



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Auditbericht: 21. Juli 2010

Audit Pfister Chocolatier

Industry Audit im Rahmen des Forschungsprojektes "Einstein goes Swiss"

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Industrial High-Temperature Solar Energy
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Institut für Solartechnik SPF
Oberseestrasse 10
CH-8640 Rapperswil
www.solarenergy.ch

Autoren:

Heinz Marty, SPF Institut für Solartechnik, heinz.marty@solarenergy.ch
Elimar Frank, SPF Institut für Solartechnik, elimar.frank@solarenergy.ch

BFE-Bereichsleiter: S. Oberholzer

BFE-Programmleiter: P. Renaud

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153819 / 102968

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



1 Firmenbeschreibung

Die Firma Pfister Chocolatier in Illnau ist der Aktiengesellschaft CSCC Compagnie de chocolats et confiseries AG zugehörig und besteht seit 1983. Zwei Drittel der am Standort produzierten Produkte sind Osterhasen aus Schokolade, das letzte Drittel umfasst Pralinen und Tafelschokolade. Die 50 Mitarbeiter arbeiten im 3-Schicht-Betrieb von Montag bis Samstag. Die Produktion ist stark auf die Wintersaison ausgerichtet. Der Produktionspeak ist im Dezember und Januar um hauptsächlich Schokolade-Osterhasen für das Osterfest zu produzieren. Entsprechend fallen die Betriebsferien aus. Wenn über Weihnacht und Neujahr Betriebsferien stattfinden, dann nur wenige Tage für kleine Arbeiten an den Produktionsstrassen. Definitiv festgelegt sind hingegen die Betriebsferien an Ostern (eine Woche) und im Sommer (zwei Wochen).

Die Firma Pfister Chocolatier verarbeitet durchschnittlich 600-700 Tonnen Schokolade pro Jahr. Die Schokolade wird vollständig auf einem Temperaturniveau von 45 °C angeliefert und darf während der Weiterverarbeitung und bis zur Abfüllung in Formen eine Temperatur von 35 °C niemals unterschreiten.

Pfister Chocolatier ist ein Energie-Grossverbraucher und daher im Kanton Zürich gemäss gesetzlichem Artikel (ENG Art. 13) verpflichtet Effizienzmassnahmen umzusetzen und diese Massnahmen der Baudirektion des Kantons nachzuweisen. Dazu kann die Firma aus folgenden zwei Optionen von Zielvereinbarungen wählen: Option A, Erstellung einer Energieverbrauchsanalyse oder Option B, Vereinbarung zwischen Baudirektion und einer frei wählbaren Gruppe von Unternehmen. Pfister Chocolatier hat sich für Option B entschieden und ist der Grossverbrauchergruppe „Zürich Land“ beigetreten. Durch den Erfahrungsaustausch in der Gruppe ergeben sich neue Inputs für energieeffiziente Lösungen und es ist (durch die Anforderungen des Kantons) ein jährliches Energie Controlling sichergestellt.

Die Geräte für die Wärmebereitstellung bei Pfister Chocolatier sind zum Teil seit Neubau des Standorts im Jahre 1983 in Betrieb. Ein kontinuierlicher Prozess von Geräteaus tausch, Umbau und auch Gebäudesanierung ist beim Produktionsstandort mit ca. 5'800 m² Energiebezugsfläche (EBF) (siehe Appendix I) im Gang. In der Grossverbrauchergruppe wird über diese Aktivitäten diskutiert und nach optimalen Lösungen gesucht. Im Jahr 2010 steht eine Flachdachsanierung an und Pfister Chocolatier prüft bei dieser Gelegenheit inwiefern eine Solaranlage mit etwa 80 m² Kollektorfläche integriert werden kann und um wie viel sich dadurch der Ölverbrauch senken lässt.

2 Energieverbrauch und -bereitstellung

Die 600-700 Tonnen Schokolade die von Pfister Chocolatier pro Jahr verarbeitet werden, werden vom Zulieferer in Tanklastern mit 45 °C

der Firma angeliefert. An Tagen mit maximaler Produktion werden pro Tag nach Abschätzungen vom SPF vier Tonnen Schokolade umgesetzt. In der Warenanlieferung im Untergeschoss, wo vier Doppelwandbehälter mit je einem Fassungsvermögen von einer Tonne Schokolade platziert sind, wird die Schokolade zwischengelagert. Die Schokolade in den Behältern wird über die wassergefüllte und elektrisch beheizte Doppelwand warmgehalten. Dazu werden alle vier Behälter gesamthaft mit 18kW elektrisch beheizt. Jeder Behälter ist mit drei Heizstäben bestückt. In den Behältern muss die warme Schokoladenmasse ständig gerührt werden, um Bröckchenbildung zu vermeiden. Dies erfolgt über ein Rührwerk am Boden der Behälter. Wichtig ist dabei, dass sich die Behälter im Betrieb nicht verformen, weswegen der wassergefüllte äussere Mantel drucklos ist.

Die Firma verfügt über eine Schokoladenverteilung mit einer Gesamtlänge von etwa 300 m. Diese Verteilung wird auch über ein mit Wasser gefülltes Doppelwandsystem warmgehalten. Weitere gleiche vier Doppelwandbehälter, solche wie in der Warenanlieferung, sind in der Produktion (EG) installiert. Die Wärme für die Puffer und für die Schokoladenverteilung wird ausschliesslich elektrisch mit Elektroheizstäben bereitgestellt. Die Spitzenlast an elektrisch aufbereiteter Wärme all dieser Anwendungen (Lagerung, Verteilung, Zwischenlagerung) beläuft sich gesamthaft auf ca. 125kW.

Für Reinigungsprozesse wird Warmwasser mit einem Ölbrenner (Leistung, 110-150 kW) auf 60°C erwärmt und für die Prozesse hergenommen. Als Backup ist ein weiterer Ölbrenner installiert (Leistung, 160kW). Weitere elektrische Verbraucher sind Pressluft-Kompressoren mit totaler Spitzenlast von 30kW sowie eine Kältemaschine mit drei Kompressoren an total 43kW (2*16 kW und 1*11 kW) elektrische Nennlast.

Der Endenergiebedarf pro Jahr von Strom und Öl beläuft sich auf jährlich 1700MWh wovon 1300MWh (77%) reiner Strombedarf ist, siehe Abbildung 1. Es wird abgeschätzt, dass ca. 520MWh resp. 40% des gesamten Strombedarfs für die Schokoladenwarmhaltung benötigt wird. Eine detailliertere Aufteilung des Öl- und Strombedarfs auf verschiedene Anwendungen wurde basierend der Nennlast und der geschätzten Laufzeit der diversen Geräte abgeschätzt und in Tabelle 1 und Tabelle 2 dargestellt.

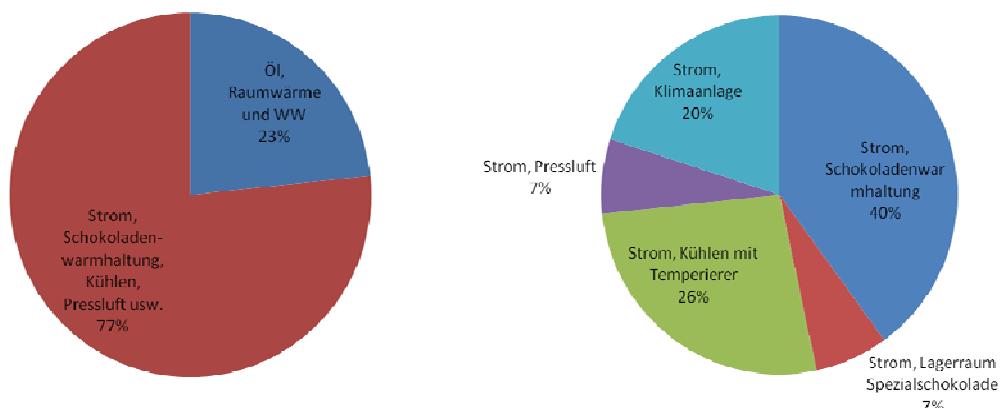


Abbildung 1: Endenergieanteile und Prozesszuteilung für Energiebedarf der Produktion.
Links: Unterteilung von Öl und Strom, Rechts: Zuweisung des Strombedarfs

Tabelle 1: Aufteilung des Ölverbrauchs auf Prozesse

| Verbraucher | Menge |
|--|-----------|
| Heizung des Gebäudes | 280 MWh/a |
| WW für Gerätewaschstation | 100 MWh/a |
| WW f Händewaschen, Duschen u.a. (gesamte Hausverteilung) | 20 MWh/a |
| Summe | 400 MWh/a |

Tabelle 2: Aufteilung des Stromverbrauchs auf Anwendungen und Prozesse

| Verbraucher | Beschreibung | Menge |
|---|--|------------|
| 4 1Tonnen Schokoladenspeicher im Keller/Wareneingang | 12 Heizstäbe a 12*1.5kW | 104 MWh/a |
| 2 1Tonnen Schokoladenspeicher im OG | 8 Heizstäbe 8*2kW | 156 MWh/a |
| 2 1Tonnen Schokoladenspeicher im OG und 300m Schokoladenleitung | Heizstab in Durchlauferhitzer mit 16kW für 2 Schokoladenspeicher und Schokoladenverteilleitung | 260 MWh/a |
| Lagerraum Spezialschokolade | Heizelemente a total 5.1kW | 87 MWh/a |
| Temperierte | 4 Kompressoren a 4*10kW | 346 MWh/a |
| Pressluft | 3 Kompressoren a 1*22kW und 2mal 7.5kW | 87 MWh/a |
| Klimaanlage | 3 Kompressoren a 2*16kW und 1*11kW | 260 MWh/a |
| | Summe | 1300 MWh/a |

3 Relevante Prozesse

Zentrale thermische Prozesse in der Firma sind die Warmhaltung der Schokolade sowie das Temperieren der Schokolade. Bei diesen beiden Prozessen wird elektrisch geheizt (Warmhaltung auf 40 °C) und gekühlt (von höchstens 40 °C auf 28 °C). Integrieren eines Wärmeübertragernetzwerks (HEN = heat exchanger network) zur Wärmerückgewinnung (WRG) der Prozesswärme sowie die Substitution der elektrischen Wärmebereitstellung wurden als Optimierungsansätze erkannt und im Weiteren mit dem EINSTEIN-Tool analysiert.

Prozesse wie die Gebäudeheizung und Gebäudeklimatisierung sind weitere relevante Prozesse, welche aber nicht im Detail weiter analysiert wurden, da sie (wie vorgängige Audits des SPF ergeben haben) noch nicht zufriedenstellend mit EINSTEIN modellierbar sind.

4 Abbildung in EINSTEIN

Die drei zuvor beschriebenen Prozesse (Warmhaltung der Schokolade, Temperieren der Schokolade sowie die Bereitstellung des Warmwassers für die Waschstation) wurden in EINSTEIN abgebildet. In den folgenden 3 Tabellen unten sind die 3 Prozesse im Detail beschrieben.

Tabelle 3: Prozessdefinitionen von Prozess „Schokoladenwarmhaltung“ wie sie in EINSTEIN verwendet werden.

| Bezeichnung | Grösse |
|---|--|
| Prozessart | Batch, 3*8h/Tag, 288 Tage/a |
| Tägliches in Schokoladenspeicher einfließendes Volumen (Durchschnitt) | 1900 l |
| Leistungsbedarf während Prozesszeit | 61 kW |
| Jährlicher Energiebedarf von Prozess | 421 MWh |
| Möglichkeit für Abwärmenutzung | Ja, bis runter auf Umgebungstemperatur |

Tabelle 4: Prozessdefinitionen von Prozess „Warmhaltung Spezialschokolade“ wie sie in EINSTEIN verwendet werden.

| Bezeichnung | Grösse |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Prozessart | Batch, 3*8h/Tag, 288 Tag/a |
| Leistungsbedarf während Prozesszeit | 10 kW |
| Jährlicher Energiebedarf von Prozess | 70 MWh |
| Möglichkeit für Abwärmenutzung | Nein |

Tabelle 5: Prozessdefinitionen von Prozess „Warmwasser“ wie sie in EINSTEIN verwendet werden.

| Bezeichnung | Grösse |
|---|--|
| Prozessart | Kontinuierlich, 24h/Tag, 288 Tag/a |
| Tägliches in Warmwasserspeicher einfließendes Volumen | 5700 l |
| Temperaturniveau | 10-60 °C |
| Leistungsbedarf während Prozesszeit | 25 kW |
| Jährlicher Energiebedarf von Prozess | 96 MWh |
| Möglichkeit für Abwärmenutzung | Nein |

Die Prozesse Raumklimatisierung und Gebäudeheizung wurden in EINSTEIN nicht abgebildet (s.o.). Des Weiteren ist die Abwärmenutzung der Pressluftkompressoren nicht modelliert worden. Zum einen lässt sie sich nicht gut in den Prozess integrieren und zum andern können die unregelmässigen und nicht periodisch definierbaren Prozesszeiten der Kompressoren in EINSTEIN nicht abgebildet werden.

5 Ergebnisse der Abbildung

Die in EINSTEIN erstellten Proposals (Optimierungsvorschläge) enthalten die Ergebnisse der Abbildung des status quo sowie Vorschläge zur Effizienzsteigerung und Reduktion des (fossilen) Primärenergiebedarfs. Nach Eingabe der oben definierten Prozesse und nach prüfen auf Konsistenz¹ wurden zwei Proposals erstellt. Das eine Proposal A (Solar) beinhaltet eine Variante, welche die Integration einer Solaranlage prüft und aufzeigt, was für ein Solarertrag in MWh/a bei Energiebereitstellung für alle im EINSTEIN-

¹ In EINSTEIN ist ein consistency check integriert, der die eingegebenen Daten und den so definierten Bedarf von Strom und Öl mit dem Energiebedarf der Prozesse abgleicht.

Projekt definierten Prozesse erzielt wird. Das andere Proposal B (WRG) beinhaltet eine WRG, welche die Abwärme, die beim Temperieren entsteht, rückgewinnt. Auch hierfür wird aufgezeigt, welche Energiemenge pro Jahr rückgewonnen wird und mit welchen Investitionen dies verbunden ist.

5.1 Proposal A (Solar)

5.1.1 Randbedingungen

Tabelle 6: Randbedingungen für Proposal A Solar

| Bezeichnung | Grösse |
|---|--------------------------------|
| Nutzbare vorhandene Dachfläche | 250 m ² (Flachdach) |
| Ausrichtungsbevorzugung der angedachten Kollektorfläche | Süden |
| Aufständerung der Kollektoren | 45° |
| Verschattung | Nein |
| Breitengrad | 47.4°nB |
| Globalstrahlung auf die horizontale Fläche | 1100kWh/m ² .a |
| Durchschnittliche Aussentemperatur | 9.8°C |
| Anzustrebender solaren Deckungsgrad | 20% |

5.1.2 Resultate

- Von EINSTEIN empfohlene Bruttofläche von Vakuumröhrenkollektoren: 189 m² (Installed Capacity: 132 kW)
- Von EINSTEIN empfohlener Speicher: 9.45 m³
- Spezifischer Kollektorertrag: 621 kWh/m² (888 kWh/kWa)
- Solarertrag: 117 MWh/a (7% des gesamten Energiebedarfs (Strom und Öl) von 1700MWh/a, resp. 8% des gesamten Wärmebedarfs für alle Prozesse von 1440MWh/a)
- Endenergieeinsparung: 130MWh/a (Solarertrag / Brennereffizienz, bei Pfister mit 90% angenommen)
- Primärenergieeinsparung: 325MWh/a (SIA² Primärenergiefaktoren: 2.9 für Strom und 1.1 für Erdöl. Aus dem Energiemix bei Pfister resultiert ein Primärenergiefaktor von 2.5 zusammengesetzt aus 24% Strom und 76% Erdöl.)
- Investitionen: 148'000 CHF

5.2 Proposal B Wärmerückgewinnung (WRG)

5.2.1 Randbedingungen basierend auf den Prozessdefinitionen

- Prozess, welcher die bei der Kühlung der Schokolade abführende Wärme aufnimmt: Prozess Warmwasserbereitstellung (Aufheizen von Wasser von 10-60°C, Wasserverbrauch 5.7m³/Tag, Nenndurchsatz von Wasser 241kg/h).
- Abwärmepotenzial von Prozess Schokoladenwarmhaltung: Übertragungsleistung 12kW, Wärme bis minimal 10°C, jährlich maximale Wärmeübertragung von 16.5 MWh/a.

² SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

5.2.2 Resultate

- Übertragene Wärme: 2.7 MWh/a (16% von Optimum 16.5 MWh)
- Übertragungsleistung: 2kW
- Stationäre Temperaturen am Wärmetauscher: Primär (37/15 °C), Sekundär (10/17.4 °C) und mittlere logarithmische Temperaturdifferenz LMTD (10.7 K)
- Investitionskosten: 3'472 CHF

5.3 Bewertung der Proposals

Das Proposal A (Solar) ergibt mit EINSTEIN ansprechend gute solare Ertragswerte. Mit einer Kollektorfläche von 189 m² kann 117MWh/a (7%) der benötigten Energie bereitgestellt werden. Dies unter der Annahme wenn die Solaranlage bei allen Prozessen einen Teil der benötigten Wärme beisteuern kann, also im Speziellen auch die für die Schokoladenwarmhaltung bei den Schokoladenspeichern und beim Schokoladenverteilnetz, was mit der momentanen hydraulischen Verschaltung nicht möglich ist.

Für die Erweiterung mit einer Solarthermieanlage weist EINSTEIN Investitionskosten von 158'000 CHF (für 189 m² Kollektorfläche) aus. Mit einem Energiepreis von 120 CHF pro MWh (hergeleitet aus Energieverbrauchverteilung: 24% Heizöl für 82 CHF/MWh und 76% Strom für 130 CHF/MWh, Preise gemäss Angebot von Juli 2010) resultieren so Einsparungen für bisher verwendete Endenergiemengen von 16'900 CHF/a (entspricht einer Endenergieeinsparung von 130MWh/a). Nach eher konservativen Annahme von Kapitalzinssatz 6%, Energiepreisseigerung 1% und Inflation 2% lässt sich eine sehr kurze Paybackzeit von gerade knapp über 9 Jahren ausweisen. Der Nettoertragswert nach 20 Jahren (NPV20) kommt auf hohe 66'500 CHF. Die Investitionskosten für die Option, Solarwärme an die Schokoladenwarmhalteanwendungen abgeben zu können, ist in dieser Rechnung nicht enthalten und kann durch Einholen von Offerten noch abgeschätzt werden.

Das Proposal B (WRG) zeigt auf, dass eine WRG von Schokoladenkühlung (40-28°C) auf Warmwasseraufbereitung (10-60°C) nicht zu empfehlen ist. Ertrag und Aufwand stehen nicht im Verhältnis. Das Wärmerückgewinnungspotenzial kann nicht genutzt werden, da der Bedarf an Warmwasser (einziger Prozess, welcher auf diesem tiefen Temperaturniveau von 10-60°C Wärme benötigt) zu gering ist (2.7 MWh/a resp. Energiekosteneinsparung von 350CHF/a). Wirtschaftlich ist dieses Proposal fraglich, da der Nettoertragswert nach 20 Jahren (NPV20) auch nur gerade mal 1700CHF ist.

6 Schlussfolgerung

Das Audit zeigt auf wo grosses Potenzial für Steigerung der Energieeffizienz vorhanden ist. In Appendix II ist eine Idee dargestellt wie der Bedarf an Wärme am Standort zu 8% mit der Sonne bereitgestellt werden kann (vgl. Abschnitt 5.1.2). Die vielversprechende Idee in Appendix II von einem zentralen Speicher und zentraler Wärmebereitstellung, welche alle Speicher und das Warmhaltesystem im Verteilnetz bedient, kann mit EINSTEIN im Detail in der aktuellen Version nur bedingt abgebildet werden, wobei das Solarertragspotenzial für weitere Berechnungen verwendet werden kann.

Die angesprochenen saisonalen Produktions-Peaks um Weihnachten (für Oster-Produktion) und im Sommer (für Weihnachts-Produktion) konnten in EINSTEIN nicht mit berücksichtigt werden. Jedoch kann das in dieser Analyse vernachlässigt werden da der solare Deckungsgrad mit 8% klein ist und der Solarertrag eines 190m² grossen Kollektorfeldes auch bei Nebenproduktionsphasen volumnfänglich in die Prozesse integriert werden kann.

Im Gegensatz zu EINSTEIN empfehlen die Autoren dieses Berichts das einsetzen von Flachkollektoren für diese Anwendung. Aufgrund welcher Randbedingungen EINSTEIN Vakuumröhrenkollektoren (VRK) empfohlen hat muss noch abgeklärt werden. VRK können sicher eingesetzt werden, der Einsatz lässt sich wirtschaftlich für diese Anwendung jedoch eher kaum Begründen.

Das SPF empfiehlt Variante aus Appendix II weiter zu verfolgen. Denn vor allem da kann die Solarwärme auch auf den Hauptverbraucher (die Schokoladenwarmhaltung) übertragen und so der Endenergieverbrauch resp. der Primärenergiebedarf am Standort um 325MWh/a gesenkt werden (vgl. Abschnitt 5.1.2). Durch die Möglichkeit alle Prozesse mit Solarwärme zu bedienen ist das Kollektorfeld mit einer Bruttofläche von 190m² (EINSTEIN-Empfehlung) angebracht ausgelegt. Aufgrund minimaler Wärmeabnahme aller Prozesse von ca. 125kW (vgl. Abschnitt 2) sind für die Kollektorfeldauslegung auch Flächen von 80-250m² angebracht.

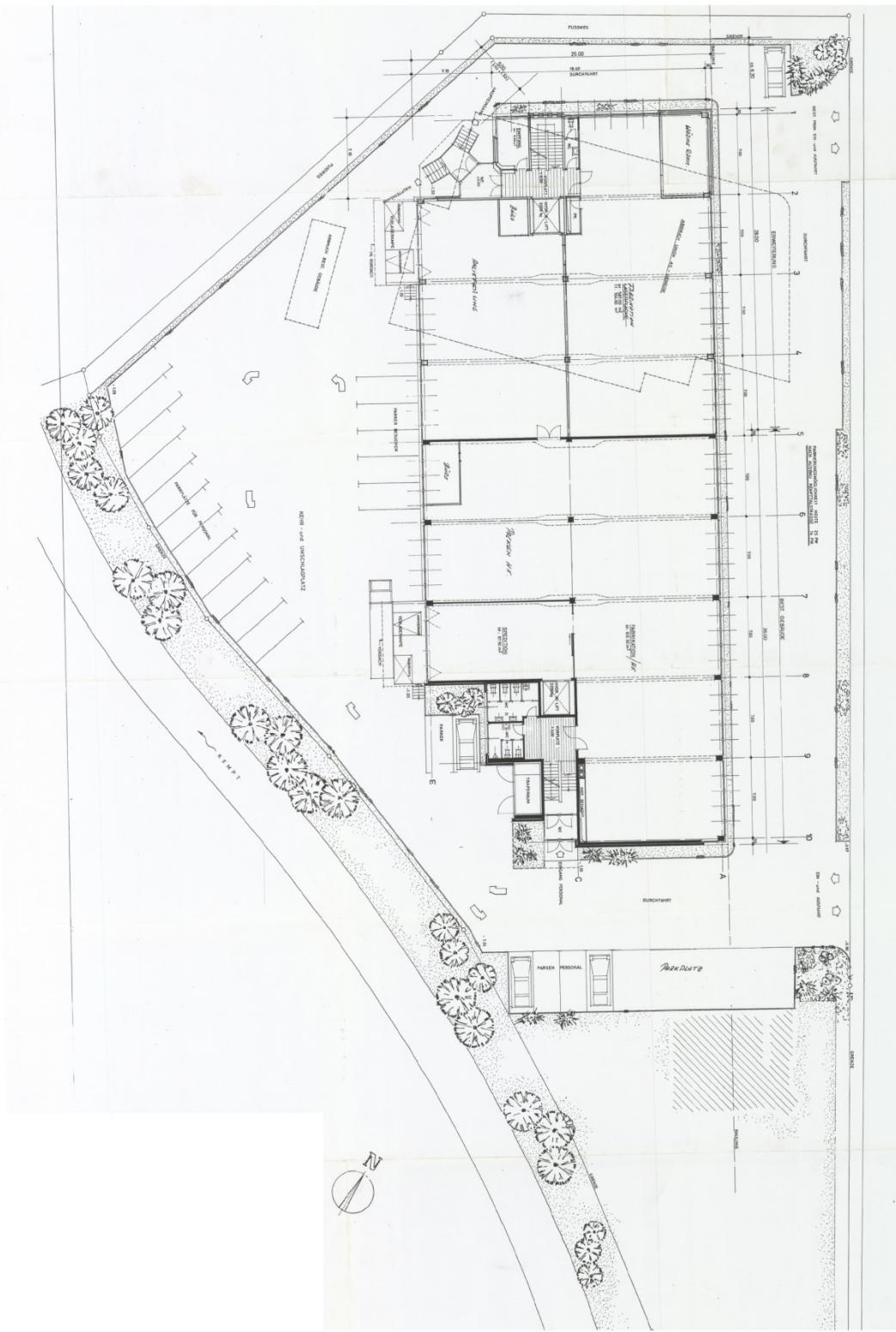
Die von Pfister Chocolatier angedachte Solaranlage von 80m² (vgl. Abschnitt 1) für ausschliessliche Aufbereitung von Warmwasser (vor allem benötigt für Reinigungsprozesse) ist basierend auf den momentanen Information (Juli 2010) gut ausgelegt. Jedoch lässt sich der Strombedarf am Standort nicht senken und somit ist die masgebliche Einsparung an Primärenergie von ca. 50MWh/a durch diese Variante verglichen mit Variante in Appendix II um mehr als beachtlichen Faktor 6.5 kleiner.

Beide Solarvarianten steigern die Energieeffizienz am Standort, wobei die in Appendix II massiv effizienter ist. Im Allgemeinen lässt sich der Primärenergiebedarf am Standort stark senken, wenn möglichst wenig Wärme mit Elektroheizstäben bereitgestellt wird.

Appendix

| | | |
|----|--|----|
| I | <i>Grundriss Standort Pfister Chocolatier in Illnau.....</i> | 9 |
| II | <i>SPF Vorschlag für die Hydraulik.....</i> | 10 |

Appendix I Grundriss Standort Pfister Chocolatier in Illnau



Appendix II SPF Vorschlag für Hydraulik

Idee: Integration von Wärme aus zentralem WW Speicher in Schokoladenpufferspeicher und Schokoladenwarmhaltung

