

Prozesse optimieren

Wie gross ist der minimale Energiebedarf eines industriellen Prozesses? Wie kann dieser optimale Zustand erreicht werden und wo liegt das wirtschaftliche Optimum für die Investitions- und Energiekosten? Die neue Software Pinch liefert die Antworten. Es zeichnet sich durch einen systematischen Ansatz aus, mit dem sich der optimale Energieeinsatz und das beste Anlagen-design bestimmen lassen.

VON DONALD OLSEN, PETER LIEM UND
BEAT WELIG

Industrieunternehmen müssen heute vielfältige Anforderungen erfüllen. Die Prozesse sollen nicht nur maximale Wirtschaftlichkeit aufweisen, sondern auch so wenig Energie und Ressourcen wie möglich verbrauchen und geringe Emissionen erzeugen. Zudem führen steigende Energiekosten und Lenkungsabgaben dazu, dass die Erhöhung der Energieeffizienz für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit unabdingbar ist.

Klassische Ansätze der Energieoptimierung konzentrieren sich meistens darauf, die Effizienz einzelner Apparate zu verbessern. Die Erfahrungen zeigen jedoch, dass die optimale Verknüpfung von Energieströmen im Gesamtprozess meist eine grössere Effizienzsteigerung bringt als die oft kostspielige Verbesserung der einzelnen Wirkungsgrade durch rein technische Massnahmen. Prozessintegration ist der gebräuchliche Oberbegriff für eine solche systemorientierte und integrale Methode. Die Pinch-Analyse wiederum ist ein wichtiges Werkzeug der Prozessintegration: Sie hilft, das optimale Anlagendesign zu finden und damit den Energieeinsatz zu optimieren und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

Energieströme optimal verknüpfen

Das Aufheizen und Abkühlen von Stoffströmen verursacht in vielen in-

dustriellen Prozessen einen beträchtlichen Anteil der Energiekosten. Gerade diese Verfahrensschritte bergen aber ein grosses, oft unerkanntes Potenzial für Energieeinsparungen. Für die Steigerung der Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit ist die prozessinterne Wärmerückgewinnung nämlich zentral: Prozessabwärme wird zu Nutzwärme! Eine systematische Vorgehensweise für die optimale Verknüpfung von thermischen Energieströmen in einem Gesamtprozess ist die Prozessintegration mithilfe der Pinch-Analyse.

Die Pinch-Analyse berücksichtigt bestimmte thermodynamische Prinzipien. Für einen Prozessablauf ist neben der Wärmemenge respektive Wärmeleistung meistens auch ein bestimmtes Temperaturniveau erforderlich. Abwärme kann nur dann genutzt werden, wenn sie ein höheres Temperaturniveau aufweist. In einer Pinch-Analyse werden alle thermischen Energieströme systematisch erfasst und zu zwei charakteristischen Kurven, der sogenannten «kalten und warmen Verbundkurve» zusammengefasst («cold and hot Composite Curves»). Die kalte Verbundkurve spiegelt den Wärmebedarf und die warme Verbundkurve das Wärmeangebot wider. Unter der Zielsetzung minimaler Gesamtkosten erhalten Anwender die optimale Verknüpfung der verschiedenen Energieströme.

Bis 40 Prozent weniger Primärenergie

Vereinfacht gesagt beantwortet eine Pinch-Analyse folgende drei Fragen: Wie gross ist der minimal notwendige Energiebedarf, wenn die Energieströme optimal verknüpft werden? Wie kann dieser Optimalzustand erreicht werden? Wo liegt das wirtschaftliche Optimum für die Investitions- und Energiekosten?

Bereits die Beantwortung der ersten Frage ist für die Verantwortlichen aus der Industrie von grossem Nutzen. Wenn der minimal notwendige Energiebedarf einer bestehenden Anlage bekannt ist, kann deren Energieeffizienz durch einen Vergleich mit dem Ist-Zustand korrekt beurteilt werden. Der Vergleich macht deutlich, wie weit der Prozess noch vom Optimalzustand entfernt ist. Die Pinch-Analyse liefert



Erfahrungen zeigen, dass die optimale Verknüpfung von Energieströmen im Gesamtprozess meist eine grössere Effizienzsteigerung bringt als die oft kostspielige Verbesserung der Wirkungsgrade einzelner Komponenten.

Donald Olsen Peter Liem

Wissenschaftliche Mitarbeiter, CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw.

Prof. Dr. Beat Wellig

Leiter CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw.

Ein Beispiel aus der Praxis

«Targets before Design» ist die grundlegende Philosophie der Pinch-Analyse. Das bedeutet, dass in einem ersten Schritt die Energiezielwerte bestimmt werden. Erst dann wird das optimale Anlagendesign entworfen.

Das Pasteurisieren von Milch ist ein einfacher thermischer Prozess: Die Milch wird auf 75°C erhitzt und nach 15 bis 30 Sekunden rasch auf 5°C abgekühlt. Durch diese Behandlung werden krankheitserregende Keime abgetötet. Für das Erhitzen von 720 kg/h Milch von 15°C auf 75°C ist eine Heizleistung von 50 kW erforderlich. Für das anschliessende Abkühlen auf 5°C muss eine Kühlleistung von 58,3 kW zur Verfügung stehen (Grafik 1). Die jährlichen Energiekosten für diesen Prozess belaufen sich auf rund 37 000 Franken. Mit der Pinch-Analyse kann nun aufgezeigt werden, wie durch prozessinterne Wärmerückgewinnung (WRG) die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit markant erhöht werden können.

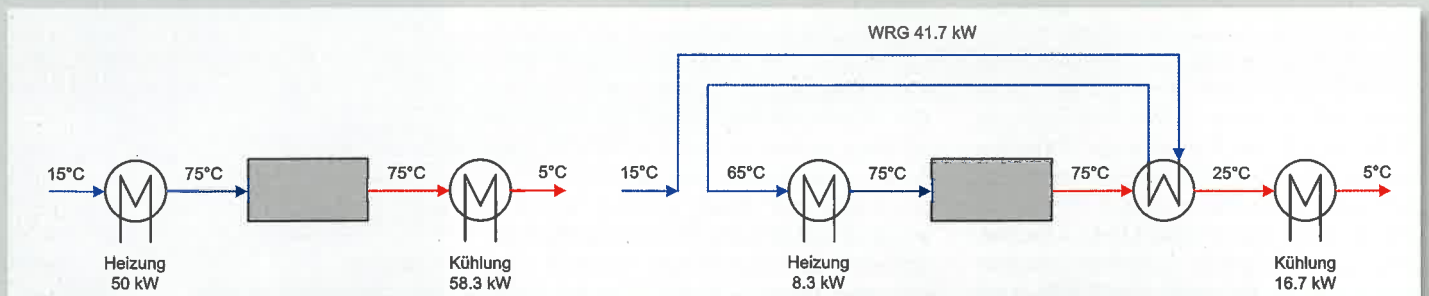
Bei der Pinch-Analyse werden die aufzuwärmenden und die abzukühlenden Stoffströme in einem Temperatur/Wärmestrom-Diagramm dargestellt. Die zu erwärmende Milch (blaue Linie) repräsentiert den Wärmebedarf und die zu kühlende Milch (rote Linie) das Wärmeangebot (Grafik 2: «Composite Curves»). In diesem speziellen Fall

verlaufen die Kurven parallel. Durch horizontales Verschieben der blauen Kurve ändert sich die minimale Temperaturdifferenz (ΔT_{min}) zwischen den beiden Kurven. Je grösser die minimale Temperaturdifferenz ist, umso kleiner wird der überlappende Bereich und damit das Potenzial für die Wärmerückgewinnung. Gleichzeitig wird mehr Heiz- und Kühlleistung benötigt, was zu höheren Energiekosten führt. Gerade umgekehrt verhalten sich die Investitionskosten für die Wärmerückgewinnung: Diese sinken mit steigender Temperaturdifferenz, da kleinere Wärmeübertragungsflächen benötigt werden.

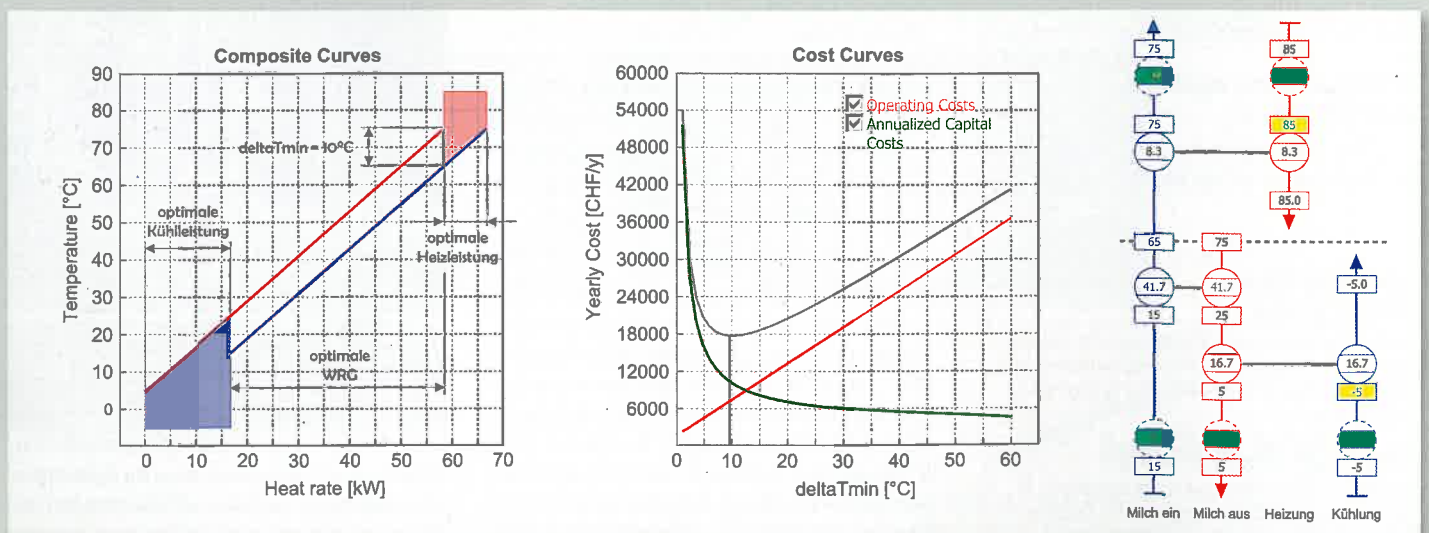
Beim sogenannten «Super-Targeting» werden in Abhängigkeit der minimalen Temperaturdifferenz die Energie- und Investitionskosten zu den jährlichen Gesamtkosten aufaddiert (Grafik 2: «Cost Curves»). Damit erhält man die optimale Temperaturdifferenz, bei der die jährlichen Gesamtkosten für den Prozess minimal werden. Im vorliegenden Beispiel werden die tiefsten jährlichen Gesamtkosten von 17 900 Franken bei einer optimalen Temperaturdifferenz von rund 10°C erreicht. Aus den Composite Curves erhält man eine optimale Heizleistung von 8,3 kW und eine optimale Kühlleistung von 16,7 kW. Die optimale Wärmerückgewinnung beträgt 41,7 kW.

Die oben erwähnten Wärmeleistungen werden «Energiezielwerte» genannt. In einem nächsten Schritt gilt es jetzt, ein Anlagendesign zu entwerfen, mit dem die Energiezielwerte aus den Composite Curves unter Einhaltung der minimalen Temperaturdifferenz erfüllt werden. Dies wird durch die Kopplung der Ströme mit Wärmeübertragern erreicht (Grafik 2: Wärmeübertrager-Netzwerk). Der Pasteurisierungsprozess benötigt drei Wärmeübertrager: Mit zwei werden dem Prozess die externen Heiz- und Kühlleistungen zugeführt, der dritte stellt die prozessinterne Wärmerückgewinnung sicher. Im Vergleich zum Prozess ohne Wärmerückgewinnung betragen die jährlichen Energiekosten rund 7600 Franken, d.h. nur einen Fünftel der ursprünglichen Summe. Bei einer Pasteurisierungsanlage findet man diese Schaltung für die Wärmerückgewinnung auch ohne Pinch-Analyse – das wirtschaftliche Optimum ist jedoch nicht offensichtlich. Sobald komplexe Anlagen mit dutzenden von Strömen im Spiel sind, ist die Pinch-Analyse für Unternehmen ein sehr praktikables Werkzeug, um zum optimalen Anlagendesign zu gelangen.

Das BFE unterstützt und fördert die praktische Anwendung der Pinch-Analyse. Unter www.bfe.admin.ch (Suchbegriff «Prozessintegration») sind weitere Informationen einzusehen.



Grafik 1: Vereinfachte Verfahrensflussbilder eines Pasteurisierungsprozesses. Links: Anlage ohne Wärmerückgewinnung. Rechts: optimierte Anlage nach Umsetzung der Massnahmen aus der Pinch-Analyse.



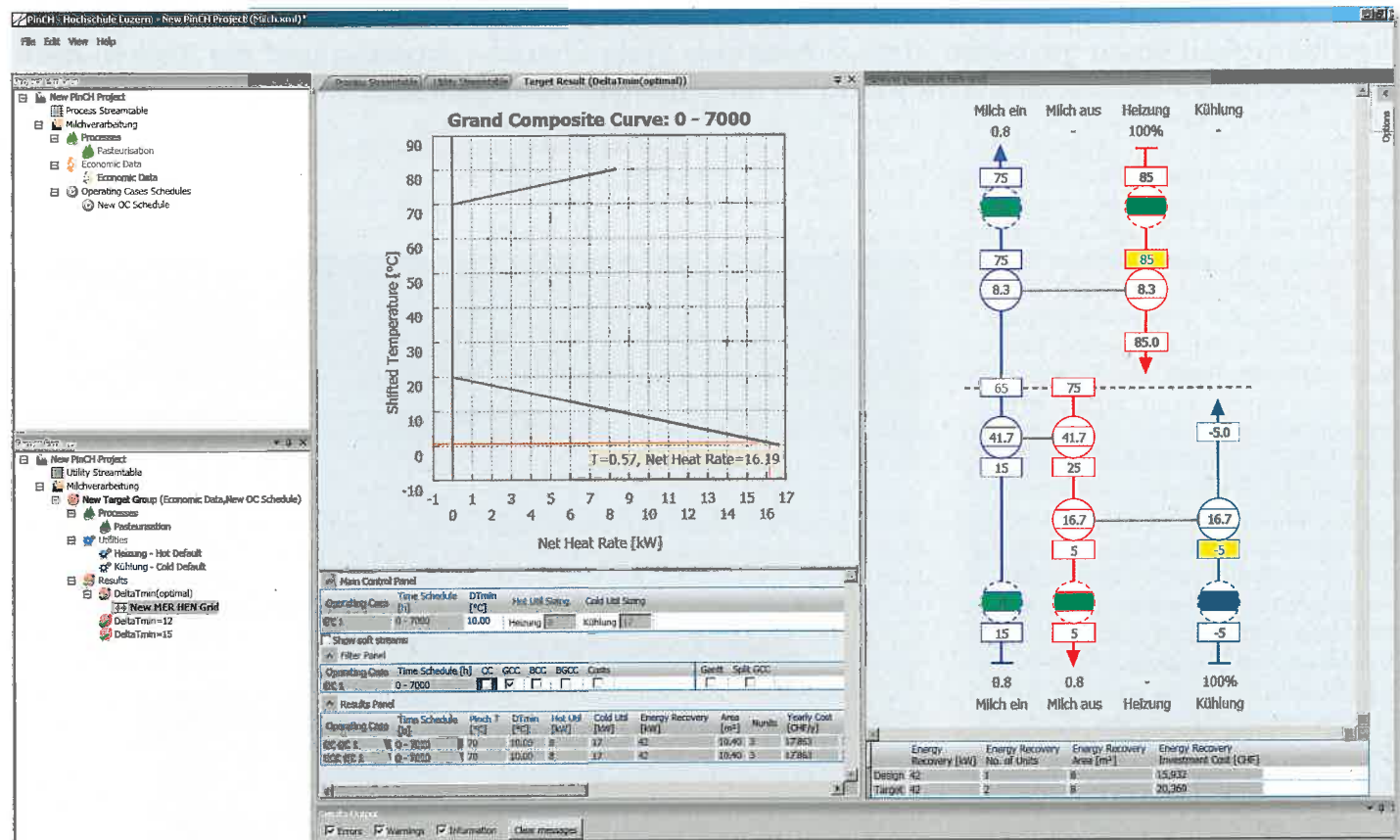
Grafik 2: Composite Curves, Cost Curves und Wärmeübertrager-Netzwerk des Pasteurisierungsprozesses.

aber noch mehr: Sie zeigt systematisch den Weg zum Optimalzustand auf, das Ergebnis ist ein ideales Anlagendesign. Vielfach sind jedoch nicht alle Verknüpfungen, sprich Wärmeübertrager, sinnvoll und machbar. Aus den Ergebnissen können jedoch in einer strategischen Planung Massnahmen zur Wärmerückgewinnung und verbesserten Energieversorgung abgeleitet werden. Zudem ist die Pinch-Analyse ein wert-

volles Instrument für die Konzipierung von neuen Anlagen und Prozessen.

Besonders sinnvoll sind Pinch-Analysen für energieintensive Branchen wie die Chemie- und Pharmaindustrie, die Lebensmittelindustrie oder die Papier- und Baumaterialbranche. Ingenieurbüros aus dem Umfeld der Energie-Agentur der Wirtschaft (www.enaw.ch) haben bis heute rund 40 Pinch-Analysen durchgeführt (z.B. Nestlé, Perlen

Papier). Das Potenzial zur Senkung des Primärenergieverbrauchs beträgt üblicherweise 10 bis 40%. Je nachdem wie hoch die Energieeinsparungen und die Investitionskosten für die Umsetzung der erarbeiteten Massnahmen ausfallen, variieren die Amortisationszeiten. In verschiedenen vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützten Fallstudien liegt die durchschnittliche Amortisationszeit bei drei Jahren. ●



Grafik 3: Zwei Explorer führen die Anwender Schritt für Schritt durch die Pinch-Analyse (linke Spalte). Die Benutzerfreundlichkeit wird durch verschiedene Optionen erhöht. So kann mit den «dockable Windows» die Bildschirmanzeige je nach Bedürfnis variiert werden (z.B. mittlere Spalte: Anzeige eines Berechnungsergebnisses, rechte Spalte: Wärmeübertrager-Netzwerk).

Stützpunkt aufgebaut

Die Hochschule Luzern – Technik & Architektur hat im Auftrag des BFE und in enger Zusammenarbeit mit einem Expertenteam die Software PinCH für die praktische Durchführung von Pinch-Analysen entwickelt (Grafik 3). Sie soll der Anwendung der Methode, die bisher vor allem in Grossbetrieben durchgeführt wurde, auch in kleinen und mittleren Betrieben zum Durchbruch verhelfen. Die Software erlaubt eine schnelle Einarbeitung in die Methodik sowie eine zielgerichtete und kostengünstige Anwendung in der Praxis. Die Software verfügt über eine Vielzahl von praktischen Features. Sie ermöglicht unter anderem die Analyse von kontinuierlichen Prozessen und Batch-Prozessen, die Kopplung mehrerer Prozesse (Prozess-Management), technische und ökonomische

Variantenstudien (Szenario-Management), das graphische Design von Wärmeübertrager-Netzwerken, die Integration von Wärmepumpen, Blockheizkraftwerken, Brüdenverdichtern sowie die Optimierung von Energieversorgungssystemen.

Am Kompetenzzentrum CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik der Hochschule Luzern wurde in Zusammenarbeit mit dem BFE ein Prozessintegration/Pinch-Stützpunkt aufgebaut. Ingenieurbüros und Industrieunternehmen erhalten hier Unterstützung bei der Durchführung von Pinch-Analysen sowie im Umgang mit der Software. Zudem führt das Kompetenzzentrum solche Analysen für Unternehmen durch. Praxisorientierte Schulungen im Bereich Prozessintegration und Pinch-Analysen sowie massgeschneiderte Firmenkurse ergänzen das umfassende Angebot des Stützpunkts.

Ziel ist, Unternehmen in ihrer nachhaltigen Entwicklung und bei der Reduktion von CO₂-Emissionen zu unterstützen, indem die Senkung des Energiebedarfs mit der Erhöhung der Wirtschaftlichkeit einhergeht. www.pinch-analyse.ch

Informationen:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur:
Prof. Dr. Beat Wellig
E-Mail: beat.wellig@hslu.ch

Bundesamt für Energie:
Martin Stettler,
Bereichsleiter Prozess- und
Betrieboptimierung Industrie und
Dienstleistungen (PBO)
E-Mail: martin.stettler@bfe.admin.ch