



Schlussbericht: 18. August 2010

EINSTEIN goes Swiss

Industrie Audits in Schweizer Industriesektoren
und Entwicklung eines Plug-Ins für
Jahressimulationen zum Solarwärmebeitrag von
Industrieprozessen in dem Expertensystem
EINSTEIN



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

Kofinanzierung:

Vela Solaris AG
Stadthausstrasse 125
CH-8400 Winterthur
www.velasolaris.com

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.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	4
1. Expertensystem EINSTEIN	5
2. Audits mit EINSTEIN	9
2.1 Firma Nr. 1 - Edwards Lifesciences AG	12
2.2 Firma Nr. 2 - Novartis AG	13
2.3 Firma Nr. 3 - ARA Wetzikon	15
2.4 Firma Nr. 4.....	16
2.5 Firma Nr. 5 - Feldschlösschen Getränke AG	16
2.6 Firma Nr. 6.....	18
2.7 Firma Nr. 7.....	18
2.8 Firma Nr. 8.....	18
2.9 Firma Nr. 9 - CSCC Compagnie de chocolats et confiseries AG.....	19
2.10 Firma Nr. 10.....	20
3 Integration von PolysunInside in EINSTEIN.....	22
3.1 Simulation von Solarthermie in EINSTEIN.....	22
3.2 PolysunInside in EINSTEIN.....	26
4 Erkenntnisse und Bewertung von EINSTEIN.....	31
4.1 Audit mit EINSTEIN - Vorgehensweise	32
4.2 Prozessabbildung	32
4.3 Datenvisualisierung	32
4.4 Wärmerückgewinnung.....	34
4.5 Wirtschaftliche Darstellung.....	36
4.6 Erkenntnisse Solar-Berechnung.....	37
5 Ausblick	38
Literaturverzeichnis	38
Ergänzende Dokumente.....	38

Abstract

Im Rahmen des europäischen Verbundprojekts EINSTEIN wurde ein Expertensystem entwickelt, welches dazu dienen soll, den Energieverbrauch in Industrieprozessen deutlich zu reduzieren und die Möglichkeiten und Vorteile des Einsatzes erneuerbarer Energien zu evaluieren und zu quantifizieren.

EINSTEIN basiert auf einer Datenbank, in der ausführliche Informationen und Daten von einer Vielzahl von Industrieprozessen enthalten sind. Diese Daten wurden durch eine Vielzahl von Audits gewonnen, die von im Rahmen des Projektes dafür geschulten Experten in sechs europäischen Ländern durchgeführt und in das Expertensystem eingebunden wurden. Im Projekt „EINSTEIN goes Swiss“ sollte für die Schweizer Industrie die Möglichkeit evaluiert werden, ob und inwiefern zu der Entwicklung und Validierung von EINSTEIN beigetragen werden kann, um so von den mit EINSTEIN verbundenen Möglichkeiten und Chancen zu profitieren.

Das Projekt „EINSTEIN goes Swiss“ umfasst zwei Teile. Zum einen sollten Audits zum thermischen Energieverbrauch in Schweizer Firmen durchgeführt und mit dem EINSTEIN-Tool ausgewertet und analysiert werden. Zum zweiten sollte eine Möglichkeit gefunden werden, die (stark vereinfachte) Berechnung der Einbindung von Solarwärme mit der Software Polysun so zu gestalten, dass ohne eine signifikante Erhöhung des rechnerischen (und somit zeitlichen) Aufwands eine genauere Berechnung anhand einer Jahressimulation mit den in EINSTEIN hinterlegten Prozess- und Standortdaten möglich wird.

Es wurden 10 Audits in Firmen unterschiedlicher Branchen, die sich in Grösse und Art der Prozesse unterscheiden, angeregt, um aufzuzeigen, welches Potential hinsichtlich der Prozessoptimierung und der Wärmerückgewinnung sowie der Einbindung erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Prozesswärme mit EINSTEIN identifiziert werden kann. Bei sechs Audits kam es zu eingehenderen Untersuchungen, bei den übrigen konnte (teils trotz eines Besuchs vor Ort) aus verschiedenen Gründen keine detailliertere Auswertung durchgeführt werden. Anhand der Audits wurde untersucht, wie gut das Expertensystem für diesen Zweck einsetzbar ist, da es zukünftig bei der breiten Verwendung von Energieberatern ein wichtiges Instrument sein könnte, um einerseits ökonomisch attraktive und andererseits klimarelevante Verbesserungsmassnahmen vorschlagen zu können. Bei den Audits hat sich EINSTEIN grundsätzlich als angemessenes Hilfswerkzeug erwiesen und kann für eine umfassende Erstanalyse der thermischen Energieflüsse eines Betriebes geeignet sein. Detailanalysen oder endgültige Umsetzungsvorhaben setzen jedoch weiterhin detailliertere Berechnungs-Tools voraus und können/sollen von EINSTEIN in der momentanen Version (Version 1.1, Aug. 2010) nicht abgedeckt werden.

Die Berechnung des möglichen Beitrags von Solarthermie zur Energiebereitstellung für die Industrieprozesse erfolgt im Expertensystem EINSTEIN über vergleichsweise einfache Abschätzungen und Berechnungen. In „EINSTEIN goes Swiss“ wurde eine auf Jahressimulationen basierende Methode entwickelt, die ausgehend von den Prozessdaten und Informationen zu Standort, Lastprofil, etc. die solarthermisch in den Prozess einbindbare Wärmemenge bestimmt. Die technische Realisierung erfolgt über PolysunInside-EINSTEIN (PIE), ein Polysun-basiertes Plug-In für das Expertensystem. Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Audits und modellierten thermischen Solarsysteme in EINSTEIN können mit PIE nachsimuliert werden. Die vollkommene Integration in EINSTEIN soll vom EINSTEIN-Entwicklerteam für das nächste release von EINSTEIN realisiert werden.

1. Expertensystem EINSTEIN

Im Rahmen des zweijährigen Projektes "EINSTEIN - Intelligent Supply of Thermal Energy in Industry"¹ entwickelte ein europäisches Konsortium bestehend aus Experten aus Österreich, Belgien, Italien, Polen, Slowenien, Spanien und Tschechien ein Softwaretool zur Senkung des thermischen Energieverbrauchs von Produktionsprozessen. Dieses Programm dient der Datenerfassung sowie der Konzepterstellung für Energieeffizienzmassnahmen und der Einbindung erneuerbarer Energieträger zur Bereitstellung von Prozesswärme. Vor allem Sektoren des verarbeitenden Gewerbes mit einem grossen Nieder- und Mitteltemperaturwärmebedarf wie zum Beispiel das Ernährungsgewerbe, die Holz- und Metallverarbeitung oder die Textilindustrie sollen von diesem Instrument profitieren.

Das sogenannte EINSTEIN Toolkit beinhaltet neben dem eigentlichen Computerprogramm² eine standardisierte Methode zur Durchführung von Audits. Diese Kombination soll Energieberatern oder anderen Anwendern ermöglichen, Energieaudits in verhältnismässig kurzer Zeit durchzuführen, da zum einen alle notwendigen Schritte während eines Audits dokumentiert sind und zum anderen alle relevanten Daten durch das Programm vorgegeben sind. Somit wird der Anwender Schritt für Schritt durch das Audit geleitet.

Nach Eingabe der während des Audits gesammelten Daten prüft EINSTEIN deren Konsistenz, berechnet den gesamten thermischen Energieverbrauch für alle Wärmeverbraucher und teilt diesen in unterschiedliche Bestandteile auf. Sollten notwendige Daten fehlen, können diese aus einer Datenbank ergänzt werden. Aufbauend auf der Berechnung des Wärmeverbrauchs wird in EINSTEIN ein Energiekonzept erstellt. Mit diesem Energiekonzept (in EINSTEIN-Projekten als Proposal bezeichnet) werden der Energieverbrauch einzelner Prozesse und die Energiebereitstellung optimiert. Hierzu prüft das Programm Möglichkeiten zur Prozessoptimierung und zeigt das Einsparpotential durch die Anwendung effizienter Technologien auf. Mittels der Pinch-Analyse werden Produktionssysteme untersucht und die möglichen Einsparungen durch Wärmerückgewinnung zwischen verschiedenen Prozessströmen errechnet. Basierend auf diesem reduzierten Wärmeverbrauch schlägt EINSTEIN technische Alternativen vor, um effizientere Technologien oder erneuerbare Energien in die Energieversorgung zu integrieren. Diese werden in einer detaillierten Kostenkalkulation beurteilt.

Um diese umfassende Analyse durchführen zu können, umfasst das Programm EINSTEIN sechs Module:

- *Modul zur Datenbeschaffung und Analyse*

Dieses Modul ermöglicht eine schnelle Datenbeschaffung mit automatischer Ausarbeitung eines Fragebogens. Zudem beinhaltet das Modul ein Verfahren zur Abschätzung von nicht verfügbaren Daten. Mithilfe der Benchmarking Datenbank wird der laufende Energieverbrauch von Firmen mit typischen Werten ähnlicher Prozesse verglichen.

- *Modul zur Prozessoptimierung*

Nach der Datenbeschaffung und Analyse zeigt die Prozessoptimierung die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der bestehenden Prozesse und Anlagen auf. Das Modul weist den Stand der Technik für wichtige Prozesse wie z.B. Waschen, Trocknen oder Sterilisieren auf und ermöglicht Synergien zwischen Technologien unterschiedlicher Sektoren.

- *Modul zur Wärmerückgewinnung*

Das Modul zur Wärmerückgewinnung unterstützt den Nutzer bei der Auslegung und Optimierung von geeigneten Wärmeübertragernetzwerken für Wärmerückgewinnung und Prozessintegration. Zu diesem Zweck analysiert EINSTEIN Prozessströme und überschüssigen Wärme- oder Kältebedarf und identifiziert das Potential für Wärmerückgewinnung mit Hilfe der Pinch-Analyse. Hierbei werden Energiebedarf, Verfügbarkeit und zeitliche Abfolge der Prozesse berücksichtigt.

- *Modul für Energieversorgung und Erneuerbare Energieträger*

¹ Finanziert über Intelligent Energy Europe (iee), Laufzeit 01.09.2007 - 31.08.2009

² Programmiert in Python, OpenSource und Freeware (<http://sourceforge.net/projects/einstein>)

Mit diesem Modul werden die am besten geeigneten Anlagen und Systeme zur Energiebereitstellung und -verteilung ausgewählt. Dabei kann EINSTEIN die folgenden Möglichkeiten in Betracht ziehen: Kraft-Wärmekopplung, Wärmepumpen, Solarthermie, Biomasseanlagen und konventionelle Wärme- und Kältesysteme (z.B. Brennwertkessel).

– *Modul zur Auswertung*

Dieses Modul beinhaltet eine Gesamtkostenbetrachtung für die finanzielle und ökonomische Bewertung der ausgelegten Energieversorgungsanlagen. Diese basiert auf einer Kostenanalyse aller Parameter, die die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmassnahmen und Anlagen zur Energiebereitstellung beeinflussen. Kosten für thermische Energie und Strom, Abschreibungen und zusätzliche Wartungskosten werden berücksichtigt. Als Ergebnis erhält der Anwender eine Leistungsbeschreibung des Projekts, inkl. Budgetabschätzung, ökonomischer Roadmap und Information zur Finanzierung wie z.B. Contracting.

– *Berichtsmodul*

Mit Hilfe des Berichtsmoduls generiert EINSTEIN automatisch einen umfangreichen Auditbericht, der die wesentlichen Ergebnisse zur Analyse des Ist-Zustandes und zu den ausgearbeiteten Alternativen zusammenfasst. Dieser Bericht kann ausgedruckt und der entsprechenden Firma übergeben werden.

Das Modul zur Datenbeschaffung und Analyse ist von zentraler Bedeutung. Die EINSTEIN-Strukturierung der Daten ermöglicht ein vielseitiges, EINSTEIN-internes Weiterverwenden der zusammengetragenen Daten. Die genannte Strukturierung lässt sich in die Bereiche Energieverbrauch, Prozesse, Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmerückgewinnung gliedern. Alle diese Bereiche sind in EINSTEIN miteinander vernetzt. Systemgrenzen lassen sich dadurch übersichtlich darstellen. Dementsprechend sind alle Grössen mit eindeutigen Begriffen versehen. Wichtige Grössen, aus welchen Systemeffizienz schnell ersichtlich wird, sind in der EINSTEIN-Dokumentation definiert. In Ebenen unterteilt sind es

- Ebene 1 - der Primärenergieverbrauch für thermische Verwendungen (FET, final energy for thermal use)
- Ebene 2 - brauchbare vom Wärmeerzeuger kommende Energie (USH, useful supply heat)
- Ebene 3 - brauchbare Wärme/Kälte für Prozesse (UPHproc, useful processes heat for processes) und
- Ebene 4 - gesamthaft benötigte Energie für die Prozesse ohne Wärmerückgewinnung (UPH, useful process heat).

Diese Ebenen und weitere, so wie sie in EINSTEIN definiert sind, sind in Abbildung 1 dargestellt.

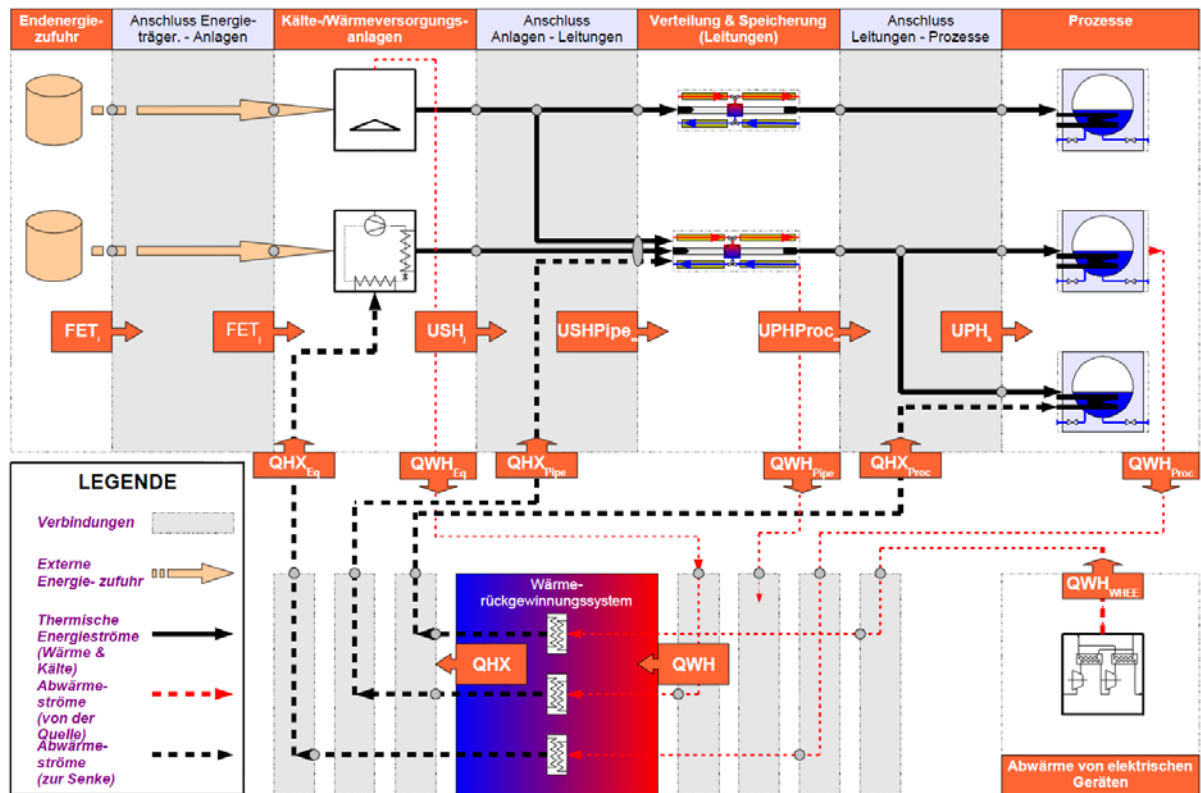


Abbildung 1: EINSTEIN Definitionen in einem industriellen Wärmeversorgungssystem mit Wärmerückgewinnung. Abbildung adaptiert aus EINSTEIN Dokumentation [1].

Von den genannten Bereichen Energieverbrauch, Prozesse, Wärmeerzeugung und Wärmerückgewinnung, ist die Definition der Prozesse im speziellen zu erwähnen. Die Definition resp. Modellierung der Prozesse erfolgt über ein vereinheitlichtes Schema. Dieses Schema ist in Abbildung 2 dargestellt. Es zeigt den Prozess und die Wärmeübertrager welche Teil der definierbaren Prozesse sein können. Wärme kann auf das zirkulierende Medium (mit A markiert) oder direkt in den Prozess (mit B markiert) integriert werden. Zudem ist im Schema auch die interne Wärmerückgewinnung enthalten. Diese Komponenten können optional Teil des Prozesses sein. Dieses Konzept ermöglicht die Modellierung unterschiedlicher Industrieprozesse.

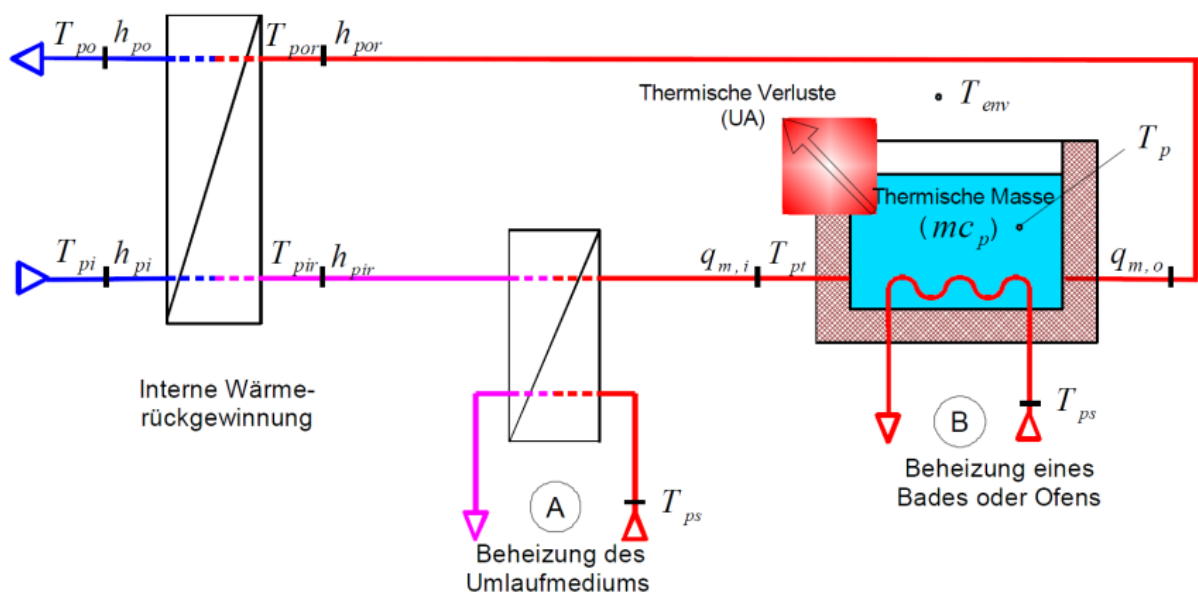


Abbildung 2: Standardmässiges EINSTEIN-Prozessmodell mit einem ein- und einem ausgehenden Wärmestrom. Abbildung adaptiert aus EINSTEIN-Dokumentation [1].

Der wesentliche Vorteil von EINSTEIN liegt in der ganzheitlichen Analyse und Konzepterstellung, da Wärmerückgewinnung, Energieeinsparung und effiziente und erneuerbare Technologien zur Wärmebereitstellung sowie deren Kombination in einem einzigen Tool berücksichtigt werden können (siehe Abbildung 3). Die zu Grunde liegende Methodik soll eine rasche und damit auch kostengünstige Ausarbeitung von Verbesserungsvorschlägen ermöglichen. Damit bietet sich die Verwendung von EINSTEIN vor allem bei kleinen und mittleren Betrieben an, für welche der Aufwand von umfangreichen und qualitativ hochgestellten Audits ein grosses Hindernis für die Einführung energieeffizienter Technologien darstellen können.

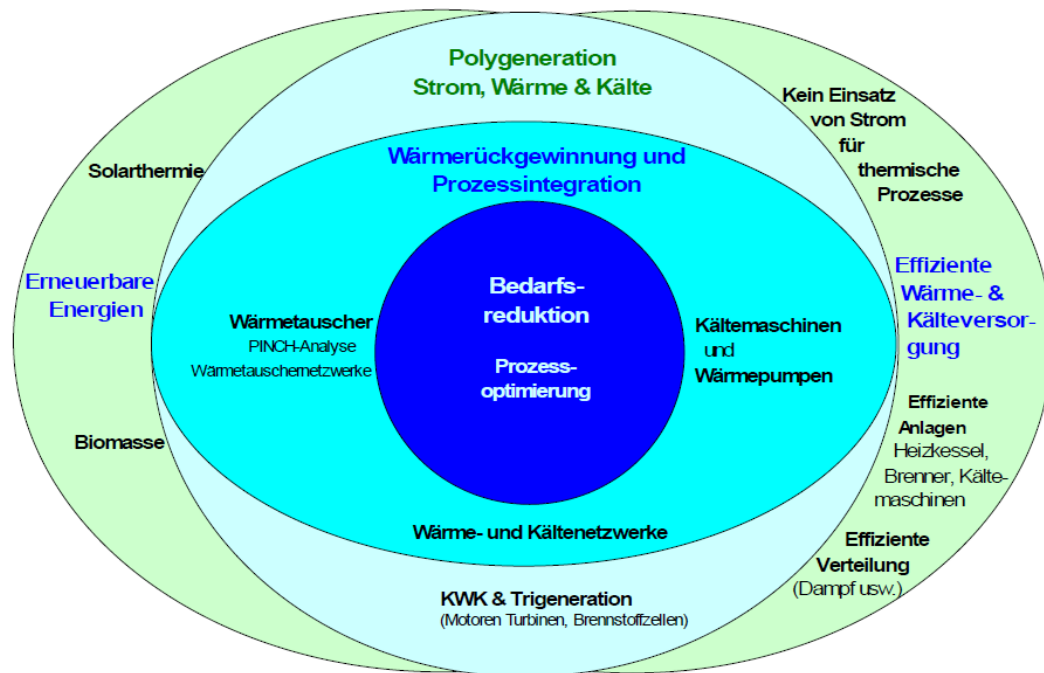


Abbildung 3: Umfassender Ansatz von EINSTEIN, der Bedarfsreduktion, Wärmerückgewinnung und Prozessintegration mit einer intelligenten Kombination von Versorgungstechnologien verbindet. Abbildung adaptiert aus EINSTEIN Dokumentation [1].

2. Audits mit EINSTEIN

Im Rahmen des Projektes „EINSTEIN goes Swiss“ wurde das Expertensystem EINSTEIN für thermische Energieaudits in Schweizer Industriebetrieben eingesetzt. Hierfür wurden zunächst Firmen aus unterschiedlichen Branchen, in unterschiedlicher Grösse und mit unterschiedlichem Prozesswärmebedarf ausgewählt. Die Auswahl wurde strukturell motiviert durch Übersichten vorangegangener Projekte bzw. Studien zu ähnlichen Themen auf europäischer Ebene (z.B. PROCESOL³, PROMISE⁴, POSHIP⁵, IEA-SHC Task 33⁶). Eine Übersicht über die im Rahmen des Projektes kontaktierten Firmen zeigt Tabelle 1.

Bei einigen Firmen hat die Anfrage unmittelbar hohes Interesse geweckt, da beispielsweise bereits eigene Überlegungen zur Energiebedarfsreduktion und Effizienzmassnahmen ansatzweise ausgearbeitet waren. Die interessierten Firmen waren in der Regel (zunächst unter Wahrung der Anonymität bei der Berichterstattung) bereit, im Rahmen des Projektes zu kooperieren und zu versuchen, die notwendigen Daten bereitzustellen.

Allerdings waren nicht alle Firmen bereit, ein Audit durchführen zu lassen. Argumente, die gegen eine Zusammenarbeit sprachen, sind im Einzelnen:

- Mangelnde zeitliche und/oder personelle Ressourcen für die Bereitstellung der benötigten Prozessdaten (z.T. basierend auf schlechter Datengrundlage)
- Keine Zeit für die allfällige Realisierung eines (ökologischen) Szenarios
- Bevorzugung offensichtlicher Einzelmassnahmen zur Effizienzsteigerung, die aus Firmensicht vor einem professionellen Audit umzusetzen wären und für die entweder vermeintlich ausreichendes eigenes Know-how verfügbar ist oder für das Dienstleister beauftragt werden, zu denen bereits ein Vertrauensverhältnis besteht
- Prozesse, welche durch Vorschriften bestimmt sind und nicht mit anderen kombiniert werden dürfen (z.B. in Reinheitszonen)
- Vermeintlich zu hohes Ausmass an Komplexität und dementsprechend grundlegende Skepsis gegenüber solcher Tools
- Negative Erfahrungen aus der Vergangenheit mit anderen Tools oder ähnlichen Projekten
- Offene Standortfragen oder Logistikfragen (Entwicklung der Firma in Zukunft?)
- Bedenken bezüglich der Weitergabe bzw. der öffentlichen Verfügbarkeit der Daten

Einige dieser Argumente sind zwingend (Reinheit), andere (wie das priorisierte Durchführen von Einzelmassnahmen) sollten jedoch perspektivisch durch die konsequente Anwendung von Tools wie EINSTEIN relativiert werden können. Generell ist in den meisten Fällen keine systematische Datengrundlage vorhanden und der Aufwand zur Datenerfassung wird recht hoch eingeschätzt. Hinzu kommt, dass oftmals verhaltene Reaktion der Unternehmen aufgrund der möglichen Veröffentlichung sensibler Daten zu beobachten war.

Der Ablauf der durchgeführten Audits entsprach grundsätzlich den im EINSTEIN-Konzept dokumentierten Empfehlungen. Begonnen hat es üblicherweise mit der Kontaktaufnahme via Telefon oder Email, vorzugsweise (sofern vorhanden und vorab identifizierbar) mit dem Energiebeauftragten der Firma. Darauf folgte der erste Besuch bei der betreffenden Firma, bei welchem das SPF im Rahmen einer Kurzpräsentation sowohl das Expertensystem EINSTEIN, als auch das Projekt „EINSTEIN goes Swiss“ vorstellte und detailliert über das geplante Audit informierte. Im Anschluss erfolgte eine Begehung der energetisch

³ PROCESOL I+II EU-Altener Projekt (1998 - 2000 und 2003 - 2005). Evaluierung und Verbreitung von Informationen zur solaren Prozesswärme sowie der Einsatz thermischer Solaranlagen unter Berücksichtigung von Wärmerückgewinnungsmassnahmen.

⁴ PROMISE Produzieren mit Solarenergie. Potenzialstudie zur thermischen Solarenergienutzung in österreichischen Gewerbe- und Industriebetrieben.

⁵ POSHIP Potential of Solar Heat in Industrial Processes. EU-Projekt (2000 - 2001), Projektleitung: AIGUASOL Enginyeria, Spanien

⁶ Task 33 IEA-SHC Task zur Nutzung thermischer Solarenergie in industriellen Anwendungen (2003 - 2007).

interessanten Bereiche des Unternehmens, welche zugleich die Basis für das Audit waren. Alle weiteren Schritte wie zum Beispiel das Beschaffen zusätzlicher Informationen konnten anschliessend meist per Email und Telefon erledigt werden. Die Sammlung der Daten aller relevanten Prozesse erforderte meist einige Iterationen und Bestätigungsrückfragen. Dabei zeigte sich wiederholt, dass einige der benötigten Informationen nur schwer zu erheben sind und zudem signifikante Unterschiede in dem Kenntnisstand der jeweiligen Unternehmen vorhanden sind. Dennoch konnte die benötigte Datenbasis im Laufe des Projektes soweit gefestigt werden, dass die entsprechenden Audit-Abschlussberichte angefertigt werden konnten.

Für die nachfolgende Beschreibung wurde versucht, eine konsistente Gliederung bei der Beschreibung aller „auditierten“ Firmen einzuhalten, die folgendermassen strukturiert ist:

1. Firmenbeschreibung
2. Energieverbrauch und -bereitstellung
3. Relevante Prozesse
4. Abbildung in EINSTEIN
5. Ergebnisse der Abbildung
6. Bewertung der Ergebnisse

Die Beschreibung nach dieser Gliederung konnte allerdings nicht bei allen Firmen im gleichen Umfang erfolgen und variiert teilweise hinsichtlich der jeweiligen Tiefe. Dies ist auf die Datengrundlage zurückzuführen, welche seitens der Firmen für das Audit bereitgestellt werden konnte. Da nicht immer alle relevanten Daten vorhanden waren und eine zusätzliche Datenerhebung im Rahmen des Projektes „EINSTEIN goes Swiss“ nur bedingt möglich ist, variieren dementsprechend die Möglichkeiten bei der Auswertung der einzelnen Audits. Mitunter ist eine klare Analyse der Verhältnisse durch die mangelnde Datenbasis oder eine zu zeitintensive Auswertung kaum möglich. In diesen Fällen wird auf eine Bewertung gänzlich verzichtet.

In diesem Bericht sind die beteiligten Firmen anonymisiert und durch eine Kennung bzw. eine Beschreibung charakterisiert, so dass die Erkenntnisse auf ähnliche Betriebe übertragen werden können. Zur Wahrung der Anonymität musste auf entsprechende Abbildungen verzichtet werden. Drei der auditierten Firmen (Nr. 1, 5 und 9 in Tabelle 1) waren nach Abschluss der Arbeiten einverstanden, dass die umfangreichen Audit-Berichte des SPF als Annex zum vorliegenden Projekt-Schlussbericht veröffentlicht werden (siehe Annex I bis III) und sind deswegen auch in den entsprechenden Beschreibungen namentlich genannt. Einige weitere Firmen, bei denen es abgesehen von einem abklärenden Schriftverkehr zu keinen weiterführenden Gesprächen oder Aktivitäten kam, sind in der Tabelle nicht gelistet.

Tabelle 1. Übersicht kontaktierte Firmen

Firma Nr.	Anfrage / Audit	Branche	Hauptsächliche Prozesstemperatur	Jährlicher Energiebedarf (elektrisch und thermisch)	Status	Kommentar
1	Ja / Ja	Medizinaltechnik	65°C	700 MWh/a	Abgeschlossen	Vgl. [2]
2	Ja / Ja	Pharma	160°C	* ~10'000 MWh/a	Abgeschlossen	Basiert auf Vorarbeiten [3]
3	Ja / Ja	Abwasser	80°C	2'000 MWh/a	Abgeschlossen	Basiert auf Vorarbeiten [4]
4	Ja / Nein	Lebensmittel	100°C	** ~120'000 MWh/a	Nicht weitergeführt	
5	Ja / Ja	Lebensmittel	80°C	55'000 MWh/a	Abgeschlossen	Vgl. [5]
6	Ja / Nein	Lebensmittel	120°C	4'000 MWh/a	Nicht weitergeführt	
7	Ja / Nein	Sanitärtechnik	120°C	~4'000 MWh/a	Nicht weitergeführt	
8	Ja / Nein	Lebensmittel	90°C	k. A.	Nicht weitergeführt	
9	Ja / Ja	Lebensmittel	90°C	1'700 MWh/a	Abgeschlossen	Vgl. [6]
10	(Ja) / (Ja)	Lebensmittel		220'000 MWh/a	Analyse in Arbeit	Gestartet 08/2010, Finanzierung separat

k. A.: keine Angabe / *nur relevante Prozesse erfasst / **nur Energiebedarf elektrisch

2.1 Firma Nr. 1 - Edwards Lifesciences AG

2.1.1. Firmenbeschreibung

Das Unternehmen aus dem Bereich Medizintechnik mit mehreren tausend Mitarbeitern weltweit zählt in seiner Sparte zu den Weltmarktführern. Ein Produktionsstandort dieses Unternehmens liegt in der Schweiz und wurde für ein Audit ausgewählt. An diesem Standort gelten die höchsten Reinheitsvorschriften.

2.1.2. Energieverbrauch und -bereitstellung

Mit 700 MWh pro Jahr geht ein Grossteil der verbrauchten Energie an dem Schweizer Standort auf elektrische Energie zurück. Zusätzlich werden etwa 400 MWh pro Jahr in Form von Heizöl verbraucht. Der Ölverbrauch geht ausschliesslich auf die Bereitstellung von Raumwärme zurück. Für diesen Zweck ist am Standort eine 160 kW Ölheizung installiert. Die elektrische Energie wird für das Bereitstellen von (Trink-)Warmwasser, für Sterilisationsprozesse, die Kompressoren der Kühlgeräte sowie die Beleuchtung und Lüftung im Reinraum benötigt. Für Letzteres sind zwei Monoblocke installiert, welche an zentraler Stelle die Räumlichkeiten klimatisieren. Der Stromverbrauch über das Jahr ist relativ konstant, lediglich in den Monaten Mai bis Oktober ist ein geringfügiger Anstieg zu verzeichnen, der auf den temperaturbedingt höheren Klimatisierungsbedarf zurückzuführen ist.

2.1.3. Relevante Prozesse

Energieintensive Anwendungen und damit relevant für das EINSTEIN Audit sind Sterilisationsprozesse mittels Autoklaven, die Bereitstellung von Warmwasser für Händewaschen (gemäss Vorschrift bei jedem Ein- und Austritt des Reinraums), 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. Auf Basis von Messungen, vorhandenen Daten, Berechnungen und Abschätzungen konnte den einzelnen Prozessen folgender Energieverbrauch zugeordnet werden: Ventilation und Bereitstellung von Kälte ca. 320 MWh, Sterilisationsprozesse ca. 60 MWh, Betriebswarmwasser ca. 100 MWh sowie Licht und Diverses rund 200 MWh.

2.1.4. Abbildung in EINSTEIN

Neben allen relevanten Unternehmensdaten und den jährlichen Energieverbräuchen wurde die vorhandene Anlagentechnik nur zum Teil in EINSTEIN abgebildet. Auf Prozessebene wurden lediglich die Prozesse Händewaschen und Brauchwarmwasserbereitstellung direkt in EINSTEIN abgebildet. Die Kompressoren für die Raumklimatisierung und Kaltwasserbereitstellung sowie die Kühltische und Splitgeräte der Büros wurden in der Kategorie „Heat recovery from electrical equipment“ abgebildet, da so die Nutzung der Abwärme berücksichtigt werden kann. Indirekt sind diese Prozesse damit auch als Verbraucher in EINSTEIN vorhanden. Die Gebäudeheizung kann in der derzeitigen EINSTEIN Version nicht direkt abgebildet werden, da das Building-Modul zur Eingabe der relevanten Daten noch nicht zur Verfügung steht. Daher wurde der Prozess Gebäudeheizung implementiert, der dies in Annäherung darstellen soll. Der Sterilisationsprozesse mittels Autoklaven wurde nicht abgebildet, da bei diesem Prozess nach Angaben des Unternehmens weder Optimierungspotential besteht, noch ein Eingriff in die vorhandene Anlagentechnik möglich ist.

2.1.5. Ergebnisse der Abbildung

Nach Abbildung der oben genannten Prozesse sowie der Energieverbrauchsdaten in EINSTEIN ermittelt das Programm zunächst ein nennenswertes Potential für Wärmerückgewinnung. Dabei sieht das Programm vor, die in der Abluft des Rein- und Serverraums sowie aller Kühlgeräte enthaltene Wärme zurück zugewinnen. Darüber die Integration einer thermischen Solaranlage vorgeschlagen. Die solarthermisch bereitgestellte Wärme soll zur Deckung des Brauchwarmwasser- und Heizenergiebedarfs verwendet

werden. Die empfohlene Anlage besteht aus 40 m² Vakuumröhrenkollektoren und einem Speicher mit 2 m³.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurden mit EINSTEIN zwei Varianten erstellt. Eine bestehend aus der Kombination von Wärmerückgewinnung und thermischer Solaranlage und eine bestehend aus Wärmerückgewinnung und Integration einer Wärmepumpe.

2.1.6. Bewertung der Ergebnisse

Der Ist-Zustand bei Firma Nr. 1 konnte trotz der eingeschränkten Dateneingabe grösstenteils der Realität entsprechend abgebildet werden, sodass die Ergebnisse der Abbildung zunächst als verlässlich eingestuft werden können. Lediglich der Energieverbrauch für die Gebäudeheizung stellt nur eine Annäherung dar, da das Building-Modul in EINSTEIN noch nicht verfügbar ist. Daher musste bei der Abbildung ein fiktiver Prozess „Gebäudeheizung“ implementiert werden, um diesen Energieverbrauch zu berücksichtigen. Somit wird zwar ein in der Summe korrekter, allerdings über das Jahr konstanter Energiebedarf für diesen „Prozess“ abgebildet. Dieser konstante Energieverbrauch hat zur Folge, dass Solaranlage und Wärmepumpe bessere Wirkungsgrade erzielen, als dies mit einer realitätsnahen Modellierung der Fall wäre.

Die Simulationsergebnisse zur Integration der thermischen Solaranlage waren zusätzlich zu prüfen, da im Solar-Modul bisher nur Anlagengrössen über 50 m² vorgesehen sind. Ausserdem hat das von EINSTEIN vorgeschlagene System Investitionen zur Folge, die eine Paybackzeit von 15 Jahren übersteigt. In Realität sind die beiden bisherigen Trinkwarmwasserboiler auf zwei verschiedenen Etagen und die Händewaschstation ist zudem erst neu installiert worden, was einen Einfluss auf die Investition für einen allfälligen Umbau hat.

Die zentral vorhandene Abwärme von 20 bis 35°C, die ausschliesslich per Lüftung abgeführt wird, könnte von einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden. Die Abbildung weiterer Proposals mit unterschiedlichen Wärmepumpenvarianten oder einer ausschliesslichen Nutzung von Wärmerückgewinnung ist widererwartend nur mit einem erheblichen Arbeitsaufwand umsetzbar.

Eine ausführliche Beschreibung und kritische Bewertung der Ergebnisse befindet sich in einem separaten Audit-Bericht [2].

2.2 Firma Nr. 2 - Novartis AG

2.2.1 Firmenbeschreibung

Ein grosses Biotechnologie- und Pharmaunternehmen mit annähernd 100'000 Mitarbeitern weltweit wurde als weiteres Unternehmen für ein EINSTEIN Audit ausgewählt. Der untersuchte Standort wurde bereits in der Vergangenheit im Rahmen der Studie „Solarthermische Abwärmenutzung“ [3] untersucht. Dabei lag der Schwerpunkt bei der Integration einer thermischen Solaranlage. Ergebnis von [3] war u.a. eine Simulationsstudie, welche zum Vergleich für die Abbildung und Modellierung mit EINSTEIN hinzugezogen werden kann.

2.2.2 Energieverbrauch und -bereitstellung

Das betrachtete Firmengelände verfügt über ein Druckwasser-Nahwärmenetz mit einem Vorlauf von 160°C und einem Druck von 6 bar. Das Druckwasser-Nahwärmenetz wird von einem Erdgaskessel gespeist. Unabhängig von der benötigten Temperatur werden alle Prozesse sowie die Gebäudeheizung von diesem Nahwärmenetz versorgt. Die Spitzenlast des Nahwärmenetzes liegt bei 1000 kW.

2.2.3 Relevante Prozesse

Die im Rahmen des Audits betrachteten Prozesse beschränken sich auf einen Destillations- und einen Sprühtrocknungsprozess (STP). Das Temperaturniveau des Destillationsprozesses beträgt 70 °C, der STP benötigt 210°C. Beide Prozesse laufen bei Tag und sind an das Druckwasser-Nahwärmenetz angeschlossen. Zur Kompensation der Differenz von Energiebereitstellung bei 160°C und Prozesstemperatur von 210°C besitzt der

STP einen zusätzlichen Ölbrenner, der das Temperaturniveau um die benötigten 50 K anhebt. Der Energiebedarf der Destillations- und Sprühtrocknungsprozesse beläuft sich jährlich auf ca. 600 MWh, wobei der STP den grössten Anteil an diesem Verbrauch hat. Während der STP durchschnittlich von 7:00 bis 15:00 betrieben wird, läuft der Destillationsprozess lediglich 2.5 h pro Tag, entweder morgens oder nachmittags. Beide Prozesse laufen an 250 Tagen im Jahr.

2.2.4 Abbildung in EINSTEIN

Die beiden zuvor beschriebenen Prozesse wurden in EINSTEIN abgebildet, wobei der Sprühtrocknungsprozess in zwei Teilprozesse aufgeteilt werden musste. Dies ist für eine möglichst reale Abbildung notwendig, da zum einen Energie aus dem Wärmenetz entnommen wird und zum anderen ein zusätzlicher Ölbrenner zum Erreichen der Solltemperatur vorhanden ist.

2.2.5 Ergebnisse der Abbildung

Nach der Abbildung und Simulation in EINSTEIN schlägt das Programm vor, die Abwärme zu nutzen, welche bei dem Destillationsprozess anfällt. Laut EINSTEIN können damit etwa 500 kWh pro Tag durch die anfallende Kondensationswärme genutzt werden.

Zusätzlich zu dieser Effizienzmassnahme schlägt EINSTEIN vor, eine thermische Solaranlage bestehend aus Vakuumröhrenkollektoren zu integrieren.

Die von EINSTEIN simulierten Anlagendaten sind:

- installierte Leistung: 106 kW
- Speichervolumen: 7.6 m³ (zusätzlicher Speicher)
- Effizienz: 0.9
- solarer Deckungsgrad: 17.5 %
- spez. Solarertrag: 743 kWh/kW*a
- Systemwirkungsgrad: 40 %

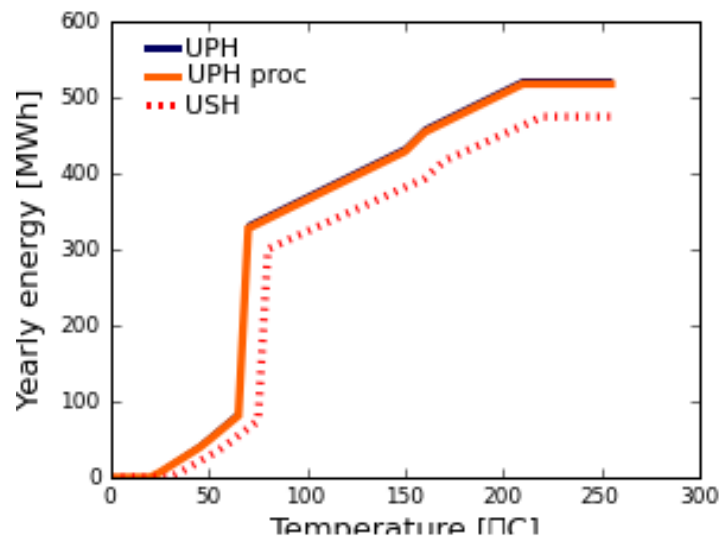


Abbildung 4: Jährlicher Energiebedarf als Funktion der Temperatur

Die Grösse der Anlage bestimmt EINSTEIN aufgrund des jährlichen Energiebedarfs in Funktion der Temperatur wie in Abbildung 4 dargestellt und der berechneten Einstrahlungsdaten des Standortes. Nach Definition in EINSTEIN kann Wärme bis 200°C mit konzentrierenden Parabolrinnen-Kollektoren bereitgestellt werden. Ist die totale Speicherkapazität (5m³ pro 100m² Kollektoraperturfläche) noch nicht erreicht, kann die Solarenergie gebraucht werden. Auf dieser Basis ermittelt EINSTEIN eine einbindbare Anlage von 106 kW.

2.2.6 Bewertung der Ergebnisse

Das Temperaturniveau der mit EINSTEIN ermittelten nutzbaren Abwärme liegt mit etwa 65 °C weit unterhalb der Solltemperatur des STP, welcher für eine Nutzung der Abwärme in Frage kommen würde. Der von EINSTEIN ermittelte Wert von 500 kWh pro Tag erscheint zudem nicht plausibel, da in der vorangegangenen detaillierteren Studie ein Abwärme-Energiemenge von etwa 1'100 kWh pro Tag ermittelt wurde.

In diesem Falle sind die Vorschläge von EINSTEIN zur Integration einer thermischen Solaranlage bestehend aus Vakuumröhrenkollektoren auf dem Hintergrund der Erkenntnisse der vorgängigen Studie [3] ebenfalls nochmals genau zu prüfen, da die Einzelheiten der Berechnung nicht vollständig plausibel erscheinen und von den eigenen verifizierten Berechnungen aus dem Anfangs erwähnten Projekt nicht übereinstimmen. Dies trifft auch auf den Vorschlag zur Wärmerückgewinnung zu. Der Grund liegt in der Beschränkung auf nur zwei abgebildete Prozesse, die vom Nahwärmenetz energetisch versorgt werden. Aus der vorgängigen Studie ist jedoch bekannt, dass die maximale thermische Last des Nahwärmenetzes in Grössenordnung von 1 MW liegt. Dies wurde in EINSTEIN jedoch nicht abgebildet, so dass die von EINSTEIN gelieferten Ergebnisse auf anderen Voraussetzungen aufbauen und durch die Reduktion auf zwei Prozesse nicht unbedingt zu für das Gesamtkonzept sinnvollen Lösungen gelangen.

Bei den Simulationsergebnissen der thermischen Solaranlage erscheint zunächst der verhältnismässig hohe spezifische Solarertrag fragwürdig. Dieser ist zwar konsistent mit der durchschnittlichen Betriebstemperatur von etwa 80°C, allerdings kann die Solaranlage nur genutzt werden, um Energie in das Nahwärmenetz einzuspeisen. Die durchschnittliche Betriebstemperatur steht demnach im Widerspruch mit dem geforderten Temperaturniveau von 160°C. Der Hintergrund dieser Ergebnisse konnte bisher nicht vollständig geklärt werden.

2.3 Firma Nr. 3 - ARA Wetzikon

2.3.1 Firmenbeschreibung

Ein weiterer Betrieb der für ein EINSTEIN Audit gewählt wurde ist eine Abwasserreinigungsanlage (ARA). Bei der mehrstufigen Abwasserreinigung fallen grosse Mengen an Faulschlamm an. Die Anlage wurde bereits im Rahmen einer Bachelorarbeit „Solare Klärschlamm Trocknung“ [4] näher untersucht. Der Schwerpunkt der Arbeit lag im Auffinden und Bewerten von Massnahmen zur Effizienzsteigerung.

2.3.2 Energieverbrauch und -bereitstellung

Ein Grossteil des Energieverbrauchs der Abwasserreinigungsanlage wird über ein Blockheizkraftwerk (BHKW) gedeckt. Dieses nutzt das innerhalb des Klärprozesses anfallende Faulgas zur Kraft-Wärme-Kopplung. Das BHKW hat eine thermische Leistung von 270 kW und eine elektrische Leistung von 130 kW. Der Grossteil der 2'000 MWh/a, welche in Form von Faulgas anfallen, wird für das BHKW verwendet. Der produzierte Strom deckt ungefähr 30 % des Bedarfs der ARA. Die bereitgestellte Wärme wird im Faulturm für den anaeroben Abbauprozess des Faulschlammes benötigt. Ein Teil des Faulgases (ca. 180 MWh/a) wird mit einem separaten Brenner für die Gebäudeheizung verwendet. Ein geringer Teil kann nicht genutzt werden und wird abgefackelt. Neben der durch das BHKW bereitgestellten thermischen Energie von jährlich etwa 800 MWh, verbraucht das Unternehmen pro Jahr zusätzlich ca. 34 MWh in Form von Heizöl für Heizzwecke. Darüber hinaus bezieht das Unternehmen gut 1'100 MWh elektrische Energie pro Jahr.

2.3.3 Relevante Prozesse

Der einzige Prozess bei der betrachteten ARA, der thermische Energie verbraucht, ist der Faulturm. Dieser Energiebedarf wird jedoch durch das BHKW gedeckt. Die Klärschlamm Trocknung erfolgt ausschliesslich mechanisch mittels einer Zentrifuge. Dabei wird der Klärschlamm auf etwa auf 30..35 % Trockensubstanz entwässert. Dies reicht bereits für eine selbstgängige Verbrennung aus. Soll die Verbrennung energieautark stattfinden, muss der Wassergehalt des Schlammes weiter verringert werden, auf eine TS von 45..55 %.

Da die Entsorgungskosten des Klärschlammes von Gewicht und Volumen bestimmt werden, kann eine Trocknung des Klärschlammes nach der Entwässerung sinnvoll sein. Der Grad der Trocknung hängt dabei massgeblich von der Energie ab, die dafür aufgewendet werden muss.

2.3.4 Abbildung in EINSTEIN

Im Falle der ARA ist ein geschlossener Kreislauf von anfallenden Reststoffen und deren energetischer Verwertung für den anaeroben Abbauprozess des Faulschlammes gegeben. Zudem liegt hier mit dem Klärschlamm kein im eigentlichen EINSTEIN-Sinne deklarierbares Produkt vor. Die Abbildung dieses Unternehmens entspricht somit nicht dem „normalen“ Ablauf. Dennoch wurde versucht, die vorliegenden Daten zu den Prozesswärmeströmen in EINSTEIN abzubilden. Eine mögliche Optimierung auf Prozessebene besteht in einer weiteren Reduzierung des Wassergehalts des Klärschlammes bei der Trocknung, da dies geringere Entsorgungskosten zur Folge hat.

In Abhängigkeit des Energieverbrauchs für die Trocknung des Klärschlammes und der damit verbundenen Erhöhung des Brennwertes ergibt sich ein Optimum aus Aufwand und Nutzen. Da diese Optimierung auf Prozessebene basiert (und nicht durch Ersetzen bzw. Ergänzen der Wärmeerzeuger), kann dies mit EINSTEIN aus Sicht der Autoren ohne zusätzliche Programmierung nicht modelliert werden. Die Abbildung umfasst also lediglich den Ist-Zustand. Optimierungspotentiale können daher neben einer möglichen Prozessoptimierung, für die im vorliegenden Falle ein entsprechender Infrarottrockner programmiert werden müsste, nicht aufgezeigt werden.

2.4 Firma Nr. 4

Das Unternehmen aus dem Sektor Milchverarbeitung verarbeitet jährlich etwa 880'000 t Milch zu Molkerei-, Frisch- und Käseprodukten. Der Stromverbrauch dieses Unternehmens lag in 2008 bei 122 GWh. Über den thermischen Energieverbrauch standen im Vorhinein keine Angaben zur Verfügung, allerdings ist dieser bei Unternehmen der Milchverarbeitenden Industrie erfahrungsgemäss höher als der Stromverbrauch. Für das EINSTEIN Audit wurde ein grosser Standort in der Schweiz gewählt, der durch Struktur des Produktionsstandortes und die damit verbundene Vielzahl und Komplexität der Prozesse eine sehr interessante Anwendung für das EINSTEIN Tool darstellt.

Die Firma Nr. 4 bekundete zunächst Interesse an dem Projekt, weshalb ein Treffen zur Vorstellung von „EINSTEIN goes Swiss“ vereinbart wurde. Das Treffen verlief nach dem bereits vorab erläuterten Ablauf. Im Rahmen dieses Treffens wurde allerdings deutlich, dass Firma Nr. 4 eine weitere Zusammenarbeit im Rahmen von „EINSTEIN goes Swiss“ nicht unterstützen kann. Der Hauptgrund hierbei war mangelndes Vertrauen in die Möglichkeiten des EINSTEIN Tools, welches auf Erfahrungen mit anderen (spezielleren) Tools in der Vergangenheit beruht. Die umfassende Betrachtung der komplexen Prozesse, wie es im Rahmen von EINSTEIN vorgesehen ist, schien mit einem zu grossen Aufwand an Datenerhebung verbunden zu sein, was zusammen mit der grundlegenden Skepsis des Unternehmens dazu führte, dass das Projekt nicht weitergeführt werden konnte.

2.5 Firma Nr. 5 - Feldschlösschen Getränke AG

2.5.1 Firmenbeschreibung

Da Brauereien einen sehr grossen Energiebedarf aufweisen und grossteils thermische Energie benötigen (ca. 75 % der verbrauchten Energie), erfolgte eine Anfrage bei einer grossen Brauerei in der Schweiz, welche sich für die Teilnahme an einem EINSTEIN Audit entschied. Eine nähere Beschreibung findet sich in Annex II.

2.5.2 Energieverbrauch und -bereitstellung

Der Energieverbrauch des betrachteten Standortes beläuft sich auf gut 55 GWh pro Jahr. Der Hauptenergieträger ist Erdgas, wobei auch das in der Vorkläranlage gewonnene Biogas sowie der bei der Entalkoholisierung von Bier anfallende Alkohol als Brennstoffe genutzt

werden. Zudem kann auch Heizöl zum Kompensieren von Lastspitzen eingesetzt werden. Das anfallende Biogas deckt etwa 11 % des thermischen Energiebedarfes der Brauerei, der Alkohol hat einen Anteil von rund 7 %. Der Anteil der elektrischen Energie liegt bei 30 %.

Die Bereitstellung der thermischen Energie erfolgt mit drei 10 MW Kessel, welche teilweise für alle der aufgeführten Energieträger genutzt werden können. Die Energieversorgung der einzelnen Prozesse erfolgt über ein Dampfnetz sowie ein Druckheisswassernetz mit einer Vorlauftemperatur von etwa 150 °C.

2.5.3 Relevante Prozesse

Der grösste thermische Energieverbraucher der Brauerei ist das Sudhaus, in welchem die Würze (Vorstufe des Bieres) hergestellt wird. Die Energie wird hierbei für das Aufheizen und Heisshalten der Sudbehälter sowie das Kochen der Würze benötigt. Alle Prozesse im Sudhaus werden mit Dampf versorgt. Daneben ist die Entalkoholisierungsanlage ein weiterer Grossverbraucher, der ebenfalls über das Dampfnetz versorgt wird. Das Bier wird dabei mittels Vakuumdestillation (mehrstufigen Dünnschichtverdampfung) entalkoholisiert. Der dritte grosse thermische Energieverbraucher ist der Tunnelpasteur in der Abfüllhalle. Den Tunnelpasteur müssen alle Biermischgetränke, alkoholfreien Biere sowie alle in Dosen abgefüllten Biere durchfahren. Der Tunnelpasteur sowie alle weiteren Verbraucher in der Abfüllhalle sind an das Heisswassernetz angeschlossen.

Weitere thermische Energieverbraucher sind die Flaschenwaschmaschine, die Fassabfüllung und die Cleaning-in-Place (CIP) Anlagen.

Die grossen Heisswasserströme welche stofflich für die Bierproduktion verwendet werden, werden im Sudhaus durch eine Wärmerückgewinnung (Würzekühlung) erwärmt, zwischengespeichert und für das Einmaischen und Läutern des darauf folgenden Sudes verwendet. Bei der Würzekochung wird das verdampfte Wasser mechanisch verdichtet und als Heizdampf für die Sudpfanne verwendet.

2.5.4 Abbildung in EINSTEIN

In EINSTEIN wurde der Produktionsbereich Sudhaus abgebildet. Dies beinhaltet die Prozesse Aufheizen des Brauwassers, Maischen, Läutern, Würzekochung und Würzekühlung. Demnach wurde auch die Wärmerückgewinnung in EINSTEIN abgebildet, da während der Würzekühlung kaltes Brauwasser aufgeheizt wird.

Des Weiteren wurde berücksichtigt, dass die benötigte Wärme mit den verschiedenen Energieträgern Erdgas, Biogas und Alkohol wird und das Wärmeverteilnetz aus einer Dampfleitung (165 °C) und einer Druckheisswasserleitung (150 °C) besteht.

2.5.5 Ergebnisse der Abbildung

Für den Standort wurden drei Proposals erstellt. Proposal 1 beinhaltet eine EINSTEIN Variante die den Energiebedarf bei bestehender Wärmeerzeugung, Verteilung und definierten Prozesse berechnet. Das Proposal HEN (HEN: Heat Exchanger Network) beinhaltet eine Variante welche alle Wärmeübertrager beinhaltet, die nach der Pinchanalyse sinnvoll zu integrieren wären. Das dritte Proposal Solar zeigt abschließend auf, welche Erträge eine Solaranlage am Standort bereitstellen kann.

Aus Proposal 1 wird ersichtlich, dass die im EINSTEIN-Projekt definierten Prozesse im Vergleich zu der Datenbasis des Audits etwa 5'120 MWh weniger Endenergie benötigen. Das Proposal HEN zeigt auf, dass bis zu neun weitere Wärmetauscher integriert werden können die vor allem die Abgasabwärme der Dampfkessel rückgewinnen. Nach den Ergebnissen des Proposals Solar könnte eine Solaranlage mit 227 m² jährlich etwa 152 MWh zu den insgesamt benötigten 12 GWh/a beitragen.

2.5.6 Bewertung der Abbildung

Die Abbildung spiegelt sehr gut die energetische Situation des Sudhauses wieder. Allerdings fiel bei Proposal 1 das Einsparpotenzial von 5'120 MWh insgesamt sehr hoch aus und kann nicht im Detail nachvollzogen werden.

Proposal HEN zeigt deutlich das ungenutzte Potenzial der Wärmerückgewinnung auf. Aufgrund einer realen Offerte stellte sich heraus, dass die von EINSTEIN angesetzten Preise

für Wärmeübertrager (im Fall der Würzekühlung) um den Faktor 10 höher sind. Aufgrund der hohen Preise und den dadurch resultierenden langen Amortisationszeiten kann man ohne weitere Abklärung (Einholen von Offerten) nicht sagen, ob eine Erweiterung des HEN empfehlenswert ist.

Das Proposal Solar zeigt das Potenzial der möglichen integrierbaren Menge an thermischer Solarenergie auf. Der spezifische Kollektorfeldertrag ist mit 670 kWh/m^2 verglichen mit anderen Anlagen jedoch eher hoch. Der sehr niedrige solare Deckungsgrad von 0.6 % bei Nutzung der maximal verfügbaren Dachfläche für Kollektoren zeigt, dass in diesem Fall die zur Verfügung stehende Dachfläche der limitierende Faktor bei der Nutzung des gesamten Solarwärmepotentials ist.

Eine ausführliche Beschreibung und kritische Bewertung der Ergebnisse befindet sich in einem separaten Audit-Bericht [5].

2.6 Firma Nr. 6

Im Rahmen des Projektes wurde eine Back-und Teigwarenfabrik gesucht, deren thermische Prozesse in EINSTEIN abgebildet werden sollten. Um speziell die Einbindung von Solarthermie gezielt untersuchen zu können, fiel die Wahl auf eine Schweizer Firma, die im Jahre 1989 eine thermische Solaranlage mit 400 m^2 Vakuumröhren zur Prozesswärmebereitstellung installierte. Damals hatte das Unternehmen einen Ölverbrauch von ca. $400'000$ Litern pro Jahr. Rückfragen bei der Firma zeigten allerdings, dass die Anlage aufgrund diverser technischer Probleme nur etwa 5 bis 10 Jahre betrieben wurde. Seitdem ist die vorhandene Anlagentechnik ungenutzt. Leider konnte bei den Verantwortlichen weder das Interesse für ein Audit, noch für eine genauere Betrachtung der thermischen Solaranlage geweckt werden.

2.7 Firma Nr. 7

Eine weitere Anfrage erfolgte bei einem Unternehmen aus dem Bereich Sanitärtechnik. Dieses Unternehmen fertigt Sanitär- und Rohrleitungssysteme. Der Energieverbrauch aller Standorte lag im Jahr 2006 bei knapp 160 GWh, wobei über 70 % des Verbrauchs auf elektrische Energie zurückgeht. Diese wird benötigt, um Sanitär- und Rohrleitungssysteme aus Kunststoff durch Spritzguss-, Blas- und Extrusionsverfahren herzustellen. Diese Produktionsstrukturen lassen einige Effizienzmassnahmen der Produktionsanlagen erwarten, wie zum Beispiel die Optimierung der Kühlanlagen, die bessere Nutzung von Abwärme sowie den sorgfältigeren Einsatz von Druckluft. Der relativ geringe Anteil genutzter Brennstoffe (Erdgas, Heizöl leicht) ist auf die fast ausschliessliche Nutzung zur Raumwärmebereitstellung zurückzuführen.

Da das Unternehmen ihre Treibhausgasemissionen sukzessive durch Energieeinsparung, Erhöhung der Energieeffizienz und dem Ausbau erneuerbarer Energien senken will, wurde das Unternehmen für die Durchführung eines EINSTEIN Audits ausgewählt. Nach Kontaktaufnahme mit der Abteilungsleitung Umwelt & Nachhaltigkeit war diese an dem Projekt interessiert, schlug jedoch zur Durchführung eines Audits einen Produktionsstandort in Deutschland vor. Der verantwortliche Produktionsleiter zeigte jedoch kein Interesse an einem Audit, vermutlich aus mangelnden Kapazitäten.

2.8 Firma Nr. 8

Als weiteres Unternehmen aus dem Sektor Lebensmittelindustrie wurde ein Schokoladenhersteller gewählt. Aufgrund des hohen Energiebedarfs bei der Herstellung und Verarbeitung von Schokolade, ist auch dieser Sektor ein sehr interessantes Objekt für ein EINSTEIN Audit. Jedoch gab es bei dem angefragten Unternehmen bereits Ansätze im Rahmen von anderen Projekten vereinzelte Technologien der Produktion zu optimieren, weshalb sich das Unternehmen zum Zeitpunkt der Anfrage gegen eine Teilnahme an dem EINSTEIN Audit im Rahmen von „EINSTEIN goes Swiss“ entschieden hat.

2.9 Firma Nr. 9 - CSCC Compagnie de chocolats et confiseries AG

2.9.1 Firmenbeschreibung

Eine kleine bis mittlere Schokoladenfabrik mit etwa 50 Mitarbeitern zeigte ebenfalls Interesse an einem EINSTEIN Audit. Die Firma gilt gemäss gesetzlichem Artikel des Kantons Zürich als Energie-Grossverbraucher und ist u.a. darum Mitglied der Grossverbraucher Gruppe „Zürich Land“. Die betrachtete Firma plante zum Zeitpunkt des EINSTEIN Audits eine Flachdachsanierung. Im Rahmen dieser Sanierung wurde bereits vor dem Erstkontakt geprüft, inwiefern eine Solaranlage integriert werden kann. Dieser Hintergrund zeigt auf, wie passend das Audit zu gegebener Zeit für die Firma war

2.9.2 Energieverbrauch und -bereitstellung

Die Firma produziert etwa 600-700 Tonnen Schokolade pro Jahr. Die zu verarbeitende Schokoladenmasse wird in flüssiger Form bei 45 °C mittels Tanklaster angeliefert. In der Warenanlieferung, im Untergeschoss, wird die Schokoladenmasse in vier Doppelwandbehältern mit einem Fassungsvermögen von jeweils einer Tonne zwischengelagert. Die Schokoladenmasse in den Behältern wird über eine wassergefüllte und elektrisch beheizte Doppelwand warm und flüssig gehalten. Dazu werden alle vier Behälter gesamthaft mit 18kW elektrisch beheizt. Dazu ist jeder Behälter mit drei Heizstäben bestückt. Die Firma verfügt über eine Schokoladenverteilung mit einer Gesamtlänge von etwa 300 m. Diese Verteilung wird ebenfalls über ein mit Wasser gefülltes Doppelwandsystem warmgehalten. Analog zu den Doppelwandbehältern in der Warenanlieferung sind in der Produktion vier Weitere installiert. Die Wärme für das Warmhalten der Doppelwandbehälter und für die Schokoladenverteilung wird ausschliesslich elektrisch bereitgestellt. Die Spitzenlast dieser Anwendungen beläuft sich gesamthaft auf ca. 125kW_{el}. Weitere elektrische Verbraucher sind Pressluft-Kompressoren mit einer totalen Spitzenlast von 30 kW sowie eine Kältemaschine mit drei Kompressoren mit insgesamt 43 kW (2*16 kW und 1*11 kW) elektrische Nennlast.

Das für Reinigungsprozesse benötigte Warmwasser mit einer Solltemperatur von 65 °C wird mit einem Ölbrenner (Leistung von 110-150 kW) bereitgestellt.

Der jährliche Endenergiebedarf von Strom und Öl beläuft sich auf 1'700 MWh, wovon 1'300 MWh (76%) reiner Strombedarf ist. Es wird abgeschätzt, dass ca. 520 MWh resp. 40% des gesamten Strombedarfs für die Schokoladenwarmhaltung benötigt wird.

2.9.3 Relevante Prozesse

Zentrale Prozesse in der Firma sind das Warmhalten der Schokolade sowie das Temperieren (definiertes Abkühlen der Schokoladenmasse während der Verarbeitung). Bei diesen beiden Prozessen wird elektrisch geheizt (Warmhaltung auf 40 °C) bzw. gekühlt (beim Temperieren von höchstens 40°C auf 28°C). Außerdem ist die Bereitstellung von Warmwasser mit 65°C ein wichtiger Prozess. Dieses Wasser wird für diverse Reinigungsprozesse benötigt. Die Integration einer Wärmerückgewinnung sowie der Austausch der elektrischen Wärmebereitstellung wurden bereits während des Audits als Optimierungsmöglichkeit erkannt und als zu analysierende Ansatzpunkte in EINSTEIN definiert.

Prozesse wie die Gebäudeheizung und Gebäudeklimatisierung sind weitere relevante Ansatzpunkte, welche jedoch nicht im Detail analysiert wurden, da sie wie bereits erwähnt in EINSTEIN nicht zufriedenstellend abgebildet werden können.

2.9.4 Abbildung in EINSTEIN

Die drei zuvor beschriebenen Prozesse (Warmhaltung der Schokolade, Temperieren der Schokolade sowie die Bereitstellung des Warmwassers für die Waschstationen) wurden in EINSTEIN abgebildet, wobei die Schokoladenwarmhaltung und das Temperieren als kombinierter Prozess modelliert wurde. Dies erfolgte da die beiden Prozesse als einzelner Batchprozess bestehend aus Warmhaltung, Befüllen der Formen und Abkühlen der Schokolade definiert werden konnte.

2.9.5 Ergebnisse der Abbildung

In EINSTEIN wurden zwei Proposals erstellt. Proposal A beinhaltet eine Solaranlage die Wärme für alle modellierten Prozesse bereitstellen kann, Proposal B eine Wärmerückgewinnung welche die beim Temperieren anfallende Abwärme rückgewinnt.

Das Proposal A schlug eine Solaranlage mit 190 m² Kollektorbruttofläche vor, welche nach Süden mit einem Anstellwinkel von 45° ausgerichtet ist. Der spezifische Kollektorfeldertrag beträgt 621 kWh/m². Somit resultiert ein Kollektorfeldertrag von 117 MWh/m²a, was 7 % des gesamten Endenergiebedarfs (Strom und Öl) entspricht.

Zur Simulation des Proposals B (Wärmerückgewinnung) wurden in EINSTEIN folgende Randbedingungen⁷ auf Basis der Prozesse modelliert:

- Abnahmeprozess für Wärmerückgewinnung
Prozess Warmwasserbereitstellung (Aufheizen von Wasser von 10-60°C, Wasserverbrauch 6.4 m³/Tag, Nenndurchsatz von Wasser 267 kg/h)
- Möglichkeiten WRG von Prozess Schokoladenwarmhaltung
Übertragungsleistung 12 kW, Wärme bis minimal 10°C, jährlich maximale Wärmeübertragung von 16.5 MWh

Daraus ergab sich eine jährlich übertragene Wärmemenge von 2.7 MWh (16 % des Optimums von 16.5 MWh) und eine Übertragungsleistung von 2 kW. Als stationäre Temperaturen am Wärmeübertrager resultierten für die Primärseite (37/14.9 °C), für die Sekundärseite (10/16.3 °C). Somit ergibt sich eine mittlere logarithmische Temperaturdifferenz von 11 K

2.9.6 Bewertung der Ergebnisse

Aufgrund der Simulationsergebnisse von EINSTEIN ist eine Wärmerückgewinnung nicht zu empfehlen, da der notwendige Aufwand in keinem Verhältnis zu dem erzielbaren Ertrag liegt. Das Wärmerückgewinnungspotenzial kann nicht vollständig genutzt werden, da der Bedarf an Warmwasser (einziger Prozess welcher auf diesem tiefen Temperaturniveau von 10-60°C Wärme benötigt) zu gering ist. Basierend auf einer eigenständigen Berechnung müssten jedoch 6.3 MWh/a mit einer Übertragungsleistung von 4.5 kW übertragbar sein.

EINSTEIN konnte bei diesem Audit keinen sinnvollen Optimierungsvorschlag für dieses Objekt geben. Die unabhängig von EINSTEIN entwickelte und vielversprechende Idee von einem zentralen Heisswasserspeicher und einer zentralen Wärmebereitstellung, welche alle Speicher sowie das Warmhaltesystem im Verteilnetz bedient, konnte in EINSTEIN nicht abgebildet werden.

Eine ausführliche Beschreibung und kritische Bewertung der Ergebnisse befindet sich in einem separaten Audit-Bericht [6]

2.10 Firma Nr. 10

2.10.1 Firmenbeschreibung

Durch einen Projektpartner des SPF kam der Kontakt zu einem weiteren Unternehmen aus dem Sektor Milchverarbeitung zustande. Dabei sollte zunächst schwerpunktmäßig eine solarthermische Unterstützung der Wärmebereitstellung untersucht werden. Es bietet sich jedoch an, das EINSTEIN Tool für die Datenaufnahme einzusetzen. Da sich der Kontakt zu dieser Firma erst zu Projektende ergeben hat, konnte nur noch die Datenaufnahme im Rahmen der Projektlaufzeit abgeschlossen werden, auch wenn sich die Firma grundsätzlich sehr gut für ein vollständiges EINSTEIN Audit eignen würde.

Firma Nr. 10 weist Parallelen zu Firma Nr. 4 auf, bei der leider kein Audit durchgeführt werden konnte (s.o.). Sie ist ebenfalls im Milchsektor tätig und produziert Milch, Rahm, Joghurt, Butter und verschiedene Käsearten.

⁷ Eine automatische Erkennung des Wärmerückgewinnungspotenzials, welche das definieren von Randbedingungen hinfällig machen würde, wurde von EINSTEIN nicht erkannt.

2.10.2 Energieverbrauch und -bereitstellung

Das Unternehmen verarbeitet jährlich 200'000 t Milch. Dazu verbraucht das Unternehmen jährlich 47 GWh elektrische Energie und 168 GWh Endenergie zur Bereitstellung von Wärme. Mit etwa 155 GWh wird der Großteil der benötigten thermischen Energie durch Erdgas bereitgestellt, welches zur Dampferzeugung eingesetzt wird. Dabei werden zwei Satteldampfleitungen mit 130°C (3 bar) und ca. 160°C (6 bar) betrieben. Die ebenfalls benötigte Niedertemperaturwärme bis 100°C bezieht das Unternehmen von dem lokalen Fernwärmenetz. Der Fernwärmeverbrauch beträgt ungefähr 13 GWh pro Jahr. Durch die Mitfinanzierung bei der Neudimensionierung des Fernwärmenetzes (Anheben der Vorlauftemperatur auf 105°C) kann das Unternehmen Fernwärme für wenig mehr als 35 CHF/MWh beziehen (vgl. Erdgas ca. 100 CHF/MWh).

2.10.3 Relevante Prozesse

Das Unternehmen bekundete Interesse, die benötigt Energie für den Prozess der Kafferahmherstellung mit einer Parabolrinnen-Solaranlage bereitzustellen. Dabei soll die benötigte Wärme auf 140°C (momentan bereitgestellt mit dem Erdgas betriebenen Dampfkessel) solarthermisch bereitgestellt werden. Argumente wie der tiefe Energiepreis für Wärme bis 100°C aus dem Fernwärmenetz, die frei verschiebbare Prozesszeit von 6h pro Tag (zum Beispiel um die Mittagszeit) sowie die Abnahmemöglichkeit der gesamten jährlichen solaren Einstrahlung sprechen für dieses Vorhaben.

2.10.4 Abbildung in EINSTEIN

Die Datenaufnahme wurde auf Basis des EINSTEIN-Vorgehens durchgeführt. Jedoch sind keine Prozesse oder Anlagen zur Wärmebereitstellung und -verteilung in EINSTEIN abgebildet worden. Die Datenaufnahme konnte vergleichsweise schnell durchgeführt werden, da sich die Untersuchung aufgrund der Rahmenbedingungen (vgl. 2.10.3) auf den angesprochenen Prozess begrenzt hat. Jedoch hat das Darstellen der energetischen Situation mit Diagrammen wie jährlich bereitgestellte Energie in Funktion der Temperatur mit Zuteilung eines Wärmeerzeugers sowie die Verknüpfung mit Primärenergiefaktor, Energiepreis und Effizienz auf entsprechendem Temperaturniveau dazu beigetragen, in kurzer Zeit einen Überblick über die energetische Situation des Prozesses zu erhalten.

3 Integration von PolysunInside in EINSTEIN

Die Berechnung des möglichen Beitrags von Solarthermie zur Wärmebereitstellung für die Industrieprozesse erfolgt im Expertensystem EINSTEIN über vergleichsweise einfache Abschätzungen (vgl. Abschnitt 3.1). In „EINSTEIN goes Swiss“ soll eine auf Jahressimulationen basierende Methode entwickelt werden, die ausgehend von den Prozessdaten und Informationen zu Standort u.w. die solarthermisch in den Prozess einbindbare Wärmemenge bestimmt. Die technische Realisierung erfolgt über ein Polysun-basiertes Plug-in für das Expertensystem (vgl. Abschnitt 3.2).

The screenshot shows the EINSTEIN software interface. The left sidebar contains a tree view with categories like 'Edit Industry Data', 'Renewable energies', 'Energy statistics', 'Benchmark check', 'Alternative proposals', and 'Design'. The main window is titled 'Einstein' and has a menu bar (File, View, Database, Settings, Help). Below the menu bar, there are tabs for 'Project' (Novartis Nyon_091016_1400), 'Alternative' (New Proposal 1), and 'Design assistant' (semi-automatic). The 'Main motivation' is set to 'Solar thermal energy'. The 'Surface data' section is active, showing a list of 'Solar energy surfaces' with 'Parking' selected. Below the list are 'Add surface' and 'Delete surface' buttons. The 'Surface data' form includes fields for: 'Short name of the available area' (Parking), 'Available area' (200 m²), 'Inclination of the area' (45.0 °), 'Orientation of the roof, ground, wall area (to south)' (S), 'Shading problems?' (No), 'Distance between the roof, ground, wall area(s) and the technical room or process' (50.00 m), 'Type of roof' (Concrete roof), 'Static load capacity of the roof', and 'Is a plant/drawing of building(s) and surface(s) available?'. The 'Weather data' section includes fields for 'Geographic latitude' (48.00 °), 'Solar radiation on horizontal' (1 100.0 kWh/m²a), and 'Yearly average ambient temperature' (20.0 °C). At the bottom, there are 'Cancel' and 'OK' buttons, and a status bar showing the date and time: '2009-11-10 16:13:9 city / country'.

Abbildung 5: EINSTEIN-Oberfläche zur Eingabe von Werten für das Solarmodul.

3.1 Simulation von Solarthermie in EINSTEIN

Das Modul Energieversorgung und Erneuerbare Energieträger von EINSTEIN umfasst unter anderem das Solarthermie-Modul. Dieses erlaubt eine automatisierte Auslegung einer thermischen Solaranlage zur Bereitstellung eines Teils des aus dem Audit resultierenden Prozesswärmebedarfs. Dafür können folgende Parameter vom Anwender definiert werden:

- Zielvorgabe für den solaren Deckungsgrad
- Wahl des Kollektortyps (Optionen: Flach-, Vakuumröhren- und Parabolrinnenkollektor)
- Zielvorgabe für einen minimalen spezifischen Solarertrag in kWh/m²/a

Darüber hinaus können die maximal verfügbare Dachfläche mit Neigung und Ausrichtung sowie die geographische Breite des Standortes und die jährliche Globalstrahlung eingegeben werden. Wenn nur die Koordinaten des Standortes bekannt sind, nicht aber die Einstrahlung, berechnet EINSTEIN die Einstrahlungswerte für Global- und Diffusstrahlung sowie die Direktstrahlung auf die horizontale Fläche. Der Algorithmus, der zur Berechnung der Einstrahlungsdaten in EINSTEIN verwendet wird, ist zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Berichtes noch nicht dokumentiert. Genauer über die Strahlungsdaten ist in folgendem Abschnitt 3.1.1 „Bestimmung der Globalstrahlung in EINSTEIN“ beschrieben.

Mit den Vorgaben und dem Energiebedarfsprofil berechnet EINSTEIN die zwei zentralen Komponenten einer Solaranlage, die Kollektorfläche und die Speichergrösse. Dies erfolgt anhand weniger Iterationen, bei denen eine den Vorgaben entsprechend möglichst optimale Kollektorfläche ermittelt wird, und geht vergleichsweise schnell. Die Berechnung ist somit der generellen „Philosophie“ von EINSTEIN angepasst und dient als erste Abschätzung.

Der konzeptionelle Ablauf dieses iterativen Vorgehens ist wie folgt:

- Prüfen/Übernehmen der verfügbaren Dachfläche (Lage, Orientierung und Neigung)
- Berechnung der standortbezogenen Einstrahlung (vgl. Abschnitt 3.1.1)
- Auswahl des Kollektors (Flach-, Röhren- oder Parabolrinnen-Kollektor), basierend auf (A) dem Energiebedarf in Funktion der Temperatur und (B) anderen bereits eingesetzten Wärmeerzeugern. Hintergrund: Niedertemperatur Wärme wird mit WRG bereitgestellt, anschliessend wird analysiert was für eine Mitteltemperatur mit den Kollektoren bereitgestellt werden muss. Nach einer Energieertragsabschätzung ausschliesslich über die entsprechenden Wirkungsgradkennlinien wird dann entschieden, welcher Kollektortyp sich für die Anwendung am besten eignet.
- Erste Wahl der Kollektorfläche aus den Vorgaben von solarem Deckungsgrad und minimalem spezifischen Kollektorertrag
- Bestimmung des Speichervolumens in Abhängigkeit der Kollektorfläche (50l/m²).
- Optimierung von Kollektorfläche und Speichervolumen in genau fünf Iterationen, bei denen die folgenden fünf Teilschritte durchlaufen werden:
 - o Berechnung Solar Useful Supply Heat (USH) (aus Wetterdaten und Stundenwerten des Bedarfs für gegebene Kollektorfläche und Speichervolumen)
 - o Berechnung solarer Deckungsgrad
 - o Berechnung des spezifischen Ertrags
 - o Vergleich spezifischer Ertrag mit Soll- bzw. Minimalwert (z.B. 400 kWh/m²/a), wenn kleiner ggf. Kollektorfläche verkleinern, oder Sollwert für solaren Deckungsgrad durch lineare Extrapolation der Kollektorfläche erreichen. Berechnung der Kosten des Gesamtsystems (Installationskosten, Kollektorkosten, Betriebs- und Unterhaltskosten)
 - o Mit so ermittelter neuer Kollektorfläche und daraus resultierendem Speichervolumen neu rechnen, weiter mit „Optimierung von Kollektorfläche, (s. o.).

Die Stärken dieses Vorgehens liegen in der schnellen Iteration und Ergebnisausgabe für die Angabe eines Richtwertes der Kollektorbruttofläche und Energieertragszahlen. Passend zum EINSTEIN-Konzept berücksichtigt dieses zielgerichtete Vorgehen die Kosten und die zu beachtenden Grössen für das Auslegen einer Solaranlage. Effizient und schnell wird die Dimension einer Solaranlage vorgeschlagen. Offen ist jedoch, mit welcher Genauigkeit die Dimensionierung erfolgt.

3.1.1 Bestimmung der Globalstrahlung in EINSTEIN

Im Verlauf der Anwendung von EINSTEIN ergaben sich einige Resultate, die nur bedingt nachvollziehbar waren. So fiel beispielsweise der spezifische Solarertrag mit über 700 kWh/m²/a bei einigen Simulationen sehr hoch aus. Da EINSTEIN sehr stark vereinfachten Auslegungsvorgaben für die thermische Solaranlage folgt, resultieren durch die lineare Abhängigkeit von Speichervolumen und Kollektor bei grossen Anlagen sehr grosse Speicher. Der Solaroptimierer, der den anzustrebenden Wert für den spezifischen Solarertrag einstellen soll, hat den Zielwert für den solaren Deckungsgrad bei den im

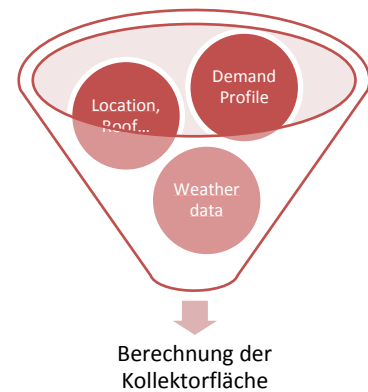


Abbildung 6: Eingaben zur Berechnung der Kollektorfläche

Rahmen dieses Projektes modellierten Systemen nie annähernd erreicht. Die im EINSTEIN zugrunde liegenden Vereinfachungen motivieren den Projektteil, Polysun mitsamt der integrierten Meteo-Datenbank in EINSTEIN zu integrieren und EINSTEIN somit zu verbessern. Gewichtiger Vorteil von Polysun ist das Simulieren mit dynamischem Zeitschritt und die detaillierteren Wetterdaten, welche ein repräsentatives Jahr am Standort darstellen. Der Unterschied zwischen Wetterdaten, die aus Messdaten von Wetterstationen oder aus Satellitendaten generiert werden, und den in EINSTEIN verwendeten Einstrahlungsberechnungen wird in den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich.

Dazu wurde die Globalstrahlung am Standort Rapperswil als Funktion von Stunde am Tag und Tag im Jahr aufgetragen. Diese Auftragung erfolgte für die Globalstrahlungsdaten von EINSTEIN (Abbildung 7a) und den von Polysun verwendeten Globalstrahlungsdaten, die auf Wetterstationen basieren (Abbildung 7b). Die Abbildungen zeigen, dass der Polysun-Globalstrahlungsdatensatz längere Sonnentage und höhere Strahlungswerte im Sommer beinhaltet als der EINSTEIN-Globalstrahlungsdatensatz. Die Jahressummen der Globalstrahlungswerte stimmen allerdings überein. Die Dynamik der Einstrahlung aufgrund von Bewölkung, Regen, Schnee, etc. ist im Polysun-Datensatz sehr viel besser zu erkennen. Zudem verfügt der Polysun-Datensatz über ein höheres Globalstrahlungsmaximum (1023 W/m^2) verglichen zum Höchstwert in EINSTEIN, der lediglich 546 W/m^2 beträgt. Diese Werte entstammen den jeweiligen Datensätzen und können anhand der Abbildungen abgeschätzt werden.

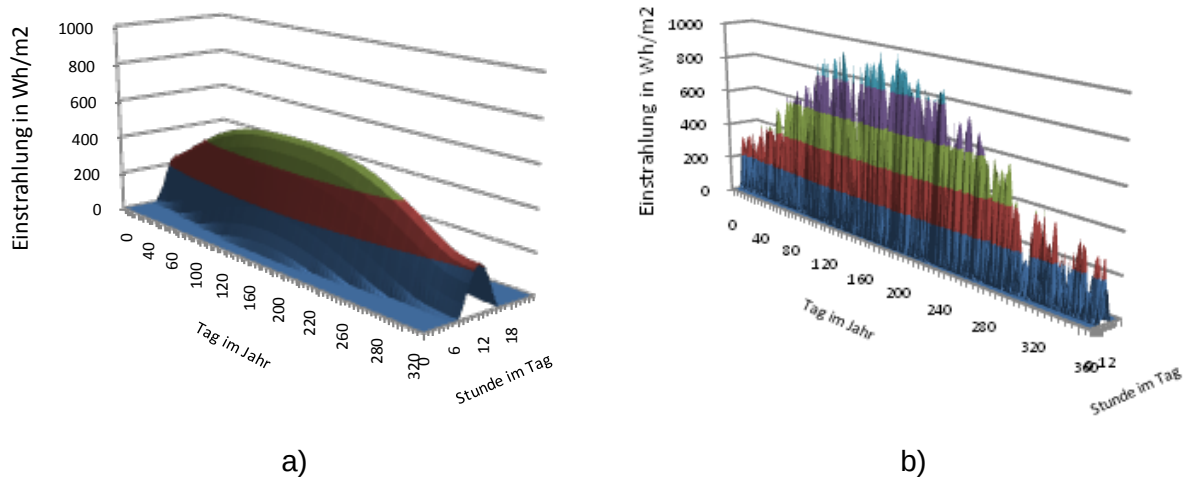


Abbildung 7: a) In EINSTEIN und b) in Polysun/Meteonorm berechnete Globalstrahlungsdaten auf die horizontale Fläche (Gh) für einen Ort auf Breitengrad 47.7° nB und jährliche Einstrahlungssumme von $1105 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$.

In Abbildung 8 werden drei willkürlich gewählte Tage (Tag 73, 117 und 142 des repräsentativen Jahres) dargestellt. Dabei ist noch deutlicher als in Abbildung 7 zu erkennen, dass zu sonnigen Mittagsstunden der Globalstrahlungshöchstwert der Polysun-Daten mehr als 1.5-mal grösser sein kann (vgl. Gh um 12.00 Uhr am Tag 142: 900 W/m^2 in Polysun, 540 W/m^2 in EINSTEIN). Dies kann je nach Ablauf der Prozesse einen beträchtlichen Einfluss auf den Solarertrag haben. Die Tagessumme der Globalstrahlung für Tag 117 ist in beiden Datensätzen zwar gleich, jedoch unterscheidet sich die Tagesdynamik sehr (in Polysun ähnlicher Morgen- und besserer Abendertrag, jedoch eine Baise um die Mittagszeit). Die Zeiten für Sonnenaufgang, Sonnenhöchststand und Sonnenuntergang stimmen in beiden Datensätzen überein. Allerdings ist in Polysun der Standort verglichen zu EINSTEIN zusätzlich mit dem Längengrad und der Zeitzone versehen, wodurch Einfluss auf den effektiven Sonnenstand (v.a. auf den Sonnenhöchststand im Laufe des Tages) genommen werden kann.

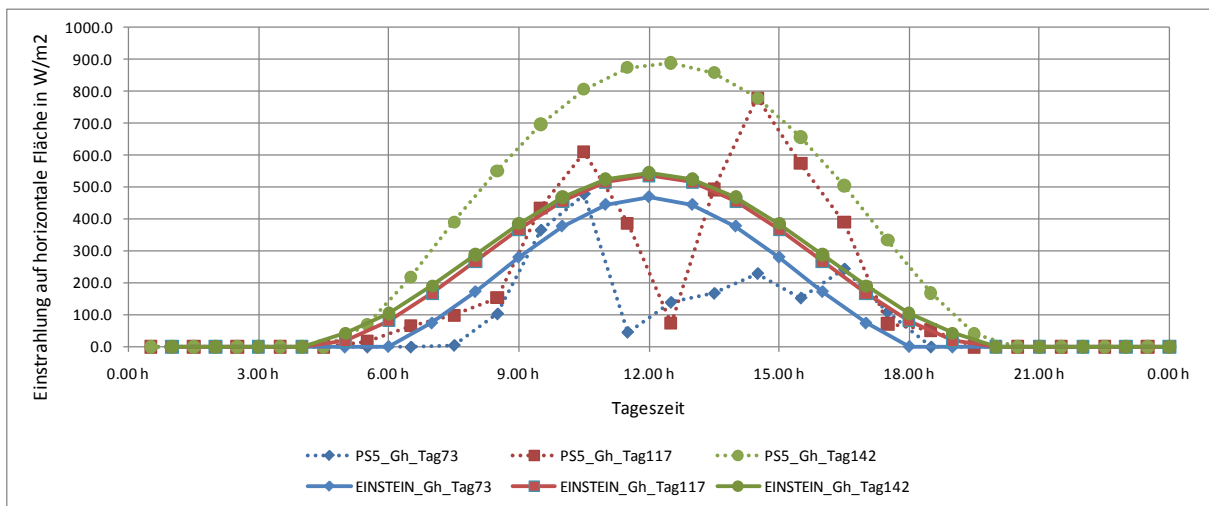


Abbildung 8: Vergleich von Strahlungsdaten von 3 typischen Tagen (blau: Tag 73, rot: Tag 117 und grün: Tag 142) der Polysun/Meteonorm resp. EINSTEIN Wetterdaten.

Der Einfluss der Erd-Ekliptik auf die Einstrahlung resp. den Zeitpunkt, an dem die Sonne exakt im Süden steht, ist in Abbildung 9 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die maximale solare Einstrahlung und auch der Zeitpunkt, an welchem die Sonne exakt südlich steht, in Polysun zwischen den sonnigen Tagen 268 und 57 (Tage symmetrisch um die Wintersonnenwende gewählt)⁸ um 25 Minuten (von 12.05 Uhr auf 12.30 Uhr) verschoben sind, verglichen zu EINSTEIN, wo dieser Unterschied nicht ersichtlich ist. Auch ersichtlich ist der Unterschied des solar möglichen Tages-Energieertrags des Polysun- und EINSTEIN-Datensatzes. In Abbildung 9 kann abgeschätzt werden, dass der Solarertrag am Tag 268 im Polysun-Datensatz ungefähr zweimal grösser ist als im EINSTEIN-Datensatz.

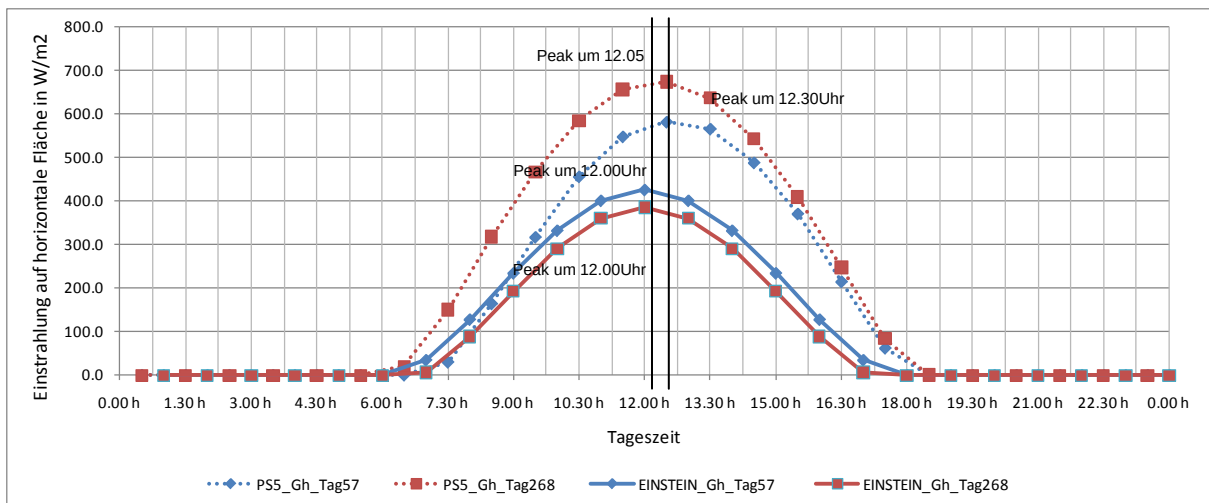


Abbildung 9: Vergleich von Strahlungsdaten von zwei Sonnentagen wodurch aufgrund der Erd-Ekliptik Abweichungen vom Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes dargestellt werden können. Die Tage sind so gewählt, dass sie einigermaßen symmetrisch um die Wintersonnenwende (21./22. Dez.) zu liegen kommen.

Die hier aufgezeigten Abweichungen bei der Bestimmung der Globalstrahlung hindern EINSTEIN zwar nicht daran, eine grobe Abschätzung über den möglichen jährlichen Solarertrag zu machen, jedoch sollte dem Anwender diese Vereinfachung bewusst sein. Gut

⁸ Tage zum Darstellen dieses Effektes, liegen ideal um +/-40 Tage symmetrisch um 21./22. Dez (die Wintersonnenwende). Im Beispiel kommen die Tage aufgrund weniger idealer Sonnentage auf +57 und -87 Tage zu liegen. An den idealen Tagen am entsprechenden Standort ist die Abweichung des Winkels der Solareinstrahlung am Zeitpunkt wo die Sonne an der Wintersonnenwende von Süden scheint bezogen auf Süden über das Jahr gesehen am grössten.

wäre zudem, wenn die Option bestünde, Wetterdaten (reale Messdaten oder Referenzwetterdaten) einlesen zu können, um die Simulationsgenauigkeit zu erhöhen.

3.2 PolysunInside in EINSTEIN

3.2.1 Konzept PolysunInside

Um die Auslegung einer thermischen Solaranlage mit dem Solarmodul von EINSTEIN zu verbessern (das Solarmodul, genannt „Solarthermal“, ist Bestandteil des EINSTEIN Heat&Cold-Supply-Moduls, siehe Abbildung 11), wurde das EINSTEIN Plug-in PolysunInside-EINSTEIN (PIE) entwickelt. PolysunInside (PI) ist ein Programm für Solarthermie- und Photovoltaik-Berechnungen, welches auf Polysun basiert und von der Firma Vela Solaris AG entwickelt wurde. Im Unterschied zu Polysun hat PI jedoch keine graphische Eingabeoberfläche. PIE ist eine spezifische Weiterentwicklung von PI für den Einsatz mit EINSTEIN. Die Entwicklung dieses Plug-Ins erfolgte im Rahmen des Projektes „EINSTEIN goes Swiss“ durch die Firma Vela Solaris AG und dem SPF unter Beteiligung des Entwicklerteams des europäischen IEE-Projektes EINSTEIN. Die prinzipielle Verknüpfung von Polysun bzw. dem PIE mit EINSTEIN ist in Abbildung 10 dargestellt.

Für die Fragestellung, was mit PIE genau simuliert werden soll und wie bzw. wie oft dies geschehen soll, standen unterschiedliche Ansätze zur Diskussion. Um die Rechenzeit für die Auslegung der Solaranlage weiterhin kurz zu halten und um auf der EINSTEIN-Grundlage aufzubauen, wurde der Ansatz gewählt, die Anlageauslegung grundsätzlich nach wie vor durch EINSTEIN (Solarthermal) erfolgen zu lassen. PIE wird anschließend aufgerufen und hat die Funktion, den von EINSTEIN berechneten Solarertrag zu verifizieren. Dafür führt PIE eine Jahres-simulation mit genaueren Strahlungsdaten für den gewählten Standort und einer quasi-physikalischen Abbildung des Speichers, des Kollektorfeldes und der Hydraulik durch. Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 11 das Programm EINSTEIN nochmals schematisch dargestellt. Das Solarmodul Solarthermal (fett dargestellt) ist eines der vielen internen Module von EINSTEIN und dasjenige, welches mit PIE als externes Modul kommuniziert.

Der EINSTEIN-Anwender hat durch die Integration von PIE zum einen den Indikator, wie gut er sich auf die Solarberechnung von EINSTEIN verlassen kann, und zum andern soll er die Möglichkeit bekommen, durch die einfache Übertragung der Simulation von PIE auf die kommerzielle Polysunversion das berechnete System bei Interesse für eine genauere Analyse im Detail zu simulieren und zu optimieren. Das von PIE verwendete Inputfile für die Solarberechnung ist dafür eindeutig definiert und kann mit einer gültigen Polysun-Lizenz entsprechend verwendet werden. Wenn der von EINSTEIN mit dem Modul Solarthermal ermittelte Solarertrag nicht signifikant von dem mittels PIE ermittelten Ertrag abweicht, kann EINSTEIN weiterhin den vorab berechneten Solarertrag verwenden, andernfalls muss entweder eine Warmmeldung oder eine Anpassung des Solarertrags (oder beides) erfolgen, damit EINSTEIN die in den verschiedenen Modulen vorgeschlagenen Massnahmen aufeinander abstimmen kann.

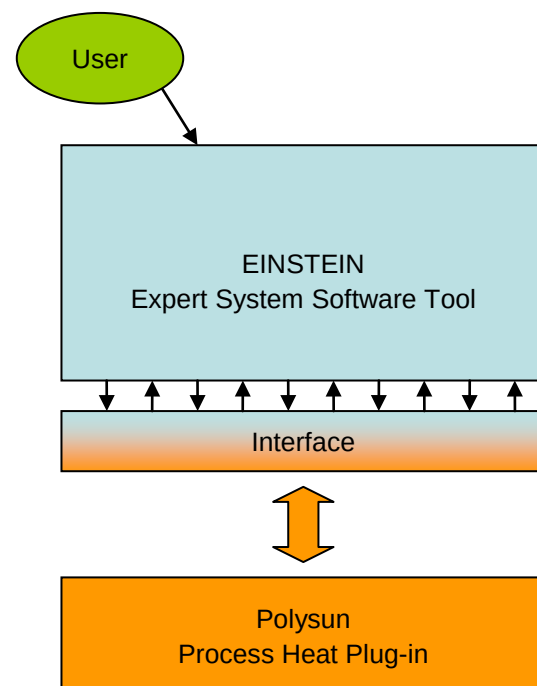


Abbildung 10: Schnittstelle von PIE und EINSTEIN

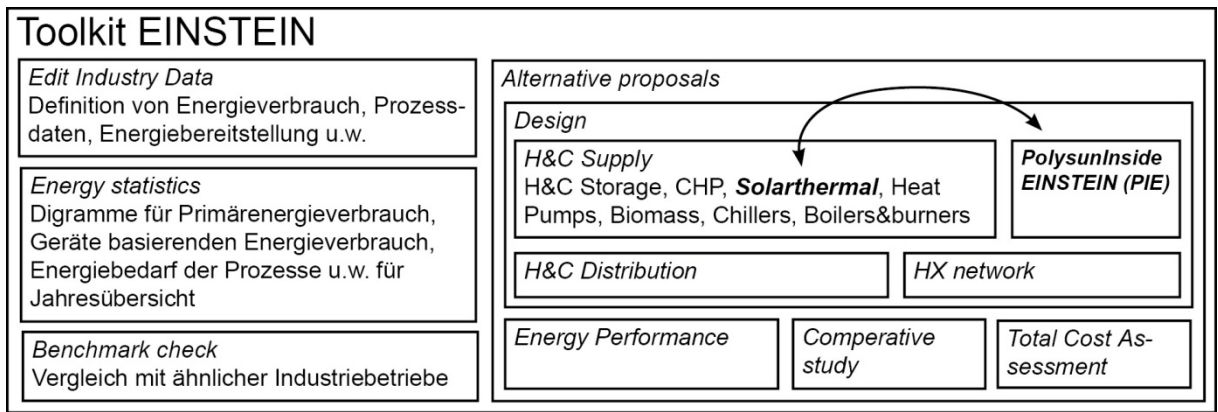


Abbildung 11: Schematische Darstellung vom EINSTEIN-Konzept und der Einbindung von PolysunInside-EINSTEIN (PIE)

Die Anwendung von PolysunInside für EINSTEIN wurde so angepasst, dass typische Anlagenkonzepte, die in EINSTEIN definiert werden, mit PIE simulierbar sind. Dafür wurde definiert, welche zentralen Parameter von EINSTEIN an PIE übergeben werden müssen, um die Solaranlage zu simulieren. Darauf aufbauend wurde eine typische Systemvorlage (Hydraulik mit hinterlegten Daten wie z.B. spezifischer Kollektorkreisvolumenstrom, Regelungsparameter, etc.) erstellt. Der gewählte Ansatz, wie er im PIE integriert wird, ist in Abbildung 12 dargestellt. Nach Erstellung eines Solar Proposals und Konfiguration und Starten des Design Assistants führt EINSTEIN alle Berechnungen zur Auslegung der thermischen Solaranlage aus. Das Ergebnis dieser Simulation (Kollektortyp und -fläche, Speicher und sonstige Randbedingungen) wird an PIE übergeben. Mit diesen Daten simuliert PIE anschliessend erneut die thermische Solaranlage und gibt das simulierte Resultat an EINSTEIN zurück. Aufgrund des Vergleichs beider Simulationsergebnisse entscheidet EINSTEIN, wie fortgefahren wird, und informiert dementsprechend den Anwender.

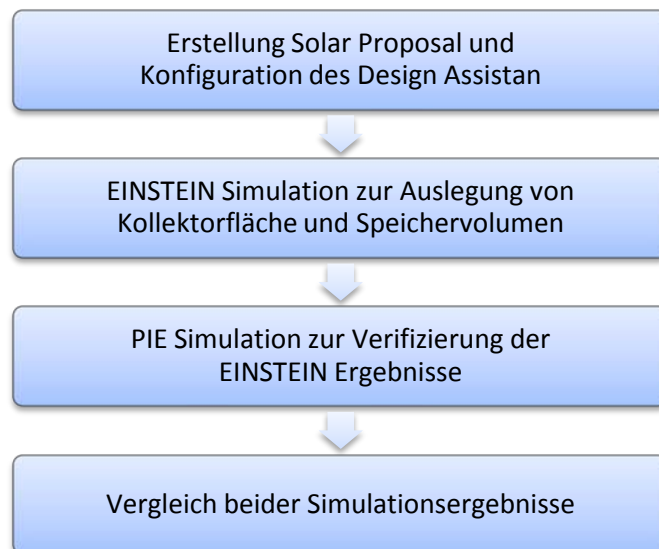


Abbildung 12: Simulationsablauf bei Berechnung des Solarertrags mit PIE

3.2.2 Einbindung von PolysunInside-EINSTEIN (PIE)

Die Programme haben gemeinsame Parameter, die abgeglichen werden müssen. Bei der Einbindung von PIE ist sicherzustellen, dass diese gleichen oder ähnlichen Parameter übernommen werden. Gemeinsame Parametergruppen sind:

- Energiebedarfsprofil
- Kollektorfeld
- Speicher
- Wetterdaten

Das *Energiebedarfsprofil* ist die zentrale gemeinsame Parametergruppe beider Berechnungsprogramme. Dieses Profil beschreibt alle Prozesse, welche in EINSTEIN über verschiedene Eingabeformulare definiert und auf Konsistenz überprüft wurden. Das Energiebedarfsprofil wird in EINSTEIN in der Form erstellt, dass es von PIE einlesen kann. Folgende Grössen beschreiben das Energiebedarfsprofil:

- Zeitprofil mit Startzeit in Sekunden,
- Vorlauftemperatur in °C,
- Rücklauftemperatur in °C,
- Leistung im entsprechenden Zeitfenster (in kW) und ein
- Arbeitsmedium (vorerst nur Wasser).

Die Parameter des Kollektorfeldes werden in PIE als Ganzes von EINSTEIN übernommen. Folgende Grössen sind Teil der Beschreibung des *Kollektorfeldes*:

- Kollektortyp (Flachkollektor, Röhrenkollektor, Parabolrinne) und
- Kollektorbruttofläche sowie
- Ausrichtung (0°=horizontal bis 90°=vertikal) und
- Kollektororientierung (-180° = Westen über 0° = Süden bis 180° = Osten).

Der *Speicher* ist in EINSTEIN ausschliesslich mit einem Volumen in Abhängigkeit der Kollektorfläche definiert. PIE wird dieser Parameter übergeben.

Die *Wetterdaten* müssen vorerst aus Lizenzgründen von EINSTEIN übernommen werden.

Die Schnittstelle wird über XML-Dateien definiert. Die o.g. Parameter für PIE werden von EINSTEIN über diese Dateien definiert. Nach Sicherstellen von Übernehmen aller gleichen oder ähnlichen Parameter in PIE sind nun noch Parameter zu definieren, welche in EINSTEIN so nicht verwendet werden.

Der Speicher in Polysun (und somit im PIE) detaillierter abgebildet als in EINSTEIN, und die Hydraulik kommt neu hinzu. Aus diesem Grund müssen undefinierten Grössen des Templates (Energieprofil, Speicherparameter, Pumpen, diverse Regler, etc.) aus den errechneten/bestimmten Daten von EINSTEIN hergeleitet werden. Die Hydraulik wurde so gewählt, dass sie konzeptionell für alle EINSTEIN-Projekte und entsprechend auch für allgemeine, typische Prozesswärmeanwendungen geeignet ist. Die Aufgabe bestand deshalb darin, Komponenten wie Energieprofil, Speicher, Pumpen und diverse Regler im Template entsprechend anzupassen. Der Volumenstrom im Kollektor wurde spezifisch definiert (mit 15l/h/m²), hydraulisch werden im Polysun-Template maximal 5 Kollektoren in Serie geschaltet. Das Speichervolumen wird wie oben erwähnt von EINSTEIN übernommen. Jedoch werden die Speicherhöhe und -durchmesser so gewählt, dass das Verhältnis von Höhe zu Durchmesser konstant (mit Wert von 2.2) gehalten wird. Dies ist für die Berechnung der Speicherverluste im PIE relevant. Des Weiteren wird das Bereitschaftsvolumen so ausgelegt, dass über 30 Minuten hinweg die Spitzenlast vom Bedarfsprofil abgedeckt werden kann. Die Zusatzheizung wird so dimensioniert, dass sie bei Vollast 2 Stunden für das Laden des Bereitschaftsvolumens benötigt. Entsprechend wird der Durchsatz des Brenners angepasst, so dass eine Temperaturspreizung von 20 K resultiert. Weitere Kesselparameter wie Kesselmasse und Kesseloberfläche werden entsprechend angepasst, um eine Abhängigkeit der Brenneverluste zu der Brennernennlast zu erzielen. Alle Konstanten sind so gewählt, dass die entstehenden Parameter der Komponenten mit den Parameter aus dem Polysun-Komponentenkatalog korrelieren. Es ist derzeit noch nicht

abschliessend entschieden, ob diese Konstanten über eine Oberfläche in EINSTEIN oder über ein Konfigurationsfile definierbar sein werden. Dies muss abschliessend mit dem EINSTEIN-Team geklärt werden.

3.2.3 Templates für PolysunInside-EINSTEIN

Die PIE-Templates beinhalten die Kollektoren, die Zusatzheizung, den Speicher und die Prozesswärmesenke (vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14). Das Kollektorfeld wird mit einer DeltaT-Steuerung betrieben und die Pumpen P1 und P2 (durchsatzgleich) in den Abbildungen unten sind immer gemeinsam aktiv. Der Mischer M1 regelt auf die Prozesstemperatur und die Pumpe P3 gewährleistet den Durchfluss entsprechend des Energiebedarfsprofils. Die Zusatzheizung wird verwendet, um das dem Bedarfsprofil angepasste Bereitschaftsvolumen bereitzustellen. Die Schichtlanze hat die Funktion, dass Solarwärme bis in das Bereitschaftsvolumen eingespeist werden kann. Sie wird gemeinsam mit dem Speichervolumen mit skaliert. Die Energiesenke ist eine weitere im Template enthaltene Komponente.

Die Templates wurden so gewählt, dass in PIE ganzheitliche und reale Systeme simuliert werden. Für Polysun-Anwender besteht dadurch die Option, die Templates zusätzlich direkt in Polysun zu simulieren und Resultate zu analysieren. Dazu kann der Polysun-Anwender das von EINSTEIN automatisch erstellte Inputfile für PIE hernehmen und die Parameter in Polysun in entsprechenden Templates übertragen. In Abbildung 13 passiert dies in Form eines Warmwasserprofils, also über Warmwasser- und Kaltwasser-Solltemperatur sowie Nenndurchsatz, Jahresvolumen und Tagesbezugsverteilung des Warmwasserbedarfs. In Abbildung 14 ist anders als in Abbildung 13 die Energiesenke in Form der Komponente Energiesenke definiert, so dass ein Polysun-Anwender direkt das in EINSTEIN generierte Bedarfsprofil als Inputfile hernehmen oder ein anderweitig erstelltes Bedarfsprofil einsetzen kann.

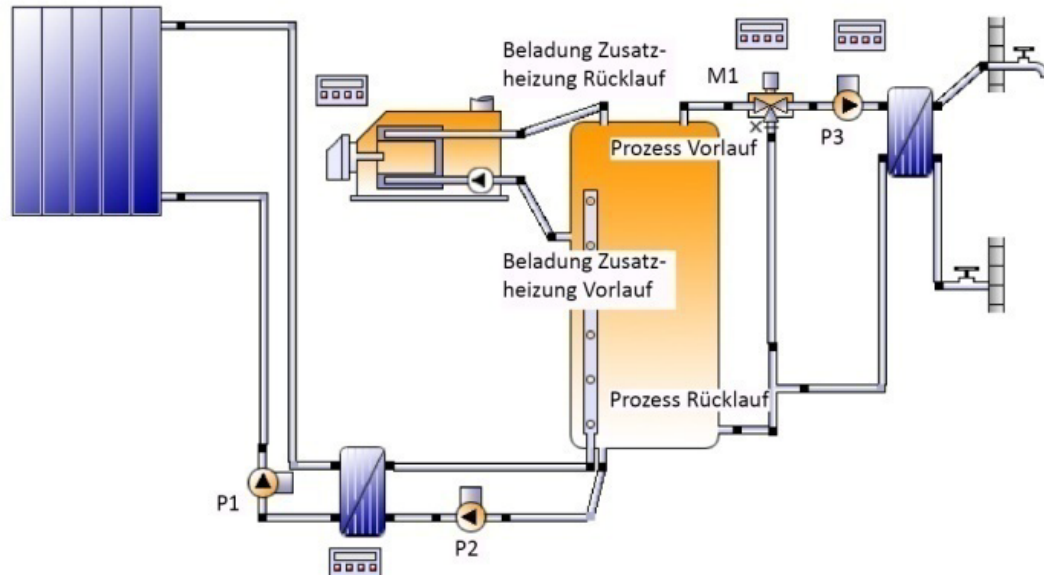


Abbildung 13: Polysun-EINSTEIN Template 1 mit Warmwasserprofil für Definition des Prozessenergiebedarfs verwendet in PolysunInside für Verifizierung der in EINSTEIN integrierten Solarberechnung

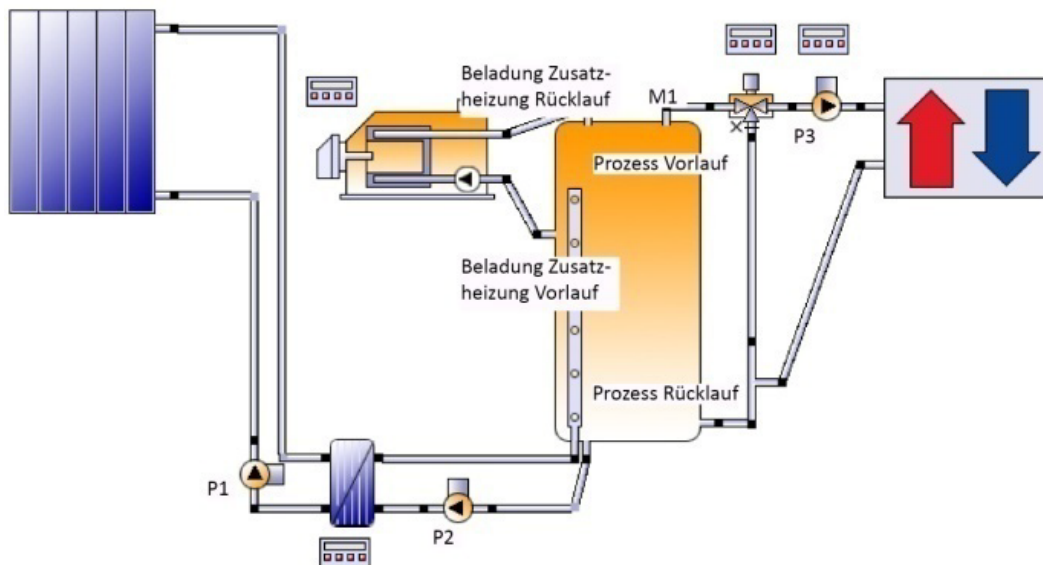


Abbildung 14: Polysun-EISTEIN Template 2 mit Energiesenke für detailliertere Definition des Bedarfsprofil (verglichen zu Template 1) verwendet in PolysunInside für Verifizierung der in EISTEIN integrierten Solarberechnung

Damit sichergestellt werden kann, dass typische Prozesswärmeanlagen mit einer Solarintegration mit EISTEIN und PolysunInside simuliert werden können und bei den Simulationen zumindest bei PolysunInside keine Fehlermeldungen entstehen, wurde das Template 1 über die PolysunInside-Schnittstelle für einen bestimmten Parameterraum validiert. Validiert wurden Anlagen mit Energiebedarf welche Zusatzheizungen mit Nennlasten von 6.9 bis 83.6 kW benötigen, Anlagen mit einem Nenndurchsatz des Energiebedarfs von 600 bis 800 l/h sowie mit integrierten Kollektorbruttofeldgrößen von 13 bis 160 m².

Tabelle 1: Szenarien für verschiedene Anlagengrößen

Parameter an Prozess	Szenario 1	Szenario 1b	Szenario 2	Szenario 2b	Szenario 3
Temperaturniveau (VL/RL)	60/20 °C	60/20 °C	80/20 °C	80/20 °C	60/20 °C
Wasserdurchsatz	625 l/h	600 l/h	800 l/h	800 l/h	100 l/h
Nennleistung der Kessel	34 kW	42 kW	84 kW	84 kW	7 kW
Kollektorbruttofläche	83 m ²	40 m ²	160 m ²	80 m ²	13 m ²
Speichervolumen	1'800 l	2'250 l	3'000 l	3'000 l	375 l

Bei Simulation der Systeme mit den in Tabelle 1 aufgelisteten Größen stellte sich heraus, dass die Simulation der Templates plausible Resultate generiert. Die im Rahmen dieses Projektes von Vela Solaris AG erstellte Schnittstelle von PIE funktioniert ebenfalls wie angedacht. Dies zeigen Simulationsvergleiche von Polysun und PIE.

4 Erkenntnisse und Bewertung von EINSTEIN

Das Durchführen von Audits im Rahmen des Projektes „EINSTEIN goes Swiss“ zeigte zunächst, dass es möglich war, einige Unternehmen für eine Zusammenarbeit zu motivieren. Jedoch haben sich ebenfalls eine Reihe der kontaktierten Unternehmen gegen die Teilnahme an einem Audit entschieden. Die Gründe für diese Entscheidung variierten von Fall zu Fall, waren jedoch nicht immer nachvollziehbar. Bei den durchgeführten Audits wurde bislang deutlich, dass sowohl der Ablauf als auch das erfolgreiche Abschliessen und das Ergebnis eines Audits massgeblich von der Datengrundlage und Motivation des analysierten Unternehmens bestimmt werden. Die Qualität der Ergebnisse wird zusätzlich stark von dem Wissensstand der verantwortlichen Person (i.d.R. der Energiebeauftragter des Unternehmens) beeinflusst.

Die bisherigen Erfahrungen mit den EINSTEIN-Audits sind im Wesentlichen:

- Datenerhebung wesentlich aufwändiger als erwartet
 - Meist unzureichende Datengrundlage der Unternehmen
 - Mangelnde zeitliche und/oder personelle Ressourcen für die Bereitstellung der benötigten Prozessdaten
 - Komplizierte Entscheidungsstrukturen und mangelndes Vertrauen der Unternehmen
- Abbildung in EINSTEIN aufwändiger als erwartet
 - Nicht alle Prozesse können abgebildet werden
 - Komplexe Dateneingabe
 - Annahmen von EINSTEIN teilweise unklar oder auch anhand der Dokumentation schwer nachvollziehbar
- Einige Teilmodule sind (noch) fehlerhaft und/oder unvollständig
 - Wärmerückgewinnung, Wärmepumpe, Solarthermie
 - Fehler konnten zum Teil identifiziert und behoben werden (siehe einzelne Abschnitte dieses Berichtes bzw. ausführliche Dokumentation in Annex I bis III)

Die in EINSTEIN enthaltene Systematik zur Datenerhebung ist nach bisherigen Erfahrungen vollständig und ermöglicht zumindest theoretisch das Schaffen einer systematischen Datengrundlage in überschaubarer Zeit, da klar ist, welche Daten hierzu erhoben werden müssen. Die Praxis zeigte allerdings, dass die zum Teil schlechte Verfügbarkeit und Qualität der notwendigen Informationen den Zeitaufwand bei der Umsetzung erhöhen. Oftmals mussten Verbrauchsmessungen erfolgen, um eine genaue Abbildung des Unternehmens in EINSTEIN realisieren zu können.

Bei der Arbeit mit dem Tool selbst wurde deutlich, dass die Abbildung der Prozesse in EINSTEIN zum Teil sehr zeitaufwendig und nicht ganz intuitiv ist. Dies basiert auf der mitunter etwas umständlichen Bedienung des Programms, welches wichtige Hinweise vermissen lässt. Darüber hinaus konnten bis zum Projektabschluss nicht alle Prozesse bzw. vorhandenen Anlagen der Realität entsprechend abgebildet werden.

Da einige Teilmodule in ihrer Entwicklung noch nicht abgeschlossen sind, kann die Ausarbeitung von Vorschlägen zur Effizienzsteigerung und Einbindung alternativer Energieversorgungskonzepte unter Umständen unvollständig bzw. fehlerhaft sein. Hierbei muss jedoch bedacht werden, dass ohne Tools wie EINSTEIN eine unvollständige Analyse bzw. Bestandaufnahme ebenfalls wahrscheinlich ist, die ihrerseits wiederum zu einseitigen Massnahmen führen kann.

Im Laufe der Arbeiten wurde deutlich, dass trotz der kritischen Bemerkungen zu EINSTEIN befriedigende Analysen für die teilnehmenden Unternehmen in nach Auffassung der Unternehmen ausreichendem Detaillierungsgrad erfolgen konnten.

In den nächsten Abschnitten werden einige der angesprochenen positiven und negativen Aspekte weiter erläutert, um die beschriebenen Stärken des Tools (vgl. Abschnitt 1) und die bedingt zufriedenstellenden Erfahrungen, wie sie im Abschnitt 4 beschrieben wurden, abzuwägen. Eine umfangreichere Beschreibung der im Rahmen des Projektes gewonnenen Erkenntnisse kann auch [2], [5] und [6] entnommen werden.

4.1 Audit mit EINSTEIN - Vorgehensweise

Die EINSTEIN Vorgehensweise zur Sammlung und Bearbeitung der relevanten energetischen Daten einer Firma ist gut durchdacht und konnte in der Praxis umgesetzt werden. Die Unterteilung in Abschnitte Primärenergieträger, Energiebereitstellung, Wärmeverteilung, Prozesse usw. hat sich dabei bewährt. Auch die interne Verknüpfung all dieser Komponenten im Toolkit EINSTEIN war hilfreich.

Es hat sich allerdings herausgestellt, dass die redundante Dateneingabe, wie sie von EINSTEIN angedacht ist, nur selten als Gegencheck verwendet werden konnte. Denn die angedachte Idee, den Primärenergieverbrauch zu definieren und anschliessend den aufgrund von Messdaten oder berechneten Werten resultierenden Energiebedarf der Prozesse zu definieren und zu vergleichen, zeigte oft, dass die errechneten Daten nicht miteinander übereinstimmen resp. der Konsistenzcheck nicht erfolgreich durchgeführt werden kann.

Für ein erfolgreiches Übertragen der Daten, resp. zum Erreichen eines positiv durchlaufenden Konsistenzchecks in EINSTEIN war dann meistens zusätzlich zum EINSTEIN-Fragebogen eine sehr umfangreiche Tabellenkalkulation notwendig, welche viele Detaildaten der Prozesse, Stoffdaten sowie andere Audit-spezifischen Grössen enthalten hat.

4.2 Prozessabbildung

Prozesse lassen sich nach dem in diesem Bericht erläuterten Schema definieren. Eine Option dieses Schemas ist die Prozessart. Es wird unterschieden zwischen Batch- oder kontinuierlichen Prozessen (siehe Abbildung 15). Auch die in den SPF-Audits zusammengetragenen Prozesse konnten einer dieser Prozessarten zugewiesen werden. Es stellte sich jedoch heraus, dass das Übertragen der Prozessdaten auf diese Schemata immer mit notwendigen Vereinfachungen der Prozessdaten verbunden war. Beispielsweise dafür sind:

- Wenn die Dauer einer Startphase von den vorgegebenen 20% der gesamten Batchdauer (in Abbildung 15 grün eingezeichnet) abweicht, müssen die aufgenommen Daten auf diese Definition fehlerbehaftet umgerechnet werden (fehlerbehaftet insofern, weil die Energiemenge der Startphase aus dem Audit gegeben ist und die 20% der Batchdauer für Startphase von EINSTEIN vorgegeben sind und sich somit eine mittlere Leistung ($P = Q/t$) einstellt die von der effektiven Initialphasen-Nenn-Leistung abweichen kann)
- Wenn ein Prozess genau von 10 bis 12 Uhr stattfinden soll und man diesen aufgrund der Eingabemöglichkeiten nicht in diesem Zeitfenster platzieren kann.

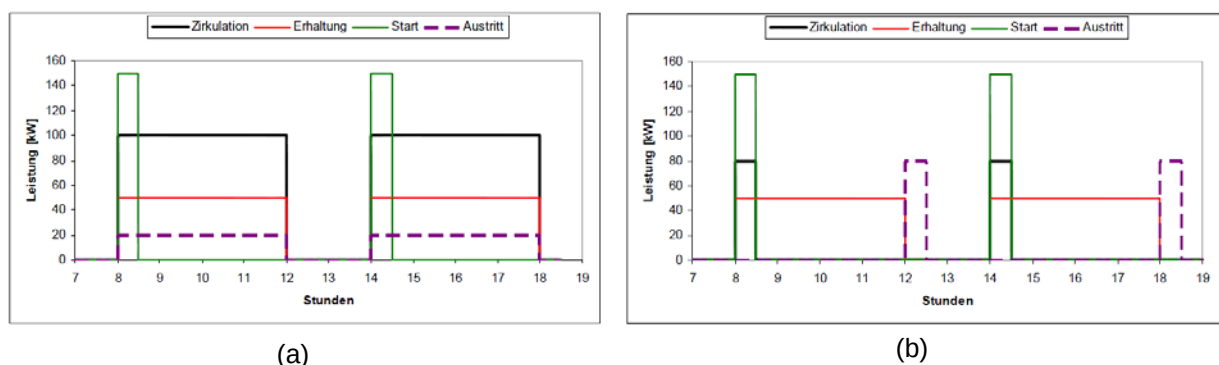


Abbildung 15: Standard-Bedarfsprofil für (a) kontinuierliche und (b) Batch-Prozesse als Beispiel mit 2 Batches und 4 Stunden Laufzeit pro Batch. Abbildung adaptiert aus EINSTEIN Dokumentation (1).

4.3 Datenvisualisierung

Weitere zentrale Details, um die Einsatzmöglichkeiten von EINSTEIN als Anwender abzuschätzen, sind EINSTEIN-interne Diagramme und Tabellen, mit denen bei den Arbeiten mit EINSTEIN oft gearbeitet wird und welche für das Verständnis der Modellierung der

Industrieanlagen unumgänglich sind. Zu diesen zählen Tabellen und Kuchendiagramme der verschiedenen in Abschnitt 1 erläuterten Ebenen, zum Beispiel die Verteilung der Primärenergie auf die Rohstoffe, die brauchbare Energie der Wärmeerzeuger (USH) bereitgestellt von entsprechenden Kessel, oder der Energiebedarf (UPHproc) aller definierten Prozesse.

Zwei speziell zu erwähnende Diagramme, welche in EINSTEIN dargestellt werden, sind zum einen das Diagramm, welches den Energiebedarf als Funktion der Prozesstemperaturen aufzeichnet, sowie zum andern das Pinch-Diagramm welches die Prozesstemperaturen als Funktion der Prozessleistung visualisiert. Zu ersterem folgend ein einfaches Modell eines Objekts mit zwei Prozessen und einer WRG an welchem sich ein solches Diagramm einfach erklären lässt.

Bez. Energie- umwandelnde Abläufe	T1, Untere Temperaturgrenze von Prozess	T2, Obere Temperaturgrenze von Prozess	Energiebedarf (+:heizen, -:kühlen)
Prozess 1	60 °C	80 °C	200 MWh/a
Prozess 2	70 °C	90 °C	100 MWh/a
WRG aus Prozess 1	80 °C	70 °C	-100 MWh/a

Tabelle 2: Definition des Energiebedarfs für das Beispieldiagramm

Temperatur- bereich TB	Bedarf Prozess 1 in MWh/a	Bedarf Prozess 2 in MWh/a	WRG aus Prozess 1 in MWh/a	UPHproc in MWh/a	UPH in MWh/a	USH in MWh/a mit $\eta_{\text{Kessel}}=70\%$
0 - 50 °C	0	0	0	0	0	0
0 - 60 °C	0	0	0	0	0	0
0 - 70 °C	100	0	0	100	100	143
0 - 80 °C	200	50	-100	150	250	214
0 - 90 °C	200	100	-100	200	300	286
0 - 100 °C	200	100	-100	200	300	286

Tabelle 3: Energiebedarf basierend auf Temperaturbereich, umformatiert aus Definition in Tabelle 2

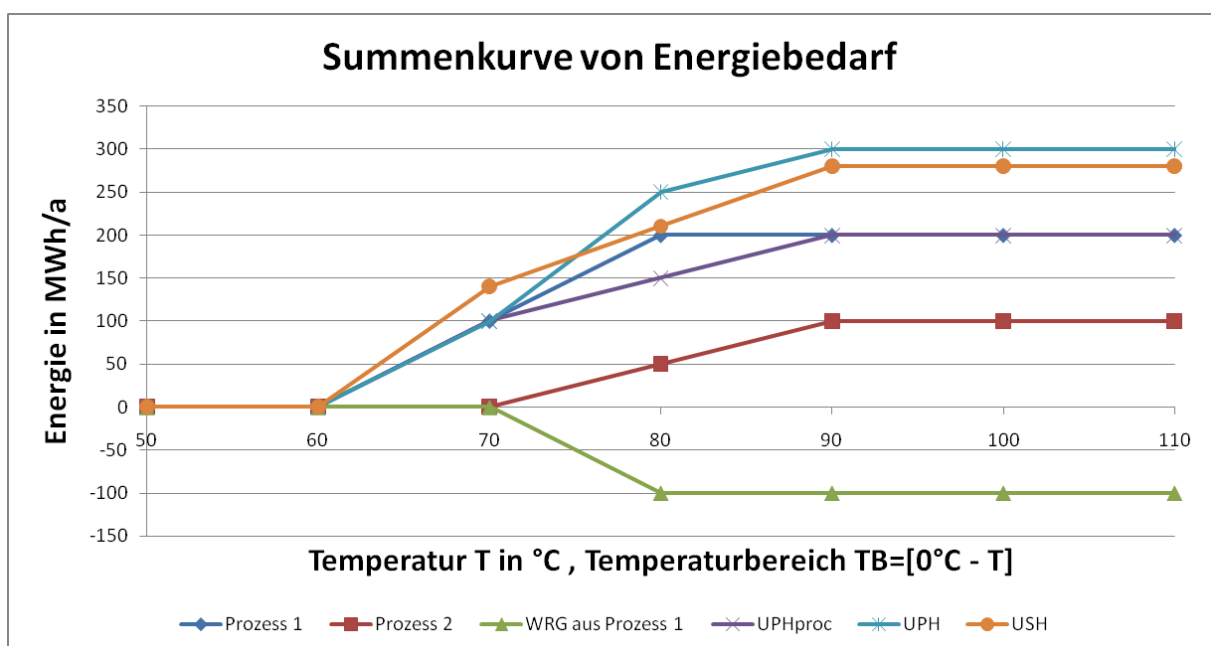


Abbildung 16: Energiebedarf in Funktion von Prozesstemperatur T, eigene Graphik mit für Beispiel geeignete Wahl der Datenbasis

Das Diagramm ist insofern hilfreich da zunächst auf einem Blick ersichtlich ist, welchen Energiebedarf die einzelnen Prozesse aufweisen (Datensatz Prozess 1, Prozess 2 und WRG aus Prozess 1) und zudem wie viel Energie von der Energieversorgung bereitgestellt wird (Grösse USH). Einfach zu erkennen ist auch, ob eine Wärmerückgewinnung integriert ist oder nicht. In Fall des Beispiels ist die Wärmerückgewinnung aus Abbildung 16 erkennbar. durch Vergleich der Werte der Endpunkte (bei $T=110^{\circ}\text{C}$) von USH und UPH. Wenn UPH (gesamter Energiebedarf aller Prozesse) höher ist als USH (bereitgestellter Energiebedarf), muss offensichtlich eine WRG enthalten sein, vorausgesetzt alle Eingaben des EINSTEIN-Projektes sind korrekt. Des Weiteren ist die Steilheit der Kurven ein Indikator für den Leistungsbedarf in dem entsprechenden Temperaturbereich – eine hohe Steilheit beschreibt einen hohen Leistungsbedarf, ein flacherer Kurvenverlauf beschreibt einen geringeren Leistungsbedarf. Das Diagramm hat sich zudem als hilfreich erwiesen, um zu prüfen, ob die bekannten Grössen von USH und UPH durch die Modellierung der Industrieanlage über die diversen Eingabeformulare auch so von EINSTEIN interpretiert werden wie es aus den Audits hervorkam.

Aufgrund besserer Verständlichkeit wurde der Diagrammtyp an einem eigen gewählten Beispiel erklärt. In Abbildung 17 ist nun ein reales Beispiel aus EINSTEIN dargestellt, dass eine andere, reale Konstellation aufzeigt. USH beträgt in diesem Beispiel bei $T=[0-150^{\circ}\text{C}]$ ca. 27GWh/a verglichen mit UPH proc (21GWh/a) und UPH (24GWh/a). Mit obiger Erklärung wird klar, dass bei dieser Systemmodellierung eine WRG enthalten ist. Sie gewinnt 3GWh/a zurück ($\text{UPH}-\text{UPHproc}$). Verglichen zu Diagramm in Abbildung 18 werden im EINSTEIN-Diagramm die einzelnen Prozesse nicht dargestellt, was die Herleitung von UPHproc nicht offensichtlich macht.

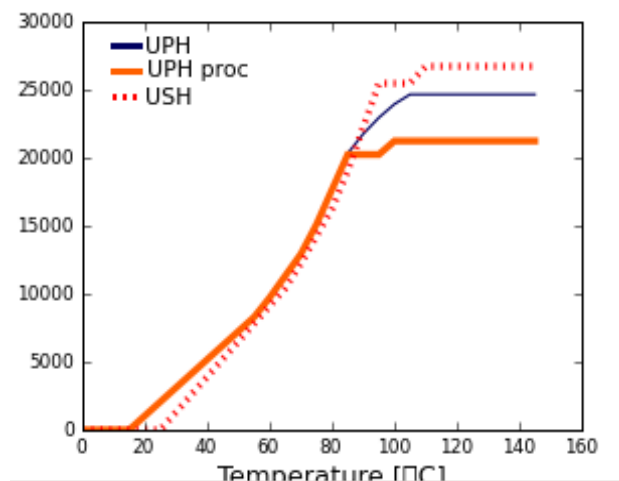


Abbildung 19: Diagrammbeispiel aus EINSTEIN, Energiebedarf in Funktion der Prozesstemperatur

4.4 Wärmerückgewinnung

Ein weiteres in EINSTEIN vorhandenes Modul ist das Modul für Wärmerückgewinnung. Es berechnet, wie viel Energie von Prozess A auf Prozess B übertragen werden kann. Diese Berechnung erfolgt aufgrund der Eintrittstemperaturen am Wärmeübertrager von Prozess A und B sowie der Durchflussrate von Prozess A und B während der Wärmerückgewinnungsperiode. Für die Berechnung werden die in EINSTEIN auf Konsistenz geprüften Prozessdaten hergenommen, was der zentrale Vorteil resp. die vorteilhafte Zeiteinsparung, verglichen mit einer eigenständigen Berechnung ist. Die zwei Prozesse mit Wärmerückgewinnung zeigt folgendes Beispiel:

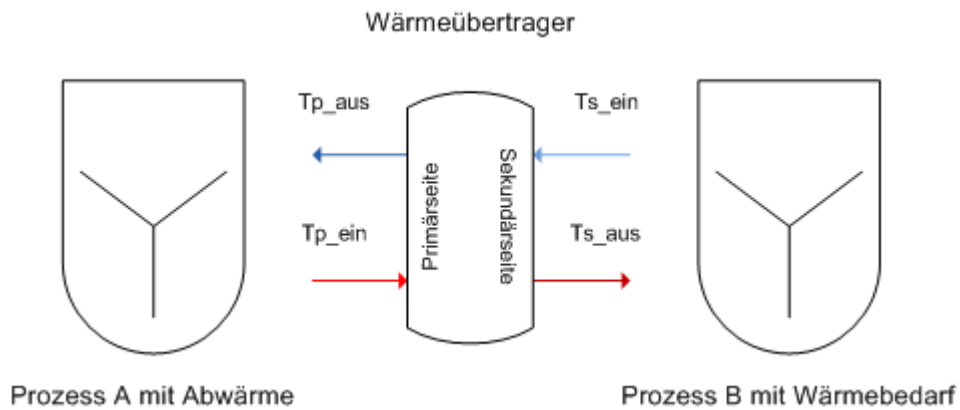


Abbildung 20: Schema Wärmeübertrager mit Anschlussbezeichnung

In Tabelle 4 ist die Datenbasis die zur Bestimmung der jährlichen rückgewonnen Energiemenge dargestellt. Die Tabelle ist eine Zusammenfassung der in EINSTEIN definierten Grössen.

Bezeichnung	Wärmeübertrager Primärseite			Wärmeübertrager Sekundärseite		
Prozess	A, Schokoladenwarmhaltung			B, Warmwasserbereitstellung		
Prozessart	diskontinuierlich 3*8h/Tag			kontinuierlich 1*24h/Tag		
Prozessmedium	Schokolade (Dichte bei 20°C: 1.3 t/m ³)			Wasser (Dichte bei 20°C: 1.0 t/m ³)		
WRG und Betriebszeiten resp. Potenzial	Wärmeabgabe 3*1.6 h/Tag			Wärmeaufnahme kontinuierlich		
	Formelzeichen	Wert	Einheit	Formelzeichen	Wert	Einheit
Jahresvolumen		700	t		1843	T
Prozessvolumen	Vp	0.81	t/b	Vp	6.4	t/Tag
Volumenstrom während WRG	vp	506	kg/h	vs	267	kg/h
Eintrittstemperaturen	Tp_ein	37	°C	Ts_ein	10	°C

Tabelle 4: Datenbasis für Berechnung eines Wärmerückgewinnungspotenzials

Aus Tabelle 4 werden mit dem in EINSTEIN enthaltenen Solver die Werte der WRG berechnet. In Tabelle 5 sind Werte der Primär- und Sekundärseite des WT aufgelistet. Mit dem Solver berechnet sind die Austrittstemperaturen des WT (Tp_aus und Ts_aus). In der Tabelle auch enthalten ist die ab- und zugeführte Leistung (Pp und Ps) sowie die ab- und zugeführte jährliche Energiemenge (Ep und Es) die aus der Berechnung resultiert.

Bezeichnung	Wärmeübertrager Primärseite			Wärmeübertrager Sekundärseite		
	Formelzeichen	Wert	Einheit	Formelzeichen	Wert	Einheit
T Eintritt	Tp_ein	37	°C	Ts_ein	10	°C
T Austritt	Tp_aus	19.4	°C	Ts_aus	35.2	°C
dT Primär/Sekundär	dTp	17.6	°C	dTs	25.2	°C
Abgegeben / Zugeführte Leistung	Pp	7753	W	Ps	-7753	W
Abgegebene / Zugeführte Energie	Ep	10.7	MWh/a	Es	-10.7	MWh/a

Tabelle 5: EINSTEIN Resultate für Berechnung eines Wärmerückgewinnungspotenzials, Resultate für Sekundär- und Primärseite des WT

In Tabelle 6 sind nun noch Resultate enthalten die beiden Seiten des WT zuzuordnen sind. Dies sind die Temperaturdifferenzen des WTs von den heissen Anschlüssen (dTheiss) und die der kalten Anschlüsse (dT kalt). Zusätzlich wird in EINSTEIN die mittlere logarithmische

Temperaturdifferenz (LMTD) berechnet, die sich während der Wärmerückgewinnung am WT einstellt. Aus Tabelle 5 und Tabelle 6 wird zudem ersichtlich wie viel Energie (E) jährlich mit dem berechneten Wärmeübertrager übertragen werden kann. Zentral dabei ist wie nah sich die sekundärseitige Austrittstemperatur (T_{s_aus}) an die primärseitige Eintrittstemperatur (T_{p_ein}) annähert. Im Beispiel ist diese Differenz mit 1.8 K von EINSTEIN gewählt worden. Je kleiner diese Differenz wird desto grösser (und teurer) wird der WT. In EINSTEIN sind Richtwerte integriert, welche einem Programmanwender das Bestimmen dieser Vorgabe abnehmen kann.

Bezeichnung	Wärmeübertrager Kennzahlen		
	Formelzeichen	Wert	Einheit
WRG Betriebszeit pro Batch	T_WRG	1.6	h
Temperaturdifferenzen heisse Seiten	dTheiss	1.8	K
Temperaturdifferenzen kalte Seiten	dTkalt	9.4	K
Logarithmische Mitteltemperatur	LMTD	4.7	K
Mittlere Übertragungsleistung pro Batch	P	7753	W
Übertragenen Energie pro Jahr	E	10.7	MWh

Tabelle 6: EINSTEIN Resultate für Berechnung eines Wärmerückgewinnungspotenzials, Resultate des WTs und allgemein des WRGs-Prozess

Im Rahmen dieses Projektes wurde aufgrund von in EINSTEIN eingetragenen Auditdaten bemerkt, dass die oben beschriebene Berechnung in EINSTEIN noch nicht ganz eindeutig ist, resp. je nach Anwendungsfall zu wenig Optionen für die angestrebte Berechnung bereitgestellt sind.

4.5 Wirtschaftliche Darstellung

Im Programmteil "Total Cost Assessment" (s. Abbildung 11, Seite 27) kann ein Proposal im Detail auch wirtschaftlich mit anderen Proposals verglichen werden. Für die umfänglich wirtschaftliche Betrachtung können aus Sicht der Autoren in EINSTEIN alle nötigen Parameter definiert werden. Unterteilt ist das Modul in die Abschnitte

- Allgemeine Parameter,
- Investitionen,
- Energie und Unterhaltskosten,
- Rückstellungen und
- nicht wiederkehrende Kosten.

Allgemeine Parameter beinhalten, die Inflationsrate, den Kapitalzinssatz, die Energiepreissteigerung, der firmenspezifische Rabatt auf Investitionen sowie die angedachte Amortisationsdauer. Im Abschnitt Investitionen werden abhängig vom Proposal alle bezüglich des Referenzsystems neuen Komponenten in einer Tabelle mit Richtpreisen versehen dargestellt. Für jede Position der Liste kann noch ein Förderungsbeitrag in Prozent oder ein Zuschuss als Absolutbetrag hinzugefügt werden. Es hat sich herausgestellt, dass die Investitionskosten im Einzelnen noch zu verifizieren und zum Teil manuell anzupassen sind. Dies wurde unter anderem ersichtlich, da sich in einem Audit herausstellte, dass sich die Investitionskosten eines Wärmeübertragers um den Faktor 10 von der realen Offerte unterschieden haben.

Die anderen Abschnitte, Energie und Unterhaltskosten, Rückstellungen und nicht wiederkehrende Kosten sind grundsätzlich weitere übersichtliche Tabellen, in welche entsprechende Informationen eingetragen werden können. Vor allem bei den Unterhaltskosten scheint das Modul vollständig zu sein.

Beim Arbeiten mit dem Modul hat sich jedoch herausgestellt, dass die Verknüpfungen zu dem Proposal (z.B. verwendete Energieträger und deren Menge, sowie hinzugefügte Module und deren Investitionskosten) nicht immer aktuell sind und somit das Resultat des Moduls (Zahlen wie der Net Present Value (NPV) oder die Internal Rate of Return (IRR)) nicht immer aktuell sind. Des Weiteren ist das Speichermanagement all dieser Daten nicht optimal, bei

Bearbeitung eines Proposals gehen alle definierten Parameter oftmals verloren und müssen mühsam wieder eingegeben werden. Bei diesem Modul stellen diese zwei Punkte derzeit noch ein Defizit dar.

Aufgrund der genannten Einschränkungen mussten die wirtschaftlichen Kennzahlen für Audits im Rahmen dieses Projektes ohne das EINSTEIN-Modul berechnet werden.

4.6 Erkenntnisse Solar-Berechnung

4.6.1 Solar-Berechnung in EINSTEIN

Die Stärken des Solarmoduls sind in Abschnitt 3.1 beschrieben. Neben den Stärken sind aber auch Schwächen zu erwähnen, welche bei Arbeiten mit dem Modul aufgefallen sind. Zu denen zählen zum einen die Bestimmung der Strahlungsdaten, welche über einen reinen Rechenalgorithmus und nicht (wie bei der Simulation von Solaranlagen üblich) aus zusätzlich mit einbezogenen Messdaten hergeleitet werden. Des Weiteren besteht beim Speichermodell Optimierungsbedarf, da dieses Modell sehr schlank abgebildet ist und gerade bei Berechnung von solaren Erträgen von zentraler Bedeutung ist. Ungenauigkeiten des EINSTEIN-Speichermodells sind zum einen die Berechnung der Speicherverluste, welche lediglich über ein Einknoten-Speichermodell abgebildet werden, und zum anderen das zeitliche Verhalten (Nachfrage vs. Angebot), welches nur beschränkt in EINSTEIN abgebildet werden kann. Deshalb können solare Erträge nur bedingt genau berechnet werden.

Im Rahmen von „EINSTEIN goes Swiss“ hat das SPF im Modul zur Berechnung der thermischen Solaranlage programmtechnische Fehler in EINSTEIN aufgezeigt. Diese betrafen das Generieren der Strahlungsdaten und die Algorithmen zur Optimierung der Solaranlage auf die Zielvorgabe des solaren Deckungsgrades (vgl. Abschnitt 3.1). Ersteres konnte vom EINSTEIN Team behoben werden und wird Bestandteil des nächsten öffentlichen Releases sein. Letzteres und noch ausstehend ist die Optimierung der Solaranlage auf die Vorgabe des solaren Deckungsgrades, die derzeit nur stark eingeschränkt verwendet werden kann.

Trotz des noch nicht funktionierenden Solaroptimierers (Programmteil, der für das Erreichen des angestrebten solaren Deckungsgrades zuständig ist), hat sich im Rahmen dieses Projektes herausgestellt, dass die zentrale solarthermische Berechnung des EINSTEIN Solarmoduls Ertragszahlen berechnet, welche in den meisten Fällen für eine Entscheidung, ob eine solarthermische Anlage grundsätzlich in Frage kommt, verwendet werden können sollte.

4.6.2 PolysunInside – EINSTEIN

Mit PolysunInside EINSTEIN (PIE) wurde ein Programm realisiert, welches sowohl für EINSTEIN wie auch aus anderen Anwendungen heraus für detailliertere Prozesswärmeberechnungen verwendet werden kann. Zentrale Parameter lassen sich über eine Textdatei im XML-Format definieren. Nach der Simulation sind die Resultate aus einer Textdatei auch wieder im XML-Format zu entnehmen. Hierfür wurde eine flexible und anpassbare Vorlage für solarthermische Prozesswärmesimulationen entwickelt, die eine realitätsnahe Simulation ermöglicht.

Trotz grossem Interesse konnte die Integration dieser Option seitens des EINSTEIN-Entwicklerteams bislang aufgrund mangelnder Ressourcen noch nicht implementiert werden (siehe Abschnitt „Ausblick“).

5 Ausblick

Nach den in Abschnitt 4 festgehaltenen Details und den beschriebenen Korrekturen, die das EINSTEIN-Entwicklerteam an der Software vorgenommen hat, bleiben die grundlegenden Probleme bei der Benutzung von EINSTEIN zunächst jedoch bestehen. Damit die zusätzlichen, grundlegenden und strukturbedingten Probleme von EINSTEIN behoben werden können, ist im Oktober 2009 ein weiteres europäisches IEE-Projekt⁹ gestartet worden. Dieses Projekt dient hauptsächlich dazu, die Komplexität bei der Arbeit mit diesem Programm zu minimieren. Dazu ist geplant, grundlegende Änderungen in Struktur und Bedienung der Software vorzunehmen. Um eine möglichst reale Abbildung der Ist-Zustände erzielen zu können, wird die Einbindung zeitlich aufgelöster Produktionsprofile optimiert sowie die Abbildung von Prozessen mit mehreren Strömen.

Bei den Arbeiten mit EINSTEIN zeigte sich, dass für ein Audit weiterhin gute Fachkenntnisse von Nöten sind. EINSTEIN kann den Experten und seine Erfahrung (noch) nicht ersetzen. Die EINSTEIN Version 1.1 (Ausgabedatum 26.7.2009) kann von Energieberatern als Firstlevel Tool eingesetzt werden und bei der Durchführung von Audits eine gute Hilfe sein. Der besondere Vorteil von EINSTEIN ist dabei, eine systematische Gesamtanalyse vorzubereiten und eine Vielzahl möglicher Massnahmen nicht nur für die Energieeffizienz, sondern auch für die Einbindung erneuerbarer Energieträger vorzuschlagen. Für Detailbetrachtungen (Auslegen von Wärmeübertragernetzwerke, Einsetzen von Wärmepumpen, Blockheizkraftwerken oder sonstigen Technologien) müssen aus Sicht der Autoren derzeit jedoch zusätzlich noch andere Tools hinzugezogen werden.

Deutlich ist, dass die Arbeiten an der Software noch nicht abgeschlossen sind. Einige Schwachstellen sind dem Entwicklerteam bekannt und es wird im Rahmen eines weiteren IEE-Projektes daran gearbeitet, diese Fehler zu beheben. Eine weitere Verbreitung empfiehlt sich erst, wenn diese Arbeiten abgeschlossen sind.

Literaturverzeichnis

- [1] H. Schweiger, C. Brunner, u. a., "Leitfaden für EINSTEIN - Audits für thermische Energie," 2008.
- [2] Heinz Marty und Elimar Frank, "Industry Audit im Rahmen des Forschungsprojekt "Einstein goes Swiss" - Edwards Lifesciences AG," 2010.
- [3] R. Müller, H. Marty, u. a., "Solarthermische Abwärmenutzung," BFE-Bericht, 2008.
- [4] C. Vassella, "Solare Klärschlamm-trocknung bei der ARA Flos Wetzikon," BA-Abschlussarbeit, Hochschule für Technik Rapperswil, 2008.
- [5] Heinz Marty, Bastian Schmitt, Elimar Frank, "Industry Audit im Rahmen des Forschungsprojekt "Einstein goes Swiss" - Feldschlösschen Getränke AG," 2010.
- [6] Heinz Marty und Elimar Frank, "Industry Audit im Rahmen des Forschungsprojekt "Einstein goes Swiss" - Pfister Chocolatier," 2010.

Ergänzende Dokumente

Ausführlicher Auditbericht Edwards Lifesciences AG, vgl. [2]
Ausführlicher Auditbericht Feldschlösschen Getränke AG, vgl. [5]
Ausführlicher Auditbericht Pfister Chocolatier AG, vgl. [6]

⁹ IEE project EINSTEIN-II (expert system for an intelligent supply of thermal energy in industry and other large scale applications), Laufzeit 1.5 Jahre