

# Solare Prozeßwärme kann wirtschaftlich sein

## Zwei Jahre Erfahrung mit einer schweizerischen Anlage deuten es an

In „Sonnenenergie“ 5/83 berichteten wir unter der Überschrift „Sonne hilft bei Weinverwertung“ über die erste schweizerische Sonnenenergieanlage zur Erzeugung industrieller Prozeßwärme. Die Rimuss-Kellerei in Hallau, Kanton Schaffhausen, hatte damals auf dem Dach ihres Produktionsgebäudes u. a. 400 m<sup>2</sup> Vakuumkollektoren installieren lassen. Diese erzeugen seither Wärme von über 100 °C. Ende des vergangenen Jahres konnte ein zweijähriges Forschungsprogramm abgeschlossen werden, das von der für das Projekt verantwortlichen Delta Energie AG, Schaffhausen, und der dieses wissenschaftlich begleitenden Universität Genf betreut wurde. Damit liegen erstmals gesicherte Wirtschaftlichkeitsdaten zur solaren Wärmeerzeugung durch großflächige Kollektoranlagen bei höheren Temperaturen vor, gewonnen unter zentraleuropäischen Wetterbedingungen. Sie werden nachfolgend von dem Projektleiter kommentiert.

Die Solaranlage der Rimuss-Kellerei ist 1983 als ein Projekt der Internationalen Energieagentur (IEA) vom Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern, in Auftrag gegeben worden. An der Finanzierung beteiligten sich außer der Firma Rimuss der Nationale Energieforschungsfonds der Schweiz und der Kanton Schaffhausen. Die jetzt vorliegenden Resultate erlauben eine Beurteilung des Standes der Technik sowie der Wirtschaftlichkeit großflächiger solarer Wärmeerzeugung. Für den Bau ähnlicher Anlagen lassen sich daraus wertvolle Schlüsse ziehen.

### Wärmekosten

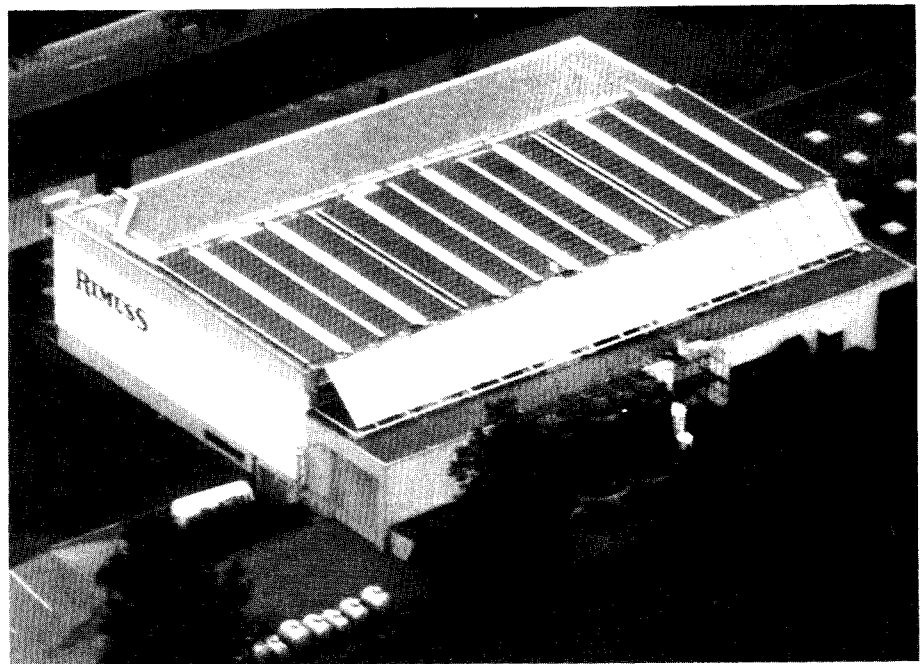
Der Preis für eine solare Kilowattstunde stellt die Basis zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit dar. Zu den Parametern, von denen er abhängig ist, gehören: die Gestehungskosten für die Solaranlage, die Verzinsung des eingesetzten Kapitals, die erwartete Nutzungsdauer der Anlage sowie deren Betriebs- und Unterhaltskosten einerseits, die Menge der erzeugten und an den Verbraucher abgegebenen Energie andererseits. Viele dieser Parameter variieren von Tag zu Tag und von Monat zu Monat. Sie sind hier auf einer Jahresbasis ermittelt worden, um zu realistischen und praktisch verwertbaren Aussagen zu kommen. Die einzelnen Parameter erreichten folgende Werte:

Die Gestehungskosten für 400 m<sup>2</sup> (Öffnungsfläche) Vakuumkollektoren beliefen sich auf 477 900 Schweizer Franken entsprechend Fr. 1 194.-/m<sup>2</sup>. Davon sind 33,6 % für die Kollektoren, 11,1 % für Apparate und Anlagen wie Wärmespeicher, Wärmeaustauscher, Pumpen und Ventile, 31,6 % für Installationen und Isolierungen (einschließlich Material), 19,5 % für Ingenieur- und Koordinationsleistungen sowie 4,2 % für Verschiedenes aufgewendet worden. Darüber hinaus wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit solchen Projektkosten durchgeführt, die künftig nach Einführung einer Massenproduktion von Sonnenkollektoren und durch weitere Einsparmaßnahmen zu erwarten sind. Diese ergaben einen Quadratmeterpreis von 888,- Franken; sollten die Ingenieurleistungen für relativ einfache Anlagen selbst erbracht werden, könnte man mit Fr. 720.-/m<sup>2</sup> rechnen.

Die Verzinsung des eingesetzten Kapitals spielt bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung eine der entscheidendsten Rollen. Das liegt vor allem daran, daß Solaranlagen sehr kapitalintensiv sind und der gesamte finanzielle Aufwand für die erzeugte Wärme im voraus zu erbringen ist. Liegt die Verzinsung

werden und die Solaranlagen eine Nutzungsdauer erreichen, wie sie beispielsweise bei Hochbauten üblich ist, sinken die Wärmepreise erheblich.

Betriebs- und Unterhaltskosten werden bei Solaranlagen repräsentiert durch die Kosten für externe Energie und die für den periodischen Wechsel des Wärmeträgers im solaren Kreislauf. Bei Rimuss wird das Wärmeträgermedium voraussichtlich alle fünf Jahre gewechselt. Auf die externe Energie könnte allenfalls bei einer nicht optimal ausgelegten Anlage ein hoher Anteil entfallen, weil die Pumpen praktisch ununterbrochen laufen, auch wenn die Solaranlage nur wenig oder gar keine Nutzenergie liefert. Möglichst kurze Rohrleitungen und niedrige Widerstände beim Wärmetransport sind deshalb unerlässlich. Die automatisch laufende Anlage bei Rimuss wird von dem



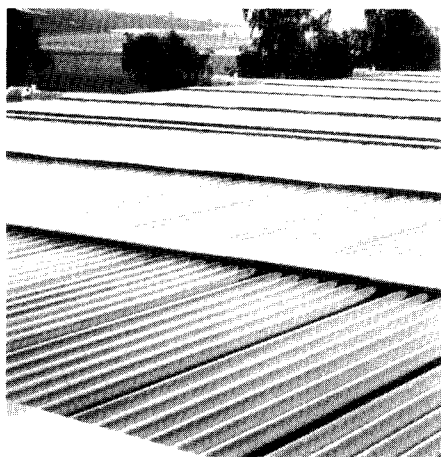
Solaranlage auf dem Dach des Produktionsbetriebes der Rimuss-Kellerei in Hallau, Kanton Schaffhausen. Die solare Prozeßwärme wird zur Pasteurisierung von Traubensaft, zur Flaschenreinigung, zur Sterilisierung von Tanks und zu Heizzwecken verwendet.

des Kapitals wie in den USA bei beispielsweise 12 %, so wird der Preis für die solare Wärme etwa doppelt so hoch sein wie bei einer Verzinsung von 2 %, die oft bei Entwicklungsprojekten in sonnenreichen Ländern gewährleistet wird.

Die zu erwartende Nutzungsdauer ist ebenfalls sehr bedeutsam. Großflächige Solaranlagen sollten die in Industrie und Gewerbe üblichen Nutzungsdauer erreichen. Obwohl noch keine langjährigen Erfahrungen mit Solaranlagen vorliegen, kann angenommen werden, daß 25 Jahre und mehr ohne weiteres möglich sind. Nimmt man nur 15 Jahre an, ergibt das um bis zu einem Drittel höhere Wärmekosten. Nimmt man dagegen an, daß gewisse Anlagenteile von Zeit zu Zeit ausgewechselt

vorhandenen Personal ohne nennenswerten Mehraufwand betreut. An Betriebs- und Unterhaltskosten wurden insgesamt nur 1 500 Franken jährlich in die Wirtschaftlichkeitsrechnung eingesetzt.

Die Menge der erzeugten Nutzwärme hängt ab von der Menge der auf die Kollektoren eingestrahltene Sonnenenergie, vom Wirkungsgrad der Energieumwandlung und von den Wärmeverlusten zwischen Kollektoren und Verbraucher. Der Wärmepreis zeigt praktisch eine lineare Abhängigkeit von der eingestrahltene Energie. Ist die jährliche Einstrahlung an einem Ort doppelt so hoch, wird auch doppelt so viel Nutzwärme erzeugt und der Wärmepreis entsprechend halbiert.



Ausschnitt aus der 400 m<sup>2</sup> großen, mit Vakuumkollektoren belegten Dachfläche.

Der Wirkungsgrad der Energieumwandlung ist besonders im mittleren Temperaturbereich über etwa 60 °C von großer Bedeutung. Die hocheffizienten Kollektoren auf dem Dach der Rimuss-Kellerei liefern Wärme bis etwa 150 °C noch immer mit relativ guten Wirkungsgraden. Das zwischen ihren Absorbern und der Verglasung herrschende Vakuum reduziert die Konvektionsverluste praktisch auf Null. Das Vakuum verbessert nicht nur den Wirkungsgrad der Energieumwandlung, es verlängert auch die Nutzungsdauer der Kollektoren bzw. der Absorber und deren selektiver Beschichtung, die keinen atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt sind. Die Wirkungsgrade bei Rimuss bewegen sich zwischen etwa 35 % bei Prozeßtemperaturen um 100 °C bis rund 60 % bei Brauchwassertemperaturen um 60 °C.

### Momentane und langfristige Wirkungsgrade

Das sind momentane Wirkungsgrade. Die täglichen und monatlichen liegen wegen verschiedener Systemverluste niedriger. Zu ihnen gehören Wärmeverluste im Rohrleitungssystem, Verluste durch Überhitzung des solaren Kreislaufs während Zeiten niedrigen Wärmebedarfs, Verluste bei der Zuführung der externen Energie sowie Verluste, die beim Abschalten der Anlage bei verfügbarer Sonnenenergie auftreten. Die Höhe aller dieser Verluste variiert ständig.

Die längerfristigen Wirkungsgrade, d.h. die momentanen Kollektorwirkungsgrade vermindert um die erwähnten Systemwirkungsgrade, wurden bei der Rimuss-Anlage statistisch ausgewertet. Dabei ergab sich, daß die erzeugte Wärmemenge praktisch nur von der täglich auf die Kollektoren auftreffenden Menge an Sonnenenergie und von der Temperatur der Prozeßwärme abhängig ist. Parameter wie die tägliche Sonnenscheindauer oder die Jahreszeit erwiesen sich als untergeordnet. Aus diesem Grunde lassen sich die bei Rimuss gewonnenen Wirtschaft-

lichkeitsdaten relativ problemlos auch auf andere klimatische Verhältnisse übertragen. Bei einer Durchschnittstemperatur im Kollektorfeld über drei Monate hinweg von 73 °C betrug der Mittelwert der täglichen Wirkungsgrade

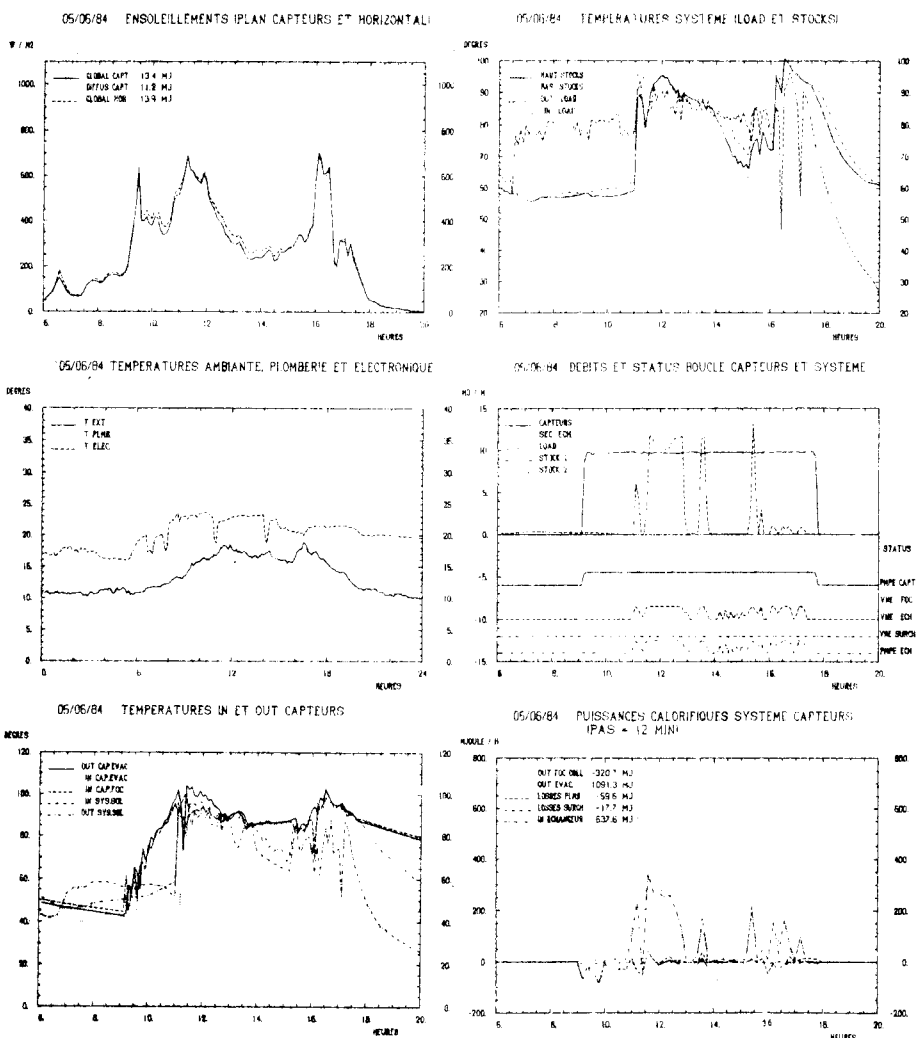
z.B. 30 %; bei durchschnittlich 90 °C während einer anderen dreimonatigen Zeitspanne lag er bei 23 %. Über ein ganzes Jahr gemittelt ergab sich bei gemischten Temperaturen der Wärmeerzeugung ein Wirkungsgrad von 25 %.

### Wirtschaftlichkeit solarer Wärmeerzeugung

Solare Wärmeerzeugung wird dann wirtschaftlich, wenn der Preis dafür unter dem der Wärme aus konventionellen Anlagen liegt. Bei Vergleichen ist von Bedeutung, ob die Solaranlage monovalent oder bivalent im Anschluß an eine konventionelle Anlage betrieben wird. Die Rimuss-Anlage liefert die Wärme zu Fr. 0,20/kWh, wenn man 25 Jahre Nutzungsdauer, 2 % Zins und eine Wärmeerzeugung bei 60 °C annimmt. Der Preis kann sich aber auch auf Fr. 0,69/kWh erhöhen, wenn die Nutzungsdauer auf 15 Jahre gesenkt, der Zins auf 12 % erhöht und die Wärme bei 100 °C erzeugt wird. In einem südlichen Land mit größerem Sonnenenergieangebot kann der Wärmepreis bei gleicher Anlage und 60 °C Wärmeerzeugung bis auf Fr. 0,11/

kWh absinken; bei einer Massenproduktion der Kollektoren und einem Anlagenentwurf ohne Fremdkosten wären sogar Fr. 0,07/kWh denkbar. In beiden Fällen läge der Wärmepreis unter dem konventioneller Anlagen.

Konkrete Vergleiche der großflächigen Rimuss-Anlage haben unter verschiedenen klimatischen und betrieblichen Bedingungen gezeigt, daß bereits heute auch in unseren Breiten für eine Vielzahl von Anwendungen die solare Wärme billiger (wirtschaftlicher) verfügbar gemacht werden könnte als Wärme aus ölgefeuerten Kesselanlagen. Die Umweltfreundlichkeit der Solaranlagen ist dabei nicht rechnerisch erfaßt. Zu den wirtschaftlichsten Anlagen gehören solche, die z.B. mit Vakuumkollektoren



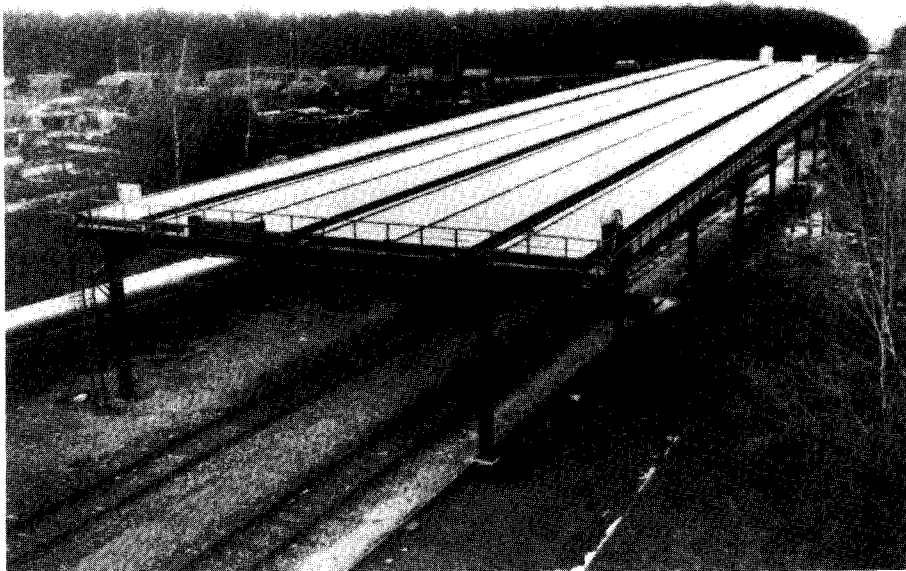
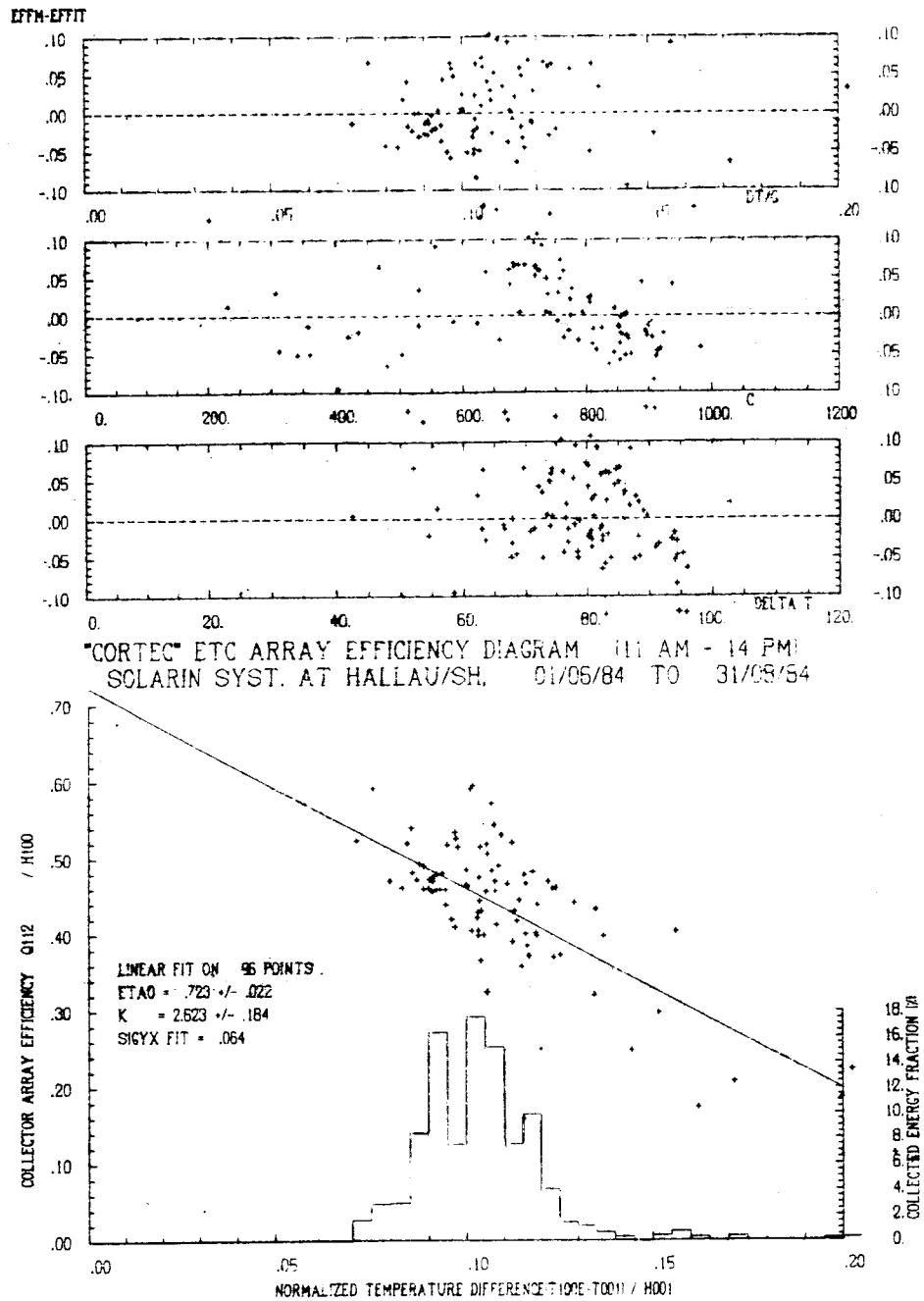
Beispiel für das dynamische Verhalten der Rimuss-Anlage an einem bewölkten Tag. Die Temperatur der Wärmeerzeugung bewegte sich zwischen etwa 70 und 100 °C. Es dauerte rund zwei Stunden, bis die gewünschte Temperatur erreicht war. Während solcher Zeiten und in Perioden ungenügender Sonnenscheinintensität wird Wärme entweder aus einem früher geladenen Speicher oder aus einem herkömmlichen ölbefeuerten Kessel bezogen.

## Prozeßwärme

Momentane Wirkungsgrade des Kollektorfeldes, gemessen zwischen 11 und 14 Uhr während einer Sommerperiode bei Temperaturen zwischen etwa 80 und 100 °C und Strahlungsintensitäten von etwa 600 bis 1 000 W/m<sup>2</sup>. Die momentanen Wirkungsgrade bewegen sich zwischen 35 und 60 Prozent.

ausgestattet, langlebig sind, die ohne Anspruch auf hohe Kapitalverzinsung gebaut werden können und Niedertemperaturwärme bis etwa 60 °C liefern sollen. Neben einer Reihe von Industrieprozessen bietet sich hauptsächlich die gemeinschaftliche Brauchwassererwärmung im Temperaturbereich zwischen 50 und 60 °C für Solaranlagen an.  
**J. V. Hurdes**

Der Autor des vorstehenden Artikels hat zusammen mit dem das Projekt Rimuss begleitenden Physiker der Universität Genf eine Dokumentation über die beschriebene Anlage verfaßt, die gleichzeitig eine Einführung in den Bau großflächiger Solaranlagen darstellt. Sie ist unter dem Titel „Industrial Solar Heat“ (169 S., 132 Photos, Tabellen und Diagramme) zum Preis von 50 Schweizer Franken zu beziehen von der Delta Energie AG, Postfach, Ch-8201 Schaffhausen.



Dieses Bild zeigt eine erste „Folgeerscheinung“ aus den bei Rimuss gewonnenen Erkenntnissen. Die über dieses 1 000 m<sup>2</sup> große Kollektorfeld gewonnene Wärme dient der Temperaturerhöhung in der Rücklaufleitung eines Fernheiznetzes in der Stadt Genf.