Kunststoff-Massenproduktion mit Laserlicht?: Produktion von Vinylchlorid in einem Laborreaktor in Göttingen

Autor(en): **Hintsches, Eugen**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 8

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74432

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Mitarbeiter beträgt einschliesslich Labor- und Aufsichtspersonal 78. Hinzu kommen – selbstverständlich in wechselnder Anzahl – Angehörige von Servicebetrieben, so zum Beispiel Schlosser, Mess- und Regeltechniker sowie Elektriker.

Produktumwandlung

Rohstoff des Steamcrackers II ist Naphtha, also Rohbenzin, das zu einem grossen Teil von der Erdölraffinerie Mannheim durch eine Rohrleitung geliefert wird. Dieser Rohstoff wird im Steamcracker hauptsächlich in folgende Produkte umgewandelt, die ihrerseits wiederum als Ausgangsstoffe für eine Vielzahl weiterer Erzeugnisse dienen:

Ethylen	Ausgangsstoff für Kunststoffe wie Polyethylen, Polyvinylchlorid (PVC) und Polystyrol sowie für Ethylenglykol (Ethylenglykol ist unter anderem die Basis für das Kühlerfrostschutzmittel ®Glysantin)
Propylen	Ausgangsstoff für die Herstellung des Kunststoffs Polypropylen, ebenso für Weichmacher und Acrylsäure
C_4-Olefine	Ausgangsstoffe beispielsweise für Butadien, das als Bestandteil von synthetischem Kautschuk und von Kunststoffen verwendet wird
Pyrolysebenzin	Rohmaterial für die Produktion von Benzol und von hochwertigen Vergaserkraftstoffen

Daneben fallen noch Wasserstoff, Heizgas und – nicht zuletzt – je Stunde etwa 200 Tonnen Heizdampf an, der zur Entlastung der BASF-Kraftwerke beiträgt.

Einsatzstoff (pro Jahr):	1,05 Mio t	Naphtha
Erzeugnisse:	300 000 t	Ethylen
	265 000 t	Pyrolysebenzin
	165 000 t	Propylen
	142 000 t	Methan
	100 000 t	C_4 (davon ca. 45% Butadien)
	48 000 t	Rückstandsöl
	20 000 t	Wasserstoff (90 vol. %)
	5 000 t	Acetylen
Baubeginn:	Mai 1978	
Investitionen:	ca. 400 Mio DM	
überbaute Fläche:	32 000 m²	
Erdbewegungen:	100 000 m³	
verarbeitete Materialien:	18 000 t Beton	
	400 km Elektrokabel	
	400 km Mess- und Regelkabel	
Instrumente in der Messwarte:	4000	
Instrumente in der Anlage:	3900	
Regel- und Schaltventile:	750	
Elektromotoren:	169	
Lampen:	1500	
Turbinenleistungen:	Rohgasverdichter	17,7 Megawatt
	Ethylenverdichter	7,8 Megawatt
	Propylenverdichter	6,3 Megawatt

Die Erzeugung der *Schlüsselprodukte Ethylen* und *Propylen* aus Naphtha ist für die BASF nichts Neues: Diese Produkte werden schon seit 1965 in einer kleineren Analge – im *Steamcracker I* – in *Ludwigshafen* erzeugt. Der Steamcracker II schafft jedoch völlig andere Voraussetzungen.

Propylen wird die BASF – freilich in erheblich reduzierter Menge – auch nach der Inbetriebnahme des Steamcrackers II kaufen müssen. Die ethylenverbrauchenden Betriebe werden jedoch von Zukäufen völlig unabhängig sein; mehr noch: das Unternehmen erwartet sogar für einige Jahre gewisse Ethylenüberschüsse, die in das westeuropäische Ethylenleitungsnetz eingespeist werden. Über diesen «Umweg» können schliesslich auch die BASF-Anlagen in *Antwerpen* wenigstens teilweise versorgt werden.

Der Steamcracker II ist die grösste Einzelinvestition, die von der BASF jemals realisiert wurde. Dieser gewaltigen Ausgabe stehen allerdings auch nennenswerte Vorteile gegenüber: Zum einen die sichere und wirtschaftliche Versorgung des Werkes Ludwigshafen mit petrochemischen Grundstoffen, zum andern die Sicherheit der Arbeitsplätze in den nachgeschalteten Betrieben, in denen Kunststoffe, Lösungsmittel, organische Chemikalien und eine Vielzahl anderer BASF-Erzeugnisse ihren Ausgangspunkt haben.

H. Kerber/M. Reichert, Ludwigshafen

Kunststoff-Massenproduktion mit Laserlicht?

Produktion von Vinylchlorid in einem Laborreaktor in Göttingen

Ein neuartiges, wirkungsvolles Werkzeug der Chemie hat jetzt eine weitere Bewährungsprobe bestanden: der Laserstrahl. Damit wurden im Labor des *Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung* in Göttingen im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 93 «Photochemie mit Lasern» bereits «einige Kilogramm» *Vinylchlorid* (VC) erzeugt – das ist die Ausgangssubstanz für den am häufigsten verwendeten Kunststoff *Polyvinylchlorid* (PVC). «Im Vergleich zu den herkömmlichen VC-Produktionsmethoden können wir mit Laserstrahlen bei niedrigeren Temperaturen, also geringerem Energieeinsatz arbeiten und trotzdem die Ausbeute um bis zu 20 Prozent steigern, ohne dass dabei die üblichen störenden Nebenprodukte entstehen», erklärt Prof. *Jürgen Wolfrum* vom Göttinger Max-Planck-Institut für Strömungsforschung. «Das Verfahren ist jetzt reif für die Erprobung in einer 1000-Tonnen-Pilotanlage. Wir erhoffen uns davon einen Durchbruch des Einsatzes von Lasern in der Grosschemie.» Zwanzig Jahre nach seiner Erfindung scheint dem Laser damit auch der Einzug in die industriellen Produktionsprozesse der Chemie geglückt zu sein.

Dabei ist die Verwendung von Lasern für die VC-Herstellung nach Meinung von Prof. *Fritz Peter Schäfer*, Direktor am *Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie* in *Göttingen* und Leiter der Abteilung Laserphysik des Instituts, «in nächster Zukunft eine der wirtschaftlich interessantesten Anwendungen der Laserchemie». Und auch Prof. *Karl-Ludwig Kompa*, Direktor der Projektgruppe für Laserforschung der Max-Planck-Gesellschaft, dem (ab 1. Januar 1981) künftigen *Max-Planck-Institut für Quantenoptik* in *Garching*

bei München, bestätigt, dass «die Laserchemie jetzt den Übergang vom akademischen Bereich der Forschung zur grosstechnischen Chemie schaffen kann».

«Intelligentere» Chemie

Laser machen, so betont Prof. *Kompa,* «die Chemie nicht nur intelligenter, sie eröffnen auch ganz neue Möglichkeiten, die mit herkömmlichen Methoden nicht zu verwirklichen sind». Die meisten chemischen Reaktionen beginnen nämlich dadurch, dass Energie zugeführt wird. Dazu erhöht man im allgemeinen die Temperatur. Nach dem Einschalten zum Beispiel eines Gasbrenners (Bunsenbrenner) verteilt sich die zugeführte Wärme ungefähr gleichmässig auf alle beteiligten Moleküle und regt sie zu Drehungen und Schwingungen an. Das macht ein bildhafter Vergleich deutlich: Stellt man sich die Moleküle als Kügelchen vor, die an elastischen Federn miteinander zusammenhängen, so beginnen bei Erhöhung der Temperatur sämtliche Kügelchen stärker an ihren Federn zu rütteln. Schliesslich reissen die schwächsten Federn, und die frei werdenden Kügelchen können mit anderen Partnern reagieren und neue chemische Verbindungen eingehen.

Laser hingegen arbeiten wie *selektive* Bunsenbrenner: sie aktivieren nur ausgesuchte Kügelchen und Moleküle in einer Mischung, lassen alle anderen aber unverändert. Laser transportieren also genau dosierte Energiepakete gezielt zu den Stellen - und nur dorthin - wo sie gebraucht werden, um bestimmte Bindungen zwischen Molekülen zu schwächen oder zu lösen. «Mit dieser gezielten Molekülanregung durch Laser», so Prof. *Kompa,* «können wir jetzt nicht nur den Ablauf chemischer Reaktionen in allen Schritten verfolgen, sondern erstmals auch so steuern, dass zum Beispiel die Entstehung umweltgefährdender Schmutzprodukte unterdrückt wird oder aber neue Verbindungen hergestellt werden, die mit herkömmlichen Methoden nicht zu erzeugen waren.»

Vielseitiges Werkzeug

Laser erweisen sich dabei als äusserst *vielseitiges neues Werkzeug für die Chemie:* Sie liefern konzentriertes Licht nahezu jeder gewünschten Wellenlänge. Die Wellenlänge der Strahlung kennzeichnet aber ihre Energie; je kürzer die Wellenlänge, desto stärker ist der Inhalt der einzelnen Energiepakete (Strahlungsquanten oder Photonen) des verwendeten Lasers, desto wirkungsvoller kann man eine bestimmte chemische Umsetzung beeinflussen.

Mit Lasern lassen sich also *unterschiedliche Energiezustände* in Molekülen erzeugen und dadurch deren Eigenschaften verändern. Man kann so bei Molekülen entweder die Drehbewegung verstärken, sie zu unterschiedlichen Schwingungen anregen oder - mit noch kürzeren Wellenlängen - sogar die Elektronen beeinflussen, die sich auf bestimmten Bahnen oder Energieniveaus um die Atomkerne bewegen und sich an chemischen Reaktionen beteiligen.

Um möglichst viel Energie in ein Molekül hineinzubekommen, brauchen die Wissenschaftler also möglichst *kurzwelliges «hartes» Laserlicht,* vorzugsweise im *ultravioletten (UV-)Bereich:* Er grenzt das sichtbare Licht gegen die noch energiereicheren Röntgenstrahlen ab. Ein neuartiges Lasersystem hat denn auch den Erfolg der Göttinger Strömungsforscher erst möglich gemacht: Der Excimer-Laser.

Beschuss mit Elektronenstrahlen

Die Grundlagen dafür wurden erst während der vergangenen fünf Jahre unter anderem auch in der Bundesrepublik in der Abteilung Laserphysik des Max-Planck-Instituts für biophysikalische Chemie, Göttingen, von Dr. *Weng Chow,* und in der Projektgruppe für Laserforschung der Max-Planck-Gesellschaft von Prof. *Herbert Walther* geschaffen. Inzwischen gibt es bereits eine ganze «Familie» solcher Excimer-Laser. Ihre Gemeinsamkeiten: Sie arbeiten mit *Edelgasen* oder Gemischen davon, etwa mit *Argon, Krypton* oder *Xenon,* und *Halogenen* wie *Chlor* oder *Fluor.* Weil diese Substanzen in der Kombination chemisch sehr träge sind, ist sehr viel Aufwand notwendig, um sie zu «pumpen», damit sie Laserlicht liefern: Das kann zum Beispiel mit starken elektrischen Entladungen oder durch den Beschuss mit Elektronenstrahlen geschehen.

Der konzentrierte Einsatz der Pump-Energie macht aus den chemisch trägen Edelgasen hochangeregte Atome, die jetzt eine chemische Bindung mit den Halogenen eingehen können. Man nennt solche Zustände *Excimere oder Exciplexe.* Allerdings sind diese Zustände nur *sehr kurze Zeit beständig.* Schon nach wenigen Milliardstel Sekunden fallen die Excimere wieder in ihren Grundzustand zurück und geben dabei die überschüssige Energie in Form sehr kurzer Lichtblitze ab - als Laserstrahlung im energiereichen, ultravioletten Bereich: Mit solchen Ultraviolett-Lasern kann man ein Molekül mit ungefähr 50mal mehr Energie anregen als zum Beispiel mit einem Infrarot-Laser, etwa einem Kohlendioxid (Co_2)-Laser.

Ein Excimer-Laser ist deshalb auch das Herzstück der Göttinger Versuchseinrichtung für die VC-Herstellung. Er arbeitet mit einem *Krypton/Fluor-* oder *Xenon/Chlorwasserstoff-Gasgemisch* und schliesst durch ein Fenster alle Hundertstel Sekunde einen UV-Blitz (Wellenlänge: 248 beziehungsweise 308 Nanometer; Impulsdauer: 10^{-8} Sekunden; Impulsenergie: 0,5 Joule) in die mit gasförmigem Dichloräthan gefüllte Reaktionskammer. Das so angeregte Dichloräthan spaltet Cloratome ab, die als «freie Radikale» eine Kettenreaktion auslösen: Über ein Zwischenprodukt entsteht Vinylchlorid, wobei die Chlor-Radikale erneut freigesetzt werden und somit wieder für eine neue Reaktion zur Verfügung stehen. «Chemisch gesehen geschieht also nahezu dasselbe wie bisher, lediglich der Start der Reaktion ist neu - eben mit einem Laser», hebt Prof. *Wolfrum* vom Max-Planck-Institut für Strömungsforschung hervor. Bisher, beim «Pyrolyse» genannten VC-Verfahren wird die Reaktionskammer gleichmässig auf etwa 500 Grad Celsius geheizt. Zusätzlich sind Hilfsstoffe (Katalysatoren) notwendig, damit der Prozess läuft: Unter diesen Bedingungen beträgt die Umwandlungsrate für Vinylchlorid zwischen 50 und 60 Prozent; ausserdem entstehen zahlreiche, unerwünschte Nebenprodukte, die später mit aufwendigen Verfahren wieder entfernt werden müssen.

Rückstandsloser Katalysator

Im Vergleich dazu arbeitet die Laserphotolyse schon bei Temperaturen zwischen 200 und 300 Grad Celsius; die Ausbeute an Vinylchlorid lässt sich um bis zu 20 Prozent steigern, wobei «die Reinheit des Reaktionsprodukts mehr als 99,9 Prozent beträgt», bestätigt Prof. *Wolfrum.* «Unser Laser hinterlässt keine Rückstände, er arbeitet also wie ein rückstandsloser Katalysator.» Korrosionsprobleme oder «Vergiftungen» der Hilfsstoffe sind deshalb bei der mit Laserstrahlen gestarteten VC-Synthese unbekannt. «Mit unserer Versuchsanlage wollen wir ein vollständiges Spektrum der Reaktionsparameter erarbeiten, also untersuchen, wie unterschiedliche Temperaturen und Druckverhältnisse sich auf den Reaktionsablauf auswirken», stellt Prof. *Wolfrum* fest. «Unsere Experimentiereinrichtung ist nicht dazu ausgelegt, grosse Mengen zu produzieren, etwa um einen technischen

Reaktor zu entwickeln; wir können jedoch den vollständigen Reaktionsablauf in einem Modellreaktor simulieren.» «Diese Erkenntnisse der Grundlagenforschung für den Produktionsprozess umzusetzen, übersteigt die Möglichkeiten eines Instituts, das sich mit Grundlagenforschung befasst, das ist jetzt *Sache der Industrie*», meint Dr. *Rainer Herbeck* von der Garching Instrumente GmbH, der Patentverwertungsgesellschaft der Max-Planck-Gesellschaft. Unter anderem müsse jetzt erprobt werden, wie sich ein verhältnismässig empfindliches Gerät wie ein Laser unter den rauhen Arbeitsbedingungen eines chemischen Produktionsbetriebs bewährt. Dabei gelte der Laser «jedoch nicht als Bremsklotz der Entwicklung»: Mit den derzeit verfügbaren Geräten lasse sich schon jetzt eine kleine Produktionsanlage für jährlich etwa 1000 bis 2000 Tonnen VC betreiben.

Die Kosten für diese Einrichtung, die zum Beispiel als Abzweigung - als bypass-Reaktor - einer grosstechnischen Anlage betrieben werden könne, beträgt einschliesslich Laser ungefähr eine Million Mark. «Damit muss die Industrie erst einmal Erfahrungen sammeln, ehe man zu noch grösseren Einheiten übergehen kann», sagt Dr. *Herbeck*, «Erfahrungen auch im Hinblick darauf, dass man Laser nicht nur für die VC-Produktion, sondern ebenso vorteilhaft auch für die Herstellung anderer Kunststoff-Ausgangsprodukte wie Vinylfluorid, Tetrafluoräthylen, Chloropren, Propylen oder Vinylidenchlorid einsetzen kann.» Die Produktion von VC erscheint freilich als die wirtschaftlich attraktivste Möglichkeit: Im Jahre 1978 wurden auf der ganzen Welt in insgesamt 107 Anlagen 16 Millionen Tonnen hergestellt. Damit ist PVC mit weitem Abstand der in den grössten Mengen erzeugte Kunststoff.

Eugen Hintsches, München

Befestigung im Untertagbau

Von René Wagner, Zürich

In den letzten Jahren ist die Bautechnik vor allem durch die Anwendung neuer Baumaterialien und rationalisierter Arbeitsabläufe gekennzeichnet worden. In der Befestigungstechnik hingegen haben sich weder neuartige Materialien noch hochkomplizierte Konstruktionen durchgesetzt. Vielmehr stiegen die Anforderungen an Qualität, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit. Diese Kriterien, vor allem im Know-how einer Firma vorhanden, kommen auch im Strassentunnelbau zum tragen.

Vor der ersten Sicherungsmassnahme, den Felsankern, bis hin zu der letzten Befestigung, einer Signalanlage, müssen im Untertagebau besondere Verhältnisse berücksichtigt werden. Dies sind vor allem die *Felsbeschaffenheit* und die *Umwelteinflüsse* wie Wasser, Frost und Abgase. Nicht zu vergessen sind auch *Baufortschritte* und *Platzverhältnisse*, die immer wieder eine Rolle spielen. Für die Wahl der Befestigungen sind aber die entscheidenden Kriterien: Last, geforderte Eigenschaften und Dauer der Beanspruchung. Um diesen Faktoren gerecht zu werden, ist eine breite Palette von Produkten nötig, die von der Klebeverbindung bis zu den 15 bis 20 m langen Lockergesteins- und Felsankern führt.

Einige Beispiele von Befestigungen im Gotthardtunnel sind in den Bildern 1 bis 3 dargestellt. Es ist unmöglich, alle diese Befestigungsarten umfassend zu beschreiben, weshalb wir nur ein Gebiet, die *Isolationsbefestigung*, detailliert erläutern wollen.

Abdichtungen im Gotthardtunnel

Kleinste Wasserinfiltrationen in den Tunnels können im Winter durch Frostbildung zu grossen Schäden am Bauwerk führen. Darum ist auch im Gotthardtunnel in den gefährdeten Zonen wie *Portale, Lüftungsschächte* und *Kavernen* der gesamte Querschnitt mit einer *Hauptdichtung* versehen, während zwischen diesen Abschnitten je nach Wasseranfall eine *Vordichtung* mit oder ohne *Drainage* eingebaut wurde.

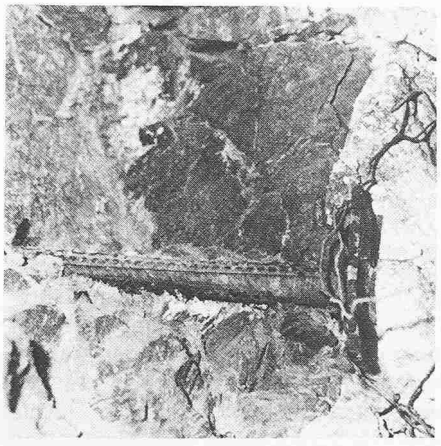


Bild 1. Mörtelanker, wie er vorwiegend in schlechtem, brüchigem Fels verwendet wird

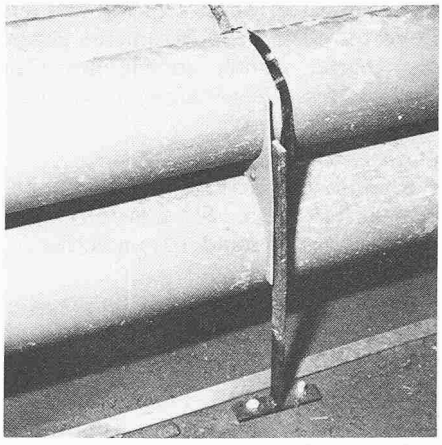


Bild 2. Versorgungsleitungen. Schutzrohrbefestigung für Licht- und Steuerleitungen, die mit Aussengewindedübeln befestigt werden

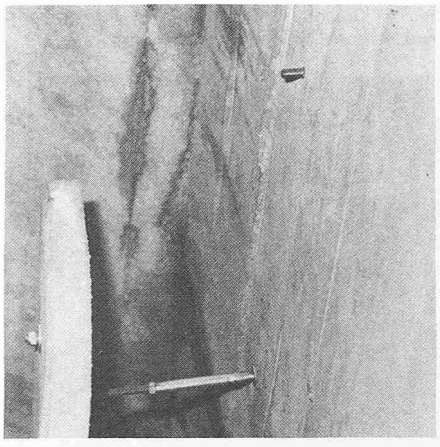


Bild 3. Verkleidungsplatten. Die Tunnelverkleidung aus vorfabrizierten Betonelementen wurde unten abgestellt und oben dann mit zwei speziellen Halteplatten und Klebeankern aus rostfreiem Stahl fixiert