

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111 (1993)
Heft: 33/34

Artikel: Abwärmenutzung: Musterbeispiel in einem industriellen Prozess
Autor: Humm, Othmar
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78226>

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: 26.01.2026

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

Literatur

- [1] Giger, P.: Simulation of Railway Networks with RWS-1. IVT Report No. 75, Zürich 1989

vor einem Hauptsignal, sondern in Fahrt ($v \neq 0$) unmittelbar vor einem Vorsignal, das die Stellung des nächsten Hauptsignals anzeigt.

Im folgenden gilt die Voraussetzung, dass die Verspätungen des Zuges A *unabhängig* von den Verspätungen des Zugs B auftreten. Diese Annahme ist in der Regel zulässig. Die Verspätung des Zuges A wird mit t_A , diejenige des Zuges B mit t_B bezeichnet. Sie streuen in der gleichen Größenordnung, was eine Gleichsetzung der statistischen Mittelwerte von t_A und t_B erlaubt. Damit ergeben sich für die Züge folgende Dichtefunktionen der Verspätungen:

$$h_A = \frac{e^{-(t_A/m)}}{m} \text{ für den Zug A}$$

$$h_B = \frac{e^{-(t_B/m)}}{m} \text{ für den Zug B}$$

Die mathematische Herleitung der Wahrscheinlichkeit P_a einer Behinderung des Zuges A kann aus der geometrischen Interpretation der Figur 3 erläutert werden. Sofern der Zug A keine Verspätung aufweist (d.h. $t_A = 0$), entspricht die Behinderungswahrscheinlichkeit der Fläche zwischen τ_b und τ_c . Die Häufigkeit dieser Voraussetzung beträgt im Gegensatz zum vorhergehenden Kapitel nicht mehr 1, sondern nur noch $h_A(t_A=0) \cdot dt_A$. Somit muss die Fläche bzw. das Integral (2) mit diesem Wert multipliziert werden. Weist der Zug A eine Verspätung $t_A \neq 0$ auf, verschiebt sich aufgrund der Eigenschaften des Eisenbahnsystems die Integralfläche um die Distanz t_A , was im mathematischen Sinne dem Integral zwi-

schen $\tau_b + t_A$ und $\tau_c + t_A$ entspricht (vgl. Bild 7). Die Integration ergibt folgende Beziehung:

$$P_a = \int_0^\infty h_A(t_A) \left\{ \int_{\tau_b + t_A}^{\tau_c + t_A} h_B(t_B) dt_B \right\} dt_A = \frac{e^{-(\tau_b/m)} - e^{-(\tau_c/m)}}{2} \quad (4)$$

Ein Vergleich der Beziehung (4) mit (2) zeigt, dass sich die Wahrscheinlichkeit P_a einer Behinderung des Zuges A halbiert, sobald beide Züge nach einer Exponentialverteilung mit gleichem Mittelwert verspätet sind.

Falls die mittlere Verspätung m nicht bekannt ist, kann die bereits erläuterte Abschätzung mittels Hüllkurven analog angewendet werden. Die Beziehung (3) für die mittlere Verspätung m^* mit der grössten Behinderungswahrscheinlichkeit bleibt gleich.

Anwendungsbeispiel

Als Zusammenfassung wird ein konkretes Beispiel diskutiert. Für das Investitionsprogramm «Bahn 2000» müssen die Gleisanlagen beim Bahnhof Aarburg-Oftringen gemäss Bild 8 mit einer doppelspurigen Gleisschleife für Intercity-Züge Bern – Luzern erweitert werden. Es stellt sich die Frage, ob diese Schleife kreuzungsfrei mit den übrigen Gleisanlagen verflochten werden muss. Als erster Arbeitsschritt werden die massgebenden Konstellationen ermittelt. Simulationsstudien haben gezeigt, dass bei fahrplanmässigem Lauf der Züge keine Behinderungen auftreten. Falls der Intercity Luzern – Basel 80 Sekunden Verspätung (oder mehr) aufweist, würde bei fehlender Gleisüberwerfung ein unverspäteter Intercity

Bern – Luzern gemäss Bild 8 behindert. Infolge Taktfahrplan kann diese Möglichkeit jede Stunde einmal auftreten. Zur Quantifizierung der Behinderungswahrscheinlichkeit wird $\tau_b = 80$ Sekunden gesetzt. Sobald der Intercity Luzern – Basel 200 Sekunden Verspätung (oder mehr) aufweist, kann die Reihenfolge der Züge an der Konfliktstelle vertauscht werden, ohne dass eine Behinderung auftritt, d.h. $\tau_c = 200$ Sekunden.

Nachdem keine Angaben über die mittlere Verspätung der Züge für den Zeitraum nach Realisierung von «Bahn 2000» vorliegen, wird eine Abschätzung mittels Hüllkurve vorgenommen. Gemäss Beziehung (3) beträgt der Verspätungsmittelwert m^* mit dem ungünstigsten Wahrscheinlichkeitswert 131 Sekunden. Es darf angenommen werden, dass sowohl der Intercity Luzern – Basel als auch der Intercity Bern – Luzern eine ähnliche Häufigkeitsverteilung für Verspätungen aufweisen. Deshalb wird die Behinderungswahrscheinlichkeit nach der Beziehung (4) berechnet, woraus 0,16 resultiert.

Die Gleisschleife wird nur von den Intercityzügen Bern – Luzern benutzt. Bei der errechneten Wahrscheinlichkeit tritt ungefähr alle 6 Stunden eine Zugbehinderung auf, die durch den Bau einer Gleisüberwerfung vermieden würde. Es ist eine Ermessensfrage, ob diese kleine Wahrscheinlichkeit toleriert werden kann. Bei knappen Investitionsmitteln kann im vorliegenden Fall der Verzicht auf Gleisüberwerfungen vertreten werden.

Adresse der Verfasser: Dr. Peter Giger und Markus Montigel, dipl. Ing. ETH, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Abwärmennutzung

Musterbeispiel in einem industriellen Prozess

Industrielle Prozesse gelten als «hartes Pflaster» für Belange des Energiesparens. Realisierte Projekte zeigen aber ein erhebliches Sparpotential, wie das Beispiel des Lackierwerkes Hedingen einer Metallbaufirma im Kanton Zürich zeigt. Rund 20% an Prozess- und Raumwärme werden in diesem Pilot- und Demonstrationsprojekt eingespart. Zudem kann auf den Einsatz von Schwermetallen und Lösungsmitteln weitgehend verzichtet werden.

Nur gerade 5% der gesamten Kosten einer Metallfassade entfallen auf die Lackiererei, und lediglich 1% beträgt

der Anteil des Lackes. Die Kosten sind es also nicht, die eine Industriefirma zur Sanierung der Lackieranlage treibt,

wohl aber Anliegen des Umweltschutzes. Denn beim konventionellen Lackieren werden *Schwermetalle*, *Lösungsmittel* und grosse Mengen an *Energie* umgesetzt. Durch den Einsatz von Ersatzstoffen – lösungsmittelfreie

VON OTHMAR HUMM, ZÜRICH

Wasserlacken und schwermetallfreie Pulverlacken – sowie durch die energieeffiziente Konzeption und den konsequenten Betrieb der Anlage sind wesentliche Verbesserungen in den drei Problembereichen möglich.

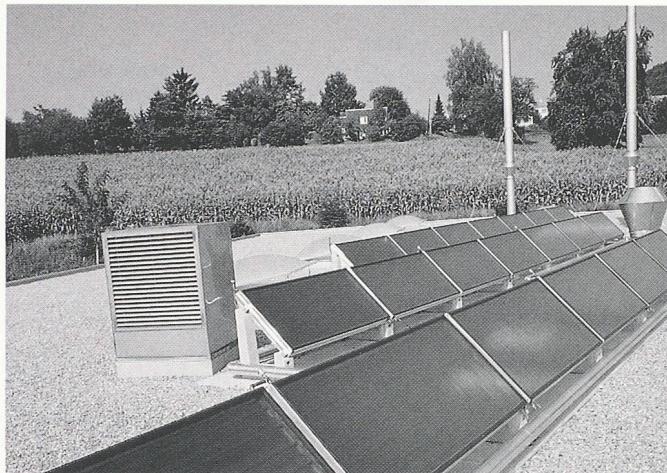


Bild 1. Sonnenenergie im industriellen Prozess: Die $31,5 \text{ m}^2$ Kollektoren liefern Wärme in die Bäder der Vorbehandlung (Alle Fotos: Ernst Schweizer AG, 8908 Hedingen)

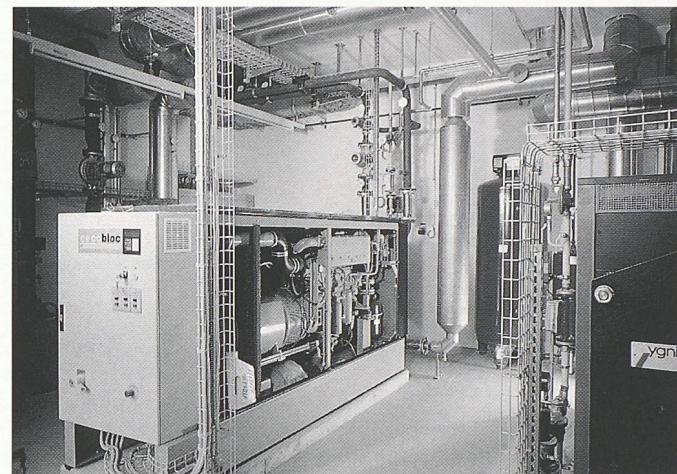


Bild 2. Gut integriertes Blockheizkraftwerk: 290 MWh Strom fliessen in Antriebe und Beleuchtungen, 580 MWh Wärme heizen die Bäder der energieintensiven Lackierzvorbehandlung. Zur Deckung von Bedarfsspitzen kommt der Propangaskessel zum Einsatz

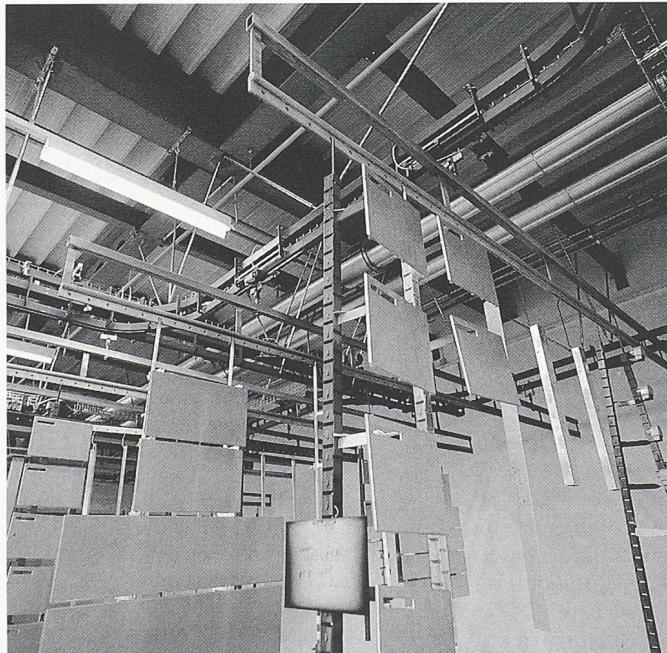


Bild 3. Ein Gehänge mit Paneelen vor dem Trockner

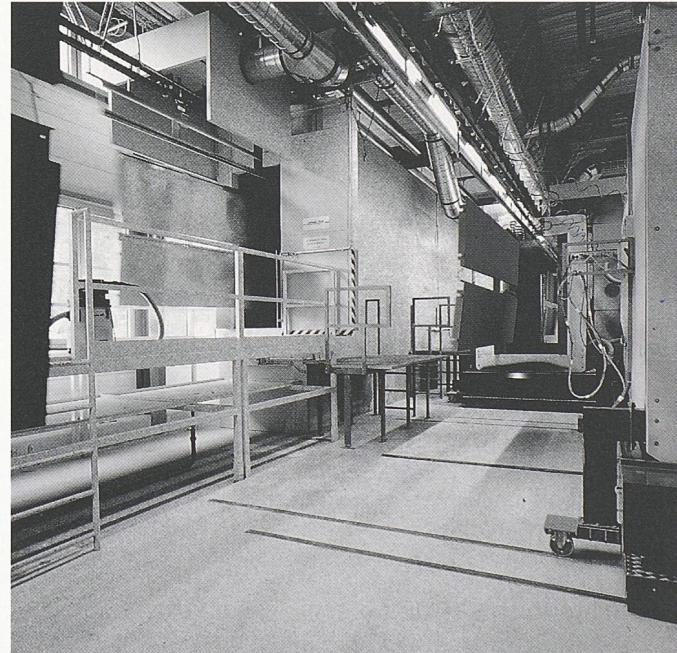


Bild 4. «Parkplatz» für die Gehänge nach der Lackierung

Lösungsmittel

40 000 Tonnen Lösungsmittel gelangen nach Schätzungen des BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) für die Schweiz bei Lackiervorgängen jährlich in die Umwelt. Rund ein Drittel des üblichen Nasslackes sind Lösungsmittel, im Wasserlack sind es nur einige wenige Prozente. Die Hersteller mengen je nach Anwendungsbereich dem Lack unterschiedliche Lösungsmittel bei, um die Verarbeitung zu optimieren; dies ist bei Ersatzstoffen nicht möglich, einzig verfügbares «Lösungsmittel» ist Wasser mit nur einer «Auskochtemperatur» von 100°C . Aufgrund der Nachfrage hat sich aber eine «Wasserlackchemie» entwickelt, die vergleichbare Qualitäten ermöglicht. Al-

lein im Hedinger Lackierwerk werden bei einem jährlichen Verarbeitungsvolumen von $230\,000 \text{ m}^2$ 25 Tonnen Lösungsmittel eingespart.

Schwermetalle

Je nach Farbton enthalten Lacke – Pulver- und Nasslacke – toxische Schwermetalle, problematisch sind wegen ihres Blei- und Chromatgehaltes gelbe, rote und orange Lacke. Alle Abfälle aus einer konventionellen Lackiererei – Filter, Abdeckmaterial und Lackschlamm – sind damit Sonderabfall. Die valablen Ersatzstoffe sind organische Farbpigmente, die aber eine geringere Deckwirkung haben. Abhängig vom Anwendungsfall ist ein höherer Lackieraufwand durch die zusätzliche Grundie-

lung oder zweimalige Lackierung notwendig. Allein durch Auswahl der Farben nach dem Kriterium des Schwermetallgehaltes lässt sich ein beachtliches Einsparpotential nutzen. Übrigens: Die Produktebezeichnung *schwermetallfrei* ist nicht wörtlich zu nehmen. Derartige Lacke enthalten lediglich keine *biologisch verfügbaren*, so genannte giftige Schwermetalle.

Im Lackierwerk der Firma Ernst Schweizer werden grosse Serien mit Pulver, kleine Lose und besondere Kundenbestellungen mit Wasserlack beschichtet.

Der Lackierzvorgang

Das Lackiergut wird an Gehängen, die mit endlosen Ketten mehrerer Kreis-

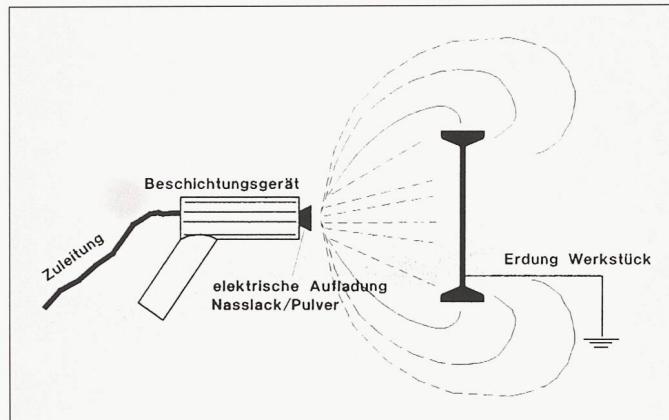


Bild 5. Die mit hoher Spannung – bis 100 000 Volt – aufgeladenen Teile des Farbpulvers werden vom «Gegenpol», dem geerdeten Lackiergut, angezogen. Damit sind auch schlecht zugängliche Stellen lückenfrei lackiert

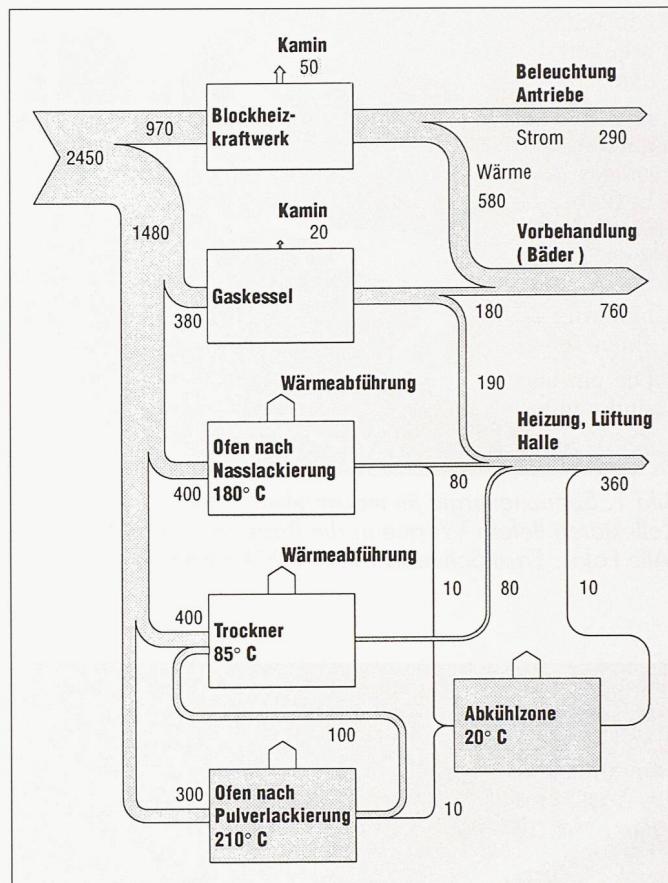


Bild 6. Konsequente Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung in der industriellen Produktion: Energiefluss im Lackierwerk Hedingen, vereinfacht

förderer verbunden sind, durch den Prozess geführt. Die Gehänge bewegen sich im 7-Minuten-Takt aufgrund des chargenweise zugeteilten Programmes. Der Prozess dauert rund drei Stunden und umfasst fünf Phasen: Reinigen, Trocknen, Beschichten, Einbrennen und Abkühlen. Die Vorbehandlung – die beiden ersten Phasen – und das Abkühlen sind von der Lackiertechnik unabhängig. Dagegen erfolgt die Beschichtung aufgrund des Verfahrens, das Einbrennen aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen in separaten Prozessstationen. Das Lackiergut passiert eine Weiche, bevor es auf getrennten Wegen wahlweise mit Pulver

elektrostatisch beschichtet oder mit Nassslack gespritzt wird.

Energieverbrauch

Die Metallteile durchlaufen während des Prozesses ein Wechselbad an Wärme- und Kühlstationen: Halle 20°C, Reinigungsbäder 60°C, Spülen 10°C, Trockner 85°C, Beschichtung 20°C, Einbrennöfen 210° bzw. 175°C und Abkühlzone 20°C. Je nach Konstruktion und Materialstärke weichen die Objekttemperaturen von den genannten Werten der Stationen ab. Der grösste Anteil am Energieverbrauch, rund 30%, geht in die drei Bäder der Vorbehandlung, die aus ökologischen Gründen mit einem geschlossenen Wasserkreislauf betrieben werden. In konventionellen Anlagen wird die Wärme punktuell zu- oder abgeführt, meist ohne Berücksichtigung der Kriterien *Verbrauch* und *Exergie*. Bei der Pilot- und Demonstrationsanlage dagegen wird die Wärme gezielt, das heisst mit sinkendem Temperaturniveau, durch den Prozess geführt. *Konsequente Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung* heissen die beiden zentralen Forderungen. Die wesentlichen Massnahmen:

– Die heisse Abluft der Einbrennkabine in der Strecke *Pulverbeschichtung* dient als Zuluft für den Trockner.

Förderaktivitäten des Bundes und des Kantons Zürich

Die Energiegesetzgebung ermöglicht dem Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), dem Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich (ATAL) und anderen Kantonen die Unterstützung ausgewählter Projekte von Industrie, Gewerbe und öffentlichen Körperschaften, die zu einer Verbesserung der Energieverwertung und der Luftqualität führen. Die Förderbeiträge für Gesuchsteller mit projektspezifischem technischen und finanziellen Hintergrund liegen bei 10 bis 50% der anrechenbaren Projektkosten. Typische Projekte sind:

- Innovative Wärmedämmung von Gebäuden und Wärmerückgewinnung
- Nutzung erneuerbarer Energiequellen (Biomasse, Sonnenwärme, Photovoltaik, Geothermie)
- Systeme zur rationellen Energienutzung (Wärmepumpen, Wärmekraftkopplung)
- Schadstoffarme Wärmeerzeugung (Altholz, Biogas, Kehricht)
- Emissionsarme Individualverkehrsmittel (Elektrofahrzeuge)
- Ausbildung, Aufklärung und Informationsverbesserung

Die Ergebnisse sind, wenn immer möglich, kommerziell zu verwerten und in geeigneter Form zu publizieren. Gesuche sind zu richten an: ATAL, 8090 Zürich (Tel. 01/259 41 70) oder BEW, 3003 Bern (Tel. 031/61 56 10).

Beteiligte

Finanzielle Unterstützung: Bundesamt für Energiewirtschaft, 3003 Bern; Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, 8090 Zürich (Als Pilot- und Demonstrationsanlage im Rahmen von Energie 2000)

Bauherrschaft: Ernst Schweizer AG, 8908 Hedingen

Gesamtplanung: Emch + Berger Zürich AG, 8032 Zürich

Energiekonzept und Messprogramm: Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, 9029 Zürich

Lackierwerk: Leutenegger & Frei, 9204 Andwil SG

Lacklieferant: Walter Mäder AG, 8956 Killwangen

- Ein Teil der Abwärme aus dem Einbrennofen *Nasslackierung* und aus dem Trockner heizt die Werkhalle.
- In der Abkühlzone gibt das Lackiergut die während des Einbrennvorganges gespeicherte Wärme an die Luft ab. Je nach Temperaturverhältnissen in der Halle erfolgt der Luftwechsel der Abkühlzone mit Außenluft, um eine Überhitzung zu verhindern, oder mit Hallenluft, um einen Teil der Abwärme zu nutzen.
- Die einzelnen Prozesskomponenten sind überdurchschnittlich wärmege-dämmt.

Energieversorgung

An der Versorgung des Lackierwerkes sind vier Energieträger beteiligt: *Elektrizität* für Antriebe und Beleuchtung, *Propangas*, indirekt für Gaskessel und Wärmekraftkopplungsanlage und direkt, das heisst ohne Wärmetauscher (und Kamin), für die beiden Einbrennofen und den Trockner, *Abwärme* für Trockner und Hallenheizung sowie *Solarenergie* für die Reinigungsäder.

	Energieverbrauch (Wärme) Spezifisch	Energieverbrauch (Wärme) Gesamthaft
Neue konventionelle Anlage	11 kWh/m ²	2 530 MWh
Pilot- und Demonstrationsanlage	9 kWh/m ²	2 070 MWh
Einsparung (20%)	2 kWh/m ²	460 MWh
Einsparung an Strom		75 MWh

Tabelle 1. Einsparungen gemäss Planung bei einer Lackierfläche von 230 000 m² pro Jahr

In einer ersten Beurteilung der beteiligten Fachleute schneidet insbesondere das Blockheizkraftwerk gut ab. Die Anlage mit einer Leistung von 90 kW elektrisch und 180 kW thermisch weist wegen des Produktionsganges lange Laufzeiten auf bei gleichzeitig guter qualitativer und quantitativer Übereinstimmung von Angebot und Nachfrage. Die Leistung des Propangas-Kessels in Low-No_x-Technologie beträgt 755 kW.

Messungen

Mit einer Messkampagne soll der tatsächliche Effekt der realisierten En-

ergiesparmassnahmen quantifiziert und dokumentiert werden. Dabei werden einerseits langfristige Verbrauchsmessungen mit fest eingebauten Zählern zur Ermittlung einer Gesamtenergiebilanz vorgenommen. Andererseits messen mobile Geräte einzelne Prozessschritte in Abhängigkeit der Auslastung der Anlage. Die Fachleute stellen aufgrund der Messresultate kompetente Aussagen zum Energie- und Leistungsbedarf einzelner Stationen wie auch des gesamten Prozesses in Aussicht (vgl. Tabelle 1).

Adresse des Verfassers: *Othmar Humm, Ing. HTL, Edisonstrasse 22, 8050 Zürich.*

Wettbewerbe

Reconstruction du Marché Couvert à Bulle FR

La Ville de Bulle a organisé un concours de projets pour la reconstruction du Marché Couvert. Ce concours était ouvert aux architectes domiciliés ou établis avant le 1^{er} janvier 1993 dans le canton de Fribourg ou originaires de ce canton et inscrits au Registre des personnes autorisés dans le canton ou ils exercent leur activité. En outre six bureaux d'architecture ont été invités à participer au concours. 43 projets ont été remis dans les délais. Résultats:

1^{er} prix (16 000 fr. avec mandat pour la poursuite des études): O. Galetti, C. Matter, Y. Jacot

2^{er} prix (13 000 fr.): Regina et Alain Gonthier, Bern; collaborateur: Velimir Miksaj; Dr. Gustave Marchand, ing.

3^{er} prix (10 000 fr.): Geneviève Bonnard et Denis Voeffray, Monthey; collaboratrice: Alexandra Poltri

4^{er} prix (9000 fr.): Bernard Verdon, Eric Giroud, Lausanne

5^{er} prix (7000 fr.): AAF, Thomas Huber, Claude Schroeter, Jean-Paul Chablais, André Lanthemann, Philippe Schorderet, Fribourg

6^{er} prix (6000 fr.): Erhard Roggo, Olten; projet: Fredi Anker; collaborateurs: Mirjam Stricker, Reto Meier, Ralph Troll

7^{er} prix (5000 fr.): Bassel Farra et Oliver Fazan-Magi, Lausanne

8^{er} prix (4000 fr.): Association des bureaux: Lateltin S.A.; Linder & Zuehlke & Ass. S.A.; M. Aebischer, J.-F. Monnerat, E. Lateltin, M. Berto-Huser, Fribourg

Architectes dans le jury: Charles-Henri Lang, architecte cantonal, Fribourg, Jean-Michel Baechler, Fribourg, Fonso Boschetti, Lausanne, Claudine Lorenz, Monthey, Livio Vacchini, Locarno, Siro Bernasconi, Lausanne.

Gymnasium mit Sporthalle in Freiburg i. Br.

Die Stadt Freiburg i. Br. veranstaltete einen öffentlichen Ideen- und Realisierungswettbewerb für den Neubau eines Gymnasiums mit Sporthalle. Der Zulassungsbereich umfasste die Regierungsbezirke Freiburg und Karlsruhe des Landes Baden-Württemberg, die Kantone Basel-Stadt und Basel-Land und die Departemente Bas-Rhin und Haute-Rhin (Frankreich). Es wurden 74 Projekte beurteilt. Ergebnis:

1. Preis (40 000 DM mit Antrag zur Weiterbearbeitung): Ernst Spycher, Basel

2. Preis (32 000 DM): Bernhard Glücke, Hans-Dieter Glück, Dornhan

3. Preis (25 000 DM): GPF & Assoziierte, Prof. Günter Pfeifer/Roland Mayer, Lörrach

4. Preis (20 000 DM): Jean-Pierre Wymann, Basel, und David Schwartz, Basel

5. Preis (13 000 DM): Gysin, Kamber, Schmid, Trinkler, Basel

6. Rang, Ankauf (7500 DM): Bernd Thoma und Gabriela Henninger-Thoma, Freiburg i. Br.

6. Rang Ankauf (7500 DM): Blanckarts, Zophoniasson & Partner, Basel und Weil a. Rh.

6. Rang, Ankauf (7500 DM): Wolfram Baltin und Partner, Karlsruhe

6. Rang, Ankauf (7500 DM): Morger & Degelo, Basel

Fachpreisrichter waren Hans-Jost Angelehardt, Hochbauamt Freiburg, Wulf-Heinrich Daseking, Stadtplanungsamt, Freiburg, Gisela Flieg-Harbauer, Emmendingen, Silvia Gmür, Basel, Prof. Klaus Humpert, Freiburg, Prof. Wolf-Dietrich Weigert, Karlsruhe, stvtr. Fachpreisrichter: Karl Bauer, Karlsruhe, Prof. Helmut Bott, Darmstadt, Knut Schütte, Hochbauamt, Freiburg, Katharina Steib, Basel.

Hauptsitz der Nidwaldner Kantonalbank in Stans

Die Nidwaldner Kantonalbank veranstaltete einen Projektwettbewerb unter neun eingeladenen Architekten für ihren Hauptsitz in Stans. Drei Projekte mussten wegen schwerwiegender Verletzung von Programmbestimmungen von der Preiserteilung ausgeschlossen werden. Ergebnis:

1. Rang, 1. Preis (26 000 Fr.): Mittler & Partner AG, Beckenried

2. Rang, 1. Ankauf (24 000 Fr.): Stücheli Architekten, Zürich; Verfasser: Ernst Stücheli,