



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Auditbericht: 17. Juni 2010

Audit Edwards

Industry Audit im Rahmen des Forschungs-
projektes “Einstein goes Swiss”



SPF

Solartechnik
Prüfung
Forschung



HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL

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 Edwards Lifesciences AG besteht seit 1958, als der Gründer Miles "Lowell" Edwards in den USA beschloss, das erste künstliche Herz zu konstruieren. Auf Anraten von Dr. Albert Starr, einem jungen Chirurgen an der Medizinischen Fakultät der Universität Chicago, konzentrierte er sich anstelle des gesamten Herzes vorerst auf die Konstruktion einer künstlichen Herzklappe, für welche unmittelbarer Bedarf bestand. Bereits 1960 wurde die erste Klappenimplantation an der Medizinischen Fakultät der Universität Oregon erfolgreich durchgeführt. Noch heute sind die Herzklappen ein zentrales Produkt von Edwards. Die Firma Edwards mit Hauptsitz in Irvine, Kalifornien (USA) hat weltweit 6300 Mitarbeiter. Am Fertigungsstandort in Horw (Wirtschaftszweig „Produktion von Gütern für das Medizinalwesen“ NACE-CODE:DL33), werden hauptsächlich Herzklappen gefertigt, wozu Reinraum-Bereiche nötig sind. Es ist eine Fertigungsstätte mit hohem Energiebedarf für Warmwasser und hoher Klimatisierungsbedarf aufgrund interner Wärmelasten. Die 250 Mitarbeiter bei Edwards in Horw sind aufgeteilt in diverse Arbeitsgruppen. Zwei davon (je 100 Arbeiter) arbeiten im 2-Schicht-Betrieb von 06:00-22:00 Uhr (Schichtwechsel zwischen 14 und 15 Uhr). Vorgängige Arbeiten starten jedoch bereits um 05:30 Uhr und abschliessende Arbeiten von kleineren Gruppen enden um 23:30 Uhr. Am Sonntag wird nicht produziert. Es finden keine Betriebsferien statt. Die Produktion verläuft konstant über das gesamte Jahr.

2 Energieverbrauch und -bereitstellung

Die Produktionsstätte in Horw besteht aus einem einzigen kompakten Gebäude mit fünf Etagen (UG, EG, bis zum 3. OG). Die Energiebezugsfläche aller Etagen beläuft sich auf 2813 m². Energie wird in Form von Öl und Strom bezogen. Die gesamte jährlich bezogene Energie (Öl und Strom) beläuft sich gemäss Abrechnung auf total 1151 MWh/a. Aus der Jahresabrechnung für Strom, Öl und Kaltwasser welche in monatlicher Auflösung vorliegt, konnten die Werte genauer den wesentlichen Wandlern bzw. Verbrauchern zugewiesen werden. Für die Raumheizung (zentraler Ölkessel, Verteilung via Heizkreis, s.u.) werden 433MWh/a benötigt (entspricht etwa 45000 Litern Öl pro Jahr), die Warmwasserbereitstellung (bislang rein elektrisch und mittels mehrerer kleiner Speicher in verschiedenen Produktionsbereichen) benötigt 175MWh/a Strom und die Raumklimatisierung 235MWh/a Strom. Die anderen mit Strom betriebenen Geräte (vorwiegend für die Produktion und Beleuchtung) beziehen weiter 309 MWh/a. Im Detail sind die Daten in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 1: Energieverbrauch nach Bezugsenergieträger

Art	Menge	Anteil
Öl	433'053 kWh/a	38%
Strom	717'667 kWh/a	62%

Tabelle 2: Bezugsenergiemenge von Strom und Öl nach Bereich

Bereich	Menge	Anteil
Raumheizung	433'000 kWh/a	38%
Warmwasser 60° / Sterilisations Prozesse	175'000 kWh/a	15%
Klimatisierung (Kühlung, Be/Entfeuchtung)	235'000 kWh/a	20%
Andere	309'000 kWh/a	27%
Lüftung	124'000 kWh/a	11%
Bürogeräte / Belichtung	185'000 kWh/a	16%

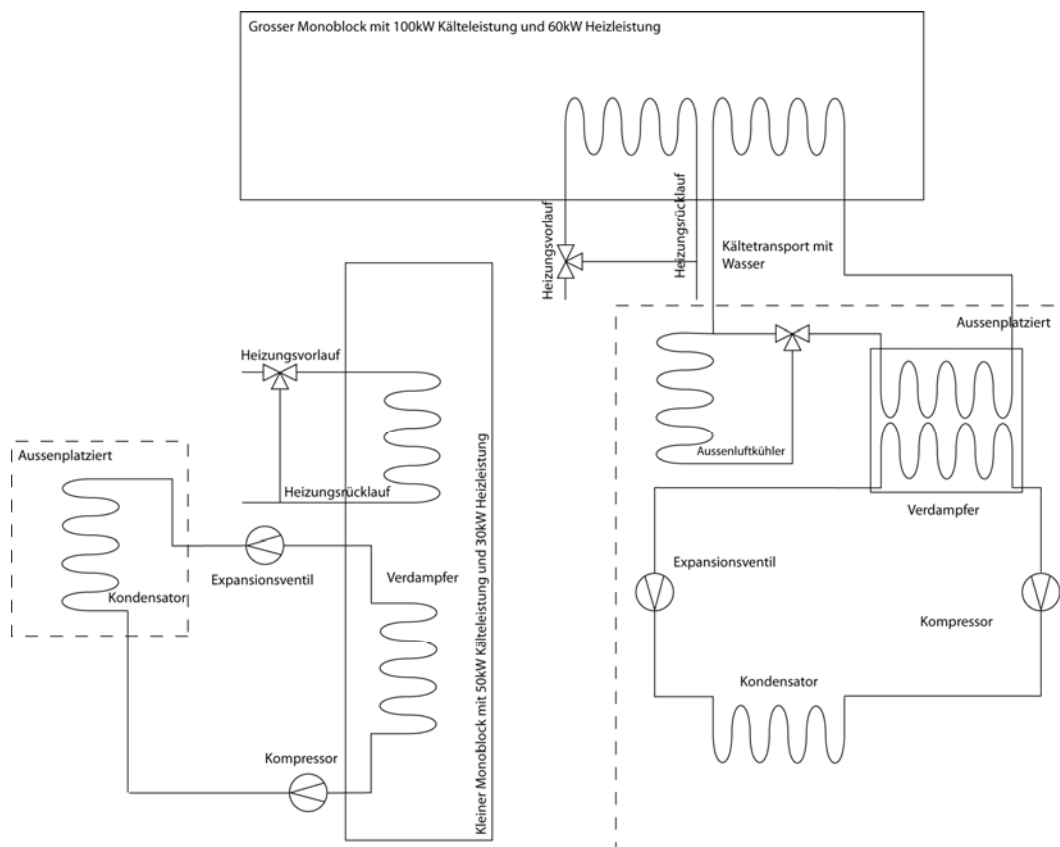


Abbildung 1: Übersicht der hauptsächlich Kältemaschinen und die Heizregister in den Monoblocks. Eigene Skizze nach Firmenangaben.

Energiebereitstellung Raumheizung

Die energetisch grösste Energiebereitstellungsanlage bei Edwards ist der Ölbrenner. Mit 180 kW thermischer Nennleistung beliefert er das Gebäude mit Raumheizungs-wasser, je nach Bedarf auf einem Temperaturniveau von bis zu 50°C und mit Volllast. In zwei grossen Monoblocks wird die Wärme via Luft/Wasser-Wärmeübertrager auf einen Luftstrom übertragen (vgl. Abb.1), der den Reinraum und den grössten Laborraum beheizt. Im weitem beliefert der Ölbrenner direkt mit Raumheizungswasser zusätzlich alle Radiatoren die im Haus in Büros und anderen Räumen verteilt sind. Die Aufteilung der Wärme auf Monoblocks und Radiatoren ist nicht bekannt.

Kälteversorgung

Es sind insgesamt sieben Kältemaschinen installiert mit einer Gesamt-Kälteleistung von 200 kW_{th}. Die Kälte wird hauptsächlich von dem Reinraum und dem Laborraum benötigt (Kältelast bis zu 120 kW_{th}) der auf 20°C geregelt wird. Die zwei grössten Kältemaschinen haben Nennleistungen von 100 kW und 50 kW. Weitere kleinere Splitgeräte beliefern den Serverraum und kleinere Räume mit Kälte. Die Kondensatoren der Kältemaschinen sind alle aussenplatziert. Alle Verdampfer der Kältemaschinen sind innenplatziert bis auf Ausnahme des Verdampfers der 100 kW-Kältemaschine, welcher ebenfalls aussen platziert ist.

Energiebereitstellung Trinkwarmwasser

Das Trinkwarmwasser wird ausschliesslich dezentral bereitgestellt und elektrisch beheizt. Dazu sind ca. 8 Speicher von 100 l bis 1000 l mit integrierten Heizstäben (zum Teil mit Regelung für Hoch- und Niedertarif) installiert. Die Speicher, beheizt auf ~60°C, dienen zum einen für den hauptsächlich Warmwasserbedarf des „Gowing-Room“ (Händewaschstation vor dem Reinraum), Brauchwarmwasser im Laborraum, Duschräume und Pausenräume. Aufgrund von Produktionsrichtlinien muss der 1000 l Speicher konstant mit über 60°C heissem Wasser beladen sein. Hauptverbraucher dieses Speichers sind die total 6 Händewaschstationen vor dem Reinraum. Der maximale Wärmefluss aller Händewaschstationen kann mit folgender Beziehung berechnet werden:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$$

Dabei ist $\dot{Q}$ der Wärmefluss in kW, $\dot{m}$ der Massenstrom in kg/s, c_p die Wärmekapazität des Mediums in kJ/kg/K, T_1 die Heisswassertemperatur und T_2 die Kaltwassertemperatur in °C. Wählt man für die genannten Grössen folgende Werte:

$$\dot{m} = 6 \text{ kg/min}$$

$$T_1 = 40 \text{ °C}$$

$$T_2 = 15 \text{ °C}$$

resultiert für den Wärmefluss $\dot{Q}$ während einer Händewaschaktion 10.5 kW.

Mit weiteren Angaben, wie Anzahl von Waschaktionen pro Person und Tag, Dauer pro Waschaktion und Dauer der täglichen Produktionszeit, lässt sich der tägliche Energieverbrauch und die mittlere Bezugsleistung abschätzen. Annahmen für genannte Grössen:

- Anzahl Arbeiter = 200
- Anzahl Waschaktionen pro Person und Tag = 6
- Dauer pro Händewaschaktion = 50s
- Produktionsdauer von 06:00Uhr bis 22:00Uhr = 16h

Somit resultiert für den täglichen netto Energieverbrauch 181 kWh und für die mittlere Bezugsleistung 10.9 kW.

In Abb. 2 wird der Trinkwarmwasserverbrauch, der aus obigen Annahmen resultiert, dargestellt. Rechnet man den Verbrauch auf ein ganzes Jahr entspricht dies etwa einem Viertel des gesamten Wasserverbrauchs von Edwards, der in Quartalsauflösung vorliegt.

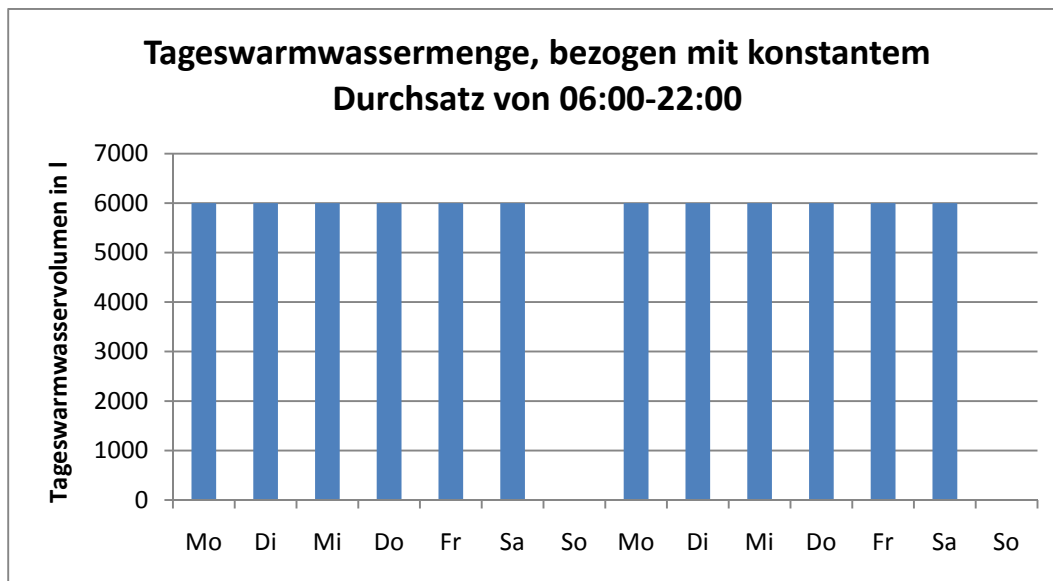


Abbildung 2: Durchschnittliche Warmwassermenge pro Tag, Bezug gleichmässig verteilt über die Woche (ohne Sonntag) und von 06:00-22:00. Daten aus Firmenangaben, hergeleitet über monatlichen Kaltwasserverbrauch.

3 Relevante Prozesse bzw. Wärmeströme

Energieintensive Anwendungen und damit relevant für das EINSTEIN Audit sind prinzipiell die Sterilisationsprozesse mittels Autoklaven, die Bereitstellung von Warmwasser für Händewaschen (dies ist nach jedem Eintritt in den Reinraum Pflicht), das Klimatisieren des Reinraums und der Büroräume sowie das Kühlen der Klimakammern und des Serverraums. Durch den hohen Verbrauch an Heizöl stellt die Bereitstellung von Raumwärme ebenfalls einen relevanten Punkt für eine genauere Betrachtung dar. Aus der Begehung und den Diskussionen mit dem Fachpersonal bei Edwards ging jedoch hervor, dass aufgrund der dann nötigen erneuten Validierung der Prozesse eine Prozessoptimierung durch Massnahmen zur Einbindung von Wärmerückgewinnung oder erneuerbare Energien nicht möglich ist. Aus diesem Grund werden in diesem Abschnitt auch keine detailliertere Analysen des Wärmebedarfs einzelner Prozesse oder – abschnitte beschrieben. Dennoch wurden für das Projekt „EINSTEIN goes Swiss“ Daten erhoben, um die Möglichkeiten zu eruieren, das Expertensystem EINSTEIN für die verbleibenden Wärmeströme zu nutzen (vgl. Kapitel 4). Dazu gehören der Raumwärme- und Kältebedarf des Gebäudes und der Wärmebedarf für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser sowie mögliche Wärmerückgewinnungsmassnahmen für diese Bereiche.

4 Analyse mit EINSTEIN

Die eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten von EINSTEIN liegen im Fall von Edwards vorwiegend darin, dass nicht der Prozess selbst abgebildet wird (hier liegt der Schwerpunkt von EINSTEIN), sondern die Peripherie. Der Sterilisationsprozesse mittels Autoklaven wurden nicht abgebildet, da bei diesem Prozess nach Angaben des Unternehmens weder Optimierungspotential besteht, noch ein Eingriff in die vorhandene Anlagentechnik möglich ist. Der Raumwärme- und Kältebedarf des Gebäudes kann in der derzeitigen EINSTEIN-Version ebenfalls nicht direkt abgebildet werden, da das entsprechende Modul noch nicht

fertiggestellt ist. Um die Energiebilanz zu überprüfen, wurde zunächst im EINSTEIN ein Prozess „Gebäudeheizung“ definiert, der jedoch für die weitere Analyse von möglicher Wärmerückgewinnung etc. aufgrund der nicht realistischen zeitlichen Verteilung des Raumwärmebedarfs über das Jahr nicht verwendet werden kann. Dies hat dann im EINSTEIN zur Folge, dass die Vorgabe des Energieverbrauchs entsprechend angepasst werden muss, da sonst der notwendige „consistency check“ nicht durchläuft und die Dimensionierung beispielsweise der Solaranlage erschwert wird.

Anhand der erhobenen Daten wurden im Expertensystem EINSTEIN der Wärmebedarf für Trinkwarmwasser, die Abluftwärmeströme der Reinraum-Klimatisierung und thermischen Energieströme der Kältemaschinen abgebildet. Letztere können, sofern sie vorwiegend für die Gebäudeklimatisierung eingesetzt werden, in EINSTEIN jedoch nicht real abgebildet werden, sondern lediglich anhand einer über die allgemeine Betriebszeit gemittelten Leistung (z.B. aus Angaben zur Nennleistung und Laufzeit) und/oder über die Eingabe eines wochenperiodischen Profils im EINSTEIN. Auch die Wärmerückgewinnung der Abwärme ist im Fall von Edwards nicht von den Prozessen, sondern vorwiegend vom Gebäude abhängig. Die Kältemaschinen für die Raumklimatisierung und Kaltwasserbereitstellung sowie die Kühlschränke und Splitgeräte der Büros wurden in der Kategorie „Heat recovery from electrical equipment“ abgebildet. So konnte die Abwärmenutzung dieser Geräte in die Analyse eingebunden werden. Indirekt sind diese Prozesse damit auch als Verbraucher in EINSTEIN vorhanden.

Die Erträge der Solaranlage können nur stark vereinfacht berechnet werden, vor allem da der Wärmebedarf des Gebäudes nicht real definierbar ist und somit im vorliegenden Fall nur eine solarthermische Unterstützung der Trinkwarmwasserbereitstellung, die als Prozess definiert wurde, berechnet werden kann. Auch dafür kann im EINSTEIN jedoch kein zeitlich variierendes Zapfprofil hinterlegt werden, sondern der (aus Firmenangaben abgeschätzte) Tagesbedarf wurde auf eine kontinuierliche Zapfung über 16 Stunden pro Tag mit einer Zapftemperatur von 40°C „verteilt“. Die Auslegung einer solarthermischen Anlage in EINSTEIN ist nur für Vorgaben einer geeigneten Dachfläche ab 50m² vorgesehen. Da im vorliegenden Fall die geeignete Dachfläche mit höchstens 60m² abgeschätzt wurde, liegt man knapp an der minimalen Grösse. Da bei der automatischen Auslegung mit EINSTEIN durch die genannten Vereinfachungen bedingt sehr optimistische Ergebnisse resultierten (vgl. Tabelle 3) und die Solarwärme hier nicht wirklich in Prozesse, die mit EINSTEIN angemessen abgebildet werden können, eingebunden wird, empfiehlt sich eine separate Betrachtung mit anderen Auslegungstools (s.u.). Ergänzend ist zu erwähnen, dass EINSTEIN im vorliegenden Fall auch dann eine (ebenso grosse) Solaranlage vorschlägt, wenn der restliche abzudeckende Wärmebedarf nach Einbindung einer Wärmerückgewinnung zu vernachlässigen ist (siehe proposal 3 und 4 in Tabelle 3).

Tabelle 3: Mit EINSTEIN resultierende Solaranlagen

Prop.	Soll solarer Deckungsgrad für EINSTEIN Solaranlagen Auslegung	Wärmerückgewinnung von Kältemaschinen	Energiebedarf für Warmwasserbereitstellung	Solarer Deckungsgrad / Kollektorbruttofläche	Spezifischer Ertrag pro m ² Kollektorbruttofläche
1	50%	Nein	80 MWh/a	38% / 45m ²	674 kWh/m ²
2	80%	Nein	80 MWh/a	38% / 45m ²	674 kWh/m ²
3	50%	Ja (100%)	0 MWh/a	100% / 45m ²	0
4	80%	Ja (100%)	0 MWh/a	100% / 45m ²	0

Anhand der Abbildung der genannten Wärmeströme in EINSTEIN wurde ein Wärmerückgewinnungspotential aus dem Abluftwärmestrom und den Kondensatoren von den Kältemaschinen identifiziert. Wie bereits beschrieben, ist hier jedoch eine detailliertere Betrachtung einschliesslich einer Kopplung mit dem Gebäude notwendig. Um dennoch das vermeintlich grosse Einsparpotential fossiler Energieträger quantifizieren und die Möglichkeiten und Grenzen von EINSTEIN für den vorliegenden Fall besser beurteilen zu können, wurden für die weiterführende Analyse verschiedene zusätzliche Tools verwendet (siehe entsprechende Abschnitte in Kapitel 5).

Die Datenerhebung in EINSTEIN für das Objekt „Edwards“ war zu Beginn der Analyse hilfreich um rasch und umfänglich die Komponenten Wärmenetz, Wärmeerzeuger und Verbraucher systematisch darzustellen. Es stellte sich aber in der weiteren Bearbeitung heraus, dass alle Wärmeströme, die abhängig sind von Wetter bzw. Klima sowie der Kopplung mit dem Gebäude, mit EINSTEIN nicht zufriedenstellend simuliert werden können. Die mit EINSTEIN ausgelegten Solaranlagen sind für die Absicht von Einstein (Aufzeigen des Solarpotenzials am Standort) angemessen dimensioniert. Jedoch fällt der Solarertrag im Fall „Edwards“ tendenziell zu hoch aus, und auf die Auslegung kann nur beschränkt Einfluss genommen werden. Um eine zuverlässige Abschätzung der Möglichkeiten zu erhalten, eine Solaranlage zu integrieren, war für diese Analyse die Anwendung eines externen Tools unerlässlich.

5 Weiterführende Betrachtungen

Es wurden im Wesentlichen drei Varianten untersucht:

- Nutzung der Abwärme der Kälteanlage
- Integration einer Solaranlage
- Nutzung der Abwärme der Abluft

Denkbar wäre auch eine Kombination von Varianten. Für die Umsetzung der Varianten wird eine zentrale Speicherung des Warmwassers vorgesehen, von der die Zapfstellen versorgt werden. Die Anschlüsse zu den Zapfstellen werden zur Hochhaltung der Temperatur mit einer Zirkulationsschaltung versehen. Die installierten dezentralen 100-600l Speicher können durch den zentralen Speicher ersetzt werden. Dieser zentrale Speicher (Grössenabschätzung s.u.) hat den Vorteil, dass

- a) zur (auch kombinierten) Beladung eine (frei wählbare) effizienter Technologie gewählt werden kann, sei dies durch Wärmerückgewinnung, einer Solaranlage oder andere und
- b) die Speicherverluste insgesamt deutlich verringert werden können.

Als Zusatzheizung kann z.B. der Ölbrenner hergenommen werden, der bereits die Raumwärme bereitstellt. Denkbar ist auch ein neuer Gasbrenner oder Pelletskessel. Der bisherig energetisch hochwertige (und in der Bereitstellung CO₂-intensive) Strom, welcher für das Aufwärmen des Trinkwarmwassers hergenommen wurde, kann so substituiert werden.

5.1 Nutzung der Abwärme der Kälteanlage / Variante WRG

Der hohe interne Kältebedarf wird hauptsächlich verursacht durch die Wärmelast der Personen und elektronischen Geräte, die benötigte hohe Lüftungsrate, die hohe solare Einstrahlung im Sommer und die entsprechenden passiven Wärmeeinträge in das Gebäude. Nach Auskunft der Betreiber des Standortes reichte die ursprünglich vorgesehene Kälteleistung von 50kW im Sommer wegen Ausbau des Standorts Horw nicht mehr aus. Die Kältekapazität wurde deshalb vor einigen Jahren auf 150kW ausgebaut. Momentan kühlen die Kältemaschinen im Sommer, gemäss Abschätzungen von Edwards, mit einer thermischen Kälteleistung von 120kW. Das Kältemittel wird stark komprimiert und erwärmt sich dabei bis zu 50°C.

Mit Hilfe der geometrischen Gebäudeangaben von Edwards wurde mit einer Gebäude-Simulationssoftware (TrnBuild) ein Gebäude mit diesen Randbedingungen definiert und an die Angaben angepasst. Es wurden Simulationen für den Standort Horw mit einer Zeitauflösung von einer Stunde durchgeführt. In Abbildung 3 ist ersichtlich, dass der maximale Kältebedarf im März 60kW beträgt. Im Sommer steigt der Kältebedarf auf die bekannten 120kW, im Herbst sinkt er wieder auf 60kW. In den Wintermonaten ist kein bis wenig Kühlbedarf da, weil bei Aussentemperaturen von unter 13°C direkt mit dem Luft-Wasser Wärmeübertrager der 100kW Kältemaschine gekühlt werden kann. Vorlauf dieses Kältewassers ist im Bereich von 9-15°C resp. Rücklauftemperatur von 11-17°C.

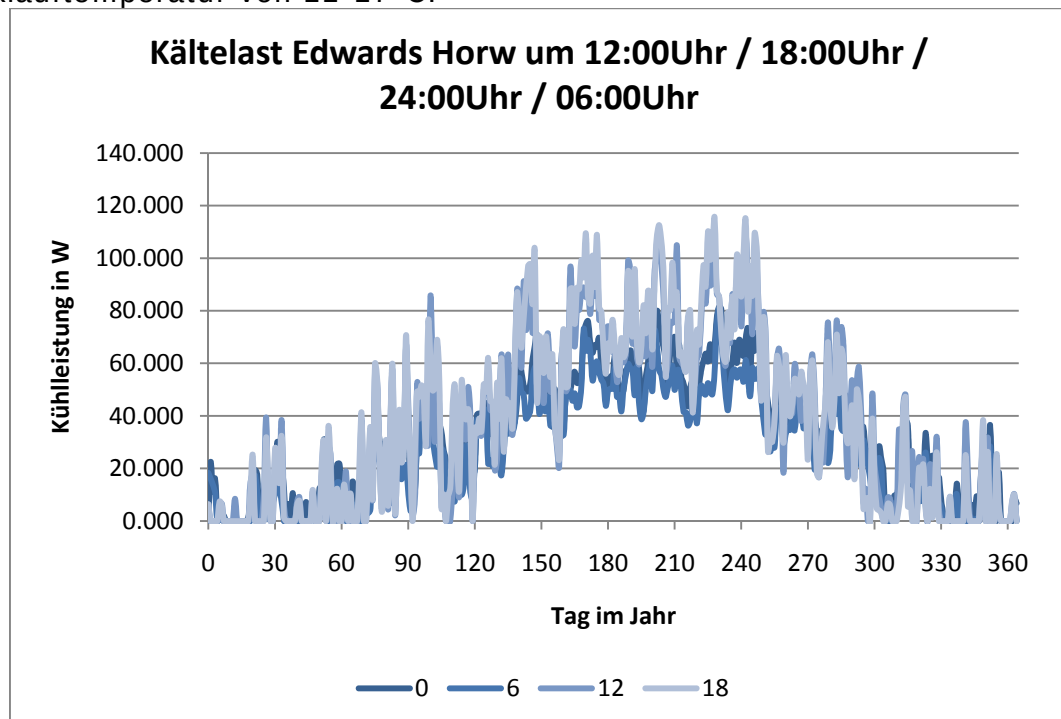


Abbildung 3: Simulierte Kältelast mit TrnBuild mit Standort Horw (mit Wetterdaten Horw, Gebäudeart, -geometrie gemäss Edwards und Nutzungsverhalten)

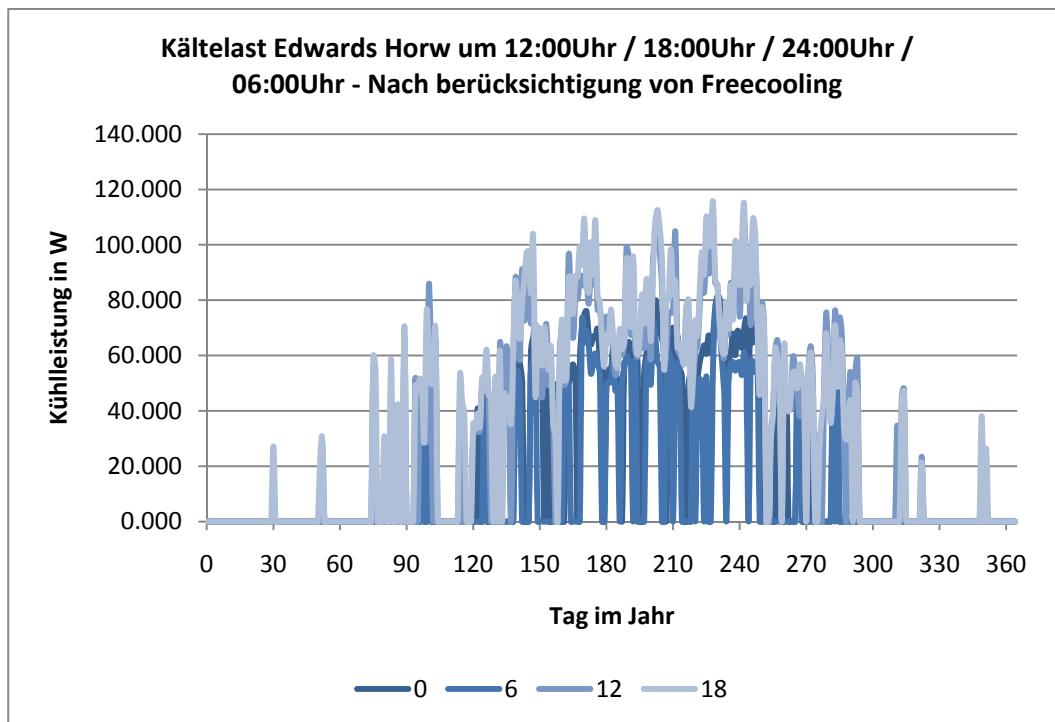


Abbildung 4: Simulierte Kühllast mit TrnBuild, Wetterdaten Horw, Gebäudegeometrie und nutzen Horw aufgrund von 120kW peak im Sommer. Ersichtlich wie Mitternacht-, Morgen- und Abendkühllast durch Freecooling gedeckt werden kann.

In Abbildung 3 ist auch ersichtlich, dass der Kältebedarf über den ganzen Tag besteht. Die Spitzenlast ist um die Mittagszeit, der Bedarf besteht aber auch am Morgen, Abend und Mitternacht. Dazu tragen die vielen internen Lasten und hohe Lüftungsrate bei, so wie es auch Erfahrungswerte von Edwards bestätigen. Summiert man den jährlichen Kältebedarf resultierend aus der Simulation auf, kommt man auf 305 MWh/a, von denen mit Freecooling aufgrund der Wetterdaten am Standort Horw 95MWh/a gedeckt werden können. Die übrigen 210 MWh/a Kältebedarf, die (theoretisch) aufgrund der hohen Abfuhrtemperaturen direkt für beliebige Warmwassererwärmung genutzt werden können, entsprechen 119% des jährlichen brutto Warmwasserbedarfs. Wie die WRG umgesetzt werden könnte, ist exemplarisch und konzeptionell in Abbildung 5 dargestellt. Man greift die Abwärme jeweils nach den Kompressoren ab und bringt sie in den zentralen Speicher, welcher z.B. im Raum 102 platziert werden könnte. Der aktuelle 1000l Speicher im genannten Raum könnte ersetzt oder evtl. umgebaut werden. Es ist zu beachten, dass der Kompressor der 100kW Anlage draussen platziert ist und der Kompressor der 50kW Kälteanlage im Raum 100 ist. Von diesen Orten müssten also Leitung zum Speicher gelegt werden.

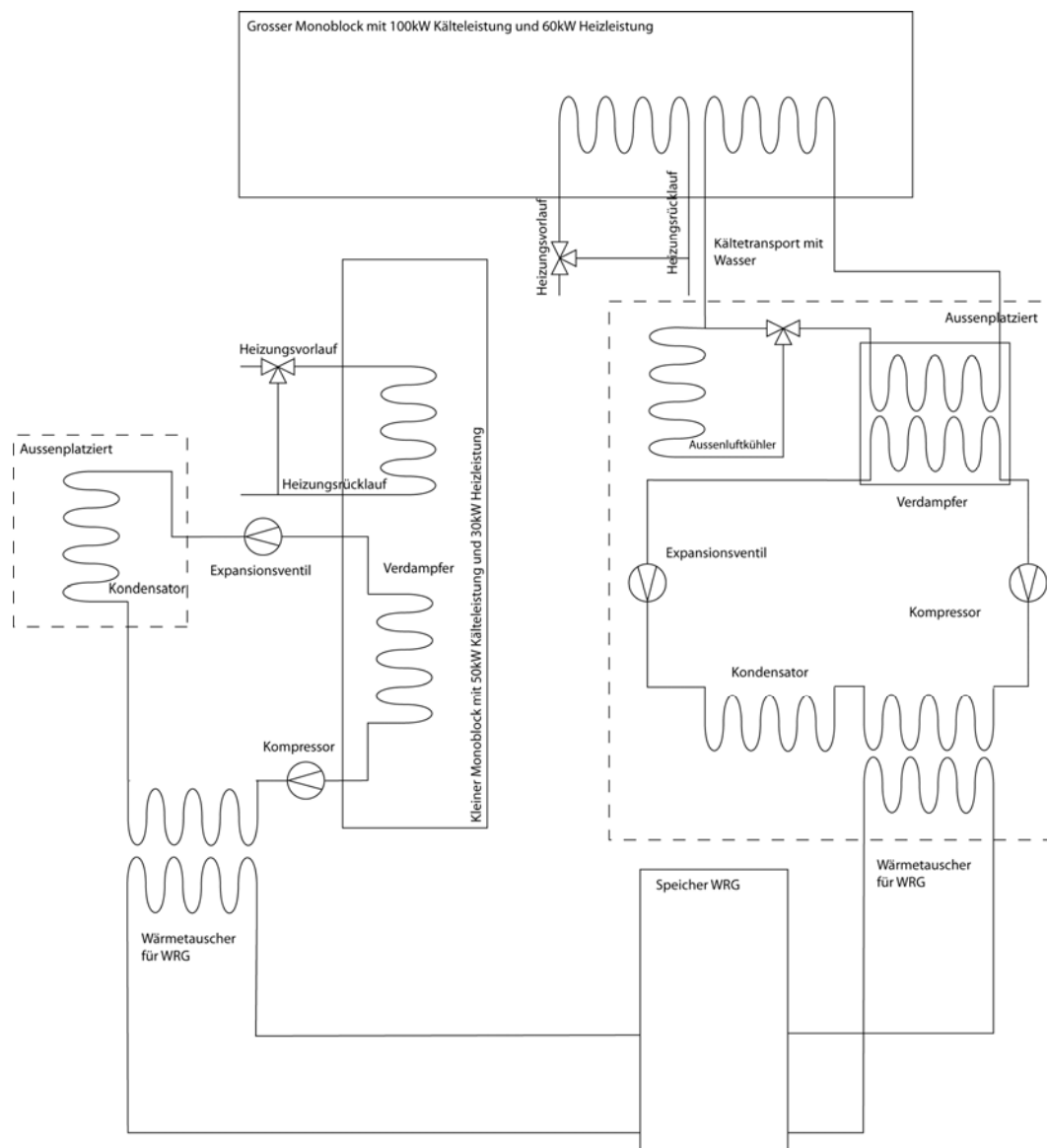


Abbildung 5: Erweiterung des Schemas aus Abbildung 1 mit den Kältemaschinen Wärmeübertrager für WRG und dem zentralen Speicher

Durch die Integration eines Pufferspeichers (Speicher WRG in Abbildung 5) kann der maximal mögliche Energieertrag durch Wärmerückgewinnung optimiert werden. Die verschiedenen Ergebnisse sieht man in Tabelle 4.

Tabelle 4: Variation von Speichergrösse mit WRG der Kältemaschinenabwärme

Option	Speichergrösse in l	Speicherzeit mit Nennlast (10.9kW) in h	Speicherzeit mit Volllast (6*10.5kW) in h	Eingesparte Energie in kWh	Jährlich eingesparte Energiekosten in CHF (mit 12Rp./kWh)
1	0	0	0	33400	4'000 CHF
2	1000	4.2	0.7	35900	4'300 CHF
3	2000	8.5	1.5	38400	4'600 CHF
4	4000	17.0	2.9	42700	5'100 CHF
5	8000	34.0	5.9	45100	5'400 CHF

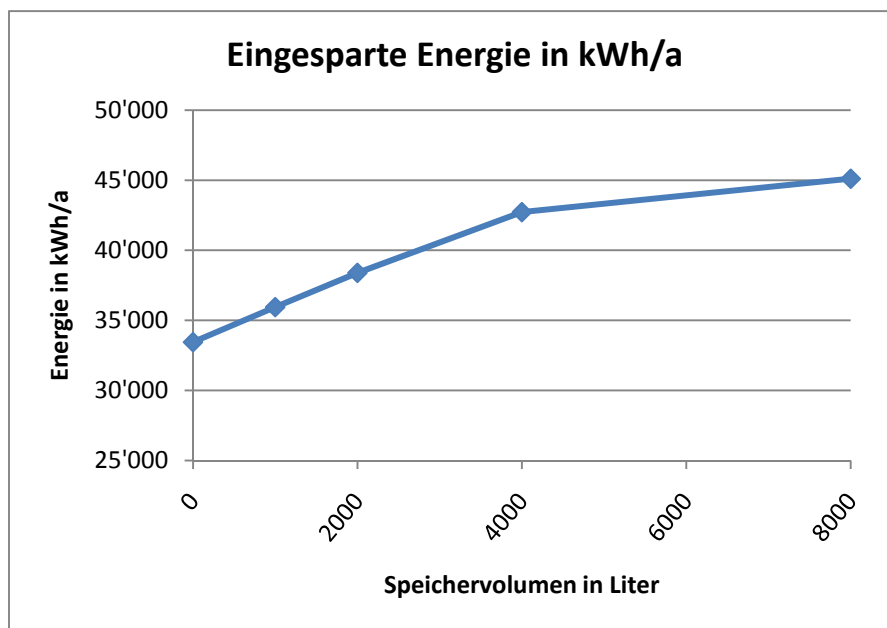


Abbildung 6: Eingesparte Energie in Abhängigkeit des Speichervolumens

Die Variation der Speichergrösse zeigt, dass die Wahl eines Speichers zwischen 1000 l und 4000 l angebracht ist. Das wenig sensitive Verhalten zeigt, dass der Warmwasserbedarf sich gut mit dem Kältebedarf deckt. Ein grosser Speicher (>4000 l), der länger als 17h das Warmwasser bei Nennlast von 10.9 kW speichern kann, bringt (bei deutlich steigenden Investitionen) nach diesen Abschätzungen keinen massgeblichen Mehrwert mit sich.

In Abbildung 5 sind die Leitungen von den WRG Wärmeübertrager bis zum Speicher skizziert. Was noch dazu kommt, sind die sanitären Installationen von diesem Speicher zu allen Warmwasserstationen (WS), bei welchen von diesem Speicher Warmwasser bezogen werden will. Grobe Richtwerte der Investitionen dieser Arbeiten sind in Tabelle 5 festgehalten.

Tabelle 5: Investitionen der verschiedenen Optionen

Option	Anschluss WS an zentralem Speicher in CHF	Bauliche Anpassungen in CHF	Bauseitige Aufwendungen in CHF	Speicher in CHF	Ext. Wärmeübertrager in CHF	WRG (KA WW) mit Anschluss in CHF	Total in CHF
1	15000	2000	3000	0	500	6000	26500
2	15000	2000	3000	2100	500	6000	28600
3	15000	2000	3000	3300	500	6000	29800
4	15000	2000	3000	5200	500	6000	31700
5	15000	2000	3000	8100	500	6000	34600

Rechnet man mit einem Energiepreis von 0.12 CHF/kWh, einer jährlichen Energiepreis-steigerung von 3% und mit einem Kapitalzinssatz von 3%, resultieren Internal Rates of Return (IRR) und Net Present Values (NPV), die in Tabelle 5 dargestellt werden. Die Werte sind für 10 und 20 Jahre berechnet.

Tabelle 6: Wirtschaftliche Analyse

Option	IRR (10 Jahre)	IRR (20 Jahre)	NPV (10 Jahre)	NPV (20 Jahre)
1	12%	17%	13'200 CHF	52'200 CHF
2	12%	17%	14'100 CHF	56'000 CHF
3	12%	18%	15'800 CHF	60'500 CHF
4	13%	19%	19'000 CHF	68'800 CHF
5	12%	18%	18'900 CHF	71'500 CHF

Option 1 ist eine fiktive Option, aus der ersichtlich wird, wie viel Energie ohne Speicher rückgewonnen werden kann. Deshalb sind für die Realisation Option 2 bis 4 zu empfehlen. Option 4 hat gegenüber Option 2 den Vorteil, dass allfällig auftretende Lastspitzen besser abgefangen werden können, was aus wirtschaftlichen Kennzahlen nicht ersichtlich ist. Auch zu beachten ist, dass man mit einem grösseren Speicher bei allfälligem Mehrbedarf an Wärme aufgrund Weiterentwicklung des Standortes besser ausgestattet ist.

5.2 Integration einer Solaranlage / Variante Solar

Der jährliche Energiebedarf für Warmwasser und Heizung von gegen 500 MWh ermöglicht die Integration einer grossen Solaranlage. Im Fall von Edwards ist die mögliche (d.h. geeignete) Installationsdachfläche die limitierende Grösse für die Wahl der Kollektorfeldgrösse. Solaranlagen wie im Fall von Edwards angedacht funktionieren sehr effizient. Grund dafür ist a) weil sich der Energiebedarf vergleichsweise gut mit der solaren Einstrahlung deckt und b) der Sonnenkollektor hauptsächlich mit Vorlauftemperaturen von unter 50°C betrieben werden kann. Mittels der Simulationssoftware Polysun wurde eine Analyse betreffend Kollektorfeldgrösse und nutzbaren Ertrag durch den Sonnenkollektor gemacht. Die Resultate sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 7: Variation von Kollektorfeldgrössen

O.	Speicher- volumen in l	Kollektor- fläche in m ²	Zusatz- energie RH/WW in kWh/a	Eingesparte Energie in kWh/a	Nutzbaren Ertrag pro Fläche in kWh/m ²	Ertrag in CHF/a	Solare Deckungs- grad
1	1500	0	399400	0	0	0 CHF	0
2	1500	20	387300	12000	602	1'800 CHF	3.1%
3	1500	40	377000	22300	559	3'400 CHF	5.9%
4	1500	60	369600	29800	497	4'500 CHF	8.1%

Simuliert wurde das System wie in Abbildung 7 dargestellt. Der für die Simulation vorgegebene Bedarf für Warmwasser und Heizung ist auf den Produktionsstandort in Horw abgestimmt. Das Simulationsmodell beinhaltet einen zentralen Speicher, der sowohl für die Bereitstellung von Warmwasser wie auch für Raumwärme genutzt werden kann. Die Kollektorausrichtung wurde entsprechend der Dachfläche bei Edwards mit einer Ausrichtung von 15° von Süden abweichend nach Osten und einer Neigung von 30° definiert. Ausrichtung und Neigung eignen sich gut für die Nutzung von Solarthermie, und bei direkter Montage der Kollektoren auf das Dach entstehen auch keine zusätzlichen Kosten für die Aufständigung der Sonnenkollektoren. Leichte Einbussen muss man im Solarertrag in Wintermonaten jedoch in Kauf nehmen, die sind aber marginal.

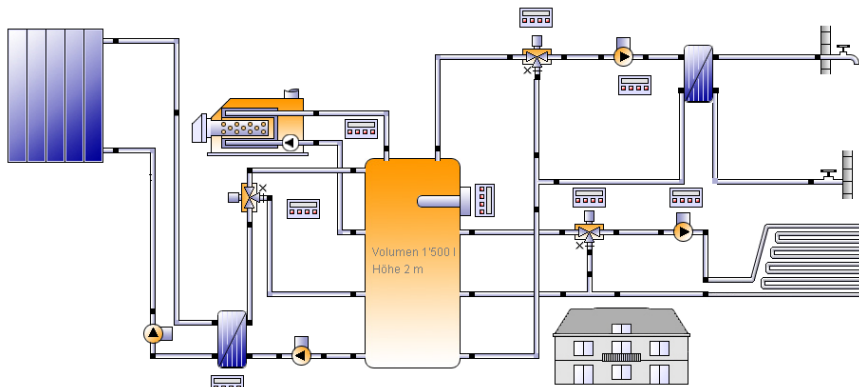


Abbildung 7: Simulationsmodell in Polysun

Folgende Installationen wären für eine Solarthermieanlage notwendig:

- Kollektorkreis: Kollektorfeld und die Verrohrung bis in den zentralen Speicherraum sowie Solarstation (Pumpe, Ventile, etc.) und Ausdehnungsgefäss etc.
- Speicher und externe Wärmeübertrager auf der Solar- und Warmwasserseite
- Zapfseitige Anschlüsse und die Leitungen vom externen Wärmeübertrager zu den Warmwasserstationen.

Die Positionen sind detaillierter in Tabelle 8 aufgelistet. Grösste Investitionen sind das Kollektorfeld und die Verrohrung in den zentralen Speicherraum.

Tabelle 8: Investition bei Integration einer Solaranlage

O.	Anschluss WS an zentralen Speicher in CHF	Bauliche Anpassungen in CHF	Bauseitige Aufwendungen in CHF	Speicher in CHF	Sonnenkollektoren in CHF	Solarteile in CHF	Ext. WT in CHF	Solar WT in CHF	Beiträge Bund in CHF	Total in CHF
2	15000	1500	1000	2700	11200	7000	500	500	-4500	34900
3	15000	1500	1000	2700	22400	7000	500	500	-7500	43100
4	15000	1500	1000	2700	33600	7000	500	500	-10500	51300

Mit denselben Annahmen (3% Energiepreissteigerung, 0.12CHF/kWh und einem Kapitalzinssatz von 3%), kommt der IRR nach 20 Jahren bis auf 6% und der NPV beträgt nach 20 Jahren bis zu 19'600CHF.

Tabelle 9: Wirtschaftliche Kennzahlen der Variante mit Solaranlage

Option	IRR von 10 Jahren	IRR von 20 Jahren	NPV von 10 Jahren	NPV von 20 Jahren
2	-11%	1%	SFr. -19'900	SFr. -5'800
3	-5%	5%	SFr. -15'800	SFr. 10'200
4	-3%	6%	SFr. -15'100	SFr. 19'600

Von den drei Optionen ist Option 4 zu empfehlen, oder wenn der Platz nicht ausreicht die maximal bedeckbare Dachfläche. Aufgrund der Baupläne, wird die bedeckbare Dachfläche in dem varierten Bereich sein. Durch die Simulation ist ersichtlich, dass eine minimale Kollektorfeldgrösse von 30m² definierbar ist.

5.3 Nutzung des Energiepotenzials in der Abluft / Zusatz Abluft

Bei Edwards ist die Luftwechselrate des Reinraums 21 1/h. Für den Reinraum, mit einem Volumen von 666m³, entspricht dies einem täglichen Luftaustausch von 16'000m³. Damit für frische Luft im Raum gesorgt ist muss der Zuluft 50%

Aussenluft beigemischt werden. Es entweichen also täglich gleichverteilt über den Tag $8'000\text{m}^3$ 23°C warme Fortluft. Dies entspricht im Jahr einer Energiemenge bezogen auf die Aussentemperatur von über 250MWh. Dies entspricht dem halben Heizbedarf des ganzen Standortes.

Die Fortluft könnte man effizient auf zwei Arten integrieren.

- a) Integration eines Luft/Luft-Wärmeübertrager, der die Energie von der Abluft auf die Zuluft überträgt. Vorteil dieser Variante wären die relativ geringen Investitionskosten und die Einsparungen bei Heizperioden. Nachteil ist das tiefe Temperaturniveau der Abluft.
- b) Die Abwärme mit einer neuen Wärmepumpe auf 50°C anheben und damit das Warmwasser und Heizwasser auf/vorwärmen. Dazu könnte die Wärme der Fortluft ideal in dem Verdampfer der Wärmepumpe genutzt werden. Gerade in den Wintermonaten wäre das Potenzial da sehr hoch im Vergleich zu den geringen Erträgen von angedachter Variante WRG und Solaranlage welche da nicht viel Energie liefern.

Die beiden Varianten a) und b) brauchen noch detaillierter betrachtet zu werden. Beide Varianten lassen sich jedoch gut mit der WRG-Variante und Solar-Variante kombinieren.

5.4 Bewertung der Optionen

„Variante WRG“ ist die empfehlende Variante um am effizientesten Energie einzusparen, eigentlich ein Muss wenn man sich über das riesige Potenzial bewusst ist. Dazu könnte man in einem zweiten Schritt den „Zusatz Fortluft“ überdenken und im Detail planen. „Variante Solar“ funktioniert am Standort Horw auch effizient und ist ab 12 Betriebsjahren rentabel. Nach ganzheitlicher Planung können die Optionen in Etappen realisiert werden.

6 Ausblick

EINSTEIN hat sich für diese Anwendung nur bedingt als hilfreich erwiesen (vgl. Kapitel 4). Der Firma Edwards wurden die Ergebnisse, insbesondere die in Kapitel 5 beschriebenen und über die EINSTEIN-Analyse hinausgehenden Berechnungen vorgestellt. Die Firma Edwards ist im Rahmen von anstehenden Erweiterungen sehr daran interessiert, eine höhere Effizienz und geringere CO₂-Emissionen bei dem Betrieb des Standorts Horw zu realisieren. Die vorgestellten Ergebnisse stiessen deswegen auf sehr grosses Interesse. Derzeit ist offen und wird diskutiert, ob und inwiefern das SPF in die Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen eingebunden werden sollte. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die für die Energieversorgung zuständigen Mitarbeiter am Standort Horw die Datenanalyse mittels EINSTEIN verwenden können. Jedoch muss aufgrund der in den vorgängigen Abschnitten beschriebenen Einschränkungen bezweifelt werden, dass die mit EINSTEIN erarbeiteten Optimierungsvorschläge direkt umgesetzt werden können. Zusammenfassend war die Datenerhebung und Analyse mit EINSTEIN erfolgreich (obgleich aufgrund der beschränkten Einsatzmöglichkeiten nicht zwingend nötig) und ein guter Baustein für weiterführende Arbeiten.