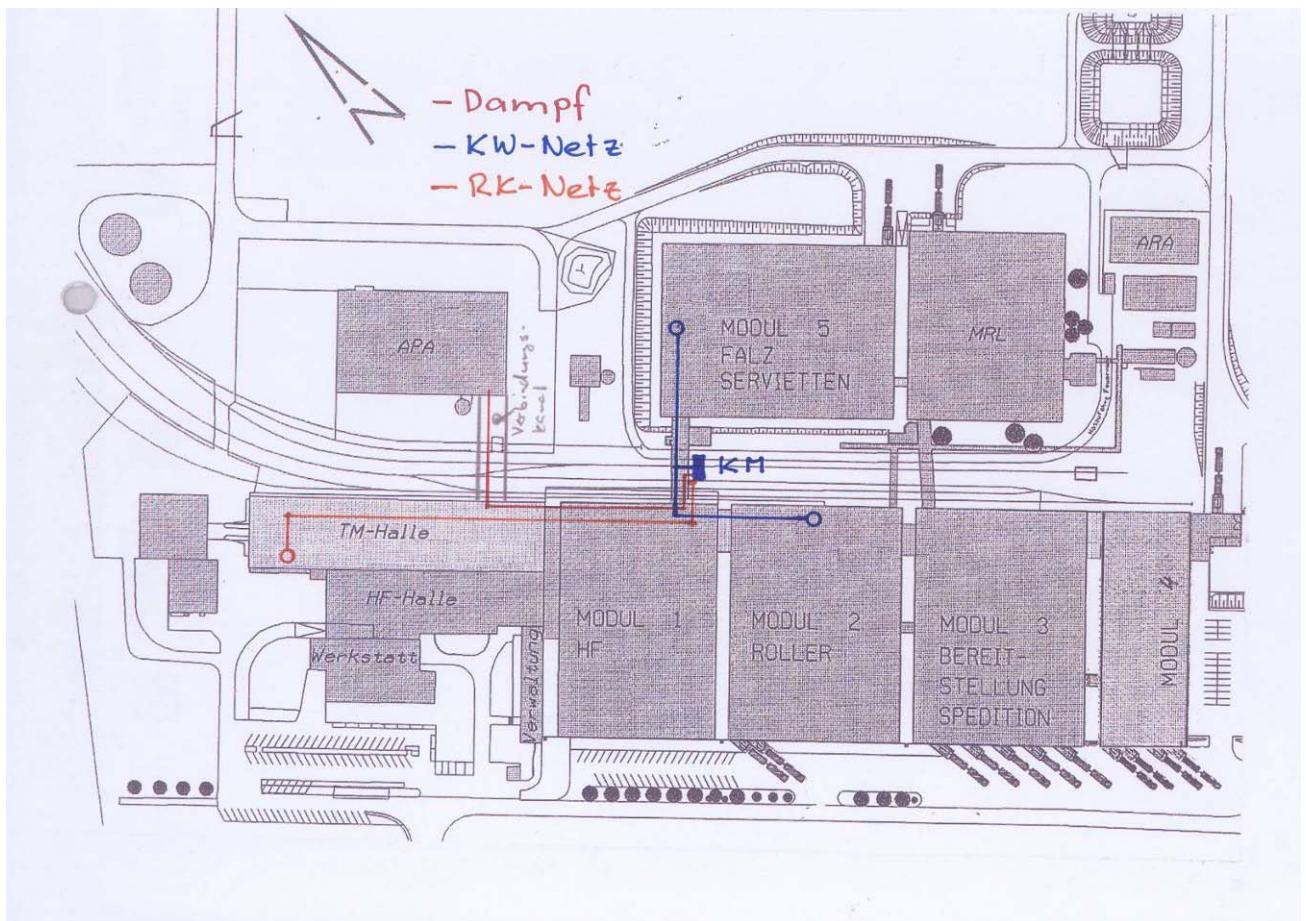
|  |      |       |
|--|------|-------|
| Kälteleistung<br>Absorptions-Kältemaschine | kW   | 1'500 |
| Dampfbedarf 10 bar                         | kg/h | 1'741 |
| Rückkühlleistung                           | kW   | 2'750 |

Tabelle 14 Eckdaten Variante Absorptionskältemaschine

|   |    |       |
|---|----|-------|
| Kälteleistung<br>Kompressions-Kältemaschine | kW | 1'500 |
| Elektrische Anschlussleistung Kompressor    | kW | 385   |
| Rückkühlleistung                            | kW | 1'885 |

Tabelle 15 Eckdaten Variante Kompressionskältemaschine

### Layout-Skizze Variante 3



Grafik 7 Layout-Skizze Variante 3

Bei der Variante Kompressionskältemaschine fällt das Dampfnetz (Dampfzuleitung und Kondensatrückleitung) weg.

Investitionskostenschätzung für die Variante 3

| Anlageteil   | Absorptions-KM   | Kompressions-KM  |
|--|------------------|------------------|
| <b>Modul 2<br/>Neue Lüftungsanlagen/Ersatzluft Filtrieranlagen</b> | 108'000          | 108'000          |
| <b>Zentrale Kälteerzeugung</b>                                     | 800'000          | 640'000          |
| <b>Hauptverteilung</b>   | 100'000          | 100'000          |
| <b>Modul 2<br/>Kaltwassererschliessung</b>                         | 390'000          | 390'000          |
| <b>Modul 5<br/>Kaltwassererschliessung</b>                         | 210'000          | 210'000          |
| <b>Gesamttotal Kälteanlage</b>                                     | <b>1'608'000</b> | <b>1'448'000</b> |
| <b>Bauliche Massnahmen</b>   | 70'000           | 70'000           |
| <b>Elektrische Erschliessung</b>                                   | 59'500           | 59'500           |
| <b>Honorare</b>  | 261'000          | 261'000          |
| <b>Gesamttotal</b>   | <b>1'998'500</b> | <b>1'838'500</b> |

Tabelle 16 Investitionskostenschätzung Variante3 für AKM und Kompr.KM

Die Gesamtinvestitionen unterscheiden sich nur bezüglich der Kälteerzeugung. Hier ist die Variante AKM um CHF 160'000 oder 25 % teurer als die Variante Kompressionskältemaschine.

## Gestehungskosten Kälte

|                             |        |       | <b>AKM</b> | <b>Kompr. KM</b> |
|-----------------------------|--------|-------|------------|------------------|
| Kälteleistung               | kW     |       | 1'500      | 1'500            |
| Investition                 | CHF    |       | 1'998'500  | 1'838'500        |
| Nutzungsdauer               | a      |       | 20         | 20               |
| Kapitalzins                 | % p.a. |       | 5.00%      | 5.00%            |
| Annuität                    | % p.a. |       | 8.02%      | 8.02%            |
| Kapitalkosten               | CHF/a  |       | 160'365    | 147'526          |
| Unterhalt - Wartung         | CHF/a  | 2.50% | 49'963     | 45'963           |
| Leistung elektr.            | kW     |       | 4.35       | 385.00           |
| Kälteenergieerzeugung       | kWh/a  |       | 3'417'000  | 3'417'000        |
| durchschn. Vollast-Betr.std | VBH/a  |       | 2'278      | 2'278            |
| Elektr. Energiebedarf       | kWh/a  |       | 9'909      | 877'030          |
| Stromkosten                 | CHF/a  | 0.09  | 892        | 78'933           |
| Totalkosten                 | CHF/a  |       | 211'219    | 272'421          |
| Kälteerzeugungskosten spez. | Rp/kWh |       | 6.18       | 7.97             |

Tabelle 17 Gestehungskosten Kälte für Variante 3 (AKM und Kompr.KM)

In der Gestehungskostenrechnung schliesst die Variante AKM besser ab: Die höheren Kapitalkosten werden kompensiert durch die niedrigeren Stromkosten. Die spezifischen Gestehungskosten der Variante AKM sind um 22,5 % tiefer als bei der Variante Kompressions-KM.

## **Beurteilung der Resultate**

### **ZENTRALE VERSUS DEZENTRALE KÄLTEERZEUGUNG**

Die zentrale Kälteerzeugung weist einige Vorteile auf:

- Sie nutzt bereitstehende hochwertige thermische Energie zur Kälteerzeugung und substituiert den entsprechenden Elektrizitätsverbrauch für die vielen dezentralen Kleingeräte
- Sie eliminiert den Unterhalts- und Wartungsaufwand für die vielen Geräte. Die Absorptionskältemaschine besitzt wenig bewegte Teile; diese sind gegenüber den Kompressionskältemaschinen mechanisch weniger beansprucht; die spezifischen Unterhaltskosten sind dementsprechend geringer. Entsprechend sind die Betriebskosten (ohne Kapitalkosten) tiefer als bei dezentralen Geräten.

Diese Vorteile werden kompensiert durch den Nachteil der zentralen Erzeugung der Kälte; diese muss durch aufwändige Leitungssysteme verteilt werden. Dadurch werden die Kostenvorteile der zentralen Erzeugung bei diesem Projekt zunichte gemacht. Der finanzielle Anreiz fehlt, um dieses System umzusetzen.

### **ABSORPTIONSKÄLTE VERSUS KOMPRESSIÖNSKÄLTE**

Im Vergleich der Technologie Absorptionstechnik versus konventionelle Kompressionskälte spielt die Absorptionstechnik ihre Vorteile aus; sie ist bezüglich der Gestehungskosten bei den vorliegenden Rahmenbedingungen mehr als 20 % günstiger.

Die finanziellen und technischen Rahmenbedingungen spielen hier aber eine grosse Rolle. Für die Absorptionstechnik begünstigend wirkten die folgenden Parameter:

- Der Dampfpreis wurde hier mit 0 CHF/MWh eingesetzt. Falls dieser mit üblichen CHF 60/MWh eingesetzt werden müsste, entständen Zusatzkosten von ca. 140'000 CHF/a und die Gestehungskosten wären höher als bei der Variante Kompressionskälteerzeugung.
- Die Rückkühlleistung kann ohne installationstechnischen Aufwand ins Zusatzwasser eingegeben werden. Wäre dies nicht der Fall, würde die höhere Rückkühlleistung der AKM gegenüber der Kompressions-KM sich in höheren Betriebskosten niederschlagen (Bau und Betrieb eines grösseren Rückkühlers).

Aber auch die Kompressions-KM hatte einen begünstigenden Faktor, der nicht selbstverständlich sind, nämlich der tiefe Strompreis(CHF 0.09 / kWh). Ein Strompreis von 0.13 CHF/kWh erhöht die Einsparungen an Elektrizität bereits um fast 40'000 CHF/a.

Fazit: Für beide zentralen Fragestellungen kann es keine überall geltende Antwort geben: die Gegebenheiten müssen bei jedem Projekt individuell betrachtet werden. Die Haupteinflussfaktoren sind jedoch genannt.

Helbling Beratung + Bauplanung AG