

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 115 (1997)  
**Heft:** 38

**Artikel:** Energieoptimierung in der Projektierungsphase  
**Autor:** Diggelmann, Daniel / Morand, Raymond  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-79306>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Neuer energetischer Optimierungsgrad* [%]	61
<b>Massnahmen</b>	
Wärmeenergieeinsparung [%]	25
Kosteneinsparung Fr. p.a.	42 000.-
mittlere Payback-Zeit [a]	3.0

**Kältekonzept**

Stromeinsparung [%]	15
Wassereinsparung [%]	20
Kosteneinsparung Fr. p.a.	41 000.-

\* Energetischer Optimierungsgrad nach Helbling [1]: Quotient der bestehenden Wärmerückgewinnung zur technisch-wirtschaftlich vertretbaren Wärmerückgewinnung

$$\eta = \frac{Q_{\max} - Q_{\text{ist}}}{Q_{\max} - Q_{\text{opt}}}$$

$Q_{\text{ist}}$ : heutige Wärmeleistung [kW]

$Q_{\max}$ : Wärmeleistung [kW] ohne Wärmerückgewinnung (WRG)

$Q_{\text{opt}}$ : Wärmeleistung mit optimaler WRG nach Pinch-Methode [kW]

nungsmöglichkeiten) auch die optimale Temperatur des Warmwasserspeichers bestimmt werden. Dank der wichtigen Rolle als Träger der Abwärme und seiner guten Speicherbarkeit kann in diesem Projekt die energetische Prozessintegration (Wärmerückgewinnung) zum grossen Teil mit Wasser als Übertragermedium betrieben werden.

Trotz des diskontinuierlichen Charakters des Brauprozesses (Batch-Prozess) kann die Analyse in einem ersten Schritt mit gemittelten Verbundkurven durchgeführt werden, wie wenn es sich um einen kontinuierlichen Prozess handelte. Dieser Ansatz ist tauglich für globale Feststellungen zum Gesamtprozess. Die Warmwasserspeicherung erlaubt es, zusätzlich zeitliche Beschränkungen in der Wärmerückgewinnung aufzulösen, d.h., neben der Abwärmenutzung wird auch die Produktionsflexibilität erhöht. Nur muss die Speichergrösse so ausgelegt werden, dass alle Produktionssituationen inkl. An- und Abfahrt beherrscht werden können.

Eine der Hauptaussagen der Analyse mit der Pinch-Methode bildete der energetische Optimierungsgrad der Anlage. Der Optimierungsgrad bezieht in einer

Art energetischer Standortbestimmung die noch mögliche Energieoptimierung.

Durch die Systematik des Vorgehens inkl. Neudefinition der Prozessanforderungen mit der Pinch-Methode können völlig neue Lösungen gefunden werden. Quasi als Nebeneffekt werden betriebliche Nichtidealitäten entdeckt z.B. der Würzehühler, welcher mehrmals umgebaut wurde und nicht mehr innerhalb der optimalen Prozessbedingungen lief.

Der Erfolg in energetischer Hinsicht ist mit der Pinch-Methode sichergestellt. In finanzieller Hinsicht ist der Erfolg bei heutigen Energiebereitstellungskosten von den Gegebenheiten des einzelnen Betriebes insbesondere Anlagenauslastung und Energiekosten pro Wertschöpfungseinheit abhängig.

## Adresse der Verfasser:

*Raymond Morand, Dipl. Ing. ETH/SIA, Helbling Ingenieurunternehmung AG, 8048 Zürich; Pierre Krummenacher, Ing. EPFL/SIA, EPFL-Lab. d'énergétique industrielle, 1015 Lausanne*

**Bauherr**

*Feldschlösschen AG (Brasserie Valaisanne), D. Bhend, Dipl. Ing. ETH, F. Stauffer, Braumeister, 4310 Rheinfelden*

## 6

## Zusammenfassung der Resultate

braucht es neben Erfahrung und gesundem Menschenverstand vor allem die Systematik der Pinch-Methode. Mit Hilfe der Verbundkurven kann neben den energetischen Zielsetzungen (minimale Heiz- und Kühlleistungen, Wärmerückgewin-

Daniel Diggelmann und Raymond Morand, Zürich

## Energieoptimierung in der Projektierungsphase

**Im Rahmen eines Pilotprojektes unter Energie 2000 wurde die Produktionsanlage einer Papierfabrik im Bereich thermische Energie mittels der Pinch-Methode untersucht. Auslöser waren anstehende umfangreiche Sanierungsarbeiten an der Anlage und eine geplante Produktionssteigerung. Die Anwendung der systematischen Analyse-Methode zeigte ein wirtschaftlich interessantes Energieeinsparpotential von 13% auf. Die Einsparungen resultierten im Bereich der Papiertrocknung, einerseits durch Änderungen am Dampf- und Kondensatsystem, anderseits durch die Optimierung der Wärmerückgewinnung/Abwärmenutzung, womit neu die Maschinenzuluft (110 °C) ohne externe Energiezufuhr vollständig aufgeheizt werden kann.**

Mit der Realisierung der Sanierungsmaßnahmen im Sommer 1995 wurde das Einsparpotential erschlossen, wobei die Payback-Zeiten durchwegs weniger als zwei Jahre betrugen. Die Studie zeigte auch, dass bei Anwendung der Pinch-Methode bereits in der Projektierungsphase von Anlagensanierungen (bzw. Neuanlagen) die Investitionskosten für die Realisierung der Einsparmaßnahmen gesenkt werden können. Ebenfalls konnte der in der Papierindustrie verbreiteten Meinung entgegengestritten werden, dass eine wirtschaftliche Aufheizung der Maschinenluft mittels Abwärme nur bis zur Ausnutzung der Vakuumbrüden, d.h. bis rund 70 °C möglich ist.

### Problemstellung

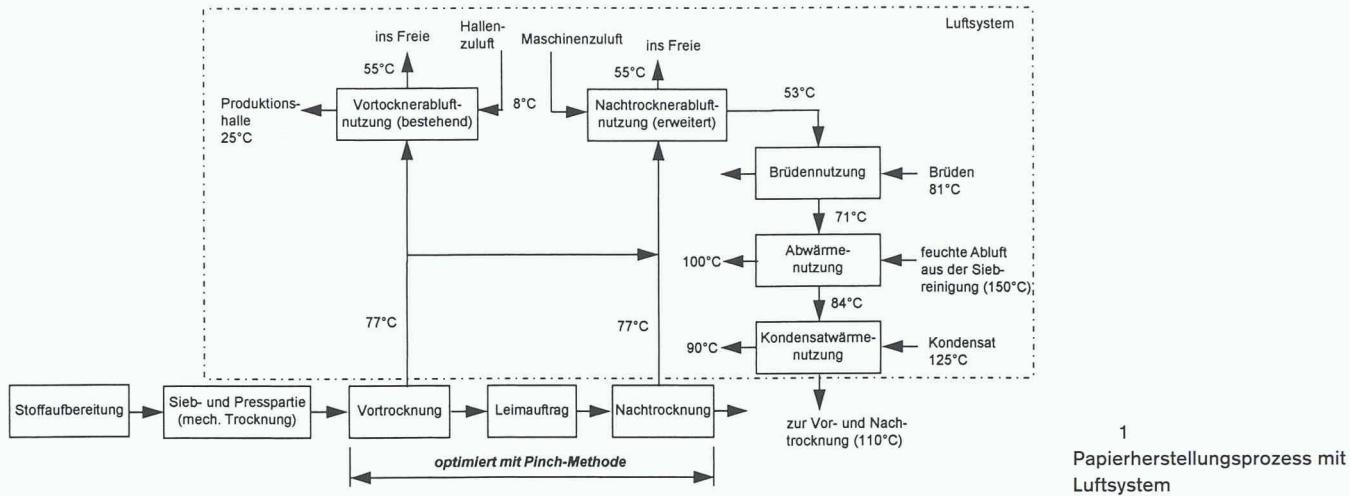
Das vorliegende Projekt war Teil des Programms Energie 2000, welches unter an-

derm die Anwendung neuer, wenig bekannter Technologien der effizienten Energienutzung in der Industrie fördert. Die Papierfabrik produziert jährlich rund 35 000 Tonnen hochwertiges, holzfreies Feinpapier für den grafischen Bereich sowie Spezialpapiere für Büro und EDV. Die Produktion erfolgt auf einer Papiermaschine, welche rund um die Uhr im Einsatz steht, d.h. mehr als 7500 Betriebsstunden pro Jahr erreicht. Im Sommer 1995 wurde die Produktionskapazität auf dieser Maschine erhöht. Damit verbunden waren umfangreiche Sanierungsarbeiten im Bereich der Papiertrocknung, auf welche der grösste Teil der jährlichen Energiekosten entfällt.

Aufgrund des Stellenwertes der Energie bei der Papierherstellung entschloss sich die Firma während der Projektierungsphase zusätzlich eine energetische Analyse durchzuführen. Deren Resultate sollten dann in die Lieferantenangebote einfließen mit dem Ziel einer energieeffizienten Papierproduktion nach abgeschlossener Sanierung.

**Bauherr**

*Ziegler Papier AG, R. Thoma, 4203 Grellingen*



## Prozessbeschrieb

Die Papierherstellung (Bild 1) ist ein aufwendiger verfahrenstechnischer Prozess, wobei das Produkt verschiedene Stufen durchläuft. In der Stoffaufbereitung wird der Papierbrei aus Zellstoff, Wasser und Zusatzstoffen hergestellt und auf die Papierbahn aufgetragen. In der Siebpartie wird das Blatt mittels Entwässerung durch Filtration gebildet und gepresst (mechanische Trocknung). Anschliessend erfolgt die thermische Trocknung des Papiers mittels dampfbeheizten Trocknungszylin dern, wobei das Wasser in mehreren Stufen ausgedampft wird. Die thermische Trocknung besteht aus Vortrocknung, Leimauftrag und Farbauflage (je nach Ein-

satzbereich des Papiers) sowie der Nachtrocknung.

Die Papierbahn untersteht beim Trocknungsprozess einer bestimmten Aufheizcharakteristik, d.h., die Temperaturen der ersten Trocknungszyliner sind geringer als die der nachfolgenden, um die Papierbahn aus Qualitätsgründen schonend aufzuheizen. Diese optimale Beheizung der in Kaskade geschalteten Trocknungszyliner erfordert den Einsatz eines optimal abgestimmten Dampf- und Kondensatsystems mit aufwendiger Regelungstechnik.

Die Trocknungszyliner befinden sich in einer durchlüfteten Trocknungshaube, in welcher der Wasserdampf von der Trocknungsluft ( $110^{\circ}\text{C}$ ) aufgenommen und über Abluftkamine ins Freie transportiert wird.

## Analyse der Papiermaschine mit der Pinch-Methode

Thermische Energie benötigt die Papiermaschine vorwiegend für die Papiertrocknung, wo auch die vorliegende Energieoptimierung mit der Pinch-Methode vorgenommen wurde (Bild 1). Die Datenaufnahme mit Energiebilanzierung und anschliessender Definition der Prozessanforderungen ergab die energetische Verbundkurve in Bild 2, die das mögliche Einsparpotential zeigt.

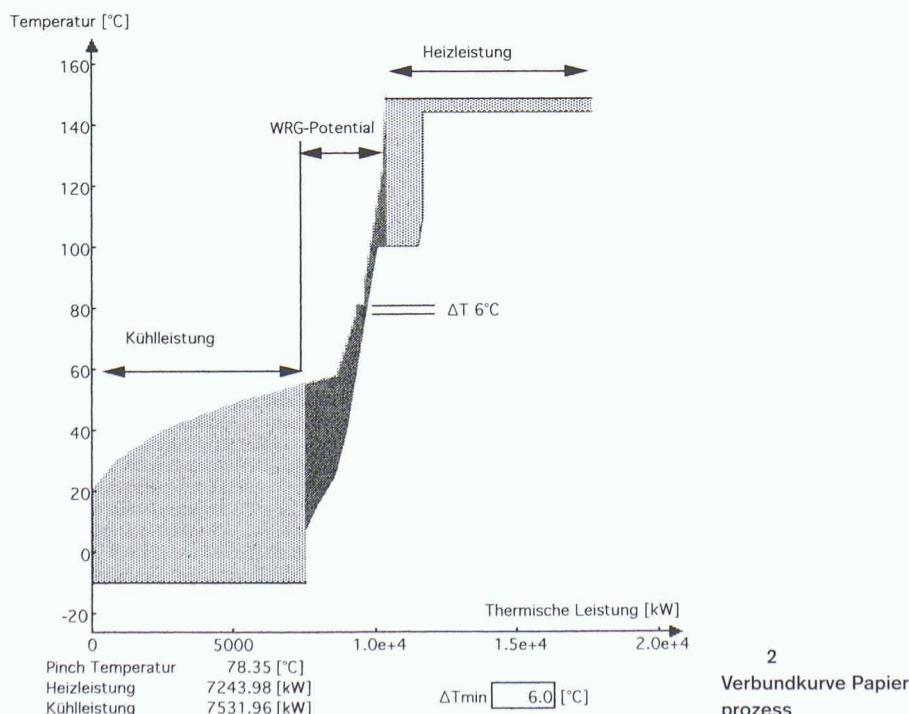
Die optimale minimale Temperaturdifferenz beträgt  $6^{\circ}\text{C}$ . Der minimale Wärmeleistungsbedarf von  $7244 \text{ kW}_{\text{th}}$  gemäss Verbundkurve (Bild 2) wird in der Praxis nicht erreicht, da die Realisation einiger Wärmetauscher nicht wirtschaftlich ist. Der Wasserdampf in der gesättigten Abluft des Trocknungsprozesses kondensiert beim Austritt aus dem Abluftkamin. Diese enorme Abwärmeleistung von rund  $7500 \text{ kW}_{\text{th}}$  kann infolge der zu tiefen Temperatur von etwa  $55^{\circ}\text{C}$  im Prozess nicht weiter genutzt werden. Auch eine Sekundärnutzung ist nicht sinnvoll, weil keine grossen Niedertemperaturverbraucher vorhanden sind.

## Massnahmen und Resultate

Folgende Massnahmen wurden realisiert (Bild 1):

- Das Dampf- und Kondensatsystem wurde energetisch optimiert und dessen Abwärmeströme wie Brüden (= Dampf) und Kondensat zur Maschinenzuluftwärme genutzt

- Die feuchtheisse Abwärme (vor allem des Verdichters) der Vakuumanlage der Siebreinigung wurde zur Vorwärmung der Maschinenzuluft verwendet



	Heizleistung [kWh <sub>th</sub> ]	Energieverbrauch [MWh <sub>th</sub> /a]	spez. Energieverbrauch [kWh <sub>th</sub> /t Papier]
Theoretisches Minimum nach Pinch-Methode			
Pinch-Methode	7244	54 000	966
Sanierung ohne Einsparmassnahmen	8925	67 000	1190
Sanierung mit Einsparmassnahmen	7800	58 000	1040

3

Einsparungen potentiell und realisiert

Die Wärmerückgewinnung der feuchten Abluft (Luftsystem) wurde zwecks Erhöhung der Zuluftvorwärmung der Papiermaschine erweitert.

Mit diesen Massnahmen kann die Erwärmung der Maschinenzuluft ( $110^{\circ}\text{C}$ , rund  $70\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ) vollständig durch Abwärmenutzung erfolgen, womit der Einsatz von zusätzlichem Netzdampf entfällt. Die benötigte Dampfleistung reduzierte sich um mehr als  $1\text{ MW}_{\text{th}}$ , wobei der spezifische Energieverbrauch um  $150\text{ kWh}_{\text{th}}$  auf  $1040\text{ kWh}_{\text{th}}$  pro Tonne Papier sank. Dies entsprach einer Einsparung von knapp 13%. Die Resultate des Projektes sind in Bild 4 dargestellt.

Einsparungen [%]	13
Betriebskosteneinsparung [Fr. p.a.]	332 000
Investitionen [Fr.]	414 000
Payback [a]	1.5

4

Zusammenfassung der Resultate

Die vorgeschlagenen Massnahmen ergeben jährliche Betriebskosteneinsparun-

gen von Fr. 332 000.- bei Investitionen von Fr. 414 000.-. Die Payback-Zeiten der einzelnen Massnahmen lagen allesamt unter zwei Jahren, was deren hervorragende Wirtschaftlichkeit verdeutlicht.

Nebst den energetischen Massnahmen wurden auch betrieblich/technische Massnahmen aufgezeigt. Unter anderem konnte durch das neue Lüftungskonzept der Produktionshalle das Raumklima und somit die Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter verbessert werden. Die Realisation dieses für die Papierindustrie zukunftsweisenden Konzepts erfolgte in Zusammenarbeit mit einer deutschen Klimatechnikfirma.

### Nutzen der Pinch-Methode

Die Anwendung der systematischen Pinch-Methode zeigte, dass im vorliegenden Papierprozess ein wirtschaftlich realisierbares Einsparpotential von 13% zu erreichen ist. Dafür mussten das Luftsystem und das Dampf- und Kondensatsystem gemeinsam

als Einheit betrachtet werden. Dieses komplexe System erfordert den Einsatz einer systematischen Methode, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Mit der Pinch-Methode konnten diese Anforderungen erfüllt werden.

Die Pinch-Methode ist ein wichtiges Instrument zur Beurteilung und Sanierung bestehender Anlagen. Noch wichtiger wird sie als Planungshilfsmittel bei Sanierungsprojekten wie im vorliegenden Fall sowie bei Neubauprojekten. Dabei können bereits in der Projektierungsphase entscheidende Verbesserungen mit geringem Kostenmehraufwand verglichen mit dem ursprünglichen Investitionsvolumen realisiert werden. Entsprechend kann die Payback-Zeit tief gehalten und Fehlinvestitionen vermieden werden. Damit wird die Pinch-Methode zu einem wertvollen Instrument für die Analyse und Planung in der Industrie.

Aufgrund des modellhaften Vorgehens mit Anwendung einer neuen Technologie (Pinch-Methode), verbunden mit einer interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Bauherr, Maschinenbauer und Energieberater, wurde dieses Projekt 1996 mit dem «prix eta», dem Preis für Energievernunft der Schweizerischen Elektrizitätswirtschaft ausgezeichnet.

Adresse der Verfasser:

Raymond Morand, Dipl. Ing. ETH/SIA;  
Daniel Diggelmann, Dipl. Ing. HTL/NDS Energie, Helbling Ingenieurunternehmung AG, 8048 Zürich

Rémy Jeanmonod, Monthey, Pierre Krummenacher, Lausanne

## Intégration d'une installation d'oxydation par voie humide

**La consommation d'eau de refroidissement d'une installation d'oxydation par voie humide (OVH) s'est révélée, à l'usage, particulièrement élevée (seul le réacteur OVH proprement dit fut équipé d'une récupération de chaleur à la construction de l'installation). A l'aide de la méthodologie du pincement, l'analyse énergétique du procédé a rapidement montré qu'une puissance supplémentaire de plus de 1,4 MW pouvait être effectivement récupérée**

**par une meilleure intégration énergétique, et ceci malgré les nombreuses contraintes pratiques (fonctionnement partiellement par batch, réutilisation de divers échangeurs [titane], etc.).**

Réalisé en 1996, le projet résulte en une économie annuelle de 12 000 tonnes de vapeur et  $250\,000\text{ m}^3$  d'eau de refroidissement, pour un investissement de 600 000 CHF. La durée de payback est de deux ans.

### Pourquoi l'oxydation par voie humide?

L'oxydation par voie humide (OVH) est un procédé chimique découvert en 1912, lequel a connu une première application, dans le domaine de l'épuration des eaux, en 1950. CIBA a construit trois installations fonctionnant sur ce principe, dont deux en Allemagne (Brunsbüttel en 1982, et Grenzach 1990) et une en Suisse (Monthey 1988).

Ce procédé permet de traiter les eaux résiduaires provenant d'installations chimiques et qui ne peuvent pas être traitées par une station d'épuration biologique conventionnelle. Le principe du procédé consiste à oxyder, donc à brûler, les résidus contenus dans l'eau sous l'action combinée de l'oxygène de l'air injecté sous