◀ Abbildung 1
Dampfspeicher eines Industriebetriebs
Quelle: AEE INTEC

IEA FORSCHUNGS KOOPERATION

SHC SOLAR HEATING & COOLING PROGRAMME INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

Planungsrichtlinien für die Integration von solarer Prozesswärme

Von Bettina Muster*

Das Ziel bei der Integration von solarer Prozesswärme ist die Identifikation des technisch und wirtschaftlich am besten geeignetsten Integrationspunkts und das am besten geeignete Integrationskonzept. Aufgrund der hohen Komplexität der Wärmeversorgungsstruktur in der Industrie mit Wärmebedarf in verschiedenen Prozessen ist dieses Ziel nicht einfach zu erreichen. Der in einem Projekt der IEA-Forschungkooperation (IEA SHC Task 49) entwickelte Integrationsleitfaden („Integration Guideline") unterstützt PlanerInnen von Anlagen solarer Prozesswärme, EnergieberaterInnen und ProzessingenieurInnen [1].

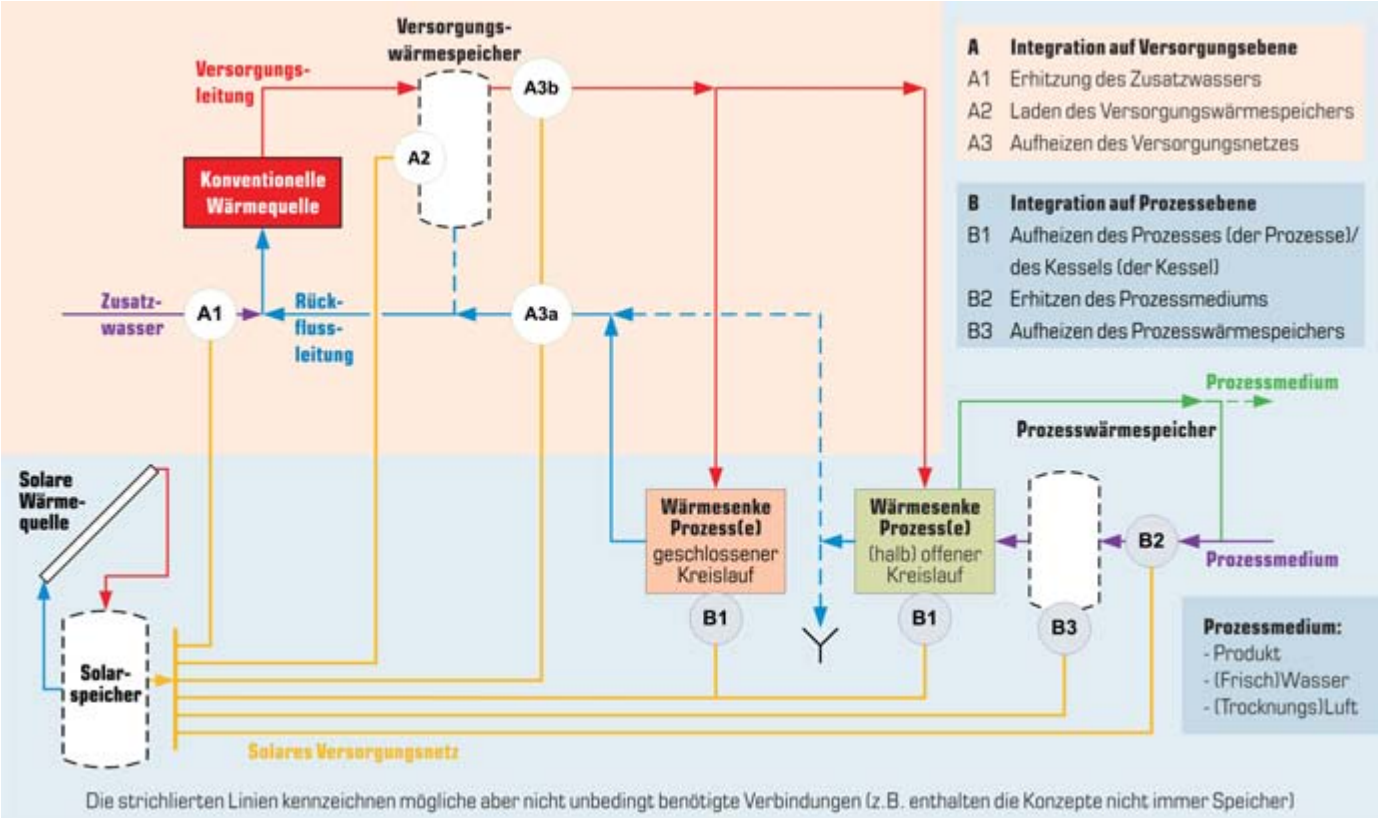
Integrationspunkte

Die Integration von Solarwärme ist an mehreren Stellen in der Wärmeversorgung und im Verteilungsnetz einer industriellen Produktionsanlage möglich (siehe **Abbildung 2**). Grundsätzlich können wir zwischen Integrationspunkten auf Versorgungsebene (einschließlich aller Vorgänge für die Erzeugung und Verteilung von Wärme) und auf Prozessebene (inklusive aller Vorgänge, die auf Prozesslevel durchgeführt werden einschließlich der Wärmeübertragung auf Grundoperationen) unterscheiden. Aufgrund der Komplexität des industriellen thermischen Energiesystems und der Vielzahl an Einbindungsmöglichkeiten wurde im Rahmen der Erstellung des Leitfadens in einem Expertenworkshop eine Methode für eine bestmögliche Vorgehensweise bei der Integration von Solaren Prozesswärmeanlagen in den industriellen Prozess festgeschrieben.

Vorgehensweise bei der Integration von Solaren Prozesswärmeanlagen

Die Methode ist in **Abbildung 4** (Seite 12) dargestellt. Entscheidend ist eine gute Vorbereitung und Kenntnis des industriellen Prozesses bzw. des bestehenden Energieversorgungssystems. Dazu ist ein Kapitel der Integration-Guideline der generellen Beschreibung von Komponenten in thermischen Energiesystemen in Produktionsprozessen gewidmet. Die erste Pre-Feasibility

* *DI Dr.* ***Bettina Muster*** *ist im Bereich Industrielle Prozesse und Energiesysteme - IPE bei AEE INTEC tätig (b.muster@aee.at)*

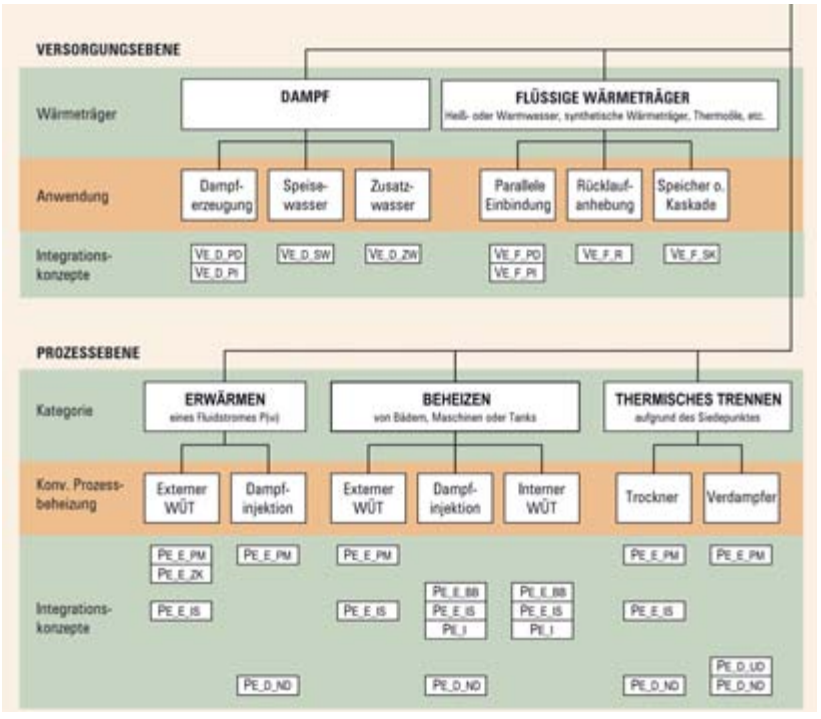


Die strichlierten Linien kennzeichnen mögliche aber nicht unbedingt benötigte Verbindungen (z.B. enthalten die Konzepte nicht immer Speicher)

▲ Abbildung 2
Mögliche Integrationspunkte für solare Prozesswärme [1]

Einschätzung (Schritte 1 – 2), ob die Einbindung einer solarthermischen Anlagen überhaupt in Frage kommt, kann grundsätzlich vor dem Firmenbesuch über ersten Informationen per Telefon oder Fragebogen getroffen werden.
Die Feasibility-Studie selbst (Schritte 3 – 7) umfasst zunächst den Firmenbesuch vor Ort um einen Überblick über Produktionsstätte, Wärmeverbraucher und die Wärmeversorgung zu erhalten, sowie über Zukunftspläne und die Strategie des Unternehmens informiert zu werden. Zu diesem Zeitpunkt ist es hilfreich, Skizzen (Produktionsfluss, mögliche Integrationspunkte, Dachflächen, Lage für Speicher usw.) mit dem technischen Personal des Unternehmens zu sammeln, zu zeichnen und zu diskutieren. Basierend auf den gesammelten Informationen und den relevanten Daten, die vom Unternehmen zur Verfügung gestellt werden, wird der Status-quo durch einen Abgleich der erfassten Daten mit den verfügbaren Benchmarks und der Erstellung von Energiebilanzen und Fließbildern der Produktionsprozesse analysiert. In diesem Schritt wird versucht, den Energieverbrauch der einzelnen Produktionsabschnitte oder Prozesse abzuschätzen. Die tatsächliche Tiefe dieser Analyse basiert auf den verfügbaren Daten und Ressourcen der AuditorInnen.

▼ Abbildung 3
Klassifizierung industrieller Wärmeverbraucher und Integrationsmöglichkeiten [2]



Prozessoptimierung und Energieeffizienz

Die Schritte Prozessoptimierung und Energieeffizienz, die Auswahl von Integrationspunkten und deren Analyse werden im Leitfaden detailliert beschrieben. Zur Erreichung einer effizienten Einbindung der thermischen Solaranlage in den industriellen Prozess ist die Analyse von Maßnahmen der

1	Grundlegende Datenerfassung	• Verwendung eines einfachen Fragebogens zur Erfassung der wichtigsten Informationen vor dem Firmenbesuch • Der Fragebogen ist anwendbar für alle Industriesektoren und umfasst auch die Motivation des Kunden
2	Vorbereitung	• Verwendung von solar- bzw. branchenspezifischen Informationen, um einen Überblick zu gewinnen • Berücksichtigung von zusätzlichen Berichten bzw. realisierten Projekten und Fallstudien • Telefonische Kontaktaufnahme mit dem Betrieb zur Besprechung des Fragebogens und Klärung offener Fragen in Bezug auf Daten, Motivation, zukünftige Strategien
		Entscheidung, ob das Potenzial für ein solares Prozesswärmesystem gegeben ist
3	Firmenbesuch	• Überblick über Produktionsstandort, Wärmeverbraucher, Wärmeversorgungssystem, gemeinsam mit dem verantwortlichen technischen Personal des Betriebs • Besprechung von zukünftigen Plänen und zukünftiger Strategie • Sammeln, Zeichnen und Besprechen von Schemen (Produktionsfluss, mögliche Integrationspunkte, Dachflächen, Aufstellorte für Speicher etc.) mit dem technischen Personal
4	Analyse des Status-quo	• Quercheck der gesammelten Daten mit Benchmarks • Zeichnen von Energiebilanz und Flussschema der Produktion, Abschätzung der Energieverbräuche einzelner Produktionsbereiche oder Prozesse *Die Tiefe dieser Analyse ist abhängig von den verfügbaren Daten und den Ressourcen des Auditors.*
5	Prozessoptimierung und Energieeffizienz	• Untersuchung des Energieeinsparpotenzials der Prozesse (Installation, Regelung,etc.) • Überprüfung von internen Wärmerückgewinnungspotenzialen (Wärmeversorgung, Kälte, Kompressionsluft) *Das Ergebnis dieses Schritts hängt vom Wissen und den Ressourcen des Auditors ab.*
6	Identifikation von Integrationspunkten	• Anwendung der folgenden Kriterien auf alle Produktionsprozesse mit Wärmebedarf: • Integrationstemperaturniveau, Lastprofil, thermischer Energieverbrauch, technischer Aufwand, Sensitivität gegenüber Änderungen, möglicher solarer Anteil • Reihung der Wärmeverbraucher nach oben angeführten Kriterien
7	Analyse der Integrationspunkte	• Identifikation von passendem Kollektortyp, notwendigem Platzbedarf und notwendiger Speichergröße, geplantem Solaranteil und Solarertrag, Gesamtkosten (Solarsystem, Integration und Installation) für die Integrationspunkte • Vergleich der technischen und ökonomischen Fakten der Reihung *Analysen können durch Simulationen oder Abschätzungen durchgeführt werden.*
		Erstellen eines Kurzberichts mit einem Überblick über die geeignetsten Integrationspunkte
8	Entscheidung	• Diskussion der Möglichkeiten für die Integration eines solaren Prozesswärmesystems mit der Firma • Basierend auf den Ergebnissen der vorhergehenden Schritte sollte die Firma eine Entscheidung treffen können, ob ein solares Wärmesystem umgesetzt und welches Konzept realisiert werden sollte.
9	Detaillierte Planung	• Beginn von detaillierten Planungen basierend auf der Firmenentscheidung • Bei Bedarf Wiederholung von vorhergehenden Schritten (z. B. Messung von bestimmten wichtigen Energieströmen um den Status-quo zu verifizieren)

▲ Abbildung 4
Planungsschritte für solare Wärmeintegration [1]

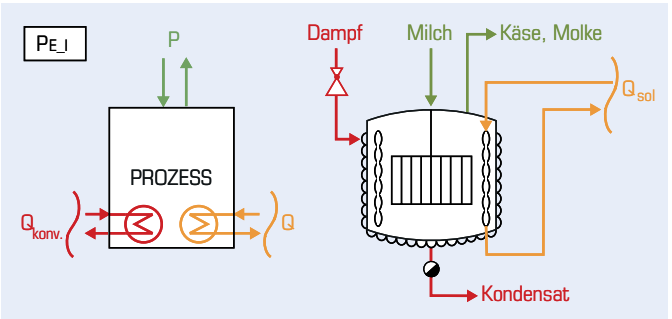
Prozessintegration (Prozessoptimierung, Wärmerückgewinnung) entscheidend. Die gesamtheitliche Betrachtung von Energieeffizienz und Solarer Prozesswärme führt zu effizienteren und ökonomischeren SHIP-Installationen (SHIP – Solar Heat for Industrial Processes). Dafür sind methodische Ansätze über die Pinch-Analyse zur Analyse der Wärmerückgewinnung und der Identifikation von Integrationspunkten für eine neue Wärmeversorgung vorhanden. Im Planungsleitfaden wird auf die methodische Vorgehensweise und die Anwendung von unterstützenden Software-Tools eingegangen.

Integrationskonzepte

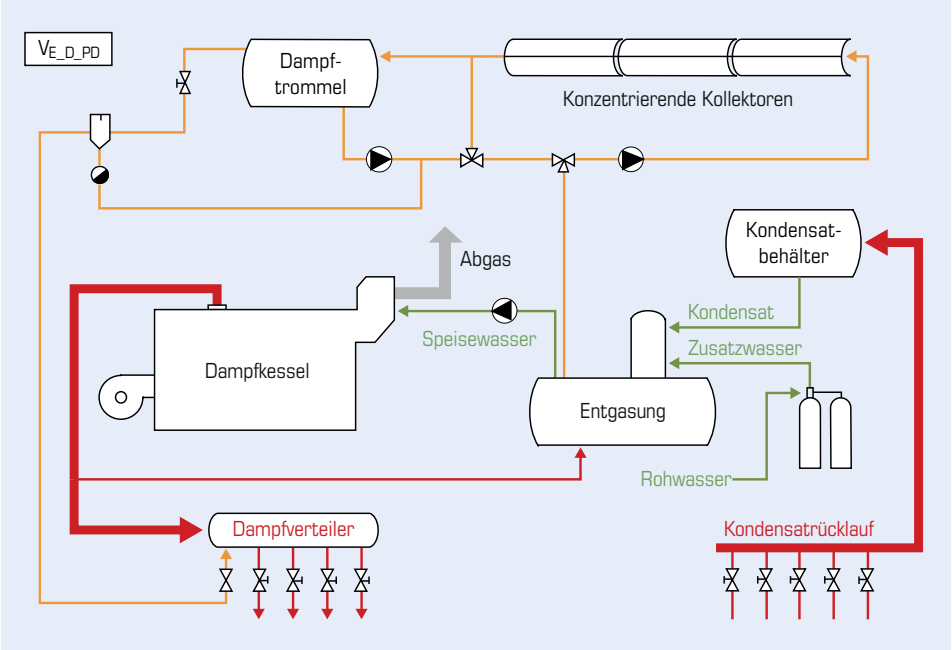
Die Analyse der Prozessintegration verhilft dem Planer / der Planerin zu einer Eingrenzung möglicher Integrationspunkte. Für diese muss in Folge ein sinnvolles Integrationskonzept ausgewählt werden. Dieses beinhaltet eine Definition der Wärmeübergangsschnittstelle zwischen Prozess und solarer Wärmeversorgung. Die Vielzahl möglicher Integrationskonzepte kann je nach Anwendungsfall klassifiziert werden, um den Planer / die Planerin in der Wahl des richtigen Konzeptes zu unterstützen. **Abbildung 3** (Seite 11) zeigt diese Klassifikation **[2]**. Auf Versorgungsebene führen das entsprechende Wärmetransportmedium und der Integrationspunkt direkt zu einem möglichen Integrationskonzept. Auf Prozessebene ist die Kategorie der Wärmesenke in Kombination mit ihrer konventionellen Energieversorgung entscheidend für das Integrationskonzept. Im Planungsleitfaden ist neben der Klassifikation auch die Beschreibung der einzelnen Konzepte integriert. Beispiele aus einer deutschsprachigen Veröffentlichung **[3]** sind in **Abbildung 5** und **Abbildung 6** dargestellt.

SHIP-Systemkonzepte

Diese Integrationskonzepte können nun auf „SHIP system concepts“, sogenannte Systemkonzepte für Prozesswärmeanlagen, ausgeweitet werden. Dabei wird zusätzlich zum Integrationspunkt die solarthermische Installation spezifiziert und klassifiziert. Für die Auslegung eines geeigneten SHIP-Systems ist insbesondere das Verständnis der Anforderung an die Integrationstemperatur entscheidend. Das Systemkonzept für Prozesswärmeanlagen erfordert zusätzlich zum Integrationskonzept Speicher, bestimmte Speicherladungen, Zusammenschaltungen und Entladungskonzepte, die miteinander verknüpft sind und die



▲ Abbildung 5: Integrationskonzept für solare Erwärmung von Prozessbädern über interne Wärmetauscher: Allgemeines Konzept (links) und solare Erwärmung eines Käsefermenters (rechts) [3]



◀ Abbildung 6
Integrationskonzept für direkte solare Dampferzeugung [3]

Zusammenfassung und Ausblick

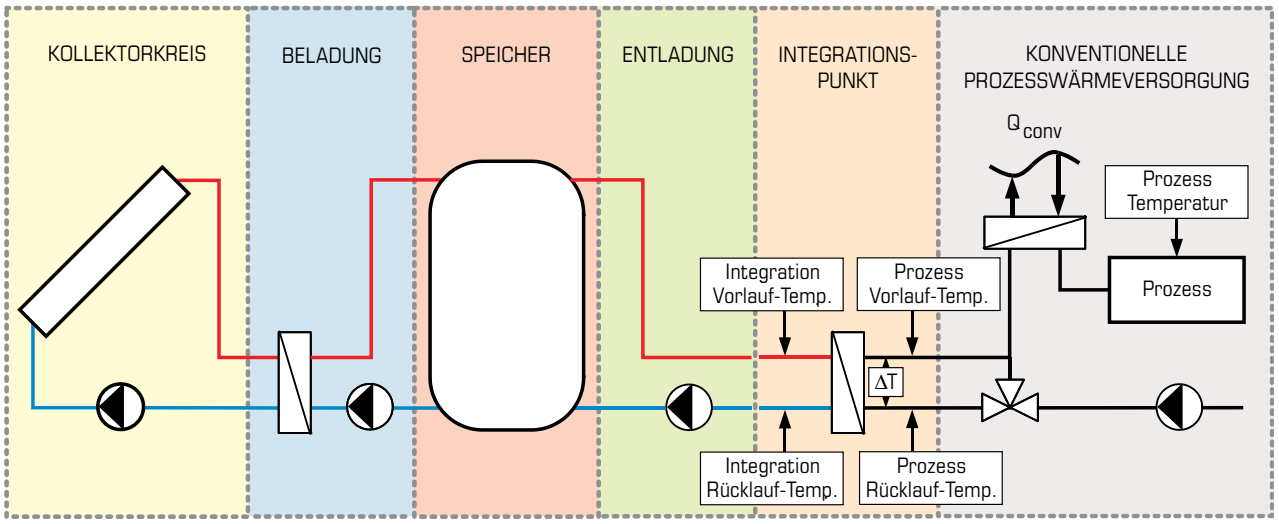
Der Integrationsleitfaden umfasst alle Schritte der Planung und Auswahl von Integrationskonzepten für solarthermische Anlagen in der Industrie. Die detaillierte Planung der solarthermischen Installation selbst über einschlägige Simulationstools ist nicht Inhalt des Leitfadens.
Derzeit ermöglichen Systemsimulationen die Auslegung von Wärmetauschern und Speichern in industriellen Prozessen. Diese Systemsimulationen können Solarwärme als zeitabhängigen Versorgungsstrom (beispielsweise aus einem Solarsimulationstool) beinhalten, aber sie simulieren nicht die Solaranlage an sich. Als Ziel weiterer Arbeiten kann unter anderem die gemeinsame Simulation von Wärmerückgewinnung und Solarinstallation gesehen werden.

Systemleistung stark beeinflussen. SHIP-Systeme werden im Integrationsleitfaden in fünf charakteristische Abschnitte (siehe **Abbildung 7**) unterteilt. Auf Basis dieser Unterteilung werden allgemeine SHIP-Systemkonzepte definiert, die den Integrationskonzepten zugeordnet werden können, d. h. die Auswahl des Integrationskonzeptes bestimmt die möglichen SHIP-Systemkonzepte. Damit wird dem Planer von Solaren Prozesswärmeanlagen ein Leitfaden gegeben, um auf Basis des gewünschten Integrationspunktes ein Systemkonzept zu erarbeiten.
Letztlich wird im Leitfaden eine Methode vorgestellt, um unterschiedliche Integrationspunkte bzw. Integrationskonzepte miteinander zu vergleichen. Dabei werden eine Reihe von Indikatoren vorgestellt. Einerseits gibt es Indikatoren, die schon vor Auswahl des Integrationskonzeptes angewandt werden können, wie zum Beispiel Wärmebedarfsindikatoren oder zeitliche Abläufe. Andere Indikatoren, die Regelung, Kosten und den erwarteten Solarertrag betreffen, können erst nach der Auswahl des Integrationskonzeptes bewertet werden.

Literatur

[1] Muster-Slawitsch, B., Schmitt, B., Krummenacher, P., Helmke, A., Hess, S., Ben-Hassine, I., Schnitzer, H., Integration Guideline, IEA Task 49/IV, 2015.

[2] Schmitt B., 2014, Integration of solar heating plants for supply of process heat in industrial companies (in German language), Dissertation University of Kassel, Shaker Verlag, Aachen, Germany.

[3] Schmitt, B., Lauterbach, C., Vajen, K.: Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme - Machbarkeitsabschätzung und Vorauslegung solarthermischer Prozesswärmeanlagen, IdE gGmbH, März 2015

▼ Abbildung 7: Abschnitte der SHIP-Systemkonzepte [1]