

Solare Prozesswärme

Österreichische Beteiligungen an der Task 33 des
IEA Solar Heating and Cooling Programms
Phase I Subtask B: Investigation of Industrial Processes

H. Schnitzer et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

47/2007

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Solare Prozesswärme

Österreichische Beteiligungen an der Task 33 des
IEA Solar Heating and Cooling Programms
Phase I Subtask B: Investigation of Industrial Processes

Prof. Dr. Hans Schnitzer
DI Christoph Brunner
DI Karin Taferner
DI Bettina Slawitsch
DI Kanellina Giannakopoulou

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH
Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme

Graz, Juli 2006

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT. Sie wurde 2003 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT soll durch Forschung und Technologieentwicklung die Gesamteffizienz von zukünftigen Energiesystemen deutlich verbessert und eine Basis zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger geschaffen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und involvierten Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Mehrfache Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist, die Projektergebnisse – sei es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit leicht zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	1
Abstract.....	3
Zusammenfassung	4
Summary	8
1 Einleitung.....	12
2 Methodik und Vorgehensweise	14
3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen	15
3.1 Identifizierung energierelevanter Charakteristiken	15
3.1.1 Praktische Anwendung	15
3.1.2 Datenerhebung für Energiebilanzen – B1 Template	16
3.2 Identifizierung typischer Niedrigtemperaturprozesse	20
3.2.1 Bereitstellung von Heißwasser oder Dampf	20
3.2.2 Trocknungs- und Entwässerungsverfahren	21
3.2.3 Einsatzstoff- und Materialvorwärmung	21
3.2.4 Eindampfung und Destillation	21
3.2.5 Blanchieren	23
3.2.6 Pasteurisieren, Sterilisieren	23
3.2.7 Kochen	23
3.2.8 Waschen, Reinigen.....	24
3.2.9 Kühlprozesse	25
3.2.10 Schmelzen	25
3.2.11 Extraktion	25
3.2.12 Bleichen und Färben.....	26
3.2.13 Chemische Reaktionen.....	27
3.2.14 Heizung von Industriehallen.....	27
3.3 Viel versprechende Industriebranchen	27
3.3.1 Lebensmittel.....	27
3.3.2 Chemie.....	28
3.3.3 Kunststoffverarbeitung	28
3.3.4 Textilindustrie	28
3.3.5 Baustoffindustrie	28
3.3.6 Gewerbebetriebe	29
3.4 Konkurrierende Technologien.....	29
3.4.1 Energieeffizienz	29
3.4.2 Neue Technologien.....	29
3.4.3 Wärme-Kraft-Kopplung	30
3.4.4 Wärmepumpen	31
3.4.5 Wärme-Upgrading-Systeme	31
3.5 Analysemethode zur Ermittlung von Energieeffizienzpotentialen – Wärmeintegration.....	31
3.5.1 Die Kompositkurven.....	32
3.5.2 Wirtschaftliche Optimierungen.....	33

3.5.3	Die „Grand Composite Curve“ GCC	34
3.5.4	Integration von thermischer Solarenergie	35
3.5.5	Berechnungen und Konstruktion des Wärmetauschernetzwerkes	36
3.6	Mögliche Anwendung von Solartechnologie in Brauereien	36
3.6.1	Großbrauerei	37
3.6.2	Hausbrauerei	42
3.7	Total Cost Assessment – TCA	44
3.8	Matrix of Indicators	46
3.9	Technisch-wissenschaftliche Mitarbeit in Subtask A	53
3.9.1	Potentialstudien	53
3.9.2	Dokumentation von Pilotanlagen	54
3.9.3	Industrie-Workshops	54
3.9.4	Industrie-Newsletter	55
4	Detailangaben zu den Zielen der „Energiesysteme der Zukunft“	56
5	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	57
6	Ausblick/Empfehlungen	58
7	Literaturverzeichnis/Abbildungsverzeichnis/Tabellen-verzeichnis	59
8	Abbildungsverzeichnis	60
9	Tabellenverzeichnis	61

Kurzfassung

Das zentrale Ziel dieser internationalen Forschungskooperation ist die Erschließung industrieller Prozesswärme für solarthermische Anlagen. Dazu werden sowohl theoretische Grundlagen erarbeitet wie auch Komponenten und systemtechnische Konzepte entwickelt. Weiters ist es das Ziel des Task 33/IV, einen genauen Stand der Technik im Bereich solarer Prozesswärme zu erheben, die eine Gültigkeit für Europa hat.

Die Arbeiten von JOANNEUM RESEARCH – Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme konzentrieren sich hauptsächlich auf die Inhalte in Subtask B. Den Rahmen für die Arbeiten in Subtask B bildeten die gemeinsamen Task-Treffen, die regelmäßig zwei Mal im Jahr stattfanden. In Verbindung mit den Task-Meetings in Madrid und Kassel wurden Industrie-Workshops im jeweiligen Gastgeberland abgehalten, zu denen Solaranbieter und die Zielgruppe der Produktionsbetriebe eingeladen wurden.

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit wurde an der Gestaltung des Task 33/IV-Folders und zweier Industrie-Newsletter mitgearbeitet (Folder und Newsletter im Anhang). Zur externen und internen Kommunikation wurde eine Homepage (<http://www.iea-ship.org>) eingerichtet.

Vor den Überlegungen zum Einsatz von Solarenergie sollen alle anderen energetisch, finanziell und organisatorisch sinnvollen Möglichkeiten zur internen Energierückgewinnung genutzt werden. Aus diesem Grund ist die Erfassung aller relevanten Energie- und Massenströme in einem System notwendig. Um in einem Betrieb die notwendigen Daten für die Energiebilanzen der Anlage und der einzelnen Prozesse erheben zu können, wurde ein Template angefertigt, um das Sammeln aller notwendigen Parameter zu erleichtern und die Ausgangslage übersichtlich darzustellen.

Bei einer Analyse des industriellen Energieeinsatzes im Niedertemperaturbereich stößt man auf immer wiederkehrende verfahrenstechnische Grundoperationen, die in vielen Industriesparten wiederkehren und daher für den Einsatz von Solarenergie in Frage kommen (Lebensmittelindustrie, Chemische Industrie, Kunststoffindustrie, Textilindustrie, Baustoffindustrie, Betriebe mit Oberflächenbehandlungsprozessen, Gewerbebetriebe).

Die Integration von thermischer Solarenergie in industrielle Prozesse hat über den Pinch zu erfolgen. Die Pinch-Methode gibt Auskunft darüber, bei welchen Temperaturniveaus die Integration am sinnvollsten ist.

Die Möglichkeit der Wärmeintegration wurde im Rahmen des Projekts durch das Beispiel einer Großbrauerei und einer kleinen Hausbrauerei dargestellt. Die zwei untersuchten Produktionsprozesse haben gänzlich unterschiedliche Produktionssysteme.

Für die Großbrauerei zeigt sich, dass für die Kurzzeit-Vorwärmer (70–73°C) und für das Aufheizen des Wassers für das Flaschen-Reinigungssystem, eine große Menge an Energie benötigt wird. Für diesen Energiebedarf steht keine Energieversorgung zur Verfügung. Daraus folgt, dass diese Prozesse in der Flaschenreinigung sehr geeignet sind, Solartechnologie zu implementieren.

In kleinen Brauereien können Wärmetauscher nicht so ohne weiteres angewendet werden, da pro Tag meist nicht mehr als eine Charge gefahren wird. Der Einbau von Solar-Anwendungen kann daher durchaus empfohlen werden. Natürlich wird die Energie für die Produktion nur an bestimmten Tagen benötigt, aber das Warmwasser kann in der restlichen Zeit auch für das Waschen oder für die Beheizung des Hauses verwendet werden.

Die Matrix of Indicators wurde als Planungstool für Solarexperten und Berater entwickelt. In der Matrix ist sämtliche Information zu für die solare Prozesswärme relevanten Industriebranchen und Prozessen (Unit operations) zu finden. Auf der x Achse der Matrix sind die relevanten Industriesektoren aufgelistet und auf der y-Achse findet man die relevanten Prozesse. Jedem Prozess sind weitere detaillierte

Informationen hinterlegt. Hinter jeder Industriebranche ist eine Submatrix mit genaueren Informationen zur Branche zu finden.

Die Zusammenarbeit im internationalen Team der IEA Task 33/IV hat auf Grund von Experten aus verschiedenen Themenschwerpunkten (Solarexperten, Energieberater, Solarfirmen, Prozessingenieure) zu einem gegenseitigen breiten Wissensaustausch beigetragen. Die dadurch entstandenen Synergien konnten optimal genutzt werden und führten zu einem positiven Ergebnis. Weiters sind bereits im Task 33/IV teilweise die relevanten Zielgruppen wie Solarfirmen, Kollektorerzeuger und Energieberater eingebunden.

Abstract

The central aim of this international research cooperation is to make industrial processes accessible for solar thermal plants. To achieve this aim basic information is elaborated and components as well as system engineering concepts are developed. Furthermore the intention of Task 33/IV is to survey a detail state of the art in the field of solar process heat that has a validity for Europe.

The work of JOANNEUM RESEARCH – Institute of Sustainable Techniques and Systems focuses mainly on the contents of Subtask B. Common tasks meeting that are held regularly twice a year, build the frame of the work in Subtask B. In connection with the tasks meeting in Madrid and Kassel Industry Workshops were held in the respective country, to which solar engineers and the target group of producing industry were invited.

In the area of public relations it was collaborated on the design of the Task 33/IV folder and two industry newsletters (folder and newsletters can be found in the appendix). For external and internal communication a homepage (<http://www.iea-ship.org>) was established.

Prior to the consideration of solar implementation, all other energetic, financial and organisational sensible possibilities for internal heat recovery should be utilized. For this reason the acquisition of all relevant mass and energy streams in a system is necessary. To gather all necessary data for energy balances in companies a template was designed to serve as a helping tool in the data acquisition and to display the current situation in a structured and clear way.

When analysing the industrial energy demand in the low temperature area specific basic process engineering unit operations reoccur that are present in many industry sectors which are therefore applicable for the use of solar energy (food industry, chemical industry, plastics, textile industry, material industry, operations with surface cleaning processes, manufacturing).

The integration of solar thermal energy in industrial processes has to happen above the pinch. The Pinch method shows in which temperature level this integration is most sensible.

In the framework of the project, the possibilities for heat-integration in an industrial brewery and a home-brewery were shown. The two discussed processes show two completely different production schemes. The heating demand also shows that there is a large quantity of energy needed for the short time preheater between 70 and 73°C (10) and for heating the water for the bottle cleaning system up to 90°C (22). For this demand no energy supply is available. It follows that this processes in bottle cleaning are very suitable for introducing solar energy. In small breweries heat exchanger systems are not easily applicable as the batch processes are only done from time to time. An installation of a solar application therefore can be highly suggested as the temperature level and time frame of the process would fit a solar use very well. Of course the energy is only needed at specific days for the production, but warm water can otherwise be used for washing or for the domestic heating system.

The matrix of indicators was designed as a planning and decision support tool for solar experts and consultants. Within the matrix all information for industry branches and processes (unit operation) that are relevant for solar process heat can be found. On the ordinate of the matrix relevant industry sectors are listed, on the abscissa the relevant processes can be found. For each process further detailed information is given and a sub matrix with sector specific information can be found.

The cooperation in the international team of the Task 33/IEA has contributed to a broad mutual knowledge exchange due to the fact that experts are coming from different thematical areas (solar experts, energy consultants, solar companies, process engineers). The hereby created synergies could be used in an optimal way and led to a positive result. Furthermore also target groups as solar companies, collector manufacturers and energy consultants are to some extent involved in the works of Task 33/IV.

Zusammenfassung

Einer der großen Effekte menschlichen Handelns auf die Zukunftsfähigkeit ist die globale Erwärmung verursacht durch klimarelevante Gasemissionen. Der Großteil dieser Gase kommt aus Verbrennungsprozessen, an welchen die industriellen Produktionen wiederum einen großen Anteil haben. Hier kann eine signifikante Veränderung nur durch eine Umstellung auf erneuerbare Energieträger erfolgen, die aber simultan mit einer Erhöhung der Energieeffizienz erfolgen muss.

Das zentrale Ziel dieser internationalen Forschungs Kooperation ist die Erschließung industrieller Prozesswärme für solarthermische Anlagen. Dazu werden sowohl theoretische Grundlagen erarbeitet als auch Komponenten und systemtechnische Konzepte entwickelt. Weiters ist es das Ziel des Task 33/IV, einen genauen Stand der Technik im Bereich solarer Prozesswärme zu erheben, die eine Gültigkeit für Europa hat.

Der Task 33/IV wird von AEE INTEC (Werner Weiss) koordiniert und ist in 4 Subtasks auf gegliedert:

Subtask A: Solar Process Heat Survey and Dissemination of Task Results
Subtask Leader: Riccardi Battisti, Italy

Subtask B: Investigation of Industrial Processes
Subtask Leader: Hans Schnitzer, Austria

Subtask C: Collectors and Components
Subtask Leader: Matthias Rommel, Germany

Subtask D: System Integration and Demonstration
Subtask Leader: Klaus Hennecke, Germany

Die Arbeiten von JOANNEUM RESEARCH – Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme konzentrieren sich hauptsächlich auf die Inhalte in Subtask B. Im Moment sind ca. 35 Teilnehmer aus 9 Ländern an dem Task beteiligt.

Den Rahmen für die Arbeiten in Subtask B bildeten die gemeinsamen Task-Treffen, die regelmäßig zwei Mal im Jahr stattfanden. In Verbindung mit den Task-Meetings in Madrid und Kassel wurden Industrie-Workshops im jeweiligen Gastgeberland abgehalten, zu denen Solaranbieter und die Zielgruppe der Produktionsbetriebe eingeladen wurden.

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit wurde an der Gestaltung des Task 33/IV-Folders und zweier Industrie-Newsletter mitgearbeitet (Folder und Newsletter im Anhang). Zur externen und internen Kommunikation wurde eine Homepage (<http://www.iea-ship.org>) eingerichtet.

Vor den Überlegungen zum Einsatz von Solarenergie sollen alle anderen energetisch, finanziell und organisatorisch sinnvollen Möglichkeiten zur internen Energierückgewinnung genutzt werden. Aus diesem Grund ist die Erfassung aller relevanten Energie- und Massenströme in einem System notwendig. Um in einem Betrieb die notwendigen Daten für die Energiebilanzen der Anlage und der einzelnen Prozesse erheben zu können, wurde ein Template angefertigt, um das Sammeln aller notwendigen Parameter zu erleichtern und die Ausgangslage übersichtlich darzustellen.

Das Template ist folgendermaßen aufgebaut:

Zuerst werden die Firmendaten – inklusive Angabe der Branche, Erzeugnisse und Kontaktperson erhoben. Im nächsten Schritt erfolgt eine Energiedarstellung der gesamten Anlage, wobei alle Energiequellen mit ihren Verbrauchswerten dargestellt werden. Die eingesetzten Energiearten (mit oder ohne Umwandlung) können eingetragen werden und per Link wird der Nutzer zu einem separaten Datenblatt geführt, wo die tatsächlichen monatlichen Verbrauchsdaten der verschiedenen verwendeten Energieformen einzugeben sind. Die Verbrauchssumme wird in der Darstellung ausgegeben. Für

die Umwandlungsenergien und für die Recyclingströme ist ein Wirkungsgrad anzugeben. Außerdem werden die Wärmekapazitäten der eingesetzten Elemente und Materialien erhoben. Der gesamte Energiebedarf der Anlage kann so berechnet und mit dem bisher abgeschätzten Wert verglichen werden.

Ein Flow Sheet der Anlage wird dann erstellt, um den Prozess mit all seinen Zusammenhängen zu veranschaulichen.

In Folge werden die Energiebetrachtungen auf die einzelnen Prozesse ausgeweitet. Zunächst werden alle Daten der zentralen Wärmebereitstellung aufgenommen. In Produktionsprozessen wird Wärme meist mit verschiedenen Medien zu den einzelnen Prozessschritten transportiert. Vier Wärmeträgermedien können angegeben werden mit den jeweiligen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen, Drücken und Energie- und/oder Massenflüssen, soweit bekannt. Speichersysteme werden ebenfalls spezifiziert durch Speicherart, Speichervolumen, Temperatur und Druck.

Bei einer Analyse des industriellen Energieeinsatzes im Niedertemperaturbereich stößt man aber auf immer wiederkehrende verfahrenstechnische Grundoperationen, von denen einige nachfolgend aufgezählt sind.

- Bereitstellung von Heißwasser und Dampf
- Trocknungs- und Entwässerungsverfahren
- Einsatzstoff- und Materialvorwärmung
- Eindampfen
- Pasteurisieren und Sterilisieren
- Waschen und Reinigen
- Chemische Reaktionen
- Heizung für Industriehallen
- Bleichen und Färben
- Extrahieren
- Schmelzen
- Kühlprozesse und Klimatisieren
- Blanchieren

Obwohl die oben angeführten Verfahren in praktisch jeder Industriesparte vorkommen, zeichnen sich doch einige Branchen durch ein besonders großes Potential aus. Die folgende Betrachtung bezieht sich daher auf die Branchen, die für die Anwendung von Solarwärme Erfolg versprechend sind:

- Lebensmittelindustrie
- Chemische Industrie
- Kunststoffindustrie
- Textilindustrie
- Baustoffindustrie
- Betriebe mit Oberflächenbehandlungsprozessen
- Gewerbebetriebe

Wann immer an den Einsatz von Solarthermie in der Industrie und im produzierenden Gewerbe gedacht wird, müssen alle möglichen prozesstechnischen Hemmnisse ermittelt und berücksichtigt werden. Eine detaillierte Energieanalyse von Produktionsanlagen wird meist auch andere Möglichkeiten der Verbesserung der Energieeffizienz aufzeigen. Daher ist es unumgänglich, den Vergleich nicht nur mit dem bestehenden Energiesystem vorzunehmen, sondern auch mit anderen möglichen Alternativen.

Der Vergleich wird in erster Linie über wirtschaftliche Parameter erfolgen, andere Entscheidungskriterien wie Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit sollten aber nicht vergessen werden.

Neue Produktionstechnologien vermindern oft den Wärmebedarf auf Kosten eines erhöhten Stromesatzes. Vielfach ist die Entwicklung vom Unternehmen her nicht oder kaum beeinflussbar, wie die Entwicklung der Digitalfotografie zeigt. Weitere neue Technologien mit starken Auswirkungen auf den betrieblichen Energieverbrauch sind:

- Membrananlagen statt Eindampfung
- Mikrowellenheizungen statt Dampf
- Sterilisation mittels UV statt Hitze
- Entkeimung über Membranen statt Wärmepasteurisierung
- Ultraschallreinigung bei niedrigeren Temperaturen
- Biotechnologie statt klassischer Chemie
- Selbstreinigende Oberflächen

Die mögliche Veränderung der Produktionstechnologien muss bei der Kalkulation des Wärmebedarfs unbedingt berücksichtigt werden.

Die Integration von thermischer Solarenergie in industrielle Prozesse hat über den Pinch zu erfolgen. Die Pinch-Methode gibt Auskunft darüber, bei welchen Temperaturniveaus die Integration am sinnvollsten ist.

Bei der Konstruktion des Wärmetauschernetzwerkes für bestehende Anlagen wird man immer auf die existierenden Rohrleitungen, Lage von Gebäuden, bestehenden Anlagenteilen etc. Rücksicht nehmen und aus den verbleibenden Varianten die betriebswirtschaftlich sinnvollste auswählen. Der theoretisch minimale Energiebedarf für Heizen und Kühlen wird daher in der Praxis nicht erreicht werden können.

Für die Integration von thermischer Solarenergie in die Pinch-Methode gibt es im Prinzip zwei Möglichkeiten.

Die erste ist die Betrachtung der von der Sonne bereitgestellten Energie als eine zusätzliche Wärmequelle. Im zweiten Fall wird ein zusätzlicher Prozessstrom für die solare Energie in die Betrachtungen eingeführt. Dies ist ein heißer Strom, dessen Durchflussmenge und Temperaturniveaus durch das Kollektorfeld gegeben werden. Bei den genauen Analysen der Fallbeispiele hat sich herausgestellt, dass die Integration der Solaranlage als Utility in das Wärmetauschernetzwerk nicht zielführend und hilfreich ist. Ebenso die Integration der Solarenergie als zusätzlichen Wärmestrom hat nicht zu dem gewünschten Erfolg geführt, da durch die nicht konstante Wärmezufuhr aufgrund der unterschiedlichen Intensität der Sonnenstrahlung eine ständige Änderung notwendig wäre. Die Verknüpfung zwischen einer solaren Integration und der Energieeffizienzbetrachtung mittels Pinch-Analyse erfolgt durch die Erfahrung und das Know-How der Experten.

Die Möglichkeit der Wärmeintegration wurde im Rahmen des Projekts durch das Beispiel einer Großbrauerei und einer kleinen Hausbrauerei dargestellt. Die zwei untersuchten Produktionsprozesse haben komplett unterschiedliche Produktionssysteme.

In einem ersten Schritt wurden die Daten für Material- und Energieströme zusammengetragen und die Energieströme unter Berücksichtigung des Parameters Zeit berechnet. Bierbrauen ist ein typischer diskontinuierlicher Prozess und daher müssen Informationen über die Zeitabläufe für die Produktion und die Simultaneität von Prozessen ermittelt werden.

Danach wurde mittels eines Pinch-Programms, in das die berechneten Werte für die Energieströme eingegeben wurden, eine Kompositkurve erstellt, die den Heiz- und Kühlbedarf bei verschiedenen Temperaturbereichen zeigt. Bevor die Wärmetauscher mit einbezogen wurden, wurde ein Masse-

Sankey-Diagramm mit einer Zeitskala gezeichnet, um den Massenfluss gegen die Zeit darzustellen. Die Kombination dieses Sankey- und des Pinch-Programms zeigte dann die Möglichkeiten auf, Wärmetauscher einzubauen.

Die Ergebnisse dieser ersten Analyse sind sehr schön im Grid-Diagramm ersichtlich. Der Wärmetauscher kann für das Aufheizen des Wassers in geringeren Temperaturbereichen (bis zu 60–70°C) implementiert werden. Der Wärmebedarf zeigt auch, dass für die Kurzzeit-Vorwärmer (70–73°C) und für das Aufheizen des Wassers für das Flaschenreinigungs-System, eine große Menge an Energie benötigt wird. Für diesen Energiebedarf steht keine Energieversorgung zur Verfügung. Daraus folgt, dass diese Prozesse in der Flaschenreinigung sehr geeignet sind, Solartechnologie zu implementieren.

Trotzdem muss beachtet werden, dass ein großer Teil der Energie auch von den Trebern erzeugt werden kann, die im Lauter-Tun-Prozess von der Würze getrennt werden. Es ist bereits Stand der Technik, Prozessenergie rückzugewinnen, indem man Biomasse als Energiequelle nutzt.

In kleinen Brauereien können Wärmetauscher nicht so ohne Weiteres angewendet werden, da pro Tag meist nicht mehr als eine Charge gefahren wird.

Außerdem hängt die Wärmerückgewinnung aus der Würzekühlung sehr stark von der Zeit ab, die für das Kühlen vorgesehen ist. Es gibt einige andere, prinzipielle Energieeffizienzmaßnahmen, die von jeder Brauerei angewendet werden können, nachzulesen in allgemeinen Energiesparstudien. Aber keiner dieser Prozesse kann für das Aufheizen des Prozesswassers in kleinen Brauereien verwendet werden. Der Einbau von Solaranwendungen kann daher durchaus empfohlen werden. Natürlich wird die Energie für die Produktion nur an bestimmten Tagen benötigt, aber das Warmwasser kann in der restlichen Zeit auch fürs Waschen oder für die Beheizung des Hauses verwendet werden.

Solare Prozesswärme erscheint aus vielerlei Gründen auf den ersten Blick für Industriebetriebe nicht wirtschaftlich zu sein, sei es wegen der eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten in unseren Breitengraden oder den im Vergleich zu ausgereiften Technologien relativ aufwendigen anlagentechnischen Maßnahmen. Um den gerade im Falle der Sonnenenergie langfristigen Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage Rechnung tragen zu können, wird auf eine relativ neue Methode der Kostenrechnung zurückgegriffen. Total Cost Assessment (TCA) berücksichtigt solche langfristigen Einflussfaktoren mit dem gleichen Stellenwert wie die Kosten, die in der heute allgemein üblichen Kostenrechnungspraxis berücksichtigt werden.

Total Cost Assessment (TCA) ist eine Methode der Kostenrechnung, die entwickelt wurde um aufzuzeigen, dass Investitionen in Maßnahmen des integrierten Umweltschutzes auf lange Sicht doch ökonomische Vorteile bringt. Das wird erreicht, indem man alle Kosten mit der gleichen Aufmerksamkeit behandelt und den Betrachtungszeitraum für die Wirtschaftlichkeitsrechnung ausdehnt.

Die Matrix of Indicators wurde als Planungstool für Solarexperten und Berater entwickelt. In der Matrix ist sämtliche Information zu für die solare Prozesswärme relevanten Industriebranchen und Prozessen (Unit operations) zu finden. Auf der x-Achse der Matrix sind die relevanten Industriesektoren aufgelistet; auf der y-Achse findet man die relevanten Prozesse. Jedem Prozess sind weitere detaillierte Informationen hinterlegt. Hinter jeder Industriebranche ist eine Submatrix mit genaueren Informationen zur Branche zu finden.

Die Zusammenarbeit im internationalen Team des IEA Task 33/IV hat durch Experten aus verschiedenen Themenschwerpunkten (Solarexperten, Energieberater, Solarfirmen, Prozessingenieure) zu einem gegenseitigen breiten Wissensaustausch beigetragen. Die dadurch entstandenen Synergien konnten optimal genutzt werden und führten zu einem positiven Ergebnis. Weiters sind bereits im Task 33/IV teilweise die relevanten Zielgruppen wie Solarfirmen, Kollektorerzeuger und Energieberater eingebunden. Durch die Veranstaltung von Industrie-Workshops wird auch der Schwerpunkt auf die Einbindung der produzierenden Industrie gelegt.

Summary

One of the great effects of human action on sustainability is the global warming caused by greenhouse gas emissions. The main part of these gases is formed in combustion processes, to which industrial processes contribute to a large extent. Here a significant change can only be achieved by re-orientation towards renewable energy sources, which however has to go in line with an augmentation of energy efficiency.

The central aim of this international research co-operation is to make industrial processes accessible for solar thermal plants. To achieve this aim basic information is elaborated but as well components and system engineering concepts are developed. Furthermore it is aim of Task 33/IV to survey a detail state of the art in the area of solar process heat that has a validity for all Europe.

The task 33/IV is coordinated by AEE INTEC (Werner Weiss) and is divided in 4 Subtasks:

Subtask A: Solar Process Heat Survey and Dissemination of Task Results
Subtask Leader: Riccardi Battisti, Italy

Subtask B: Investigation of Industrial Processes
Subtask Leader: Hans Schnitzer, Austria

Subtask C: Collectors and Components
Subtask Leader: Matthias Rommel, Germany

Subtask D: System Integration and Demonstration
Subtask Leader: Klaus Hennecke, Germany

The work of JOANNEUM RESEARCH – Institute of Sustainable Techniques and Systems focuses mainly on the contents of Subtask B. In the moment about 35 participants from 9 different countries take part in the Task.

Common tasks meeting, that are held regularly twice a year, build the frame of the work in Subtask B. In connection with the tasks meeting in Madrid and Kassel Industry Workshops were held in the respective countries, to which solar engineers and the target group of producing industry were invited.

In the area of public relations it was collaborated on the design of the Task 33/IV folder and two industry newsletters (folder and newsletters can be found in the appendix). For external and internal communication a homepage (<http://www.iea-ship.org>) was established.

Prior to the consideration of solar implementation, all other energetic, financial and organisational sensible possibilities for internal heat recovery should be utilised. For this reason the acquisition of all relevant mass and energy streams in a system is necessary. To gather all necessary data for energy balances in companies a template was designed to serve as a helping tool in the data acquisition and to display the current situation in a structured and clear way.

The Template is built up as shown in the following:

First company data is gathered – including sector, products and contact person. In the next step the energy situation of the overall plant is surveyed, where all energy sources and their respective demands are displayed. The applied energy types (with or without conversion) can be stated and via link the user is led to a separate sheet where the actual monthly demand data of the different used energy sources has to be entered. The sum of the energy demand is displayed on the main sheet. For energy sources with conversion and recycling streams an efficiency value has to be stated. Additionally the heat capacities of used elements and materials are gathered. The overall energy demand of the plant can then be calculated and compared with the current estimated value.

A flow sheet of the plant is then drawn to display the process with all its dependencies internal link-ages.

In the following the energy considerations are extended to the single processes. First all data of the central heat supply is gathered. In production processes heat is mostly transported by different media to the specific unit operations. Four heat transport media can be declared with the respective supply and runback temperatures, pressures and energy- and/or mass flows according to knowledge. Storage systems are as well specified by storage type, volume, temperature and pressure.

When analysing the industrial energy demand in the low temperature area specific basic process engineering unit operations do reoccur, some of which are given in the following:

- Generation of hot water and steam
- Drying and dewatering processes
- Feed- and material preheating
- Evaporation
- Pasteurisation and Sterilisation
- Washing and Cleaning
- Chemical Reactions
- Heating for industrial processes
- Bleaching and Dyeing
- Extraction
- Melting
- Cooling processes and climatisation
- Blanching

Although the above mentioned processes occur practically in all industry sectors, a few sectors distinct themselves by a special potential. The consideration that follows therefore focuses at those sectors that are promising for the application of solar process heat:

- food industry
- chemical industry
- plastics
- textile industry
- building material industry
- operations with surface cleaning processes
- manufacturing and trade

Whenever it is thought about a use of solar energy in producing industry all possible technical re-straints have to be identified and considered. A detailed energy analysis of production plants will in most cases also show other possibilities of improving the energy efficiency. Due to this fact it is absolutely necessary not to limit the assessment to the existing energy systems but as well to take into account other possible alternatives.

The assessment will mainly be done according to economical parameters, other criteria for decision as security of supply, environmental aspects and sustainability however should not be neglected.

New production technologies often reduce heat demand at the expense of electricity demand. In many cases the development can not or only to a small extent be influenced by the company, as can be

shown at the example of digital cameras. Other emerging technologies with strong impact on industrial energy demand are:

- Membrane plants instead of evaporation
- Microwave heating instead of steam
- Sterilisation via UV instead of heat
- Sterilisation with membranes instead of heat pasteurisation
- Ultrasonic cleaning at low temperatures
- Biotechnology instead of classical chemistry
- Self cleaning surfaces

The possible change of production technologies therefore has to be duly considered when calculating the energy demand.

The integration of solar thermal energy in industrial processes has to happen above the pinch. The Pinch method shows in which temperature level this integration is most sensible.

For the construction of heat exchanger networks for existing plants one will always consider existing piping systems, exposure of the plant, existing plant components etc. and select the most economical among the remaining alternatives. The theoretical minimal energy demand for heating and cooling can therefore never be reached in praxis.

For the integration of solar thermal energy in the Pinch method in principle two possibilities exist:

At first this is the consideration of the energy supplied by sun as an additional heat source. In the second case an additional process stream for solar energy is added to the considered situation. That is a hot stream which mass flow and temperature levels are given by the collector field. A detailed consideration of the case studies has shown that the integration of a solar plant as utility in the heat exchanger network is not very useful and helpful. As well the integration of solar energy as an additional heat stream did not lead to the aimed result, as a permanent changing would be necessary due to the non constant heat supply caused by varying intensity of solar radiation.

In the framework of the project, the possibilities for heat-integration in an industrial brewery and a home-brewery were shown. The two discussed processes show two completely different production schemes. In a first step the data for the material and energy flow was gathered, and energy streams calculated keeping in mind the parameter time. Brewing is a typical batch process, and therefore time schedule of the production and the simultaneity of processes has to be investigated. Then the energy streams were entered into a pinch program, displaying the grand composite curve that shows the heating and cooling demand in the different temperature levels. Before trying to integrate heat exchangers, a mass Sankey diagram with a time frame was drawn to show the mass flow values with the time component. The combination of this Sankey and the pinch program clarified the possibilities to install heat exchangers. The outcome of this first screening is very well shown in the grid diagram. The heat exchanger can be implemented for heating the water in the lower temperature levels (up to 60-70°C). The heating demand also shows that there is a large quantity of energy needed for the short time preheater between 70 and 73°C (10) and for heating the water for the bottle cleaning system up to 90°C (22). For this demand no energy supply is available. It follows that this processes in bottle cleaning are very suitable for introducing solar energy. However, it has to be kept in mind that a lot of energy can also be generated from the draff which is separated from the wort in the Lauter Tun process. It is already state of the art to recovery process energy by using this biomass as energy source.

In small breweries heat exchanger systems are not easily applicable as the batch processes are only done from time to time. Additionally, the heat recovery from the cooling of the wort depends very much on the time which is taken to cool the wort. There are some other principal energy efficiency measures

that could be taken by any brewery such as described in general energy saving studies for breweries. However neither of these mentioned processes can be used for heating up the process water in small breweries. An installation of a solar application therefore can be highly suggested as the temperature level and time frame of the process would fit a solar use very well. Of course the energy is only needed at specific days for the production, but warm water can otherwise be used for washing or for the domestic heating system.

At the first glance solar process heat seems to be non economical for industry due to several reasons, be it because of limited application possibilities in our latitude or because of the rather complicated engineering measures required in comparison to technical mature technologies. To allow the – especially when dealing with solar energy – long term influencing factors on economics of such a plant, a relative new method of cost calculation is applied. Total Cost Assessment (TCA) considers such long term influencing factors with equal importance as such costs that are today in general considered in conventional cost accounting.

Total Cost Assessment (TCA) is a method of cost accounting that was developed to show that investments in measures of integrated environmental protection can still turn out economical in the long run. This is achieved by treating all costs with equal attention and by enlarging the period under review for economical calculation.

The matrix of indicators was designed as a planning and decision support tool for solar experts and consultants. Within the matrix all information for industry branches and processes (unit operation) that are relevant for solar process heat can be found. On the ordinate of the matrix relevant industry sectors are listed, on the abscissa the relevant processes are displayed. For each process further detailed information is given and a sub matrix with sector specific information can be found.

The co-operation in the international team of the Task 33/IEA has contributed to a broad mutual knowledge exchange due to the fact that experts are coming from different thematical areas (solar experts, energy consultants, solar companies, process engineers). The hereby created synergy could be used in an optimal way and led to a positive result. Furthermore also target groups as solar companies, collector manufacturers and energy consultants are to some extent involved in the works of Task 33/IV.

1 Einleitung

Einer der großen Effekte menschlichen Handelns auf die Zukunftsfähigkeit ist die globale Erwärmung verursacht durch klimarelevante Gasemissionen. Der Großteil dieser Gase kommt aus Verbrennungsprozessen, an welchen die industriellen Produktionen wiederum einen großen Anteil haben. Hier kann eine signifikante Veränderung nur durch eine Umstellung auf erneuerbare Energieträger erfolgen, die aber simultan mit einer Erhöhung der Energieeffizienz erfolgen muss. In vielen Industrieländern, auch in moderaten Klimaten, bietet sich die Nutzung der Sonnenenergie zur Bereitstellung von Wärme als CO₂-freie Alternative an. Nach dem Bereich der Wärme für den Wohnbereich geht es nunmehr darum, die industrielle und gewerbliche Prozesswärme als nächsten hoffnungsträchtigen Markt für Solarkollektoren zu eröffnen.

In Österreich betrug 2000 der industrielle Energieeinsatz 205 PJ und war damit für 21 % des nationalen Endenergieeinsatzes von 965 PJ verantwortlich. [Energieverwertungsagentur, 2004]. Charakteristisch für den Energieverbrauch der produzierenden Industrie in Österreich ist eine Abnahme des Verbrauches an Wärme bei einem gleichzeitigen Anstieg des Stromverbrauches. Die Gründe hierfür sind vielfältig und liegen sowohl in einer Umstrukturierung der Industrie weg von der Grundstoffindustrie als auch in der Entwicklung energieeffizienterer Verfahren. Der derzeitige Verbrauch von knapp 200 PJ an fossilen Energieträgern stellt aber unter allen Umständen ein interessantes Marktpotential für Solaranlagen dar.

Die konkrete Größe dieses Zukunftsmarktes für Solarwärme wurde für Österreich von einer Arbeitsgemeinschaft von AEE INTEC in Gleisdorf und JOANNEUM RESEARCH Graz im Rahmen eines Projektes innerhalb der Technologieinitiative „Fabrik der Zukunft“ des BMVIT erhoben (PROMISE – Produzieren mit Solarenergie). Die Arbeiten wurden Ende 2003 abgeschlossen und zeigen ein großes Potential für Hersteller von Solaranlagen. Eine rasche Durchsetzung wie bei der Warmwasserbereitung und den teilsolaren Heizungen könnte auch im Bereich der gewerblichen und industriellen Nutzung erreicht werden, wenn eine intensive Unterstützung der Umsetzung erfolgt. Auch ist aus den Projektergebnissen von PROMISE ersichtlich, dass in manchen Fällen eine Umsetzung solarer Warmwasseranlagen für eine industrielle Anwendung bereits heute wirtschaftlich sein kann, wenn die üblichen Fördermodelle angewandt werden.

Die Solarenergie könnte theoretisch in Österreich kurzfristig 3,3 PJ und mittelfristig 5,4 PJ Prozesswärme ersetzen [Müller et al., 2003] und ist mit einem unmittelbaren Potential von ca. 2,6 Mio. m² bzw. 4,3 Mio. m² Kollektorfläche sicherlich ein wesentlicher zukünftiger Markt für die Solarthermik¹ (zum Vergleich: in Österreich sind Ende 2003 2,7 Mio. m² im Bereich Warmwasser und Raumheizung installiert [Faninger 2004]). Der Einsatz von Solarenergie für Prozesswärme ersetzt hauptsächlich fossile Energieträger wie Öl und Gas und vermindert sowohl klassische Emissionen (Staub, NO_x, SO₂) als auch CO₂ als das wesentliche treibhauswirksame Gas.

Diese Erhebungen wurden mit Zahlen aus anderen europäischen Studien, die sich ebenfalls mit dem Einsatz von Solarthermie in industriellen und gewerblichen Prozessen beschäftigten, verglichen. Dabei zeigte sich, dass z.B. die Studien aus Spanien oder den Niederlanden zwar teilweise unterschiedliche Potentiale aufwiesen, jedoch ähnliche Industriebranchen und Prozesse für einen Einsatz von Solarenergie relevant sind. In Folge eines großen internationalen Interesses an der Thematik „Solare Prozesswärme“ wurde im Jahr 2003 der IEA Task 33/IV SHIP eingerichtet.

Das zentrale Ziel dieser internationalen Forschungskooperation ist die Erschließung industrieller Prozesswärme für solarthermische Anlagen. Dazu werden sowohl theoretische Grundlagen erarbeitet als auch Komponenten und systemtechnische Konzepte entwickelt. Weiters ist es das Ziel des Task

¹ Das „Office of Energy Efficiency and Renewable Energy“ des U.S. Department of Energy spricht von einem theoretischen Potential von 50% des konventionellen Energieeinsatzes [EERE, undated]

33/IV, einen genauen Stand der Technik im Bereich solarer Prozesswärme zu erheben, die eine Gültigkeit für Europa hat.

Der Task 33/IV wird von AEE INTEC (Werner Weiss) koordiniert und ist in 4 Subtasks aufgliedert:

Subtask A: Solar Process Heat Survey and Dissemination of Task Results
Subtask Leader: Riccardi Battisti, Italy

Subtask B: Investigation of Industrial Processes
Subtask Leader: Hans Schnitzer, Austria

Subtask C: Collectors and Components
Subtask Leader: Matthias Rommel, Germany

Subtask D: System Integration and Demonstration
Subtask Leader: Klaus Hennecke, Germany

Die Arbeiten von JOANNEUM RESEARCH – Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS) konzentrieren sich hauptsächlich auf die Inhalte in Subtask B.

Im Moment sind ca. 35 Teilnehmer aus 9 Ländern an dem Task beteiligt. Die Arbeiten von JOINTS in Subtask B waren eng mit den Arbeiten in dem EdZ-Projekt SolProBat verknüpft und bildeten eine optimale Möglichkeit, die Synergien aus einer vertieften Grundlagenuntersuchung (SolProBat) und dem internationalen Kontakt und Austausch mit Solarexperten zu nutzen.

2 Methodik und Vorgehensweise

Den Rahmen für die Arbeiten in dem Subtask B bildeten die gemeinsamen Task-Treffen, die regelmäßig zwei Mal im Jahr stattfanden. In Verbindung mit den Task-Meetings in Madrid und Kassel wurden Industrie-Workshops im jeweiligen Gastgeberland abgehalten, zu denen Solaranbieter und die Zielgruppe der Produktionsbetriebe eingeladen wurden.

Die Protokolle zu den Meetings und die Folien zu den Präsentationen sind im Anhang zu finden. Die folgende Zusammenfassung der Aktivitäten in den Meetings bezieht sich ausschließlich auf die Tätigkeiten in Subtask B.

Das erste Meeting fand im Dezember 2003 in Gleisdorf statt. Der Schwerpunkt lag vor allem bei der Übermittlung erster Grundkenntnisse von Wärmeintegration und im Speziellen der Pinch-Analyse an die Task-Teilnehmer. Weiters wurde die Herausforderung und Notwendigkeit, die Pinch-Theorie auf Batch-Prozesse auszuweiten, diskutiert. Es wurde vereinbart, einen Erfassungsbogen (B1 Template) zu entwickeln, um alle nötigen Energie- und Massenströme für eine Energieeffizienzanalyse in Betrieben auf einfache Weise erfassen zu können.

Das zweite Meeting wurde im März 2004 in Brüssel abgehalten. Im Mittelpunkt stand einerseits die Vorstellung des B1 Templates und eine genaue Einführung in die Pinch-Berechnung. Weiters wurden verschiedene Pinch-Programme vorgestellt und über die Vorgangsweise bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von „Solar Investitionen“ diskutiert.

Das dritte Meeting fand im Oktober 2004 in Oaxaca (Mexiko) statt. In diesem Meeting wurden erste Ergebnisse aus der Energieeffizienzbetrachtung einer Fallstudie präsentiert und über den Ausbau der Prozess-Branchen-Matrix diskutiert.

Im Februar 2005 fand das vierte Meeting in Madrid statt. Im Rahmen dieses Treffens wurden die Ergebnisse von drei Fallstudien (Molkerei, Textilbetrieb und Fruchtbetrieb) dargestellt. Weiters wurde die Struktur der Matrix weiterentwickelt und den Teilnehmern präsentiert.

Beim fünften Meeting im Oktober 2005 in Kassel wurden die vorläufigen Entwürfe der „Technical Reports“ (Energy systems, matrix of indicators, competitive technologies, process integration and TCA for energy systems) vorgestellt, die Submatrix „Food“ und ein Ablaufschema der „energy audit strategy“ präsentiert.

Alle relevanten Präsentationen der Projekttreffen sind dem Anhang beigefügt.

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit wurde an der Gestaltung des Task 33/IV-Folders und zweier Industrie-Newsletter mitgearbeitet (Folder und Newsletter im Anhang). Zur externen und internen Kommunikation wurde eine Homepage (<http://www.iea-ship.org>) eingerichtet.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

3.1 Identifizierung energierelevanter Charakteristiken

Um energetische oder stoffliche Effizienz zu betrachten, ist es immer notwendig, Bilanzen über die zu betrachtenden Prozesse zu legen. Dadurch können Verluste leicht identifiziert und lokalisiert werden.

Das Erstellen einer Bilanz erfordert als grundlegende Bedingung eine klare Definition der Bilanzgrenzen. In praktischen Berechnungen sind das meist physische Grenzen, d.h. sie definieren eine physische Grenze, durch deren Überschreiten die Input- und Output-Flüsse definiert werden. Neben diesen Energie- oder Massenflüssen (je nach Gegenstand der Bilanzierung) treten innerhalb der Bilanzgrenzen Quellen und Senken auf. Damit ergibt sich die simpelste Darstellung einer Bilanz (vgl. Abbildung 1).

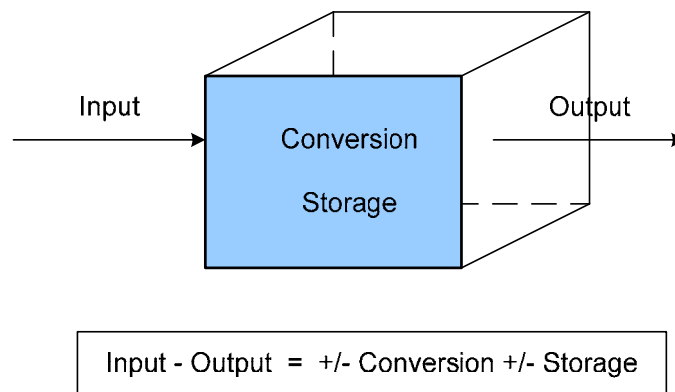


Abbildung 1: Einfachste Darstellung einer Bilanz

Beim Erstellen einer Energiebilanz werden bei Betrachtung eines geschlossenen Systems Materialströme nicht berücksichtigt, da über die Grenzen eines solchen Systems nur Energie ausgetauscht wird. Bei einer offenen Systembetrachtung hingegen darf der Energieinput durch Materialflüsse nicht vernachlässigt werden.

Um die Energieeffizienz in einem Betrieb abzuschätzen, ist zum einen eine Energiebilanz über die gesamte Anlage interessant, für eine genauere Analyse der Verluste und Ströme ist aber auch eine Energiebilanz der einzelnen Verfahrensschritte notwendig.

3.1.1 Praktische Anwendung

In industriellen Prozessen werden verschiedene Energiearten eingesetzt, um den Energiebedarf der Anlage zu decken. Bei deren Betrachtung muss zwischen Energiearten mit Umwandlung und Energiearten ohne Umwandlung unterschieden werden. Erstere können nicht ohne einen vorherigen Umwandlungsschritt auf dem Anlagengelände als Energiequelle eingesetzt werden, Energiearten ohne Umwandlung können direkt im Prozess genutzt werden.

Energiearten ohne Umwandlung

Die wichtigsten Energien dieser Art sind Fernwärme und Elektrizität. Elektrizität wird meist von einem externen Kraftwerk zugekauft. Verbrauchsdaten sind durch Zählerstände leicht zu protokollieren ebenso wie die Kosten.

Fernwärme wird durch ein externes Wärmetauschernetzwerk mit dem Trägermedium Wasser zur Verfügung gestellt. In einem sekundären Wärmetauschernetzwerk in der Anlage wird die notwendige Energie entzogen. Fernwärme besitzt pro MW bereitgestellter Energie nicht dasselbe Potential, Arbeit zu verrichten, wie elektrischer Strom, kann jedoch für Niedertemperaturprozesse effizient eingesetzt werden.

Energiearten mit Umwandlung

Praktisch alle anderen Energiearten wie etwa Öl, Gas, Kohle, Wind und Solarenergie benötigen eine Installation vor Ort um in eine nutzbare Energieform umgewandelt zu werden. In solchen Umwandlungsprozessen kommt es zwangsläufig zu Verlusten, da diese Prozesse nie zu 100 % effizient arbeiten. Um den Prozess der Umwandlung abschätzen zu können, ist die Angabe bzw. Berechnung des Wirkungsgrades daher unerlässlich.

Eine Berechnung der tatsächlichen zur Verfügung stehenden Energie nach verschiedenen Umwandlungsprozessen für diverse Inputenergien verdeutlicht die nächste Abbildung (1 lakh entspricht 100.000).

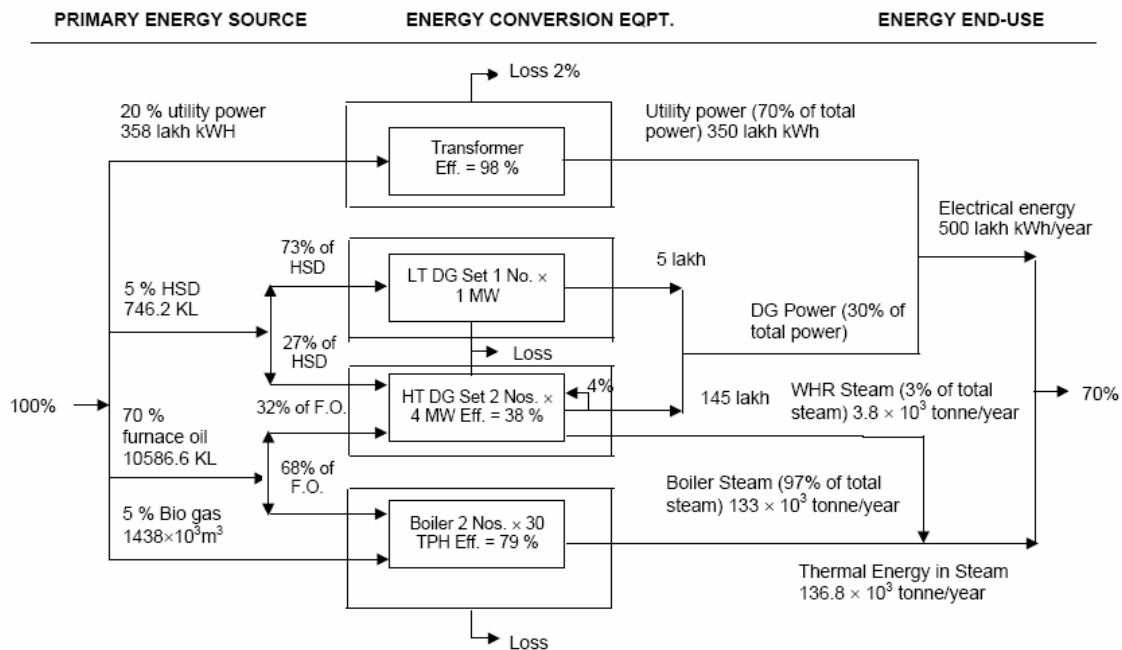


Abbildung 2: Beispiel von Umwandlungsprozessen

Zusätzlich sind Recyclingströme relevant bei der Energiebetrachtung einer Anlage. Legt man die Bilanzgrenzen über die gesamte Anlage, so sind Recyclingströme zwar aufs erste nicht ersichtlich, da sie die Bilanzgrenzen nicht überschreiten, müssen aber berücksichtigt werden, da auch hier immer Verluste auftreten. Kaum ein Energiestrom kann mit 100 % der ursprünglichen Energie wiederverwertet werden. Um daher Verluste und Effizienzen genauer zu betrachten, ist es notwendig, die einzelnen Verfahrensschritte zu analysieren. Der Recyclingstrom ist somit einmal Outputstrom aus einem Prozess, in einem anderen wieder Input-Parameter. Solche Untersuchungen bilden logischerweise die Basis für Effizienzbetrachtungen.

3.1.2 Datenerhebung für Energiebilanzen – B1 Template

Um in einem Betrieb die notwendigen Daten für die Energiebilanzen der Anlage und der einzelnen Prozesse erheben zu können, wurde ein Template angefertigt, um das Sammeln aller notwendigen Parameter zu erleichtern und die Ausgangslage übersichtlich darzustellen (siehe Anhang). Das Template ist folgendermaßen aufgebaut:

Zuerst werden die Firmendaten inklusive Angabe der Branche, Erzeugnisse und Kontaktperson erhoben. Im nächsten Schritt erfolgt eine Energiedarstellung der gesamten Anlage, wobei alle Energiequellen mit ihren Verbrauchswerten dargestellt werden. Die eingesetzten Energiearten (mit oder ohne Umwandlung) können eingetragen werden und per Link wird der Nutzer zu einem separaten Datenblatt geführt, wo die tatsächlichen monatlichen Verbrauchsdaten der verschiedenen verwendete-

ten Energieformen einzugeben sind. Die Verbrauchssumme wird in der Darstellung ausgegeben. Für die Umwandlungsenergien und für die Recyclingströme ist ein Wirkungsgrad anzugeben. Außerdem werden die Wärmekapazitäten der eingesetzten Elemente und Materialien erhoben. Der gesamte Energiebedarf der Anlage kann so berechnet und mit dem bisher abgeschätzten Wert verglichen werden.

Ein Flow Sheet der Anlage wird im Anschluss erstellt, um den Prozess mit all seinen Zusammenhängen zu veranschaulichen.

In Folge werden die Energiebetrachtungen auf die einzelnen Prozesse ausgeweitet. Zunächst werden alle Daten der zentralen Wärmebereitstellung aufgenommen. In Produktionsprozessen wird Wärme meist in Form verschiedener Medien zu den einzelnen Prozessschritten transportiert. Bis zu vier Wärmeträgermedien können angegeben werden mit den jeweiligen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen, Drücken und Energie- und/oder Massenflüssen, soweit bekannt. Speichersysteme werden ebenfalls spezifiziert durch Speicherart, Speichervolumen, Temperatur und Druck (vgl. Abbildung 3).

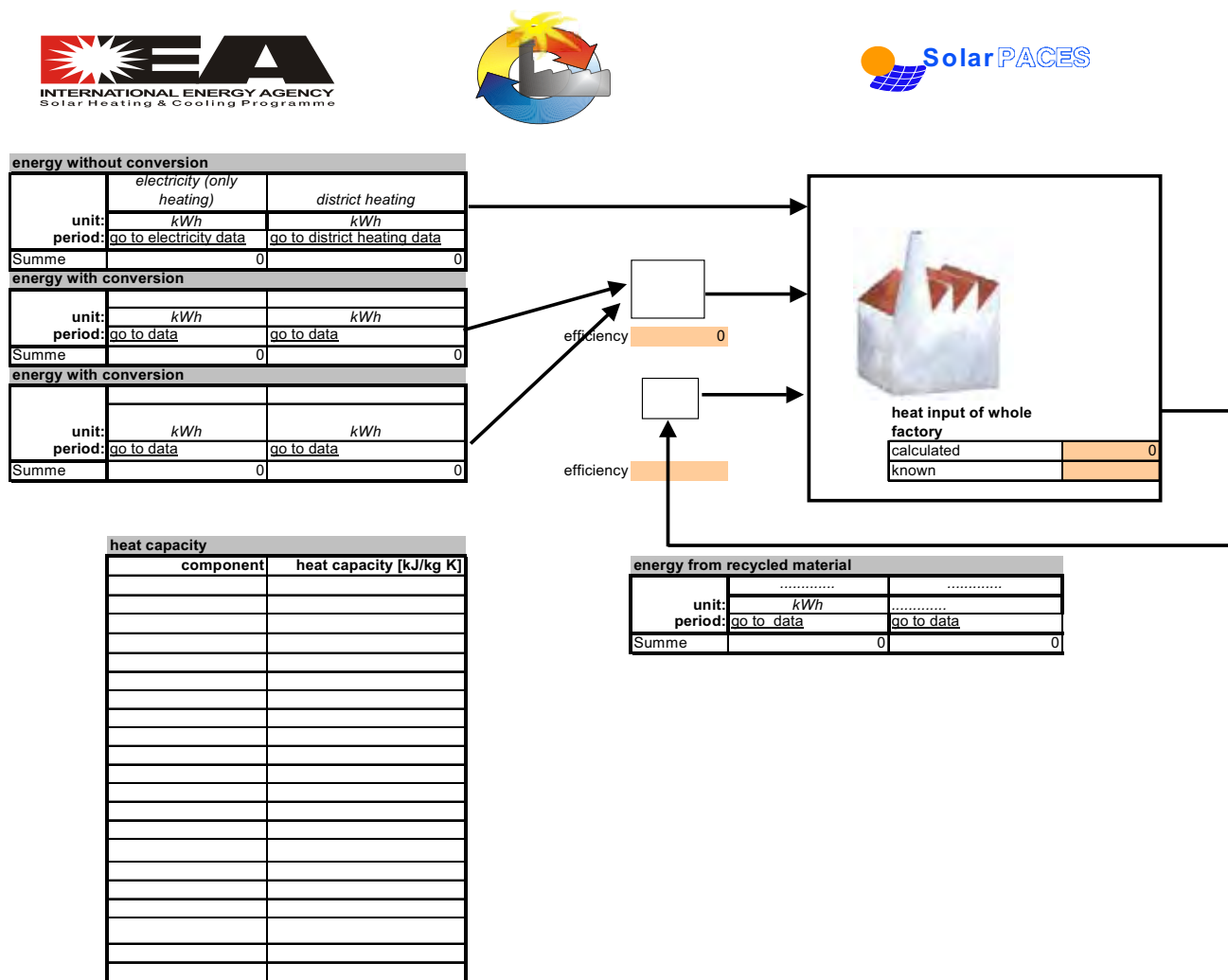


Abbildung 3: Blatt für Datenaufnahme und Darstellung der Energieversorgung einer Anlage

Eine Liste der Prozesse, welche mit dem Wärmeträgernetz in Verbindung stehen, wird in Folge erstellt und jeder Prozess kann dem versorgenden Wärmeträger zugeordnet werden. Damit ergibt sich eine Übersicht der Prozesse und der jeweiligen Energieversorgung. Durch Bestätigung der Eingabe wird

nun für jeden Prozess automatisch ein Datenblatt kreiert, welches die Spezifikationen des Verfahrensschrittes darstellt:

- Name of the process
- Type of the process
 - heating/cooling up of liquid stream
 - heating/cooling up of gaseous stream
 - heating/cooling process bath on constant level / evaporation
 - heating/cooling rooms and chambers on constant level
- Fluctuations
- Continuous/Batch Process
- Data sheets for process medium characteristics (for continuous processes)
- Data sheets for heat transfer media characteristics (temperature, mass flow, pressure as stated prior)
- Number of shift operations
- Operation time

Der Name des Prozesses und die Spezifikationen des zugehörigen Wärmeträgermediums werden aufgrund der vorher ausgefüllten Information automatisch eingetragen. Die restlichen Daten müssen händisch eingegeben werden. Durch die Angaben des Prozessmediums können Energiebilanzen über den Verfahrensschritt gelegt werden und die zur Versorgung notwendige Energiemenge berechnet werden. Die Informationen zu den Wärmeträgermedien zeigen, wie viel Energie der Energieversorgung durch diesen Prozess tatsächlich entzogen wird.

Handelt es sich um Batch-Prozesse, so wird der Datenbereich für den Prozessmedium-Strom gelöscht. In einem markierten Bereich sind folgende gesammelten Daten des Batch-Prozesses einzutragen:

- Process medium
- Volume of vessel (process medium):
- Batch Size (mass, volume or piece number)
- Residence time:
- Change of Aggregation / Phase
- Start Temperature
- End Temperature
- Change of pressure

Diese Blätter bilden den Abschluss der Datenaufnahme. Basierend auf diesen Spezifikationen der einzelnen Prozessschritte sowie den Daten der Wärmeträgermedien können nun nötige und tatsächlich verbrauchte Energiemengen berechnet werden und als Basis für Effizienzberechnungen dienen. Je detaillierter die Daten aufgenommen werden können, umso detaillierter kann die Anlage analysiert werden.



Low temperature process:

Name: _____

Type: _____

heating/cooling up of liquid stream	indicate
heating/cooling up of gaseous stream	
heating/cooling process bath on constant level / evaporation	
heating/cooling rooms and chambers on constant level	

Fluctuations: seasonally: _____ weekly: _____ daily: _____

continuous: _____

batch: _____

Process medium Input	

Heat transfer medium Input	
characteristic/medium configuration (eg steam) source	
temperature	unit
mass flow	
pressure	

batch process	unit
process medium	
Volume of vessel (process medium):	
Batch Size (mass, volume or piece number)	
Residence time:	
Change of Aggregation / Phase	
Start Temperature	
End Temperature	
Change of pressure	

Process medium Output	

Heat transfer medium Output	
characteristic/medium configuration (eg steam) source	
temperature	unit
mass flow	
pressure	

Number of shift operations: _____

Operation time: Diurnal profil 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24 (underline appropriate time)

Weekly Profile Mo-Tu-Wc-Th-Fr-Sa-Su (underline appropriate day)

Annual Profile Jan-Feb-Mar-Apr-May-Jun-Jul-Aug-Sep-Oct-Nov-Dec (underline appropriate month)

3.2 Identifizierung typischer Niedrigtemperaturprozesse

Von ihrer technischen Leistung her sind Solarkollektoren zumindest in moderaten Klimaten auf Niedertemperaturprozesse beschränkt. Die Betrachtung und Analyse dieser Prozesse kann nicht generell durchgeführt werden, zu unterschiedlich sind Randbedingungen und Anforderungen z.B. für Reinigungsanlagen oder Flaschenwaschanlagen in der Lebensmittelindustrie, das Waschen von Textilien oder das Reinigen bzw. Entfetten metallischer Werkstücke vor einer Oberflächenbehandlung.

Bei einer näheren Analyse des industriellen Energieeinsatzes im Niedertemperaturbereich stößt man aber auf wiederkehrende verfahrenstechnische Grundoperationen.

Die meisten industriellen Herstellungsprozesse benötigen thermische Energie (Wärme), die in Kesselanlagen bereitgestellt und sodann in der Produktionsanlage verbreitet wird.

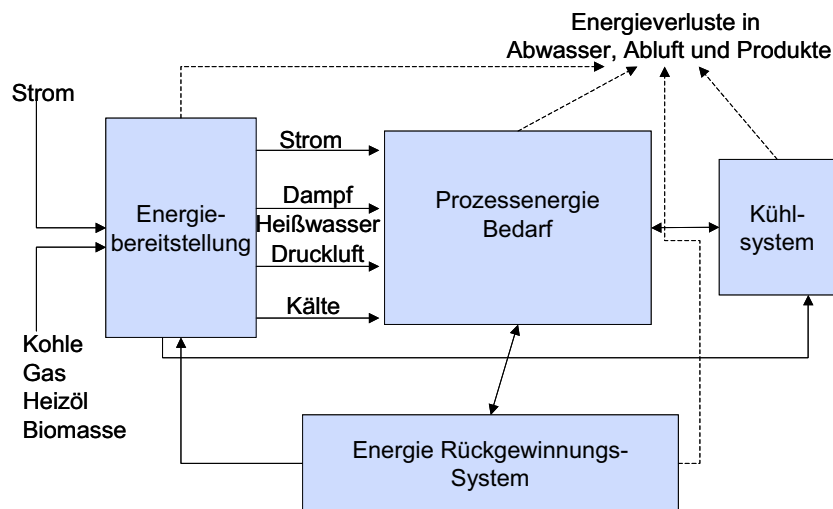


Abbildung 4: Elemente eines typischen industriellen Energiesystems

Ein industrielles Energiesystem (vgl. Abbildung 4) besteht aus mehreren Subsystemen

- der Energiebereitstellung
- der Energienutzung
- allfälligen Rückgewinnungseinheiten
- allfälligen Rückkühlsystemen

Besonders das Kühl- und Rückgewinnungssystem sind meist in der Anlage integriert und räumlich nicht separiert. In Einzelfällen werden Produktionsanlagen auch direkt beheizt.

3.2.1 Bereitstellung von Heißwasser oder Dampf

Viele Betriebe benötigen Heißwasser oder Dampf für Wasch- oder Kochprozesse und ähnliche Anwendungen. Die Temperaturen liegen typisch in der Größenordnung von 50 °C bis 120 °C. Die bestehenden konventionell beheizten betrieblichen Energieversorgungssysteme werden aber meist in einem höheren Temperaturbereich zwischen 120 °C und 180 °C betrieben, da sich hierdurch kleinere Anlagen (Wärmenetze, Wärmetauscher) für die Wärmeübertragung ergeben. Beim Einsatz von Solarenergie wird man aber darauf bedacht sein, auf einem möglichst tiefen Temperaturniveau einzuspeisen, um Wirkungsgrad am Kollektor zu gewinnen und Verluste im Speicher zu reduzieren.

Die solare Herstellung von Mitteldruck- und Hochdruckdampf (180 °C bis 320 °C) wird auf Sonderfälle beschränkt bleiben und ist nur mit konzentrierenden Systemen in entsprechend geeigneten Klimazonen möglich.

3.2.2 Trocknungs- und Entwässerungsverfahren

Im Bereich der Trocknung sind die Voraussetzungen für den Einsatz von Solarthermie durch vielfältige Anwendungsfälle stark unterschiedlich (vgl. Abbildung 5). So gibt es z.B. Trocknungsprozesse, in denen Restfeuchte aus einem Werkstoff verdrängt wird, in anderen Fällen wird eine Lackschicht getrocknet, indem ein Lösungsmittel ausgetrieben wird.

Lebensmittel, Pflanzen, Früchte, Textilien wie auch mineralische Stoffe werden meist mit Heißluft getrocknet. Weitere Trocknungsverfahren findet man bei Lackieranlagen und Waschprozessen. Die Betriebstemperatur solcher Anlagen ist meist unter 100°C und praktisch immer unter 150°C, da die meisten zu trocknenden Gegenstände temperaturempfindlich sind. Zur Herstellung von trockenen Pulvern aus konzentrierten Flüssigkeiten werden Sprühtrockner eingesetzt, die, besonders wenn sie mit empfindlichen Produkten im Vakuum betrieben werden, niedrige Temperaturen aufweisen (z.B. Herstellung von Milchpulver). Solare Systeme könnten Energie direkt für die Trockenluft oder indirekt über Heißwasser als Transport- und Speichersystem bereitstellen. Für die meisten Anwendungen reichen daher Flachkollektoren, in Einzelfällen werden evakuierte Röhren oder konzentrierende Kollektoren erforderlich sein.

Typische Produkte für die Trocknung sind:

- Ziegel
- Pflanzen, Früchte, ...
- Holz [Müller et al. 2003]
- Textilien
- Malz (Darren von Grünmalz)
- Klärschlamm [N.N. 2003]
- ...

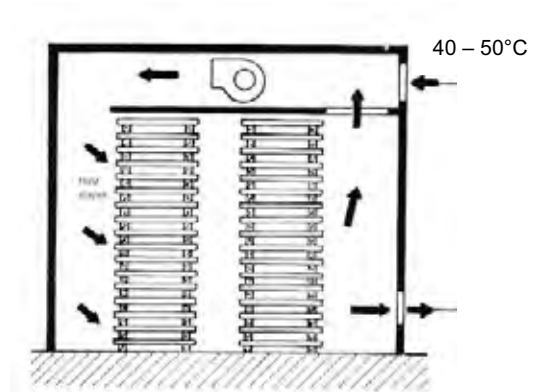


Abbildung 5: Holz Trockner [Moser, Schnitzer 1985]

3.2.3 Einsatzstoff- und Materialvorwärmung

Vorwärmprozesse sind für den Einsatz von Solarenergie deswegen ideal, weil die Erwärmung meist von Lagertemperatur beginnt, also nur niedrige Temperaturen erforderlich sind. Andererseits sind dies oftmals Anwendungen, wo eine direkte Konkurrenz in der Nutzung von Abwärme (aus Prozessströmen, Kühlanlagen, Druckluftkompressoren, Gasmotoren,...) besteht.

Typische Beispiele sind:

- Warmwasser für verschiedenste Prozesse
- Kesselspeisewasser [Schweiger 2000]
- Rohstoffe aus Kühllagern

3.2.4 Eindampfung und Destillation

Das Ziel der Eindampfung ist die Aufkonzentration von Lösungen, die aus flüchtigen und nicht flüchtigen Komponenten bestehen. In den meisten Fällen ist die flüchtige Komponente Wasser.

Eindampfprozesse sind aus energietechnischer Sicht mit den Trockenprozessen vergleichbar. Es geht darum, ein Lösungsmittel abzutrennen, wobei beide Phasen das gewollte Produkt sein können (vgl. Abbildung 6). Ein typischer Grenzfall von der Eindampfung zur Trocknung ist die Herstellung von Milchpulver, wo Milch so weit eingedickt wird, bis eine feste pulvrige Phase verbleibt. Ähnliche Prozesse gibt es in der organischen und anorganischen Chemie und bei der Behandlung von Abwässern:

- Milch (Dickmilch, Milchpulver, ...)
- Speise- und Streusalz in Salinen
- Abwässer

Eindampfanlagen können durch einen Betrieb mit verringertem Druck (Vakuumeindampfung) in einen niedrigeren Temperaturbereich verschoben und so für die Solarthermie angepasst werden.

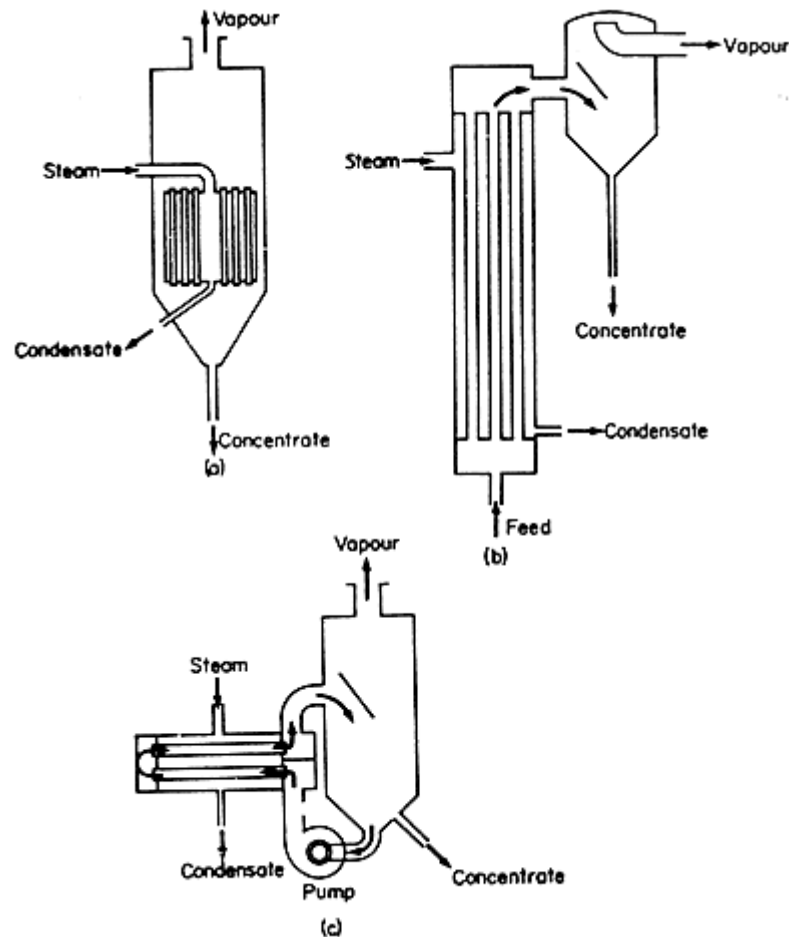


Abbildung 6: Verschiedene Arten von Eindampfern

Literature: *Unit Operations in Food Processing* – the Web Edition, R. L. EARLE, 1983, Published by NZIFST (Inc.), <http://www.nzifst.org.nz/unitoperations>

Ein spezieller Bereich der Eindampftechnik ist die Meerwasserentsalzung, die in vielen ariden und semiariden Regionen eine Notwendigkeit geworden ist. Wegen der spezifischen Anforderungen der Meerwasserentsalzung wird dieser Prozess hier nicht weiter beschrieben [Al-Kharabsheh, 2003]. Für technische Anwendungen im Bereich ionischer Lösungen (Produktionswässer, betriebliche Abwässer) sind Verfahrensvergleiche mit der Meerwasserentsalzung aber sinnvoll.

Das Ziel der Destillation ist die Trennung einer Mischung aufgrund unterschiedlicher Siedepunkte der einzelnen Komponenten. Die Destillation wird meistens zur Produktion von Aromen, Essenzen und alkoholischen Getränken verwendet. Aber auch zur Fraktionierung von Ölen und Fetten in unterschiedliche Kohlenwasserstoffkettenlängen wird die Technologie der Destillation eingesetzt.

Industrielle Eindampfung und Destillation sind sehr energieintensive Prozesse, die in sehr vielen Industriebranchen ihre Anwendung finden wie z.B. chemische Industrie, Lebensmittelindustrie, Papierindustrie und Textilindustrie.

3.2.5 Blanchieren

Blanchieren wird vor allem in der Lebensmittelindustrie angewendet, um die Aktivität von Bakterien oder Enzymen zu hemmen. Dabei wird das Produkt kurze Zeit Temperaturen von 65–90 °C ausgesetzt. Blanchieren ist ein kontrollierter Heißprozess ähnlich dem Pasteurisieren und wird bei der Herstellung von Fruchgetränken, Obst und Gemüse eingesetzt.

Bevor das Produkt blanchiert wird, wird es vorgewärmt. Dies passiert abhängig vom Produkt und den verfügbaren Apparaten über ein direktes oder indirektes Heizungssystem. Beim direkten Beheizen wird das Produkt in horizontalen Kammern für einige wenige Minuten direkt mit heißem Wasser oder Dampf in Verbindung gebracht. Für Produkte, die nicht mit Wasser in Verbindung gebracht werden dürfen, kommt es zur indirekten Erhitzung mittels Wärmetauscher. Nach dem Blanchieren wird das Produkt entweder mit Wasser oder mit Luft abgekühlt. Blanchieren kann kontinuierlich oder im Batch-Verfahren durchgeführt werden.

3.2.6 Pasteurisieren, Sterilisieren

Unter den vielen Möglichkeiten, die Haltbarkeit von Lebensmittel zu erhöhen, gehören Pasteurisieren (Anwendungstemperatur um 70 °C) und Sterilisieren (Anwendungstemperatur >100 °C) zu den energieintensiven. Verfahrenstechnisch unterscheiden sie sich besonders in Hinblick auf die Phase des Mediums. Bei Flüssigkeiten ist ein direkter Wärmeaustausch im Gegenstrom zwischen Aufheizphase und Abkühlphase einfach; der verbleibende Energiebedarf ist relativ gering und tritt ausschließlich am höchsten Temperaturniveau auf. Das Pasteurisieren abgefüllter Lebensmittel oder von Geräten erfordert daher wegen der Unmöglichkeit des direkten Wärmeaustausches jedenfalls ein Wärmeträgermedium (Luft, Wasser oder Dampf), das mit einer Solaranlage gekoppelt werden kann.

Einsatzgebiete sind daher die Pasteurisierung und Sterilisation von:

- flüssigen Lebensmitteln
- Lebensmitteln in Gebinden (Dosengemüse, Säfte, Marmeladen,...)
- Geräten
- anderen Prozessströmen

Temperaturbereiche bei denen die Pasteurisation von verschiedenen Produkten abläuft werden in nachfolgender Tabelle angeführt (BAT in the Food, Drink and Milk Industries, June 2005):

Tabelle 1: Beispiele der Wärmebehandlung [87, Ullmann 2001]

Prozess	Temperatur	Anwendung
Flüssig-Bulk-Pasteurisation	63 °C für 30 min	Fett Pasteurisation der Milch
Hochtemperatur-Kurzzeit-Pasteurisation (HTST)	72 °C / 15 s	Kontinuierliche Pasteurisation der Milch
Pasteurisation von Flaschen	60°C/ 10 min	Verlängerung der Haltbarkeit von Getränken

3.2.7 Kochen

Kochen ist eine Wärmebehandlungstechnik, die in der Lebensmittelindustrie Verwendung findet und die Struktur, Farbe und Feuchtegehalt des Produkts verändert (BAT in the Food, Drink and Milk Industries, June 2005).

Im industriellen Maßstab wird der Prozess des Kochens vor allem zur Herstellung von Fertigprodukten der Fleischindustrie angewandt (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Kochen von Fleischprodukten

Prozess	Temperatur	Anwendung
Kochen von Fleischprodukten	65–75 °C	Fertigprodukte wie Frankfurter, Schinken, ...

Man unterscheidet verschiedene Arten von Öfen zum Kochen:

- Wasserbadofen
- Duschofen
- Dampföfen
- Luft/Dampf-Zirkulationsofen

3.2.8 Waschen, Reinigen

Waschvorgänge sind typische Verbraucher von großen Mengen warmen Wassers und daher potentielle Anwendungsfälle für Solarenergie. Gereinigt und gewaschen wird praktisch in allen Industrie- und Gewerbesparten (vgl. Abbildung 7).

- Flaschen, Fässer, ... (Lebensmittelindustrie)
- Metallteile, Oberflächen vor Lackieren, Galvanisieren oder Emaillieren, ... (Metallverarbeiter)
- Textilien (Textilindustrie, Gewerbebetriebe, Wäschereien, ...)
- Das Abtrennen von ungewollten Bestandteilen (Schmutz, Schale, Erde, Mikroorganismen, Pestizide, Salze, ...), um eine Weiterverarbeitung zu ermöglichen. Deshalb ist Waschen meistens der erste Prozessschritt in der Verarbeitung von Gemüse, Getreide und Früchten.

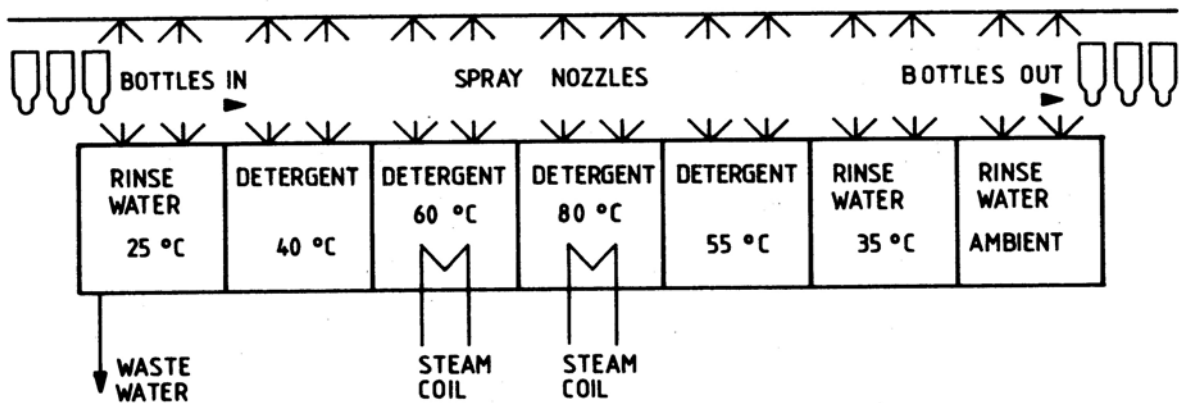


Abbildung 7: Typische Temperaturen in einer Flaschenwaschanlage [Moser,Schnitzer 1985]

Bei all diesen Anwendungen steht die Solarenergienutzung in Konkurrenz mit einer prozessintegrierten Wärmerückgewinnung.

Weiters wird Warmwasser zum Reinigen von Produktionshallen und Apparaten verwendet. In der Lebensmittelindustrie werden hiermit vor allem Mikroorganismen entfernt, um eine einwandfreie Produktqualität zu gewährleisten. Das Reinigungswasser wird dabei bis zu 90 °C erhitzt. Die Temperaturen können durch den Einsatz von Detergenzien und modernen Reinigungstechniken wie z.B. CIP gesenkt werden.

3.2.9 Kühlprozesse

Die Kühlung und Klimatisierung von Produktionshallen (z.B. in der Lebensmittelindustrie) kann durch Adsorptionskühlmaschinen mittels solarer Wärme erfolgen. Eine genaue Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ist aber in diesem Fall von großer Wichtigkeit. In der Lebensmittelindustrie kommen folgende, in Tabelle 3 angeführte Prozesse in Frage:

Tabelle 3: Kühlung in der Lebensmittelindustrie

Industriesektor	Prozess	Methode	Anwendung	Temperatur (°C)
Lebensmittelsektor	Kühlen und Frieren	Wärmetauscher	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rohmilchlagerung (4 °C) ▪ Milchkühlung (<7 °C) ▪ Milchkühlung nach der Pasteurisation (40–43 °C) ▪ Kühlung in der Yogurtproduktion (15–20 °C) ▪ Milchkühlung vor der Zugabe der Starterkulturen bei der Käseherstellung (40–43 °C) 	98 to -1
		Kühlsystem	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Würzekühlung in der Bierherstellung (98 to 7 °C) ▪ Kalte Gärung in der Bierherstellung (10 to 5 °C) 	
	Reifen	Temperierte Räume	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Butter ▪ Käse (~10 °C) ▪ Yogurt (<5 °C) 	

3.2.10 Schmelzen

Ziel des Schmelzens ist es, das Produkt zu einer Phasenänderung vom Festzustand in einen flüssigen Zustand zu bringen, um es für weitere Verfahrensschritte aufzubereiten.

In der Lebensmittelindustrie werden zum Schmelzen Kessel verwendet die entweder im Batchbetrieb oder kontinuierlich betrieben werden können. Die Wärme kann entweder direkt oder indirekt zugeführt werden. Bei der Käseproduktion wird mit einer Temperatur bis 75 °C gearbeitet.

3.2.11 Extraktion

Extraktion ist ein physikalisches Stofftrennverfahren, bei dem mit Hilfe eines Extraktionsmittels (ein Lösungsmittel, gegebenenfalls erwärmt) eine Komponente aus einem *Stoffgemisch* gelöst wird (vgl. Tabelle 4).

Extraktion wird häufig in der Lebensmittel- und Chemischen Industrie als Produktionsschritt eingesetzt.

Tabelle 4: Extraktion

Industry Sector	UO per sector	Method	Applications	Temperature (°C)
Lebensmittel	Extraktion	Leaching durch Filterung durch ein stationäres Festbett	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apfelsaftproduktion (60-65 °C) ▪ Ölproduktion ▪ Instant Kaffee Produktion (160–180 °C) 	60–180

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produktion von Koffeinfreiem Kaffee (60–110 °C) 	
	Leaching im beweglichen Filterbett	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zuckerproduktion (68–72 °C) 	

3.2.12 Bleichen und Färben

Das Ziel beim Bleichen ist es Pigmente und Metalle zu entfernen. Bleichen wird in verschiedenen Industrie-sektoren wie z.B. Lebensmittelindustrie oder Textilindustrie eingesetzt. Der Prozess läuft bei Temperaturen von 90–130°C ab.

In der Textilindustrie durchläuft der Färbeprozess verschiedene Temperaturbereiche die auf Farbe und Material abgestimmt sind.

Das Färben kann diskontinuierlich oder in einem kontinuierlichen bzw. teilweise kontinuierlichen Verfahren durchgeführt werden. Die Wahl zwischen diesen beiden Prozessen hängt von der Art der Vorbehandlung der Textilien, der gewählten Farbklasse, der vorhandenen Geräteausstattung und den Kosten ab. Sowohl kontinuierliches als auch diskontinuierliches Färben beinhaltet folgende Schritte (vgl. Abbildung 8):

- Vorbereiten der Farbe
- Färben
- Fixieren
- Waschen und Trocknen

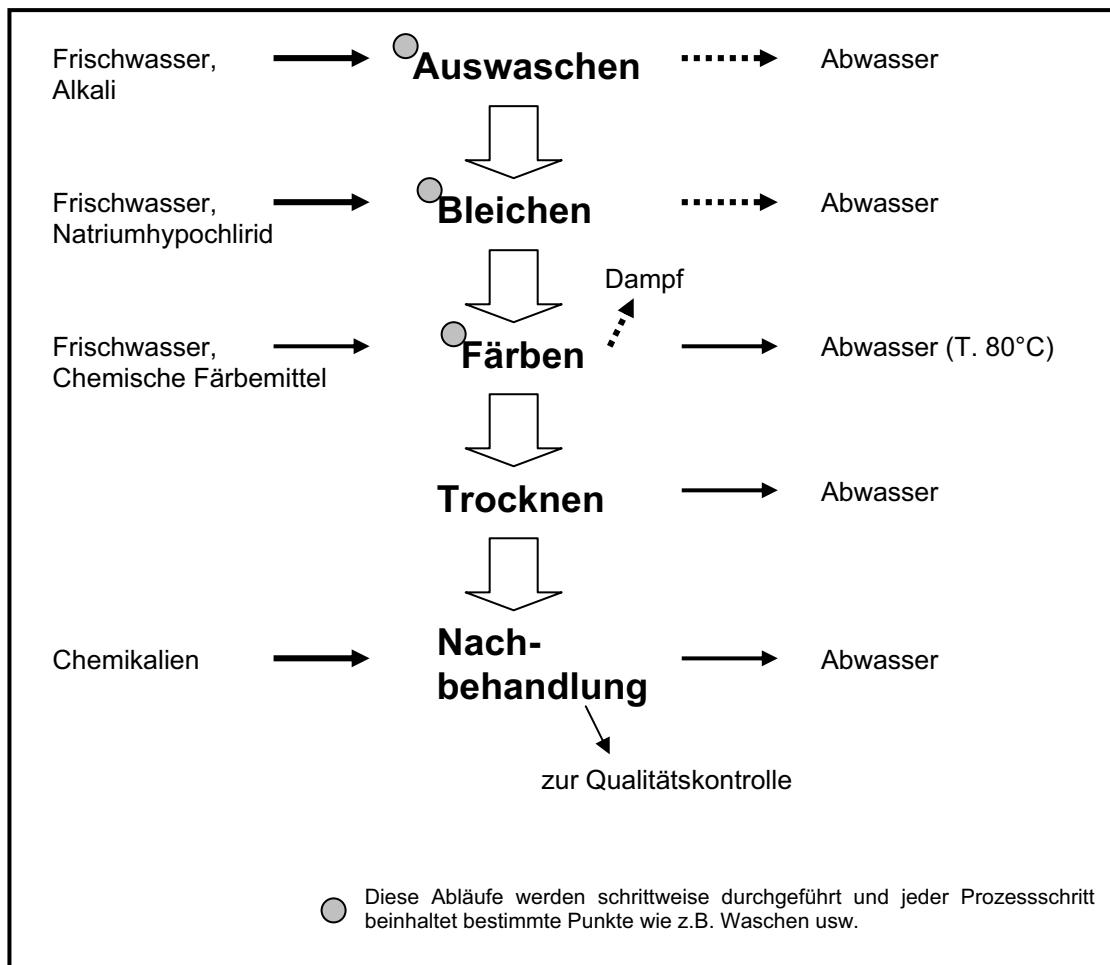


Abbildung 8: Färben

3.2.13 Chemische Reaktionen

Die Geschwindigkeiten aller chemischen Reaktionen sind temperaturabhängig. Die meisten Reaktionen verlaufen unter Abgabe oder Verbrauch von Wärme und müssen daher gekühlt (exotherme Reaktionen) oder geheizt (endotherme Reaktionen) werden. Weiters werden vielfach Einsatzstoffe getrocknet, auf die Reaktionstemperatur vorgewärmt und Produkte abgekühlt.

Typische Anwendungsfelder für Solarthermie sind:

- Biochemie (immer Niedertemperaturprozesse um 37 °C)
- Polymerisationen

3.2.14 Heizung von Industriehallen

Die Beheizung von Industriehallen ist eine der Raumheizung für Wohnungen und Büros vergleichbare industrielle Anwendung von Solarenergie. Von Bedeutung ist sie vor allen deshalb, weil hiermit ein Schritt in Unternehmen gemacht werden kann, der durch erste wirtschaftliche Anwendungen von Solarenergie Bewusstsein schafft. Solare Hallenheizungen sind auch – da meist gut sichtbar – für eine offensive Öffentlichkeitsarbeit für Solarenergie hilfreich.

3.3 Viel versprechende Industriebranchen

Obwohl die oben angeführten Verfahren in praktisch jeder Industriesparte vorkommen, zeichnen sich doch einige Branchen durch ein besonders großes Potential aus.

Aus dem bekannten Endenergieverbrauch der Branchen des produzierenden Bereiches [Statistik Austria 2000] und deren Verteilung auf die Nutzenergie-Kategorien lässt sich gut erkennen, dass es einige Branchen gibt, in denen Hochtemperaturprozesse dominieren (Eisen- und Stahlerzeugung, Glas, Steine und Erde, Metallzeugnisse, NE-Metalle). In diesen Betrieben ist die Versorgung der Niedertemperaturprozesse durch Abwärmenutzung bzw. Wärmerückgewinnung sinnvoller als die Investition in eine zusätzliche, wenn auch CO₂-neutrale Energieversorgung aus Solarenergie.

Aus anderen Prozessen und Branchen mit hohem Energieeinsatz ist bekannt, dass die hohen Durchsätze nur durch große Temperaturunterschiede in den Apparaten zu gewährleisten sind; ein Beispiel dafür sind Papier- und Pappeherstellung.

Die folgende Diskussion bezieht sich daher auf die Branchen, die für die Anwendung von Solarwärme Erfolg versprechend sind.

3.3.1 Lebensmittel

Die meisten Produktionsprozesse der Lebensmittelindustrie (Milchprodukte, Gemüse, Fleisch, Früchte, Bier [Benz 1999], ...) laufen bei Temperaturen unter bzw. um 100 °C ab. Neben vielen Reinigungsprozessen trifft man immer wieder auf Pasteurisieren und Sterilisieren sowie Kochen. Weiters haben Trockenprozesse (Darren) eine große energiewirtschaftliche Relevanz, wie auch Eindampfprozesse. Ein besonders interessanter Anwendungsfall für Solarenergie können Auftauprozesse sein, da sie bei sehr niedrigen Temperaturen stattfinden.

Aus Sicht der Verfahrenstechnik muss man zwischen der Behandlung von flüssigen Produktströmen (Milch, Bier, etc.) und festen Körpern (Dosen, Flaschen, etc.) unterscheiden. Flüssigkeiten sind leichter einem direkten Wärmeaustausch zugänglich und bieten die Möglichkeit von Wärmerückgewinnung. Mit Lebensmitteln in Gebinden ist dies weit schwieriger und ein Hilfsmedium (Luft, Wasser) ist erforderlich (vgl. Abbildung 9).

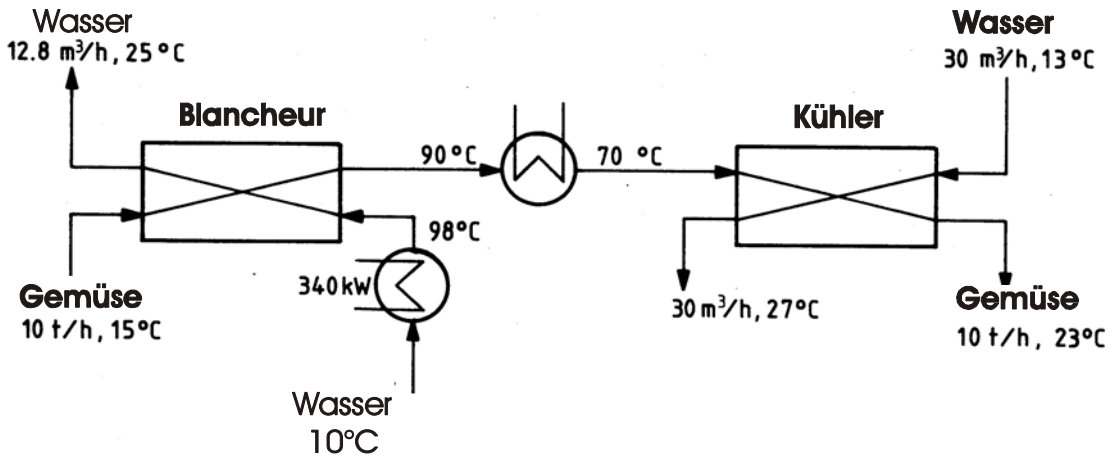


Abbildung 9: Typische Temperaturen, Mengen und Leistungen beim Gemüseblanchieren

3.3.2 Chemie

Es gibt eine Reihe chemischer Produktionsverfahren, die Wärme auf einem relativ geringen Temperaturniveau benötigen. In jedem Fall können erste Vorwärmsschritte, unter Berücksichtigung anderer Energiequellen, solar vorgenommen werden.

Ein Bereich der chemischen Industrie, der ausschließlich im Niedertemperaturbereich arbeitet, ist die pharmazeutische Industrie mit ihren biochemischen Prozessen.

3.3.3 Kunststoffverarbeitung

Nur wenige Kunststoffe haben ihren Schmelzpunkt im Temperaturbereich der Solarwärme. Wärmebedarf im Niedertemperaturbereich besteht aber bei Klebe- und Laminiervorgängen, wo bei erhöhter Temperatur die chemische Reaktion der Aushärtung beschleunigt erfolgt.

3.3.4 Textilindustrie

Die Textilindustrie weist eine Reihe von Prozessen auf, die unter 100 °C ablaufen. Wie in vielen anderen Branchen findet man Waschprozesse (Wolle, Gewebe, etc.), aber auch energieintensive Färbeprozesse und spezielle thermische Behandlungen (fixieren, bügeln, etc.). Den Wasch- und Färbeprozessen folgt meist eine ebenso energieintensive Trocknung mit Spannrahmen.

3.3.5 Baustoffindustrie

In der Baustoffindustrie bieten sich besonders drei Sparten als Nutzer von Solarwärme an: die Ziegelherstellung, die Herstellung von Betonfertigteilen und die Gipsplattenherstellung. Darüber hinaus ist der Wasserverbrauch der Baustoffindustrie beachtlich. Ein Teil dieses Wassers wird warm eingesetzt und ist daher ebenso ein Anwendungsfall für die Solarthermie.

- Betonfertigteile: Eine Vorwärmung des Wassers bei der Herstellung von Betonfertigteilen beschleunigt den Aushärtevorgang und verringert somit die erforderlichen Lagerflächen.
- Zur Herstellung von Gipsplatten wird Gipspulver mit Füllstoffen und Wasser vermengt und auf einem umlaufenden Band zwischen zwei Kartonschichten zum Aushärten gebracht. Nach dem Ablängen wird in einem Trockner das überschüssige Wasser, das nicht für die Hydratisierung benötigt wurde, ausgedampft. Gipsplatten mit einer Trocknungstemperatur von 110 °C erfordern zumindest Mitteltemperaturkollektoren.
- In der Ziegelindustrie kommt der eigentliche Brennvorgang für die Solarwärme nicht infrage. Die Beschleunigung des Abbindevorganges bei der Trocknung der Ziegelmasse nach der Formung und vor dem Brennen ist aber ein interessantes Einsatzgebiet für die Solarthermie.

3.3.6 Gewerbebetriebe

Eine Reihe von Gewerbebetrieben benötigt Warmwasser in beachtlichen Mengen. In vielen Fällen muss gereinigt oder getrocknet werden. Beispiele für Anwendungen von Solarenergie sind:

- Autowaschanlagen
- Trockenkammern von Lackieranlagen
- Wäschereien
- Holztrocknung bei Sägewerken
- Oberflächenreinigung von Metallteilen vor dem Lackieren, Galvanisieren, Emailieren, ... bei Lohnverarbeitern

Darüber hinaus haben viele Gewerbebetriebe einen Warmwasserbedarf für Raumheizung unter „haushaltsähnlichen“ Bedingungen (Friseure, Tischler, etc.).

3.4 Konkurrierende Technologien

Wann immer an den Einsatz von Solarthermie in der Industrie und im produzierenden Gewerbe gedacht wird, müssen alle möglichen prozesstechnischen Hemmnisse ermittelt und berücksichtigt werden. Eine detaillierte Energieanalyse von Produktionsanlagen wird meist auch andere Möglichkeiten der Verbesserung der Energieeffizienz erbringen. Daher ist es unumgänglich, den Vergleich nicht nur mit dem bestehenden Energiesystem vorzunehmen, sondern auch mit anderen möglichen Alternativen.

Der Vergleich wird in erster Linie über wirtschaftliche Parameter erfolgen, andere Entscheidungskriterien wie Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit sollten aber nicht vergessen werden.

3.4.1 Energieeffizienz

Da die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen hauptsächlich durch die Investitionskosten bestimmt ist, sollte vor einer Auslegung der tatsächliche Wärmebedarf unter Berücksichtigung möglicher Einsparungen ermittelt werden. Die Isolierung von Rohrleitungen und anderen warmen Oberflächen ist in vielen Betrieben ein zwar offensichtliches, aber vielfach unterschätztes Einsparpotential. Ebenso ist die Regeltechnik auf ihre Energieeffizienz hin zu überprüfen.

3.4.2 Neue Technologien

Neue Produktionstechnologien vermindern sehr oft den Wärmebedarf auf Kosten eines erhöhten Stromesatzes. Vielfach ist diese Entwicklung durch Unternehmen nicht oder kaum beeinflussbar, wie die Entwicklung der Digitalfotografie zeigt. Diese hat einen wesentlichen Einfluss auf den Wasser- und Energieverbrauch bei der Bilderentwicklung.

Weitere neue Technologien mit starken Auswirkungen auf den betrieblichen Energieverbrauch sind:

- Membrananlagen statt Eindampfung
- Mikrowellen-Heizungen statt Dampf
- Sterilisation mittels UV statt Hitze
- Entkeimung über Membranen statt Wärmepasteurisierung
- Ultraschallreinigung bei niedrigeren Temperaturen
- Biotechnologie statt klassischer Chemie
- selbstreinigende Oberflächen
- **Membrananlagen statt Eindampfung:**

Membranverfahren benötigen Energie nur, um Flüssigkeiten durch das System zu pumpen. Erwärmen und Verdampfen der Flüssigkeit sind damit nicht mehr notwendig

- **Mikrowellen-Heizungen statt Dampf:**

Das Prinzip des Mikrowellen (MW)-Heizens besteht in der Umwandlung der Energie eines Wechselstrom-Elektromagnetfeldes in thermische Energie durch Beeinflussung der polaren Moleküle eines Materials.

Der Hauptvorteil der Mikrowellen gegenüber konventionellen Heizmethoden besteht im gleichzeitigen Aufheizen eines Materials über sein gesamtes Volumen. Unter all den Arten zu heizen ist dielektrisches Heizen (d.h. Heizen mittels Hochfrequenzstrahlung, unter anderem Mikrowellen) die einzige, die höhere Temperaturen im Inneren eines Gegenstandes erzeugen kann als auf seiner Oberfläche. Andere wesentliche Vorteile sind Geschwindigkeit, homogene Temperaturverteilung und Absorption von beinahe der gesamten MW-Energie durch das aufgeheizte Material. Die ausgezeichnete Homogenität der Temperaturverteilung, schnelles Erreichen der Prozesstemperatur im gesamten Volumen, genaue Temperaturkontrolle und hohe Energieeffizienz sind typisch für MW-Heizen, und können von anderen Heiztechnologien normalerweise nicht erreicht werden.

Materialien, die am besten für MW-Heizen geeignet sind, sind solche mit hohem Verlustfaktor, wie z.B. Wasser oder andere polare Moleküle, z.B. Salze, Kohlenstoff usw., auch wenn diese nur in geringen Mengen enthalten sind. Materialien ohne elektrische Ladung aufgrund von Dipolen, wie z.B. viele Kunststoffe, reagieren nicht auf Mikrowellen.

- **Sterilisation mittels UV statt Hitze**

- **Entkeimung über Membranen statt Wärmepasteurisierung:**

Umkehrosmose ist ein Aufkonzentrationsprozess durch Filtration. Mittels elektrischer Energie werden Pumpen angetrieben, die die Flüssigkeit durch eine Membran treiben und gelöste Stoffe zurückhalten. Das größte umweltrelevante Problem hierbei stellt der sehr hohe Energieverbrauch zur Überwindung des osmotischen Drucks dar.

- **Ultraschall-Reinigung bei niedrigeren Temperaturen**

- **Intelligente biotechnologische Produktionsprozesse anstelle von energiefressenden chemischen Verfahren**

- **Selbstreinigende Oberflächen:**

Es werden weniger Reinigungsmittel und Heißwasser für die Oberflächenreinigung benötigt.

3.4.3 Wärme-Kraft-Kopplung

Die gekoppelte Herstellung von Wärme und Kraft ist energetisch gesehen immer der getrennten Erzeugung vorzuziehen. In großen Industrieanlagen findet man Dampfkraftwerke, in denen Kraft (Strom) und Wärme (Dampf) über Kesselanlagen und Dampfturbinen gekoppelt hergestellt wird. Diese Anlagen sind für die Mehrheit der Unternehmen wegen der erforderlichen Mindestgröße nicht geeignet. Für kleinere Betriebe bieten sich daher folgende technologische Möglichkeiten an:

- Gasturbinen für 1 bis 5 MW
- Gasmotoren (BHKW, Blockheizkraftwerke) bis 2 MW
- Dampfmotoren

Daneben können in Zukunft verstärkt Stirlinganlagen, ORC-Anlagen und Brennstoffzellen eingesetzt werden.

Besonders Gasmotoren stellen Wärme auch nur im Temperaturbereich unter 90 °C zur Verfügung, decken also denselben Temperaturbereich ab wie die Solarwärme. Viele Betriebe setzen ihre ohnedies vorhandenen Notstromaggregate verstärkt im Normalbetrieb ein, um Stromverbrauchsspitzen zu kappen. Wie für alle

Energiesysteme gilt auch für die gekoppelt hergestellte Wärme der Grundsatz, dass sie nur über der Pinch-Temperatur eingesetzt werden darf.

3.4.4 Wärmepumpen

Wärmepumpen sind dann besonders effizient, wenn sie Kühlung und Heizung gleichzeitig bereit stellen (die Abwärmenutzung von Kühl- und Klimaanlage ist ein Beispiel hierfür). Die übliche Bauweise der Kompressionswärmepumpen vermindert den Bedarf an Wärmeenergie auf Kosten eines erhöhten Stromesinsatzes. Absorptionswärmepumpen sind noch nicht weit verbreitet, bieten aber die Möglichkeit einer erhöhten Energieeffizienz ohne gestiegenen Stromverbrauch. Absorptionswärmepumpen können, bei tieferen Temperaturen als Absorptionskühlmaschinen betrieben, als Antrieb Solarthermie verwenden.

Entsprechend den thermodynamischen Grundlagen der Pinch-Theorie müssen Wärmepumpen quer über dem Pinch lokalisiert werden, also unter dem Pinch kühlen und über dem Pinch heizen.

3.4.5 Wärme-Upgrading-Systeme

- **Thermo-Kompressoren** machen die Verwendung von niedriger Energie möglich, indem sie die im Höherdruck-Dampf enthaltene thermische Energie in Verbindung mit den Dämpfen nützen.
Diese Technologie ist bedeutend für Produktionsverfahren wie z.B. Zucker- und Nahrungsmittelerzeugung, Molkereien, Chemikalien und Petrochemikalien.
- **Dampf-Absorptions-Kühlsysteme:** Durch Verwendung von Dampf oder durch Anzapfen von Abgasströmen mit niedrigem Energieinhalt (150–250°C) wird in einem Absorptions-Kreislauf, mittels Lithiumbromid oder Ammoniak, Kühlung erzeugt.
- **Thermische Energie-Räder:** Energieräder sind kompakt und nicht nur zur Wiedergewinnung von Wärme aus zentral beheizten und gekühlten Gebäuden geeignet, sondern auch zur Wärmewiedergewinnung aus Dampfkesseln und Öfen bei hohen Temperaturen.
- **Kondensations-Wärmetauscher:** Diese Technologie entzieht dem Wasserdampf in Abgasen aus Dampfkesseln und Öfen nicht nur seine Eigenwärme, sondern auch die latente Wärme. Kondensations-Wärmetauscher bestehen aus teflonbeschichteten, säurefesten Wärmetauscher-Oberflächen und lassen das Abgas fast bis zur Umgebungstemperatur abkühlen, womit die Effizienz der Dampfkessel wesentlich gesteigert wird – bis zu 92 % im Fall von Öl- und Gasfeuerung.

3.5 Analysemethode zur Ermittlung von Energieeffizienzpotentialen – Wärmeintegration

In vielen Produktionsprozessen steht dem Wärmebedarf ein Angebot an Abwärme gegenüber. Die Nutzung der Abwärme bietet den Vorteil, dass das Angebot mit dem Bedarf weitgehend konform geht. Bei der Wärmerückgewinnung muss darauf geachtet werden, dass die Energie auf einem möglichst hohen Temperaturniveau wieder genutzt wird. Die energietechnisch korrekte Vorgangsweise bei der Planung von Wärmetauscher-Netzwerken beschreibt die Pinch-Theorie [Ferner, Schnitzer, 1990]. Diese teilt die Produktionsanlagen in einen kälteren Teil, der einen Wärmeüberschuss aufweist und somit Kühlbedarf hat, und einen heißeren, der einen Wärmebedarf hat. Dies geschieht durch eine thermodynamische Addition der Ströme in einem Energie-Temperaturdiagramm wie es Abbildung 10 veranschaulicht.

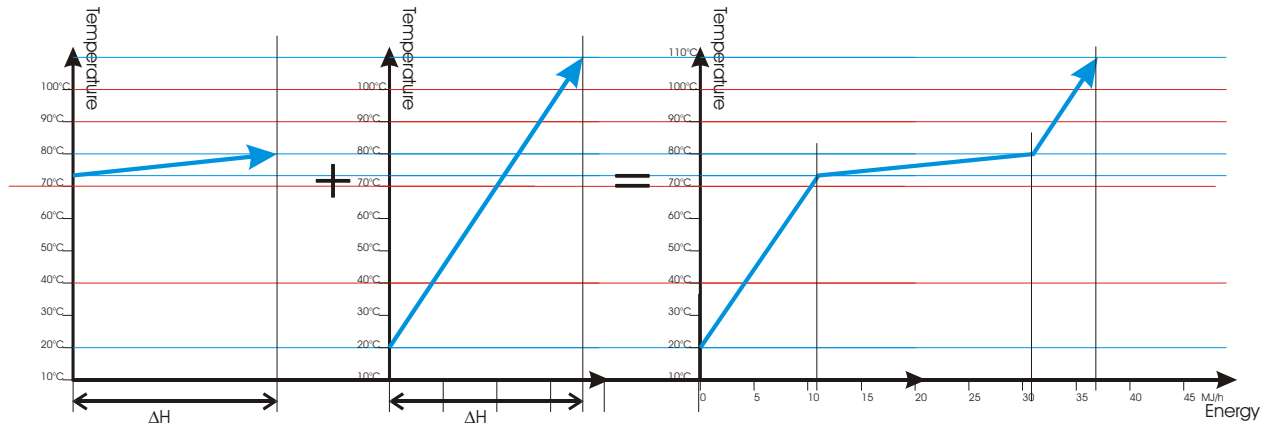


Abbildung 10: Thermodynamische Addition von Energieströmen (zu erwärmende Ströme)

3.5.1 Die Kompositkurven

Analog zu den kalten Strömen, also den Strömen, die aufgeheizt werden müssen, kann man auch die heißen, zu kühlenden Ströme nach derselben Methode addieren. Stellt man die beiden so erhaltenen Kompositkurven in einem Diagramm zusammen dar, so erhält man Abbildung 11. Dabei ist darauf zu achten, dass die heißen Ströme möglichst auf der ganzen Länge der Kompositkurven über den kalten Strömen zu liegen kommen. Aus dieser Kurve lassen sich einige wichtige grundlegende Aussagen für den Gesamtprozess ablesen.

Die Stelle, an der die beiden Kompositkurven sich am nächsten kommen, ist der Pinch-Punkt. Dieser stellt den thermodynamischen Flaschenhals des Systems dar. Die Lage dieses Punktes ist verschiebbar, da wie oben beschrieben die Kurven entlang der Energie-Achse verschiebbar sind. Durch dieses Verschieben ergeben sich verschiedene obere und untere Pinch-Temperaturen. Die Temperaturdifferenz ΔT_{\min} zwischen der oberen und der unteren Pinch-Temperatur wird nach der Pinch-Methode meist durch Optimierungen auf eine optimale Wirtschaftlichkeit festgelegt, es kann aber auch z.B. auf die geringste Wärmetauscherfläche optimiert werden. Die Differenz zwischen oberer und unterer Pinch-Temperatur entspricht der Temperaturdifferenz in den Wärmetauschern. Je nach Anwendung haben sich in der Praxis die folgenden Temperaturdifferenzen bewährt (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Erfahrungswerte für die Differenz ΔT_{\min} zwischen oberer und unterer Pinch-Temperatur (Linnhoff March, 1998)

Anwendung	Erfahrungswerte ΔT_{\min}
Öl Raffinerien	20–40 °C
Petrochemie	10–20 °C
Chemische Industrie	10–20 °C
Niedertemperaturprozesse	3–5 °C

Eine weitere wichtige Aussage, die aus dem Diagramm in Abbildung 11 gewonnen werden kann, ist die Energiemenge, die prinzipiell intern zwischen warmen und kalten Strömen ausgetauscht werden kann. Dies ist der Bereich, in dem sich die beiden Kurven überlappen. Der Überhang der heißen Kurve über die kalte Kurve im linken Bereich des Diagramms ergibt den minimalen Kühlbedarf, der Überhang der kalten Kurve den minimalen Heizbedarf des betrachteten Prozesses.

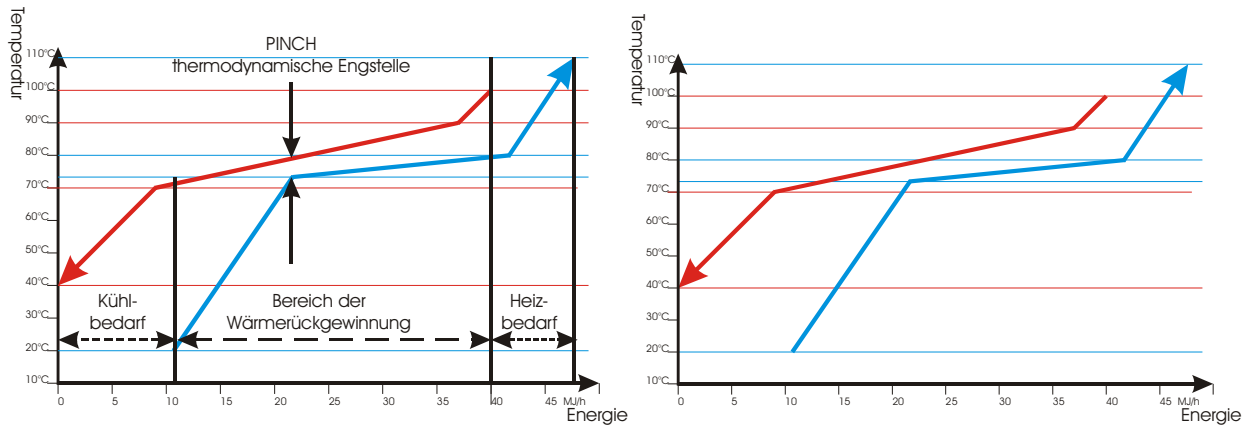


Abbildung 11: Kombination der kalten und heißen Kompositkurve zu einem Diagramm. Aus diesem Diagramm kann der minimale theoretische Kühlbedarf, der minimale theoretische Heizbedarf und die maximal für eine interne Wärmerückgewinnung zur Verfügung stehende Energiemenge abgelesen werden.

Für die Konstruktion eines optimierten Wärmetauschernetzwerkes nach der Pinch-Methode müssen drei elementare Regeln eingehalten werden, um die energetisch günstigste Lösung zu erhalten:

1. keine zusätzliche Kühlung oberhalb des Pinch
2. keine zusätzliche Heizung unterhalb des Pinch
3. kein Wärmetransfer über den Pinch

Aus dieser Darstellung lassen sich die wesentlichen Aussagen über die Größe der möglichen Wärmerückgewinnung und den externen Wärmebedarf treffen. Getrennt werden diese Teile durch den „Pinch“, den thermodynamischen Flaschenhals.

Unter dem Pinch besteht ein Überschuss an Energie, oberhalb ein Mangel. Folglich darf nur über der Pinch-Temperatur Energie von außen zugeführt werden. Aus Abbildung 11 ist neben der Größe der möglichen internen Energierückgewinnung auch der externe Heizbedarf und der externe Kühlbedarf ersichtlich. Die Annäherung der beiden Kurven am Pinch wird durch die dort auftretende minimale Temperaturdifferenz ΔT_{\min} bestimmt, die sich aus einer wirtschaftlichen Optimierung ergibt, aber bei Niedertemperaturprozessen meist bei 5 bis 10°C liegt.

In der Praxis werden die optimalen Werte nie erreicht, da viele Prozessströme schwierig zu handhaben sind (verschmutzt, korrosiv, große Volumina, schlechte Örtlichkeiten, etc.), aber die Pinch-Analyse gibt einen Einblick in die Möglichkeiten.

3.5.2 Wirtschaftliche Optimierungen

Die genaue Lage des Pinch und damit die Differenz zwischen oberer und unterer Pinch-Temperatur ist nicht fix vorgegeben, sondern ergibt sich aus einer Optimierung nach folgenden Überlegungen.

Die zwischen kalten und heißen Strömen austauschbare Energiemenge hängt von den Flächen der Wärmetauscher ab und wird maximal bei unendlichen Wärmetauscherflächen entsprechend einer Temperaturdifferenz von 0° C. Hier ist dann auch die von Außen zuzuführende Hilfsenergie für Kühlen und Heizen minimal. Dies ist natürlich in der Praxis nicht möglich, man wird also einen Kompromiss finden zwischen Wärmetauscherfläche (Investitionskosten) und der benötigten Heiz- bzw. Kühlleistung (Betriebskosten). Je größer die Wärmetauscherfläche, desto geringer ist die Temperaturdifferenz ΔT_{\min} , desto größer ist die intern austauschbare Energiemenge und desto kleiner die benötigten Hilfsenergien für Kühlen und Heizen. Dies zeigt 12.

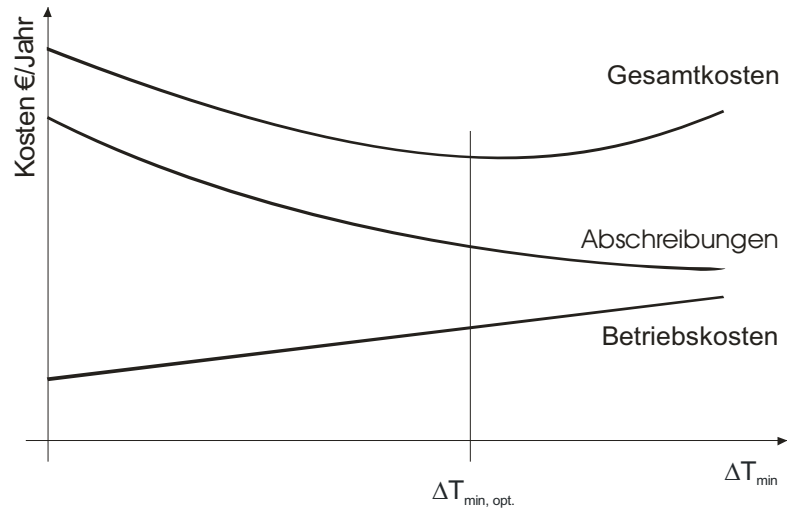


Abbildung 12: Abschreibung der Investitionskosten und Energiekosten erlauben die Bestimmung einer optimalen Temperaturdifferenz ΔT_{\min}

3.5.3 Die „Grand Composite Curve“ GCC

Aus den Kompositkurven kann der minimale Heiz- und Kühlbedarf und die intern austauschbare Energiemenge ermittelt werden. Nicht immer muss allerdings der gesamte Heizbedarf am höchsten Temperaturniveau zur Verfügung gestellt werden. In welchen Temperaturbereichen der interne Wärmeaustausch erfolgen kann, ist aus Abbildung 11 nicht unmittelbar ersichtlich. Aus diesem Grund wurde ein weiteres grafisches Werkzeug entwickelt, die „Grand Composite Curve (GCC)“. Diese erhält man grafisch, indem man die kalte Kompositkurven um $\frac{1}{2} \Delta T_{\min}$ nach oben, die heiße um $\frac{1}{2} \Delta T_{\min}$ nach unten verschiebt (siehe Abbildung 13 a)). Sodann werden Punkt für Punkt entlang der Energieachse die heiße von der kalten Kurve subtrahiert und der so erhaltene Wert in einem Diagramm (Abbildung 13 b)) aufgetragen.

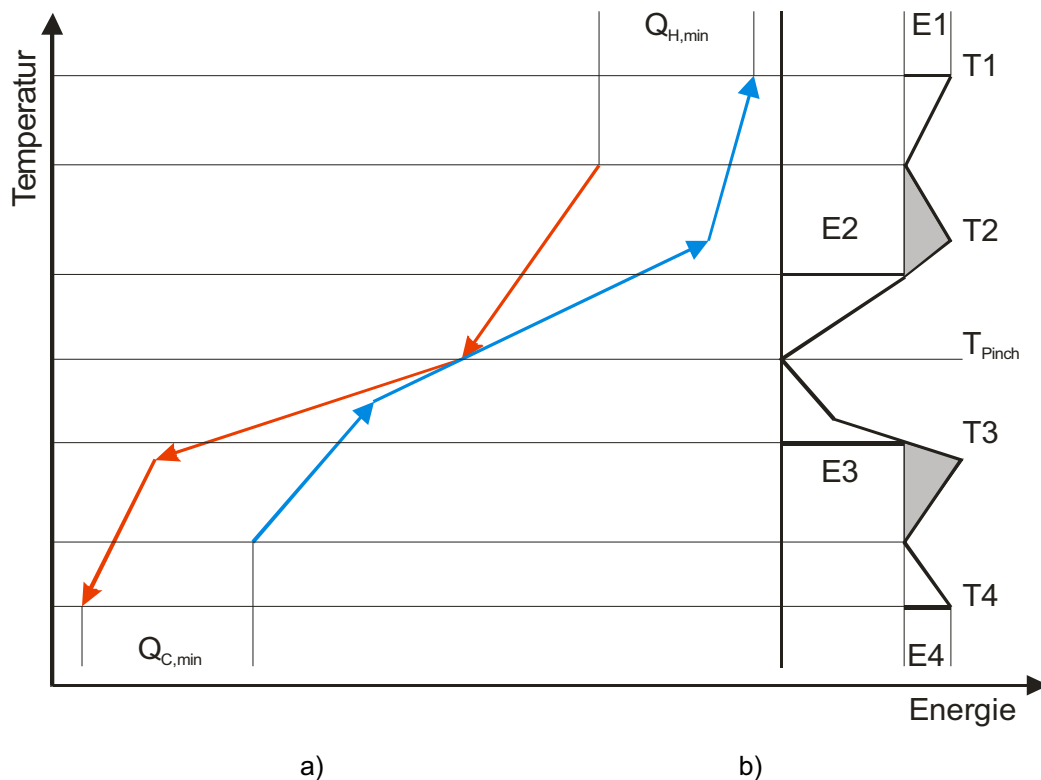


Abbildung 13: Die „Grand Composite Curve (GCC)“. Aus der GCC kann abgelesen werden, bei welchen Temperaturniveaus welche Energiemenge dem Prozess zu- oder abgeführt werden muss.

Was kann nun aus der GCC abgelesen werden. Oberhalb der Pinch-Temperatur T_{Pinch} hat der Prozess einen Heizbedarf. Wie aus der GCC (Abbildung 13 b)) ersichtlich, muss nicht die ganze Heizung bei der Temperatur T1 erfolgen, der Betrag E2 kann bereits bei der Temperatur E2 zugeführt werden und nur der fehlende Anteil E1 benötigt die Temperatur T1. Analoge Überlegungen können für den kalten Teil angestellt werden. Ein Teil der Kühlung (E3) kann bereits mit der Temperatur T3 erfolgen, nur der Rest (E4) braucht die Temperatur T4. Im Allgemeinen sind die weniger „extremen“ Temperaturniveaus T2 und T3 kostengünstiger zu erzeugen (z.B.: Quellwasser statt Eiswasser für die Kühlung, Warmwasser statt Dampf für die Heizung). Auch für den Einsatz von Solarenergie sind diese Überlegungen wichtig, da das Temperaturniveau T2 fast immer durch Solarkollektoren zu erreichen sein wird.

Weiters sind die beiden grauen Flächen in der GCC in Abbildung 13 b jene Bereiche, in denen eine interne Wärmerückgewinnung erfolgen kann.

3.5.4 Integration von thermischer Solarenergie

Für die Integration von thermischer Solarenergie in die Pinch-Methode gibt es im Prinzip zwei Möglichkeiten.

Die erste ist die Betrachtung der von der Sonne bereitgestellten Energie als eine zusätzliche Wärmehilfsquelle. Ein zusätzlicher solarer Wärmestrom taucht hier nicht extra in den Strombezeichnungen der Pinch-Methode auf, sondern ergänzt oder ersetzt die Hilfsenergie zur Erhitzung der Prozessströme. Kompositkurven und GCC bleiben gleich wie beim Grundprozess. (siehe Abbildung 14)

Im zweiten Fall wird ein zusätzlicher Prozessstrom für die solare Energie in die Betrachtungen eingeführt. Dies ist ein heißer Strom, dessen Durchflussmenge und Temperaturniveaus durch das Kollektorfeld gegeben werden. Dies ändert natürlich die heiße Kompositkurve und damit die GCC des Grundprozesses. (siehe Abbildung 15)

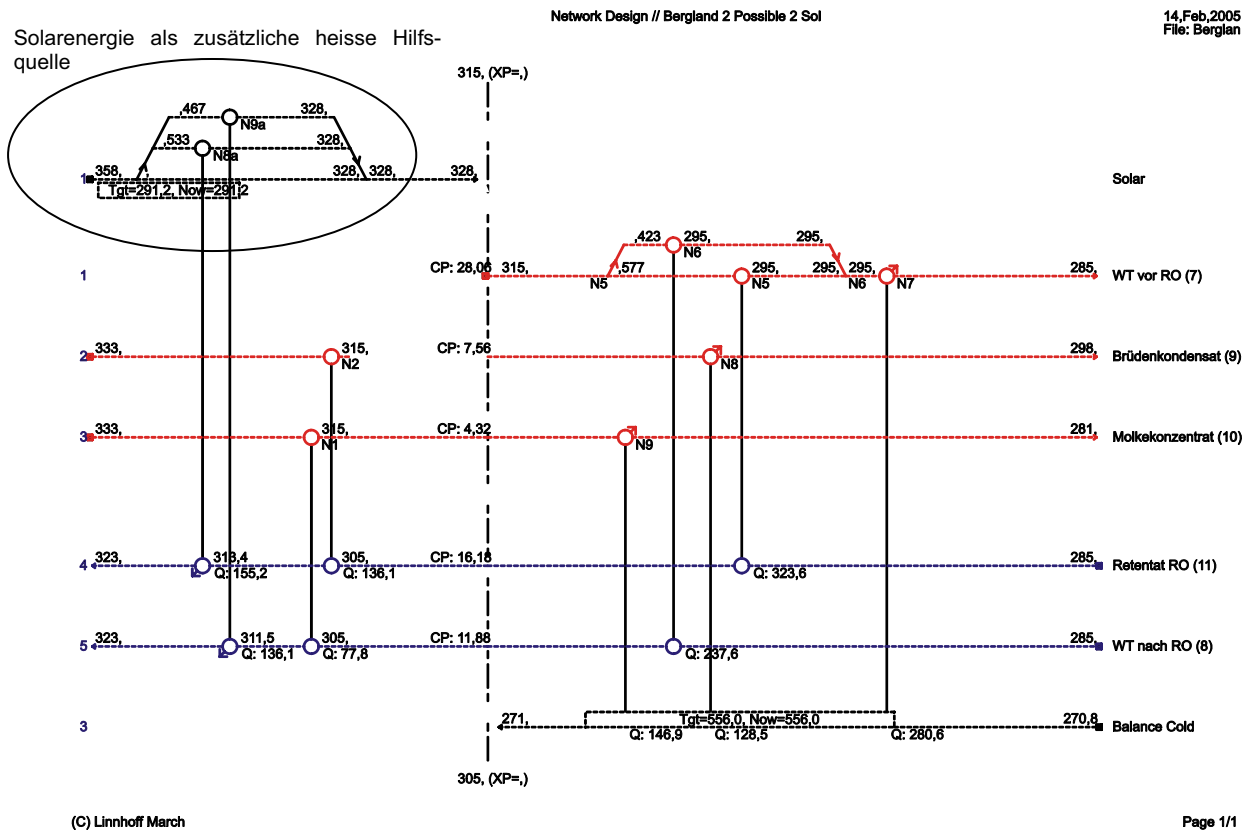


Abbildung 14: Beispiel eines mit Hilfe der Pinch-Methode konstruierten Wärmetauschernetzwerkes. In diesem Beispiel wurde ein Solarkollektorfeld als zusätzliche Utility eingeführt. Die Berechnungen erfolgten mit dem Programm SuperTarget von KBC Process Technology Ltd.

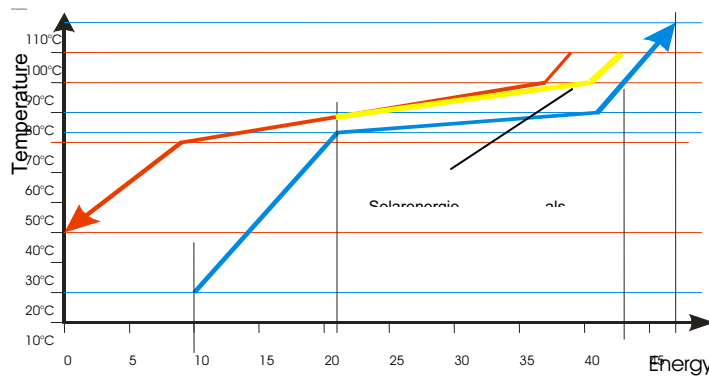


Abbildung 15: Integration von thermischer Solarenergie als zusätzlicher Wärmestrom

Bei den genauen Analysen der Fallbeispiele hat sich herausgestellt, dass die Integration der Solaranlage als Utility in das Wärmetauschernetzwerk nicht zielführend und hilfreich ist. Ebenso hat die Integration der Solarenergie als zusätzlicher Wärmestrom nicht zu dem gewünschten Erfolg geführt, da durch die nicht konstante Wärmezufuhr aufgrund der unterschiedlichen Intensität der Sonnenstrahlung eine ständige Änderung der Prozessströme notwendig wäre.

3.5.5 Berechnungen und Konstruktion des Wärmetauschernetzwerkes

Die Basis für die Berechnungen sind die Stromdaten wie Durchflussmenge und Temperaturniveaus. Die Berechnungen sind sehr umfangreich, vor allem die ökonomischen Optimierungen für die Bestimmung der optimalen Temperaturdifferenz ΔT_{\min} sind rechenintensiv.

Hat man die Stromdaten und ΔT_{\min} ermittelt, so kann das Wärmetauschernetzwerk konstruiert werden. Man beginnt hier direkt am Pinch und geht nach einigen Regeln (siehe Tabelle 6) vor:

Tabelle 6: Pinch

Oberhalb des Pinch

$$m_{C_{P,Kj}} \geq m_{C_{P,Hi}}$$

$$n_K \geq n_H$$

Unterhalb des Pinch

$$m_{C_{P,Hi}} \geq m_{C_{P,Kj}}$$

$$n_H \geq n_K$$

Hierbei steht K_j für kalte und H_i für heiße Ströme, die potentiell mit Wärmetauschern verbunden werden können, n ist die Gesamtanzahl der Ströme. Mit diesen Randbedingungen und den allgemeinen Regeln für die Pinch-Methode ergeben sich in der Regel mehrere gleichwertige Wärmetauschernetzwerke.

Die Berechnungen sind meist sehr umfangreich und werden mit speziellen Programmen durchgeführt. Diese Computerprogramme unterscheiden sich im Umfang der berechenbaren Ströme, den Datenbanken für Wärmetauscher, den Automatisierungen zur Konstruktion der Wärmetauschernetzwerke und dem Komfort in der Bedienung. Dementsprechend groß ist die Preisspanne, die von Freeware (HINT) bis zu teuren Profiprogrammen (SuperTarget) reicht. Ein Beispiel für ein mit SuperTarget berechnetes Wärmetauschernetzwerk zeigt Abbildung 14.

3.6 Mögliche Anwendung von Solartechnologie in Brauereien

Die Möglichkeit der Wärmeintegration soll hier durch das Beispiel einer Großbrauerei und einer kleinen Hausbrauerei dargestellt werden. Die zwei untersuchten Produktionsprozesse haben komplett verschiedene Produktionssysteme. In einem ersten Schritt wurden die Daten für Material- und Energieströme zusammengetragen und die Energieströme unter Berücksichtigung des Parameters Zeit berechnet.

Bierbrauen ist ein typischer diskontinuierlicher Prozess und daher müssen Informationen über die Zeitabläufe für die Produktion und die Simultaneität von Prozessen ermittelt werden. Danach wurde mittels eines Pinch-Programms, in das die berechneten Werte für die Energieströme eingegeben wurden, eine Kompositkurve erhalten, die den Heiz- und Kühlbedarf bei verschiedenen Temperaturbereichen zeigt. Bevor die Wärmetauscher mit einbezogen wurden, wurde eine Masse-Sankey-Diagramm mit einer Zeitskala gezeichnet, um den Massenfluss gegen die Zeit darzustellen. Die Kombination dieses Sankey- und des Pinch-Programms, zeigte dann die Möglichkeiten auf, Wärmetauscher einzubauen.

3.6.1 Großbrauerei

Der Großbrauerei-Prozess teilt sich in 3 verschiedene Abschnitte auf: erstens das Sudhaus und die Würze-Produktion, zweitens die Fermentation und kühle Lagerung und schließlich das System zur Flaschen-Reinigung.

Für den Fermentationsprozess wurden die Daten eines spezifischen Brauvorgangs hinzugezogen, da es nicht leicht ist, den allgemeinen Kühlbedarf während der Fermentation des Bieres zu ermitteln, weil verschiedene Prozesse und Temperaturen im Spiel sind.

Sudhaus und Würze-Produktion

Folgende Abbildung 16 zeigt die Massen-Werte mit einer Zeitskala in einem Sankey-Diagramm für das Sudhaus selbst, bevor das Bier zur weiteren Fermentation in die kühle Lagerung gelangt. Der diskontinuierliche Prozess ist klar erkennbar. Das Maischen wird in zwei Prozesslinien durchgeführt, wobei Teile des Stroms unterschiedlich behandelt, vermischt und dann für die spezielle Behandlung wieder getrennt werden. Am Schluss, wenn die Maische in den nächsten Kessel gepumpt wird, um den flüssigen Anteil von der Biomasse abzutrennen, werden die Ströme wieder vereint.

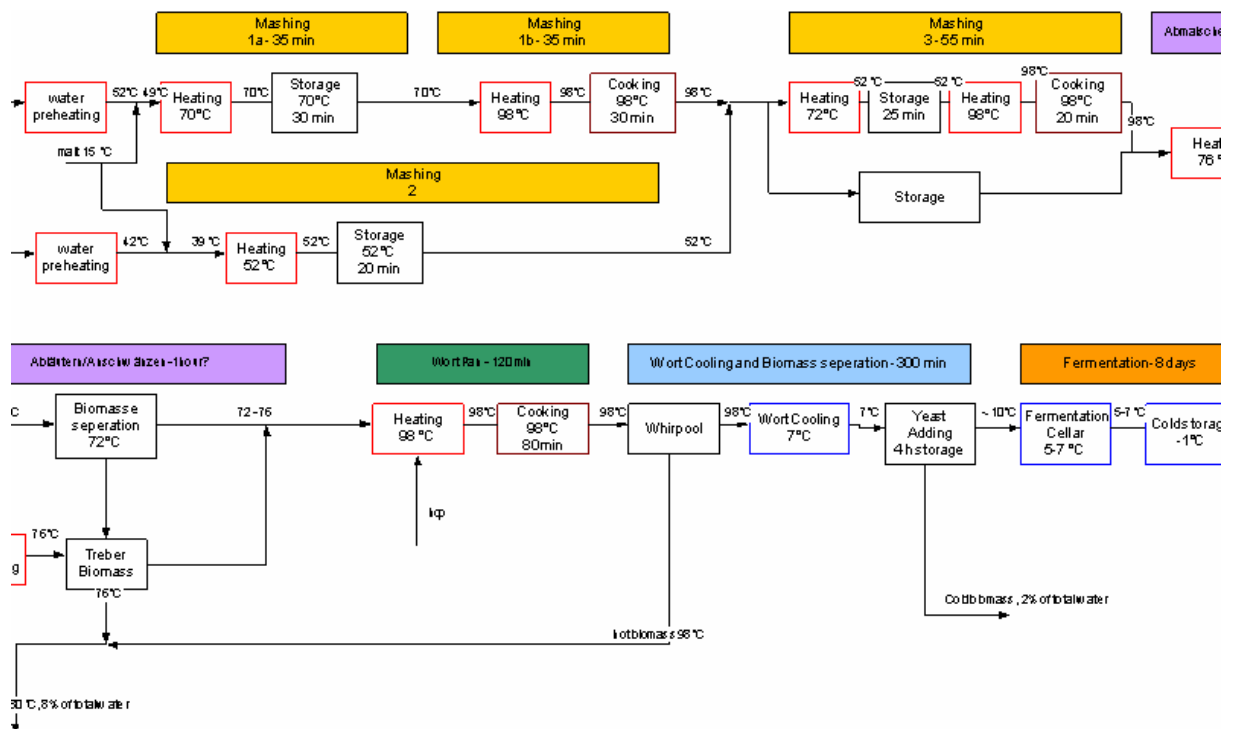


Abbildung 16: Sankey-Diagramm für Sudhaus

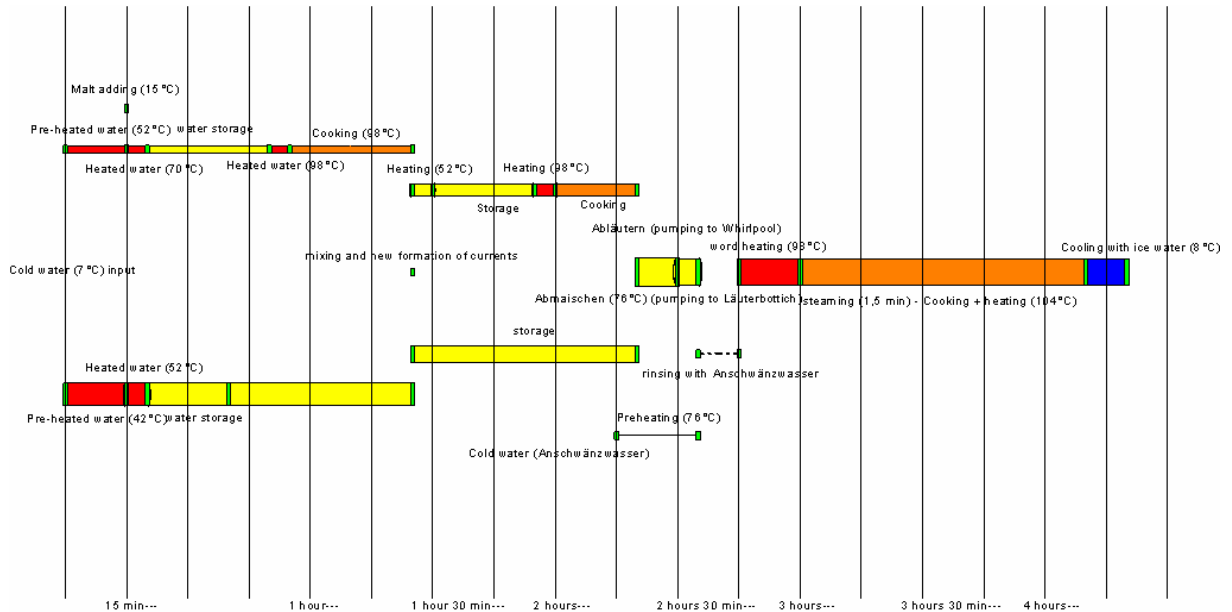


Abbildung 17: Massenströme mit Zeitskala und Temperaturen (Vorheizen des Wassers Läuterbottich)

Daraus ist ersichtlich, dass es wesentlich ist, die Anzahl der Vorgänge, die zugleich oder zeitversetzt ablaufen, zu berücksichtigen.

Im besprochenen Sudhaus existiert nur ein Kessel, in dem die meisten Prozesse während des Maischens und der Würze-Produktion ablaufen. Trotzdem ist die Kapazität für die nachfolgende Lagerung viel größer.

Daher können die Prozesse, die in Abbildung 17 zu sehen sind, nur diskontinuierlich ablaufen, aber in der Zeitverzögerung muss der nachfolgende Zeitplan für die Lagerung nicht berücksichtigt werden.

Folglich kann eine Brau-Charge gleich danach starten, wenn die vorhergehende in die Maische-Kühlung gelangt. Wärmerückgewinnung zwischen dem Kühlbedarf in der Maische-Kühlung und dem Heizbedarf für den Input von heißem Prozesswasser, wurde vor einigen Jahren erfolgreich in der Firma implementiert.

Um die Wärmerückgewinnung möglichst sicher zu gestalten, wird das vorgewärmte Wasser zuerst in Puffer-Tanks gespeichert, bevor es dann mit Dampf zur Zieltemperatur aufgeheizt wird. Dieses heiße Wasser wird dann direkt im Prozess verwendet, womit der Prozess sogar noch effektiver wird. Der Großteil des Heißwassers wird mit Kaltwasser gemischt, um den nötigen Massenfluss zu erreichen, und wird dann von der Mischungstemperatur auf die Zieltemperatur aufgeheizt.

Das System zur Flaschenreinigung

Die Brauerei hat ein großangelegtes System zum Flaschenreinigen und -abfüllen, wobei die Flaschen mit Wasser gereinigt werden, das durch Dampf aufgeheizt wird.

Vor der Abfüllung wird das Bier für kurze Zeit stark erhitzt und dann durch Vermischen mit kaltem Bier wieder abgekühlt. Wenn man diesen Bereich als Black Box betrachtet, erhitzt der verbleibende Wärmebedarf Wasser von 70 auf 72,9 °C innerhalb sehr kurzer Zeit.

Der nachfolgende Kernreinigungsprozess hat einen sehr hohen Wasserverbrauch und benötigt 0,6 l Wasserinput pro Liter Bier, das entspricht etwa 5 m³/h und 400 kW.

Das Wasser wird vom Dampf oft auf bis zu 90 °C erhitzt. Das Heißwasser wird dann zum Vorwärmen der kalten Flaschen verwendet und verlässt den Prozess am Ende mit einer Temperatur von 35 °C.

Die Pinch-Berechnung

Als erstes muss gesagt werden, dass die Zeit, die für Aufwärmen und Abkühlen des Prozesswassers zur Verfügung steht, in manchen Fällen abgeschätzt werden muss. Daher kann das Resultat des Wärme- und Kühlbedarfs in kW über die Zeit beträchtlich variieren.

Die Ströme in der untenstehenden Tabelle 7 wurden in ein Pinch-Programm eingetragen.

Tabelle 7: Wärmetauscherrelevante Ströme

Strom	Beschreibung	Art	Wärme- Art	T1 (K)	T2 (K)	H (kW)	m·cp(kW·K)
1	Wasser Vorheizen Maischen 1	Kalt	Sensibel	7.	52.	617.	13.7111
2	Aufheizen Maischen 1 a	Kalt	Sensibel	49.	70.	863.	41.0952
3	Aufheizen Maischen 1b	Kalt	Sensibel	70.	98.	1151.	41.1071
4	Kochen Maischen 1b 2%	Kalt	Latent	98.	98.	83.	-1.
5	Wasser Vorheizen Maischen 2	Kalt	Sensibel	7.	42.	1599.	45.6857
6	Aufheizen Maischen 2	Kalt	Sensibel	39.	52.	1781.	137.
7	Aufheizen 1 Maischen 3	Kalt	Sensibel	62.6	72.	677.	72.0213
8	Aufheizen 2 Maischen 3	Kalt	Sensibel	72.	98.	1873.	72.0385
9	Kochen 2 % Maischen 3	Kalt	Latent	98.	98.	222.	-1.
10	Kurzzeit-Vorheizer	Kalt	Sensibel	70.2	72.9	3762.	1393.33
11	Würze Kühlung Eis Wasser	Heiß	Sensibel	6.	1.	-785.	157.
12	Würzepfanne Auheizen	Kalt	Sensibel	73.5	98.	2249.	91.7959
13	Würzepfanne Kochen	Kalt	Sensibel	98.	104.	952.	158.667
14	Wasser Kochen Läuterbot- tich(„Anschwänzen“)	Kalt	Sensibel	15.	76.	3400.	55.7377
15	Würze Kühlen Fluss Wasser	Heiß	Sensibel	71.	12.	-6803.	115.305
16	Fermentation 9-6	Heiß	Sensibel	9.	6.	-283.71	94.57
17	Fermentation 6-6	Heiß	Latent	6.	6.	-174.51	-1.
18	Fermentation 12-12	Heiß	Latent	12.	12.	-29.1	-1.
19	Fermentation 12-6	Heiß	Sensibel	12.	6.	-261.9	43.65
20	Fermentation 6-1	Heiß	Sensibel	6.	1.	-962.96	192.592
21	Fermentation -1 - -1	Heiß	Latent	-1.	-1.	-1.9e-002	-1.
22	Flaschen Reinigen Wasser Aufheizen	Kalt	Sensibel	12.	90.	1069.	13.7051
23	Abwasser Flaschen Reinigen	Heiß	Sensibel	35.	15.	-206.	10.3

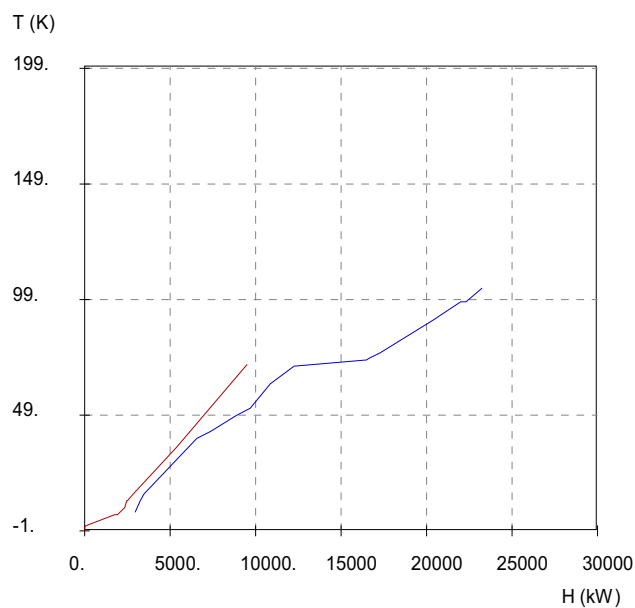
Weiter unten befinden sich Kompositkurven und ein Grid-Diagramm. Als heißer Strom für die Wärmetauscher wurden nur das heiße Flusswasser, das zur Würze-Kühlung benutzt wurde, und das Abwasser von der Flaschen Reinigung verwendet (vgl. Abbildung 20).

Zusätzliche Wärme wird während der Abtrennung von Biomasse im Lauter-Tun-Prozess (14 % Verlust an Würze als Biomasse) und der Fermentation gewonnen. Während die (latente) Wärme, die während der Fermentation entsteht, nur ein sehr niedriges Temperaturniveau erreicht und daher nicht für den Pinch verwendet werden kann, wird die Wärme der feuchten und heißen Biomasse bei der ersten Betrachtung nicht berücksichtigt, da diese nicht so leicht in Wärmetauschern anwendbar ist wie Wasser (vgl. Abbildung 18).

Die kalten Ströme, die aufgeheizt werden sollen, beinhalten den gesamten Heizprozess beim Maischen und für den Lauter-Tun-Prozess, sowie das Aufheizen der Würze und des Wassers für die Flaschereinigung.

Was das Würze-Aufheizen und -Kochen betrifft, können viele verschiedene Systeme zur Wärmerückgewinnung verwendet werden; im besprochenen Sudhaus wurde ein Dampf-Rekompressions-System installiert. Dieses System wird im Pinch-Programm nicht berücksichtigt, sollte aber bei der Betrachtung der Wärmeströme nicht vergessen werden.

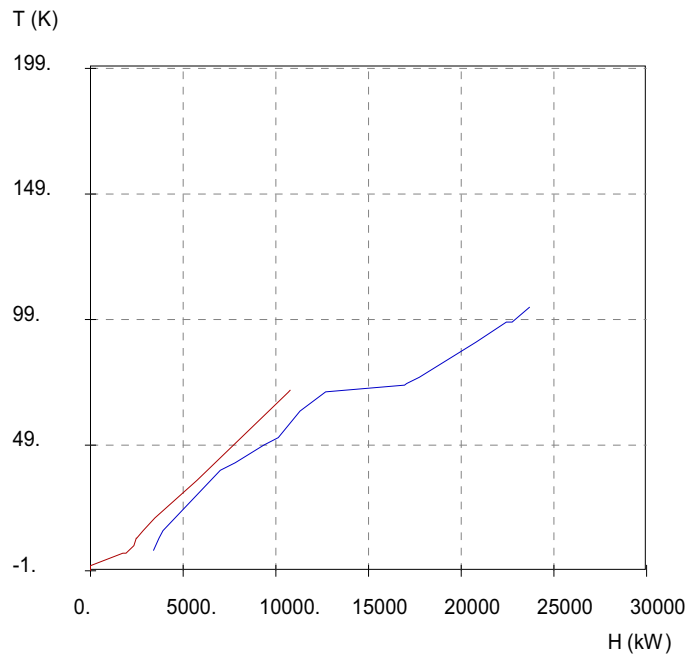
Die relevanten Ströme, die aufgeheizt werden müssen, werden im Prozess nicht mehr mit Dampf, sondern mit heißem Wasser vorgewärmt, Kochvorgänge wurden nicht sonderlich berücksichtigt.



Composite Curves

Abbildung 18: Kompositkurve der relevanten Wärmeströme einer Großbrauerei (ohne die heiße Biomasse)

Falls die heiße Biomasse (nach dem Lauter-Tun-Prozess) für Wärmerückgewinnung verwendet werden kann, verändert sich die Kompositkurve leicht und etwas mehr Energie kann für das Heizen verwendet werden (vgl. Abbildung 19).



Composite Curves

Abbildung 19: Kompositkurve der relevanten Wärmeströme einer Großbrauerei (inklusive der heißen Biomasse)

Wenn man beim ersten Ansatz bleibt, ist die offensichtlichste Wärmerückgewinnung, die installiert werden kann, der Wärmeaustausch zwischen dem heißen Flusswasser (aus dem Würze-Kühlprozess) und dem Kaltwasser für den Wasserinput. Wie bereits erwähnt, wurde dieses System in der besprochenen Großbrauerei bereits vor einigen Jahren installiert. Der direkte Wärmeaustausch, der hier angewendet wird, ist eine sehr effiziente Lösung, da keine Wärmetauscher-Verluste berechnet werden müssen.

Ein ähnlicher Ansatz wurde vom Pinch-Programm berechnet. Was die Temperaturbereiche und die Enthalpien betrifft, ist die beste Lösung für die Verwendung des heißen Flusswassers, das Aufheizen der 3 Ströme:

- Nr. 13 Vorheizen des Wassers für den Lauter-Tun-Prozess
- Nr. 1 Vorheizen des Wassers für das Maischen 1
- Nr. 5 Vorheizen des Wassers für das Maischen 2

Die Unterscheidung zwischen den beiden Maischprozessen liegt im Prozessfluss, da die zwei Maischen unterschiedlich behandelt werden (mit leicht unterschiedlichen Temperaturen) bevor sie kombiniert werden.

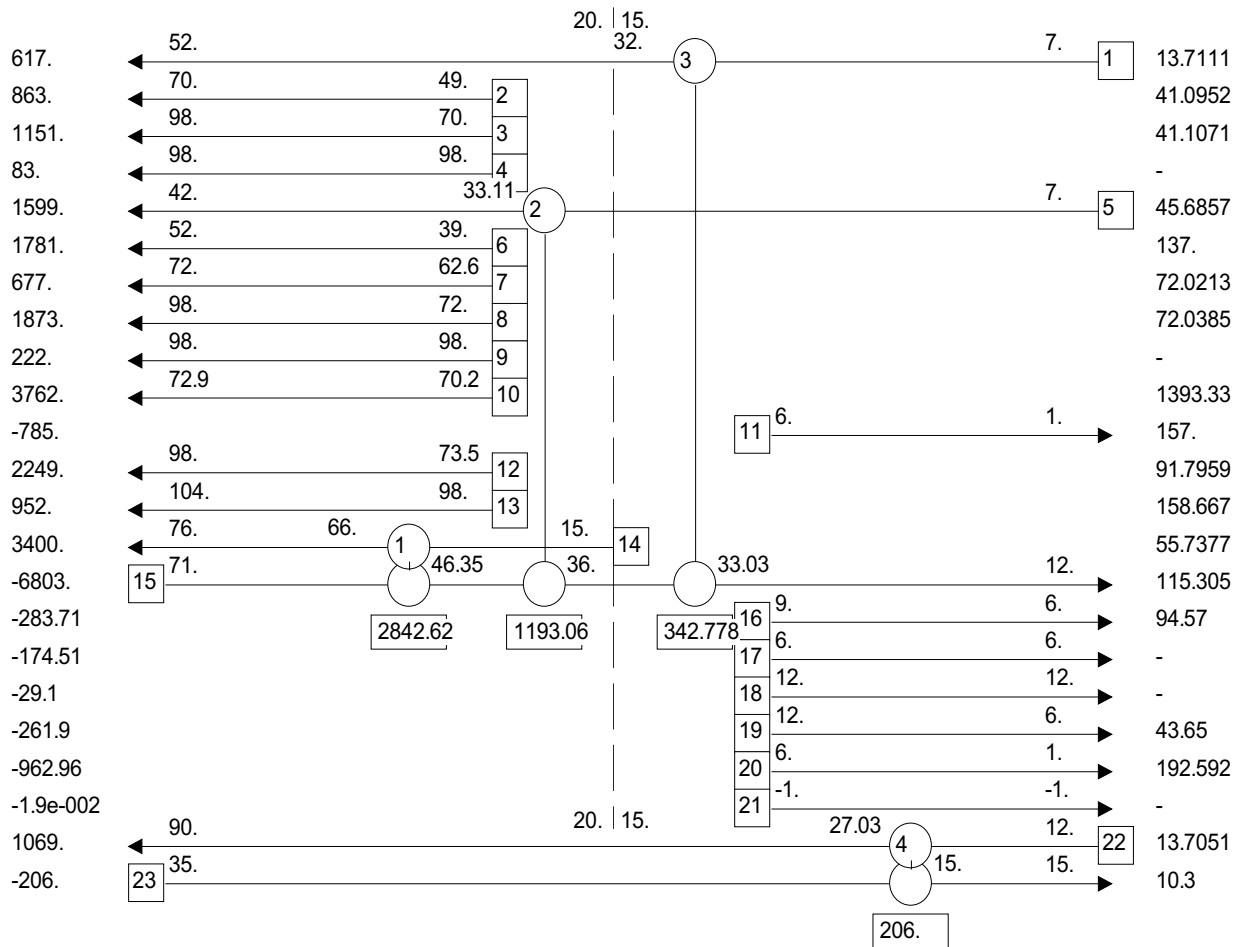


Abbildung 20: Grid-Diagramm mit einem möglichen Wärmetauscher Netzwerk

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser ersten Analyse sind sehr schön im Grid-Diagramm ersichtlich. Der Wärmetauscher kann für das Aufheizen des Wassers in geringeren Temperaturbereichen (bis zu 60–70°C) implementiert werden. Der Wärmebedarf zeigt auch, dass für die Kurzzeit-Vorwärmer (70–73°C, (10)) und für das Aufheizen des Wassers für das Flaschenreinigungssystem eine große Menge an Energie benötigt wird. Für diesen Energiebedarf steht keine Energieversorgung zur Verfügung. Daraus folgt, dass diese Prozesse in der Flaschenreinigung sehr geeignet sind, Solartechnologie zu implementieren.

Trotzdem muss beachtet werden, dass ein großer Teil der Energie auch von den Treibern erzeugt werden kann, die im Lauter-Tun-Prozess von der Würze getrennt werden. Es ist bereits Stand der Technik, Prozessenergie rückzugewinnen, indem man Biomasse als Energiequelle nutzt.

3.6.2 Hausbrauerei

Die zeitlichen Abläufe in dieser Brauerei sind denen in der Großbrauerei relativ ähnlich. Der Massenstrom ist allerdings viel geringer und die Prozesse beginnen nicht direkt nachdem die vorhergehende Charge zur Lagerung weitergeleitet wurde. Eine Produktionscharge erzeugt ca. 380 l Bier, beinahe täglich wird eine Charge gestartet. Auch die Produktionslinie ist im Maischprozess unterschiedlich, da diese Brauerei keine zwei Produktionslinien für die Maische fährt.

Abbildung 21 weiter unten zeigt das Temperatur-Zeit-Profil. Die Temperaturbereiche entsprechen mehr oder weniger denen der Großbrauerei. Am Schluss wird die Würze mit kaltem Wasser auf 12 °C abgekühlt, bevor sie in den Fermentationskeller gepumpt wird. Eine Wärmerückgewinnung ähnlich der in der Großbrauerei ist hier nicht besonders effektiv, da Warmwasser normalerweise erst nach 2 Tagen gebraucht wird.

Der Fermentationsvorgang, der sich von dem der Großbrauerei unterscheidet, ist in der Abbildung 22 nicht enthalten, da Bier nicht auf Temperaturen unter 0° gekühlt werden muss. Die Würze wird in den ersten 4 Tagen auf 9°C gekühlt, danach innerhalb eines Tages auf 5°C. Bei dieser Temperatur wird sie für die nachfolgende Fermentation gelagert. Die Kühlung erfolgt mit einem Eiswasser-Kreislaufsystem. Auch der Kühlbedarf kann nicht einfach abgeschätzt werden und wird aufgrund seines (vermutlich) geringen Wertes im Pinch-Programm vernachlässigt.

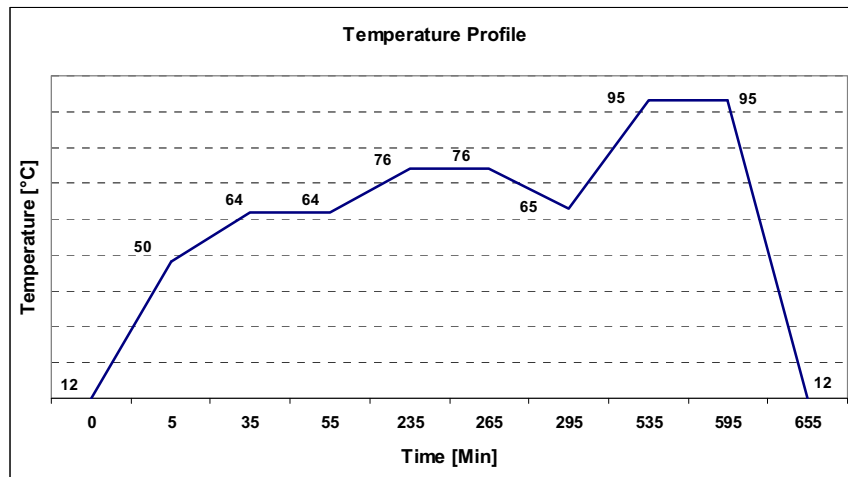
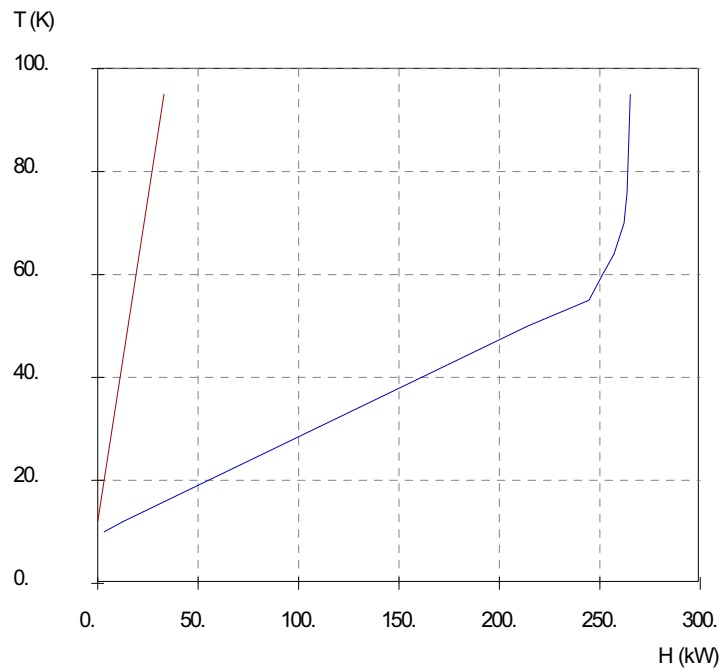


Abbildung 21: Temperaturprofil einer Hausbrauerei



Composite Curves

Abbildung 22: Kompositkurve der grundlegenden energierelevanten Ströme

In der Kompositkurve sieht man den, verglichen mit einer Großbrauerei, relativ geringen Kühlbedarf. Nur in der Würze-Kühlung muss dem Prozess Wärme entzogen werden. Der größte Teil des Heizbedarfs wird im Temperaturbereich zwischen der Temperatur des Frischwassers und 55 °C für das Aufheizen des Prozesswassers benötigt.

Kühlbedarf: 13 kW

Wärmebedarf: 232 kW

Die Kompositkurve der Hausbrauerei unterscheidet sich wesentlich von der der Großbrauerei. Erstens ist hier kein Flaschenreinigungssystem enthalten und zweitens hängt die Wärmerückgewinnung aus der Würze-Kühlung sehr stark von der Zeit ab, die für das Kühlen vorgesehen ist. In diesem Fall werden 60 Minuten benötigt, während in der Großbrauerei 15 min angenommen werden.

Schlussfolgerung

In kleinen Brauereien können Wärmetauscher nicht so ohne weiteres angewendet werden, da pro Tag meist nicht mehr als eine Charge gefahren wird.

Außerdem hängt die Wärmerückgewinnung aus der Würze-Kühlung sehr stark von der Zeit ab, die für das Kühlen vorgesehen ist. Es gibt einige andere, prinzipielle Energieeffizienzmaßnahmen, die von jeder Brauerei angewendet werden können, nachzulesen in allgemeinen Energiesparstudien. Aber keiner dieser Prozesse kann für das Aufheizen des Prozesswassers in kleinen Brauereien verwendet werden. Der Einbau von Solar-Anwendungen kann daher wärmstens empfohlen werden. Natürlich wird die Energie für die Produktion nur an bestimmten Tagen benötigt, aber das Warmwasser kann in der restlichen Zeit natürlich auch fürs Waschen oder für die Beheizung des Hauses verwendet werden.

3.7 Total Cost Assessment – TCA

Solare Prozesswärme erscheint aus vielerlei Gründen auf den ersten Blick für Industriebetriebe nicht wirtschaftlich zu sein, sei es wegen der eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten in unseren Breitengraden oder den im Vergleich zu ausgereiften Technologien relativ aufwendigen anlagentechnischen Maßnahmen. Um den gerade im Falle der Sonnenenergie langfristigen Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage Rechnung tragen zu können, wird auf eine relativ neue Methode der Kostenrechnung zurückgegriffen. Total Cost Assessment (TCA) berücksichtigt solche langfristigen Einflussfaktoren mit dem gleichen Stellenwert wie die Kosten, die in der heute allgemein üblichen Kostenrechnungspraxis berücksichtigt werden.

Total Cost Assessment (TCA) ist eine Methode der Kostenrechnung, die entwickelt wurde um aufzuzeigen, dass Investitionen in Maßnahmen des integrierten Umweltschutzes auf lange Sicht doch ökonomische Vorteile bringt. Das wird erreicht, indem man alle Kosten mit der gleichen Aufmerksamkeit behandelt und den Betrachtungszeitraum für die Wirtschaftlichkeitsrechnung ausdehnt.

Herkömmliche Kostenrechnungssysteme sind von ihrer Entwicklungsgeschichte her nicht dafür vorgesehen, umfassende ökologisch bedingte Einflussmechanismen auf die Wirtschaftlichkeit eines Vorhabens offen zu legen. Die TCA wird die herkömmliche Kostenrechnung auch nicht ersetzen, sondern eine Ergänzung dazu sein. In eine TCA sind, abgeleitet von der Zielsetzung, nicht nur Wirtschaftsfachleute eingebunden, sondern es wird ein fachübergreifendes Team gebildet.

Im Prinzip basiert eine TCA auf einer Lebenszyklusanalyse und berücksichtigt auch rein volkswirtschaftlich wirksame Kosten wie z.B. Umwelt- und Gesundheitskosten. Eine TCA ist ein Instrument, das die Entscheidungsfindung zugunsten eines langfristig wirtschaftlichen Projekts unterstützen soll. Dabei geht es gar nicht in erster Linie um Umweltschutzmaßnahmen oder Nachhaltigkeit, sondern vielmehr um den erweiterten Blickwinkel.

Eine solche Kostenanalyse unterscheidet sich von einer herkömmlichen Kostenrechnung und Investitionskostenrechnung in folgenden Punkten:

1. Kostenerfassung

Es werden neben den in der herkömmlichen Kostenrechnung allgemein berücksichtigten Kosten auch alle indirekten Kosten, Einsparungen und Erträge berücksichtigt, auch solche, die in herkömmlichen Analysen nicht erfasst werden, weil sie zu wenig konkret sind, wie z.B. Kosten, die durch Imageverlust entstehen.

2. Kostenzuordnung

Die erhobenen Kosten werden den verursachenden Prozessen/Kostenstellen so exakt wie möglich zugeordnet und möglichst nicht den Gemeinkosten zugeschlagen.

3. Zeithorizont

In einer TCA ist der Zeithorizont gegenüber einer herkömmlichen Kostenrechnung wesentlich ausgeweitet, um auch langfristige Einflüsse, wie z.B. Rekultivierungskosten oder Einflüsse, die sich aus einer zu erwartenden strengeren Umweltgesetzgebung ergeben, zu erfassen.

4. Wirtschaftlichkeitsindikatoren

In einer TCA werden vorzugsweise Wirtschaftlichkeitsindikatoren verwendet, die auch Kosten und Erträge berücksichtigen, die erst langfristig wirksam werden.

Die Berücksichtigung dieser Faktoren ergibt in Summe ein wesentlich klareres Bild der Wirtschaftlichkeit eines Projekts, als es heute übliche Kostenrechnungen mit sehr kurzen Zeithorizonten zu liefern imstande sind.

Der für dieses Projekt entwickelte Fragebogen zur Kostenabschätzung enthält 4 Tabellen (siehe Anhang), in denen vom Benutzer Einträge gemacht werden können:

- costs & economic data (Kosten und Wirtschaftlichkeitsdaten)
- list investment costs (Liste Investitionskosten)
- list operating costs and (Liste Betriebskosten)
- non recurring costs (nicht regelmäßig wiederkehrende Kosten)

Im Blatt „investment appraisal“ werden die Daten ausgewertet und in einem Diagramm dargestellt.

Im Blatt „costs & economic data“ werden allgemeine Daten zum Betrieb und zum Projekt abgefragt. Die Investitionskosten werden aus dem Blatt „list investment costs“ aufsummiert, ebenso die Betriebskosten aus dem Blatt „list operating costs“ und unregelmäßig anfallende Kosten, falls solche im Blatt „non recurring costs“ eingetragen wurden.

Das Kostenszenario für die Solaranlage wird mit einem Vergleichsszenario verglichen, was – sofern nicht anders angegeben – die derzeit im Betrieb bestehende Prozesswärmeversorgung sein wird. Alternativ könnte z.B. auch die Investition in eine neue mit fossilen Brennstoffen betriebene Anlage mit der Investition für die Solaranlage verglichen werden. Im Falle, dass der Betrieb nicht ohne Investition fortgeführt werden könnte, müssen auch diese Kosten auf jeden Fall im Vergleichsszenario berücksichtigt werden.

In einer TCA wird der Begriff „Investitionskosten“ wesentlich weiter gefasst als in einer herkömmlichen Kostenrechnung. Üblicherweise versteht man darunter nur die Einkaufskosten für die Anlagenteile, Material und sonstige abschreibungsfähige Kosten. In der TCA werden auch indirekte Kosten erfasst. Das sind z.B. die Kosten für Arbeiten, die im Betrieb für die Planung und das Engineering entstehen, die Kosten für die Einschulung des Bedienungspersonals auf die neue Anlage. Diese Kosten können durchaus ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit einer Investition sein. Alle möglichen Kosten sind im Tabellenblatt „list investment costs“ vermerkt, damit sichergestellt ist, dass nichts vergessen wird. Das heißt nicht, dass diese Kosten unbedingt berücksichtigt werden müssen, wenn sie in ihrer Größenordnung vergleichsweise gering sind. Sie können notfalls auch geschätzt werden.

Im Blatt „investment appraisal“ werden aus den Daten der drei Eingabeblätter für jedes Jahr die diskontierten Kapitalwerte über die zu erwartende Lebensdauer der Anlage errechnet und aufsummiert (Nettobarwert bzw. net present value NPV) sowie die interne Verzinsung (internal rate of return) des Projekts berechnet. Die Berechnung erfolgt mittels der in Excel verfügbaren Standard-Funktionen NBW für den Nettobarwert und IKV für die interne Verzinsung. Der firmenspezifische interne Reinvestitionszinssatz und der Kapitalzinssatz, die für diese Funktionen gebraucht werden, werden dem Blatt „costs & economic data“ entnommen.

Das Projekt ist dann als wirtschaftlich sinnvoll anzusehen, wenn der Nettobarwert innerhalb der voraussichtlichen Nutzungsdauer der Anlage – was im Allgemeinen dem gesetzlichen Abschreibungszeitraum gleichgesetzt wird – positiv wird und die interne Verzinsung den vorgegebenen firmenspezifischen Reinvestitionszinssatz übersteigt. Es müssen beide Kriterien erfüllt sein, damit man das Projekt positiv beurteilen kann. Diese beiden Parameter sind nur eine mögliche Auswahl unter mehreren Wirtschaftlichkeitsparametern, die für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit herangezogen werden können. Wichtig ist, dass man die Entscheidung nicht auf einen Einzelparameter gründet.

In der folgenden Abbildung sind der Nettobarwert und die interne Verzinsung über die Jahre dargestellt. Die horizontalen Linien entsprechen dem Wert, der überschritten werden muss, damit für diesen Parameter die Wirtschaftlichkeit erfüllt ist.

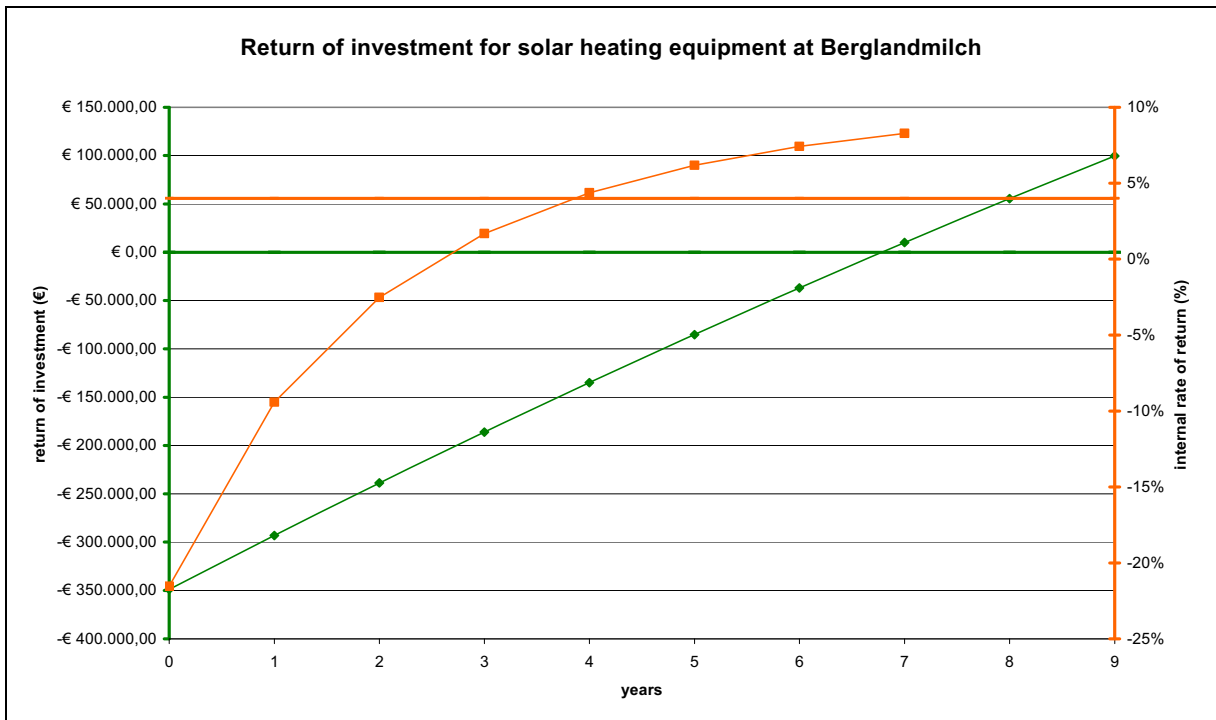


Abbildung 23: Nettobarwert und interne Verzinsung für die Solaranlage bei einem Beispielbetrieb

3.8 Matrix of Indicators

Die Matrix of Indicators wurde als Planungstool für Solarexperten und Berater entwickelt (vgl. Abbildung 24). Im Folgenden werden der Aufbau und die Handhabung dieses Werkzeugs dargestellt. In der Matrix ist sämtliche Information zu für die solare Prozesswärme relevanten Industriebranchen und Prozessen (Unit operations) zu finden. Dem Bericht beigelegt ist eine CD, auf der die gesamte Matrix im momentanen Entwicklungsstadium (Arbeiten von IEA Task 33/IV 1. Teil und 2. Teil) zu finden ist.

LOW TEMPERATURE PROCESSES IN VARIOUS INDUSTRY SECTORS

	general description		INDUSTRY SECTORS																		
	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info	Info			
UNIT OPERATIONS																					
CLEANING	Info	Info																			
DRYING	Info	Info																			
EVAPORATION AND DISTILLATION	Info	Info																			
BLANCHING	Info	Info																			
PASTEURIZATION	Info	Info																			
STERILIZATION	Info	Info																			
COOKING	Info	Info																			
OTHER PROCESS HEATING	Info	Info																			
GENERAL PROCESS HEATING	Info	Info																			
HEATING OF PRODUCTION HALLS	Info	Info																			
COOLING OF PRODUCTION HALLS	Info	Info																			
COOLING PROCESSES	Info	Info																			
MELTING	Info	Info																			
EXTRACTION	Info	Info																			
BLEACHING	Info	Info																			
PAINTING	Info	Info																			
SURFACE TREATMENT	Info	Info																			

Abbildung 24: Matrix: Zusammenhang Prozesse – Industriebranchen

1. Allgemeine Beschreibung

Folgende Informationen sind in der allgemeinen Matrix zu finden:

1.a.) Verfahren, die in den Industriesektoren angewendet werden:

Dieser Teil enthält eine allgemeine Beschreibung der Verfahren und ihre Anwendung in den verschiedenen Industriesektoren.

Informationen über die Verfahren:

- Zielsetzung
- Anwendungsbereich
- angewendete Techniken/Methoden und Geräte
- energierelevante Parameter

1.b.) Maßnahmen zur Einbindung von Solartechnologie in den Verfahren:

Dieser Teil enthält einen allgemeinen Überblick über die verschiedenen Maßnahmen zur Einbindung von Solartechnologie. (z.B. offene/geschlossene Systeme, mit oder ohne Speicherbehälter, seriell/parallel, etc.)

Dieser Teil beinhaltet zusätzlich eine Analyse zur Eignung der Solar-Maßnahmen in spezifischen Verfahren.

Informationen über die Eignung der Solar-Maßnahmen in spezifischen Verfahren:

- geeignete Maßnahmen für bestimmte Verfahren
- allgemeine Information über geeignete Maßnahmen (Hauptanwendung, Temperaturbereich, Wärmeträger, empfohlene Kollektor-Typen, Haupteigenschaften)
- kritische Belange zur Einbindung von Solartechnologie

1.c.) Industriesektoren:

Dieser Teil enthält Informationen über einige der wichtigsten Industriesektoren (z.B. Nahrungsmittel, Textilien etc.).

In diesem Teil befindet sich allgemeine Beschreibung des Aufbaus und einige wichtige Parameter der Industriesektoren.

Informationen über die Industriesektoren:

- Aufbau der Industrie
- Handel
- rechtlicher Rahmen
- angewendete Prozesse und Technologien

Weiters sind hier detaillierte Informationen über spezifische Industriesektoren zu finden:

- die Verfahren, die in diesem Sektor angewendet werden (z.B. Waschen, Trocknen, Pasteurisieren im Nahrungsmittelsektor).
- verschiedene Sub-Sektoren bestimmter Industriesektoren (z.B. Molkereien, Brauereien, Zuckerherstellung in der Nahrungsmittelindustrie)
- typische Prozesse, die in den Sub-Sektoren angewendet werden (z.B. Reinigung der Flaschen in Brauereien).

1.d.) Verfahren, die in bestimmten Industriesektoren angewendet werden:

Verschiedene Verfahren werden hinsichtlich ihrer Anwendung in bestimmten Industriesektoren untersucht (z.B. Waschen, Trocknen, Pasteurisieren in der Nahrungsmittel Industrie).

Informationen über die Verfahren in bestimmten Industriesektoren:

- Zielsetzung
- Anwendungsgebiet
- verwendete Techniken/Methoden/Geräte
- Energieeinsparungspotential durch Anwendung alternativer Technologien

2. Detailbeschreibung der Matrix:

Hier sind einerseits externe Links (zu Word Dokumenten), andererseits interne Links (zu anderen Excel Dateien und Excel Blättern) zu finden, mit deren Hilfe der Benutzer auf schnellstem Wege die gesuchte Information bekommen kann (vgl. Abbildung 25).

Links sind entweder als unterstrichener, blauer Text oder als graue Schaltflächen erkennbar.

2.a.) Verfahren, die in Industriesektoren angewendet werden:

- Wenn auf den „Info“-Text in der Spalte „Allgemeine Beschreibung (general description)“ geklickt wird, erscheint ein Word Dokument mit allen relevanten Informationen zu den Verfahren die in den Industriesektoren angewendet werden.

2.b.) Maßnahmen zur Einbindung von Solartechnologie in den Verfahren

- Wenn auf die Schaltfläche in der Spalte „Solare Einbindung“ (solar Integration) geklickt wird, erscheint eine pdf Datei mit einem Überblick über Maßnahmen zur Einbindung von Solartechnologie in den Verfahren.
- Wenn auf den „Info“ Text in der „Solar Integration“ Spalte geklickt wird, erscheint ein Word Dokument mit Informationen über die Eignung von Solar-Maßnahmen in spezifischen Verfahren.

Am Anfang und am Ende der Word Datei finden Sie Links, um zur Matrix zurückkehren zu können: BACK to Matrix

2.c.) Industriesektoren:

- Wenn auf die Schaltfläche geklickt wird, die unter dem Namen jedes Industriesektors gefunden werden kann, erscheint eine Word Datei mit Informationen über den Aufbau und wichtige Parameter für jeden Industriesektor
- Wenn auf den Namen eines Industriesektors geklickt wird, erscheint die ausführliche Matrix für jeden Industriesektor, z.B. Sub-Sektion DA Herstellung von Nahrungsmitteln, Getränken und Tabak.

(Für mehr Informationen über z.B. die Nahrungsmittelindustrie, siehe Nahrungsmittelindustrie Legenda [food industry legenda])

2.d.) Verfahren, die in bestimmten Industriesektoren angewendet werden:

- Wenn auf den Namen eines Verfahrens geklickt wird, erscheint ein Word Dokument mit Informationen über das Verfahren, das in einem bestimmten Industriesektor angewendet wird.

Am Anfang und am Ende jedes Word-Dokuments können Links gefunden werden, mit denen Sie entweder zur Matrix oder zur Industriesektor-Matrix gelangen, um mehr Informationen zu erhalten.

In den Word-Dateien im Bereich der „Energieeinsparung durch den Gebrauch alternativer Technologien“, können Links zu anderen Word-Dateien gefunden werden, in denen mehr Informationen zu alternativen Technologien enthalten sind.

Wenn auf die „Info“ Schaltfläche unter den Industriesektoren geklickt wird, wird eine Sub-Matrix geöffnet.

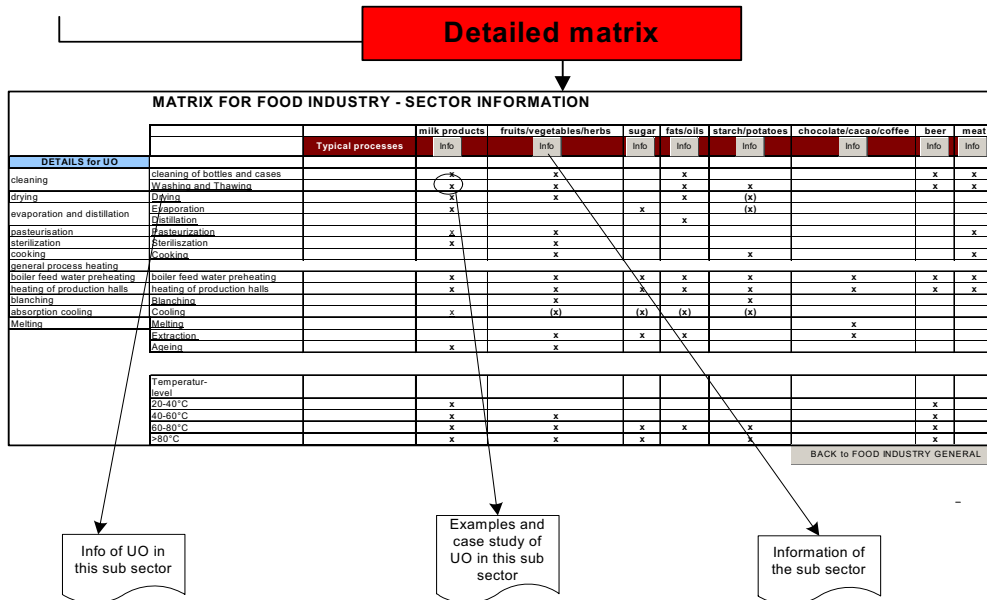


Abbildung 25: Die Matrix

1. Allgemeine Beschreibung der Submatrix

Die Information ist in drei Bereiche eingeteilt:

1.a.) Verfahren, die in der Nahrungsmittelindustrie angewendet werden:

Verfahren sind in Gruppen von verschiedenen Prozessen eingeteilt, die in der Nahrungsmittelindustrie angewendet werden (z.B. WASCHEN: 1. Waschen von Behältern und Flaschen, 2. Waschen des Produkts, 3. Reinigen der Produktionsstätte).

Typische Prozesse werden hinsichtlich ihrer Anwendung in der Nahrungsmittelindustrie untersucht.

- Zielsetzung
- Anwendungsgebiet
- verwendete Techniken/Methoden/Geräte
- Energieeinsparungspotential durch Gebrauch von alternativen Technologien

1.b.) verschiedene Sub-Sektoren der Nahrungsmittelindustrie:

Die Nahrungsmittelindustrie ist in verschiedene Sub-Sektoren unterteilt (z.B. Molkerei, Brauerei, Zuckerherstellung).

Jeder Sub-Sektor produziert eine Vielzahl von Produkten, indem er bestimmte Produktionsprozesse verwendet.

Fallstudien für die Anwendung:

1. Maßnahmen zur Einbindung von Solartechnologien oder
2. alternative Technologien in den Industrien des betreffenden Nahrungsmittel-Sub-Sektors

Folgende Informationen zu den Nahrungsmittel Sub-Sektoren sind zu finden:

- typische Prozesse, die in bestimmten Nahrungsmittel-Sub-Sektoren angewendet werden.
- Temperaturbereiche und andere Parameter
- Vergleichswerte

Folgende Informationen zu den Sub-Sektor Produkten können gefunden werden:

- Prozess flowsheet des Produkts
- angewendete Techniken/Methoden/Geräte
- Temperaturbereiche und andere Parameter des angewendeten Prozesses
- Vergleichswerte für die Produktion
- neue Technologien mit Perspektiven zur Energieeinsparung
- kritische Belange zur Einbindung von Solar-Systemen

Folgende Informationen zu Fallstudien/alternativen Technologien können gefunden werden:

- Prozessbeschreibung
- Energieflüsse und Temperaturbereiche
- Maßnahmen zur Einbindung von Solartechnologien/Beschreibung alternativer Technologien
- Energieeinsparungen
- Wirtschaftliche Bewertung

1.c.) Typische Prozesse die in bestimmten Industrie-Sub-Sektoren angewendet werden:

Typische Prozesse werden in Hinblick auf ihre Anwendung in bestimmten Nahrungsmittel-Sub-Sektoren untersucht (z.B. Pasteurisierung in der Milch-Industrie).

Detaillierte Informationen zum Thema.

Fallstudien für die Anwendung:

1. Maßnahmen zur Einbindung von Solartechnologien oder
2. alternative Technologien in den Industrien eines bestimmten Nahrungsmittel-Sub-Sektors

Informationen zu typischen Prozessen in den Nahrungsmittel-Sub-Sektoren sind hier zu finden:

- allgemeines Prozess flowsheet, in dem die genaue Lage des betreffenden Prozesses in der Produktionslinie zu sehen ist.
- Temperaturwerte und andere Parameter des betreffenden Prozesses, wenn er für die Herstellung anderer Produkte verwendet wird.
- zusätzliche Informationen über den betreffenden Prozess im Nahrungsmittel-Sub-Sektor (Beschreibung der Technologien/Methoden/Geräte, neue Technologien die Energieeinsparungen versprechen)
- eine Analyse der Einbindung von Solar-Systemen (geeignete Maßnahmen, Temperaturwerte und andere Parameter, kritische Belange für die Einbindung)

Folgende Informationen zu Fallstudien können gefunden werden:

- Prozessbeschreibung
- Energieflüsse und Temperaturwerte
- Maßnahmen zur Einbindung von Solartechnologien/Beschreibung alternativer Technologien
- Energieeinsparungen

- wirtschaftliche Bewertung

2. Detailbeschreibung der Matrix der Nahrungsmittelindustrie:

Ziel ist es, externe (zu Word-Dateien) und interne (zu anderen Excel-Dateien und Excel-Tabellen) Verknüpfungen zu erstellen, mit deren Hilfe der Benutzer auf schnellstem Wege die gesuchte Information finden kann.

Links sind entweder als unterstrichener, blauer Text oder als graue Schaltflächen erkennbar. Im Folgenden können detaillierte Informationen über das Link-Netzwerk in der Matrix für die Nahrungsmittel-Industrie gefunden werden:

Legenda („Benutzer-Hilfe“) der Matrix für die Nahrungsmittelindustrie:

- „How to use it“ Knopf klicken, dann erscheint links oben in der Excel Tabelle die „Legenda“ der Nahrungsmittel-Matrix.
- Wenn die Schaltfläche rechts oben in der Legenda gedrückt wird, kommt man zur Matrix der Nahrungsmittelindustrie zurück.

2.a.) Verfahren, die in der Nahrungsmittelindustrie angewendet werden:

- Wenn auf den Namen des Verfahrens oder des bestimmten Prozesses geklickt wird, erscheint ein Word-Dokument mit Informationen über das in der Nahrungsmittelindustrie angewendete Verfahren.

In den Word Dateien können im Bereich des „Energieeinsparungspotentials durch alternative Technologien“ Links zu anderen Word-Dateien gefunden werden, wo Details über diese alternativen Technologien nachgelesen werden können.

2.b.) Verschiedene Bereiche der Nahrungsmittelindustrie:

- Wenn auf die Schaltfläche unterhalb des Namens des Nahrungsmittel-Sub-Sektors geklickt wird, erscheint eine Excel-Tabelle („Sub-Sektor Produkte“ Excel Tabelle) mit detaillierten Informationen über den Nahrungsmittel-Sub-Sektor.
- Links oben in dieser Tabelle gibt es folgende Links:
 - Temperaturwerte und andere Parameter
 - allgemeiner Prozess flowsheet
 - Produkte
 - Vergleichswerte
 - Fallstudien
- Wenn auf das „x“ geklickt wird, das sie bei den Temperatur- und Vergleichswerten in der Excel-Tabelle finden, erscheint eine neue Excel-Tabelle in der die Anwendung eines typischen Prozesses in einem bestimmten Nahrungsmittel Sub-Sektor erklärt wird.
(für Details: siehe auch Punkt 2.c)
- Wenn auf den Namen eines Produktes geklickt wird, erscheint eine Word-Datei mit Informationen über das Produkt: z.B. Butter

Am Anfang und am Ende der Word-Datei können Links um zur „Sub-Sektor-Produkt“ Excel Tabelle zurückzukehren gefunden werden: BACK to Milk Products (Zurück zu den Milchprodukten)

In den Word-Dateien für die Produkte, beim „Energieeinsparungspotential durch alternative Technologien“, können Links zu anderen Word-Dateien, wo weitere Details zu den alternativen Technologien nachgelesen werden können, gefunden werden.

- Wenn auf den Namen einer Fallstudie geklickt wird, erscheint eine Word-Datei mit Informationen über diese Fallstudie zur Einbindung von Solar-Technologie: z.B. Berglandmich (Österreich)

2.c.) Typische Prozesse, die in bestimmten Industriesektoren angewendet werden:

- Wenn auf das „x“ geklickt wird, erscheint die Excel-Tabelle für den typischen Prozess in einem bestimmten Industrie-Sub-Sektor
- In dieser Tabelle können sehr detaillierte Informationen zur Anwendung des bestimmten Prozesses in einigen Industrie-Sub-Sektoren gefunden werden.
- Links oben in dieser Tabelle erscheinen folgende Links:
 - allgemeiner Prozess flowsheet, der die genaue Lage des gewünschten Prozesses in der Produktionslinie aufzeigt
 - Temperaturwerte und andere Parameter
 - zusätzliche Informationen über den gewünschten Prozess in einem bestimmten Nahrungsmittel-Sub-Sektor
 - Analyse der Maßnahmen zur Einbindung von Solar-Technologien
 - Fallstudien

3.9 Technisch-wissenschaftliche Mitarbeit in Subtask A

Seitens des Joanneum Research – NTS wurde an folgenden Arbeiten des Subtask A mitgearbeitet:

3.9.1 Potentialstudien

Diese Untersuchung wurde im Rahmen der IEA Task 33/IV – SHIP (Solarenergie für Industrieprozesse) fertig gestellt, um das große Potential der Solarwärme für Industrieprozesse aufzuzeigen. Dieser Bericht richtet sich hauptsächlich an die Solar-Industrie und an Entscheidungsträger und soll als Werkzeug dienen, um nationale und regionale Kampagnen und Strategien zur Wärmeerzeugung mittels solarthermaler Energie zu fördern.

Zur Zeit gibt es für viele Länder keine vollständigen statistischen Daten zum industriellen Wärmebedarf bei unterschiedlichen Temperaturen. Außerdem sollten bei der Abschätzung des Solar Potentials einige technische und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden, vor allem bei mittleren Temperaturbereichen, wo nur begrenzte Erfahrungswerte vorhanden sind. Es werden vermutlich verschiedene Verfahren angewendet und die Anwendungsbereiche sind manchmal nicht direkt miteinander vergleichbar.

Daher ist es das Ziel dieses Berichtes, einen Überblick über bereits existierende Literatur und Erfahrungswerte zu geben, um einige allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten aufzuzeigen, damit die oben genannten Mängel behoben werden können.

Im Detail zeigt diese Untersuchung ein großes Potential der Solarenergie auf, das vor allem für die Lebensmittel-, Alkohol- und Getränkeindustrie, für die Textil- und Papierindustrie, für Autowaschanlagen u.Ä. und für Teile der chemischen Industrie (bis 250 °C) interessant ist.

Natürlich hängt die Bedeutung jedes Sektors für die Entwicklung des Solarmarktes auch vom ortsspezifischen Industrieprofil ab, z.B. gibt es in Deutschland sehr viele Brauereien, in Italien hingegen viele Molkereien.

Zum Aufbau des Berichts: Abschnitt 2 fasst die Hauptergebnisse der nationalen und der sektorbezogenen Studien zusammen.

Abschnitt 3 enthält eine Auswahl an Zusammenfassungen für jede Potentialstudie die in der Literatur erwähnt wird, komplettiert von einem Flow-Chart, das die angewandten Verfahren schematisch beschreibt.

Die gesammelten, länderspezifischen Berichte betreffen Österreich, die Iberische Halbinsel (Spanien und Portugal), Italien und die Niederlande. Die Potentialstudien für Griechenland und Deutschland sind sektorbezogen, während die belgische Untersuchung auf die Wallonische Region beschränkt ist.

3.9.2 Dokumentation von Pilotanlagen

Dieser Bericht gibt einen Überblick über verschiedene industrielle solarthermale Systeme, die weltweit betrieben werden.

Die Informationen, die im Zuge der IEA Task 33/IV – SHIP (Solarwärme für Industrieprozesse) gesammelt wurden, wurden in der SHIP Plant Survey Summary Tabelle (Anhang 4) zusammengefasst.

Die Tabelle enthält verschiedene Informationen, unter anderem die geographische Verteilung der Solarkraftwerke, die beteiligten Sektoren (z.B. Nahrungsmittel, Textilien etc.), die Arten der industriellen Anwendungen (z.B. Waschen, Trocknen etc.), die Betriebstemperaturen, die Art der Kollektoren und die installierte Kapazität sowie die Art der konventionellen Wärmeerzeugersysteme und die Wirtschaftlichkeit.

Folgende Anwendungen, Systeme und Technologien sind im Zuge dieser Aufgabenstellung betroffen:

- Alle Industrieprozesse, bei denen Wärme bis zu einem Temperaturbereich von ca. 250 °C benötigt wird.
- Innenraumheizung von Produktions- oder anderen Industriehallen, aber nicht von Wohnhäusern
- Solarthermale Systeme, die Wasser, Luft, Niederdruck-Dampf oder Öl als Wärmeträger verwenden, keine Begrenzung auf ein bestimmtes Wärmeträger Medium im Solarprozess
- Alle Arten von thermischen Solarkollektoren für eine Betriebstemperatur bis zu 250 °C: Kollektoren ohne Abdeckung, Flachplatten-Kollektoren, verbesserte Flachplatten-Kollektoren, Vakuum-Röhrenkollektoren mit oder ohne Reflektoren, CPC-Kollektoren, MaReCos (Maximum Reflektor Kollektoren) und parabolische Wannenkollektoren.

Spezifische Verfahren wie Entsalzung, industrielle Kühlung und Stromerzeugung sind nicht das Hauptaugenmerk dieses Berichts. Trotzdem wurden sie erwähnt, da sie eventuell für zukünftige SHIP Kraftwerke von großem Interesse sein könnten.

Obwohl Solarkraftwerke, die in der Agroindustrie, in lokalen Heiznetzwerken und im Tertiären Sektor betrieben werden, in Task 33/IV nicht angesprochen werden, wurde eine nicht-systematische Datensammlung durchgeführt, da auch sie für zukünftige SHIP-Kraftwerke von technischem Interesse sein könnten, weil sie großtechnische Solarsysteme sind oder weil sie Solarkomponenten im Mitteltemperaturbereich verwenden. Da sie keine SHIP-Kraftwerke sind, werden sie kurz in Abschnitt 2 und 11 beschrieben. Generell werden sie nicht in die Statistiken einbezogen, die in diesem Bericht enthalten sind.

„Schlechte“ Beispiele aus der Vergangenheit und Systeme, die bereits abgeschaltet wurden, sind auch in der Datenbank enthalten, um aus den Fehlern der Vergangenheit lernen zu können.

Da aber bis heute keine ausführliche Sammlung der Gründe existiert, warum diese Kraftwerke geschlossen werden mussten, wird sich die folgende Analyse auf Kraftwerke konzentrieren, die noch in Betrieb sind.

3.9.3 Industrie-Workshops

In der Phase I wurden 4 Industrie Workshops organisiert und durchgeführt:

- Brüssel, Belgien
- Oaxaca, Mexiko

- Madrid, Spanien
- Kassel, Deutschland

Bis auf den Industrie-Workshop in Mexiko waren immer österreichische Firmen anwesend, die dabei die Gelegenheit hatten, ihre Produkte und Systeme vorzustellen.

3.9.4 Industrie-Newsletter

Im betrachteten Zeitraum wurden zwei Industrie-Newsletter verfasst, deren Exemplare im Anhang beigefügt sind.

4 Detailangaben zu den Zielen der „Energiesysteme der Zukunft“

Das Projekt IEA Task 33/IV Subtask B hat folgende Ergebnisse zum Gesamtziel der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ beigetragen.

- Der Dienstleistungsaspekt bei solarthermischer Energieversorgung ist eine wichtige Fragestellung für künftige Umsetzungsstrategien. Entsprechende Modelle (z.B. Energie-Contracting) gibt es bereits. Die Solaranlage in Form von Contracting dem Industriebetrieb anzubieten, stellt eine aussichtsreiche Variante für die Umsetzung solarer Prozesswärme dar. Für diese Entwicklung ist jedoch noch einiger Entwicklungsbedarf, vor allem im Bereich des Vertragswesens notwendig.
- Die diskontinuierliche Energieversorgung durch Sonnenenergie muss für Produktionsprozesse auf jeden Fall durch eine entsprechende Backup-Lösung abgesichert sein. Das Zusammenspiel und die Optimierung verschiedener erneuerbarer Energieträger ist für die Anwendung von solarer Prozesswärme Voraussetzung. Deshalb ist die Kombination von anderen erneuerbaren Energieformen mit der Methode der Energieeffizienz-Berechnung mittels Pinch-Analyse der nächste logische Schritt.
- Die Anwendung von Solarenergie in industriellen und gewerblichen Produktionsprozessen hat eine wirtschaftliche Bedeutung für Planer und Hersteller wie auch für die Nutzer der Solaranlagen. Eine Entwicklung wie bei der Warmwasserbereitung und den Solarheizungen könnte auch im Bereich der gewerblichen und industriellen Nutzung erreicht werden, wenn ein intensives Startprogramm erfolgt. Nutznießer einer derartigen Entwicklungs- und Demonstrationsaktivität sind neben den industriellen und gewerblichen Anwendern, die Hersteller thermischer Solaranlagen, die neben dem inländischen Markt mit Exportmöglichkeiten rechnen können. Verringerung der globalen Abhängigkeit und Steigerung der Energieeffizienz sind entscheidende Vorteile hierbei.
- Durch eine weitere Substitution von Öl oder Gas durch die Anwendung von Solarenergie werden auch die Klimaschutzvereinbarungen des Landes hinsichtlich der Erreichung der Kyoto-Ziele unterstützt und damit dem Weißbuch der EU entsprochen. Sämtliche Informationen und bewusstseinsbildende Aktivitäten werden unter der Prämisse der Förderung des Einsatzes der Erneuerbaren Energie, z.B. wenn es um die Einbindung von Solarwärme unter den gegebenen Rahmenbedingungen geht, erfolgen. Durch den Einsatz von Solarthermie in Produktionsprozessen wird es langfristig insgesamt zu einer Verringerung von verschmutzenden und Treibhauseffekt-verstärkenden Emissionen kommen.

Der Energieaspekt im Begriff der Nachhaltigkeit lässt sich stets in 2 Komponenten zerlegen. Zum einen geht es darum, eingesetzte Energie sinnvoll zu verwenden, es geht also um die Energieeffizienz. Zum anderen ist es aber auch unabdingbar, dass die Energieversorgung weg von fossilen, nicht erneuerbaren Ressourcen hin zum Einsatz erneuerbarer Energieformen sich entwickelt. In diesem Bereich kristallisiert sich immer mehr heraus, dass ein Mix der verschiedenen Möglichkeiten auf diesem Gebiet sinnvoll ist.

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die Nutzung von solarer Wärme in Produktionsprozessen steht erst am Anfang und erfordert noch einen beträchtlichen Aufwand zur Umsetzung und eine Weiterentwicklung der Entwurfsmethoden. Erste umgesetzte Beispiele aber zeigen, dass die Chancen zu einer baldigen Umsetzung intakt sind und mit einer Verbreitung zu rechnen ist. Weltweit wurden im Rahmen der Task 33/IV mehr als 60 Anlagen mit einer installierten Leistung von 42 MWth, entsprechend 60.000 m² Kollektorfläche im Industrie- und Gewerbebereich dokumentiert.

Ausgewählte Branchen mit ausreichenden Niedertemperaturprozessen bieten bereits heute wirtschaftliches Einsatzgebiet für thermische Solarenergie. Die Integration von thermischer Solarenergie in industrielle Prozesse hat über den Pinch zu erfolgen. Die Pinch-Methode gibt Auskunft darüber, bei welchen Temperaturniveaus die Integration am sinnvollsten ist. Es hat sich bei den Berechnungen der Fallbeispiele herausgestellt, dass eine Entwicklung eines gemeinsamen Pinch- und Simulationsprogramms nicht notwendig ist. Vielmehr müssen sich weitere Forschungen auf die Weiterentwicklung des Pinch-Programms für den Einsatz bei Niedrigtemperaturprozessen und die Verknüpfung mit zusätzlichen Funktionen (z.B. Kostenfunktionen) konzentrieren. Im Bereich der Solarsimulation ist die Programmierung eines für industrielle Anwendungen zugeschnittenen Tools für weitere Berechnungen notwendig.

Die Zusammenarbeit im internationalen Team der IEA Task 33/IV hat auf Grund von Experten aus verschiedenen Themenschwerpunkten (Solarexperten, Energieberater, Solarfirmen, Prozessingenieure) zu einem gegenseitigen breiten Wissensaustausch beigetragen. Die dadurch entstanden Synergien konnten optimal genutzt werden und führten zu einem positiven Ergebnis. Weiters sind bereits im Task 33/IV teilweise die relevanten Zielgruppen wie Solarfirmen, Kollektorerzeuger und Energieberater eingebunden. Durch die Veranstaltung von Industrie-Workshops wird auch der Schwerpunkt auf die Einbindung der produzierenden Industrie gelegt.

Eine nachfolgende Verwertung der Ergebnisse ist noch nicht konkret durchdacht, da die Arbeiten des Task 33/IV erst im Oktober 2007 abgeschlossen werden. Das übergeordnete Ziel ist es jedoch, die gewonnenen theoretischen Ergebnisse und erstellten Konzepte in Beispielfirmen in die Realität umzusetzen.

6 Ausblick/Empfehlungen

Der Subtask B wurde im Task 33/IV verlängert und daher sind die Arbeiten von JOANNEUM RESEARCH – NTS mit Beendigung dieses Projekts nicht abgeschlossen. Ein Folgeprojekt aus der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ finanziert alle weiteren Tätigkeiten, die zusammengefasst folgende Punkte beinhalten:

- Weiterentwicklung der Matrix zur Zuordnung von verfahrenstechnischen Grundoperationen zu relevanten Industriesektoren. Die relevanten Parameter wie Temperatur, Druck und Art des Mediums sollen für einzelnen Prozesse erfasst werden und in der Form aufbereitet werden, dass eine Methode für den Einsatz von solarer Wärme entwickelt werden kann. Weiters werden Fallbeispiele gesammelt, dokumentiert und in die Matrix implementiert. Zusätzlich werden für einzelne Grundoperationen einer umfassenden Sammlung an konkurrierenden Technologien gesammelt und ebenfalls in die Matrix eingearbeitet. Um eine übersichtliche Struktur zu bewahren, wird für jeden relevanten Industriesektor eine Untermatrix entwickelt, um auf die einzelnen unterschiedlichen Produktionen näher eingehen zu können.
- Weiterentwicklung der Wärmeintegrationsmethode (Pinch Methode): Für den effizienten Einsatz der Pinch Analyse ist eine Adaptierung der existierenden Programme auf die für den Solarwärmeeinsatz relevanten Industriesektoren notwendig. Dies bedeutet vor allem die Anpassung der Temperaturniveaus, die einfache Implementierung der Solarenergie in das Wärmetauschernetzwerk und die Unterstützung bei der Erstellung des Wärmetauschernetzwerks. Die Anbindung an eine Datenbank mit wirtschaftlichen Daten zu Wärmetauschern ist ebenfalls vorgesehen.
- Entwicklung einer Roadmap für Industriebetriebe zur stückweisen Reduzierung der Energiekosten. Beginnend mit Energieeffizienzmaßnahmen bis zum vollkommenen Ersatz von fossilen Rohstoffen durch alternative Technologien (vorrangig Solarenergie) wird modulweise ein Umsetzungsfahrplan erstellt und in verständlicher Form dargestellt. Zur Erstellung dieses Konzepts sollen Energiepreisentwicklungen, Möglichkeiten von Contracting und Systemkostenentwicklung zur Szenariendarstellung einfließen.
- Erstellung von Planungsrichtlinien. Die AEE INTEC verfasst insbesondere die Planungsrichtlinien für die solare Beheizung von Industriehallen. Es wurden sieben Industriehallen, die in Österreich solar beheizt werden, im Detail dokumentiert. Für zwei Industriehallen wurden Machbarkeitsstudien und die Detailplanungen durchgeführt. Eine Halle befindet sich derzeit (April 2005) in der Bauphase. Basierend auf den dokumentierten Anlagen und den Planungserfahrungen wird JOINTS in Folge an der Erstellung der Planungsrichtlinien für Industriebetriebe mitarbeiten.
- Entwicklung von numerischen Planungswerkzeugen, basierend auf der Simulationsumgebung TRNSYS. Für die Erstellung der Machbarkeitsstudien, die Entwicklung der Systemkonzepte sowie für die Realisierung der Demonstrationsprojekte werden jeweils TRNSYS Simulationen durchgeführt.
- Durchführung von Fallstudien für mehrere österreichische Industriebetriebe. Es wurden gemeinsam mit AEE Intec Fallstudien für die Firmen WOLFORD in Vorarlberg und die Molkerei „Berglandmilch“ in Voitsberg durchgeführt. In weiterer Folge sind zumindest weitere fünf Fallstudien vorgesehen.
- Mitarbeit an der Erstellung der Roadshow und Errichtung von Demonstrationsanlagen. In Kooperation mit der österreichischen Industrie sollen Demonstrationsprojekte realisiert und vermessen werden. Basierend auf den Fallstudien sollen zumindest zwei Demonstrationsanlagen errichtet werden. Die Planungsbetreuung erfolgt aus Mitteln des vorliegenden Projekts. Die Errichtungskosten werden von den betroffenen Unternehmen und über Förderungen (Umweltförderung des Bundes bzw. Landesförderungen) gedeckt.
- Mitarbeit an der Erstellung und Herausgabe eines Handbuchs für solare Prozesswärme.

7 Literaturverzeichnis/Abbildungsverzeichnis/Tabellenverzeichnis

- [1] Valentin, G.: Benutzerhandbuch T*Sol 4.x; Dr. Valentin Energiesoftware GmbH, Berlin, Deutschland 2001.
- [2] Streicher, W., Schnedl, K., Thür, A., Vilics, A.: Programmbeschreibung von SHWwin; Institut für Wärmetechnik, TU Graz, Graz, Österreich 2004.
- [3] Klein, S. A., Beckman, W. A., et al.: A Transient System Simulation Program – Version 15; Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, USA 2000.
- [4] Polysun: Polysun 3.0; Bundesamt für Energie, Bern, SPF Rapperswil, Schweiz 1999.
- [5] Müller, T., Weiß, W., Schnitzer, H., Brunner, C., Begander, U., Themel, O.: Endbericht „PromiSe – Produzieren mit Sonnenenergie – Potenzialstudie zur thermischen Solarenergienutzung in österreichischen Gewerbe- und Industriebetrieben“. AEE INTEC, Gleisdorf im Rahmen der BMVIT-Initiative „Fabrik der Zukunft“ (Proj.-Nr. 804125) 2004.
- [6] Linnhoff, Hindmarsh: The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks; Chem. Eng. Sci., vol. 38, no. 5, pp. 745-763, 1983.
- [7] Linnhoff, March: Introduction to Pinch Technology; 1998; URL: <http://www.linnhoffmarch.com>.
- [8] Gundersen et al: A Process Integration Primer; International Energy Agency, SINTEF Energy Research, 2002.
- [9] HINT, leider nicht mehr am Netz Verfügbar
- [10] Supertarget, KBC Process Technology Ltd.
- [11] Kemp, Deakin: The Cascade Analysis for Energy and Process Integration of Batch Processes – Part I. Calculation of Energy Targets; Chem. Eng. Res. Des. 1989; vol. 67, pp. 495-505.
- [12] Gremouti: Integration of Batch Processes for Energy Savings and Debottlenecking; M.Sc. Thesis, UMIST, Dept. of Process Integration, Manchester 1991.
- [13] Bach, P.W., Haije, W.G.: Heat Storage and Transformation; ZAE Symposium, Munich, 3-5 October 2001.
- [14] European Commission: Energy Storage – A key technology for decentralised power, power quality and clean transport; DG Research, 2001; ISBN 92-894-1561-4.
- [15] Gartler, G., Jähnig, D., Purkarthofer, G., Wagner, W.: Development of a high energy density sorption storage system; Eurosun 2004.
- [16] Hauer, A., et al.: Advanced Thermal Energy Storage through Phase Change Materials and Chemical Reactions – Feasibility Studies and Demonstration Projects; IEA, Final Report.
- [17] Hadorn, J-C (edt.): Thermal energy storage for solar and low energy buildings; 2005, IEA-SHC, ISBN: 84-8409-877-X.
- [18] Heinz, A., Streicher, W., Schranzhofer, H.: Neue Entwicklungen bei Wärmespeichern unter Ausnutzung der Phase Change Materials – PCM; Tagung „Innovative Solar-Speicherkonzepte“, Wien 2006.
- [19] Hirschberg, H.G.: Handbuch Verfahrenstechnik und Anlagenbau; Springer Berlin 1999.
- [20] Kaltschmitt, M., Wiese, A., Sreicher, W.: Erneuerbare Energien; Springer Berlin 2003
- [21] N.N.: Energy Storage – Key to Renewables Integration; Refocus, May/June 2003, p34.
- [22] Schmidt, F., Henninger, S.: Neue Sorptionsmaterialien für die Wärmespeicherung; Tagung „Innovative Solar-Speicherkonzepte“, Wien 2006;

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einfachste Darstellung einer Bilanz.....	15
Abbildung 2:	Beispiel von Umwandlungsprozessen	16
Abbildung 3:	Blatt für Datenaufnahme und Darstellung der Energieversorgung einer Anlage.....	17
Abbildung 4:	Elemente eines typischen industriellen Energiesystems	20
Abbildung 5:	Holztrockner [Moser, Schnitzer 1985].....	21
Abbildung 6:	Verschiedene Arten von Eindampfern	22
Abbildung 7:	Typische Temperaturen in einer Flaschenwaschanlage [Moser,Schnitzer 1985] ...	24
Abbildung 8:	Färben	26
Abbildung 9:	Typische Temperaturen, Mengen und Leistungen beim Gemüseblanchieren	28
Abbildung 10:	Thermodynamische Addition von Energieströmen (zu erwärmende Ströme)	32
Abbildung 11:	Kombination der kalten und heißen Kompositkurve zu einem Diagramm.....	33
Abbildung 12:	Bestimmung einer optimalen Temperaturdifferenz ΔT_{\min}	34
Abbildung 13:	Die „Grand Composite Curve (GCC)“	34
Abbildung 14:	Beispiel eines mit Hilfe der Pinch Methode konstruierten Wärmetauschernetzwerkes.....	35
Abbildung 15:	Integration von thermischer Solarenergie als zusätzlicher Wärmestrom.....	36
Abbildung 16:	Sankey Diagramm für Sudhaus	37
Abbildung 17:	Massenstöße mit Zeitskala und Temperaturen	38
Abbildung 18:	Kompositkurve der relevanten Wärmeströme einer Großbrauerei (ohne die heiße Biomasse)	40
Abbildung 19:	Kompositkurve der relevanten Wärmeströme einer Großbrauerei (inklusive der heißen Biomasse)	41
Abbildung 20:	Grid Diagramm mit einem möglichen Wärmetauscher Netzwerk	42
Abbildung 21:	Temperaturprofil einer Haus-Brauerei	43
Abbildung 22:	Kompositkurve der grundlegenden, energierelevanten Ströme	43
Abbildung 23:	Nettobarwert und interne Verzinsung für die Solaranlage beim Beispielbetrieb	46
Abbildung 24:	Matrix: Zusammenhang Prozesse – Industriebranchen	47

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele der Wärmebehandlung [87, Ullmann 2001]	23
Tabelle 2: Kochen von Fleischprodukten.....	24
Tabelle 3: Kühlung in der Lebensmittelindustrie.....	25
Tabelle 4: Extraktion	25
Tabelle 5: Erfahrungswerte für die Differenz ΔT_{\min} zwischen oberer und unterer Pinch Temperatur (Linnhoff March, 1998).....	32
Tabelle 6: Pinch	36
Tabelle 7: Wärmetauscherrelevante Ströme	39