

## Visualisierung der Ölverteilung in Schraubenkompressoren

K. Kauder, Dortmund, H.-B. Harling, Hamm

(Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert)

### Zusammenfassung

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, die *Ölwirkungen* in Schraubenkompressoren zu berechnen, um dem Entwicklungsingenieur schon beim Entwurf einer Maschine ein Hilfsmittel an die Hand zu geben, das es ihm gestattet, öleingespritzte Schraubenkompressoren energetisch optimiert zu konstruieren.

Der hier vorgestellte erste Schritt ist die Visualisierung der *Ölverteilung* in der Maschine. Nur so können sichere Randbedingungen für den theoretischen Rechenansatz gefunden werden.

Im einzelnen:

- *Das eingespritzte Öl wird als Ölfilm unterschiedlicher Dicke auf die arbeitsraumbegrenzenden Oberflächen verteilt.*
- *Es bildet sich ein Ölschwall vor dem Gehäusespalt aus. Das Volumen des Ölschwalls hängt maßgeblich vom Ölstrom durch den Profileingriffsspalt ab. Vielfach kommt es zu einer "ungeordneten" Ausbildung des Ölschwalls, so daß die Spalte nicht vollständig mit Öl "verschlossen" werden können.*
- *Die Förderwirkung der Zahnköpfe auf den Ölschwallstrom wird wesentlich von der Rotorsteigung bestimmt.*
- *Die Ölverteilung ist unempfindlich gegenüber veränderten Betriebsparametern des Schraubenkompressors.*
- *Schon kleine Ölstromströme führen zu ausreichender Ölfilmdicke.*
- *Eine geringe Anzahl von Öltropfen dringt in den Ölfilm ein.*
- *Es stellt sich eine Änderung der Ölschwallbreite orthogonal zur Förderrichtung ein.*
- *Die Anzahl der im Ölfilm eingeschlossenen Gasblasen ist abhängig von der Ölfilmdicke und ihrer Anzahl gering.*

## Abstract

The aim of this research project is to calculate the oil effects in screw compressors, so that the engineer gets auxiliary means to optimize energy transformation in oil-injected screw compressors. The first step, which is shown in this report, is to visualize the oil distribution in screw compressors. This seems to be the only way to get boundary conditions for the theoretical computation.

During the optical investigations we noticed the following facts:

- The injected oil distributes at the surrounding surfaces as a oil film with different thickness.
- There is a oil surge at the housing gap. The volume of the oil surge is a function of the oil mass flow passing through the profile meshing gap.  
It frequently happens that the gaps are not totally filled with oil, because of the erratic distribution at the oil surge.
- The winding effect of the tip of tooth is essentially depending on the pitch of rotor.
- The oil distribution is insensitive to varied operating points of the screw compressor.
- Even small oil mass flow values cause acceptable oil film thickness as a function of the gap height.
- Only few oil drops break into the oil film.
- The oil surge width alters vertical to the winding direction.
- The number of gas holes enclosed in the oil film is small and it depends on the film thickness.

## 1. Einleitung

Um die *Wirkmechanismen* des Öls

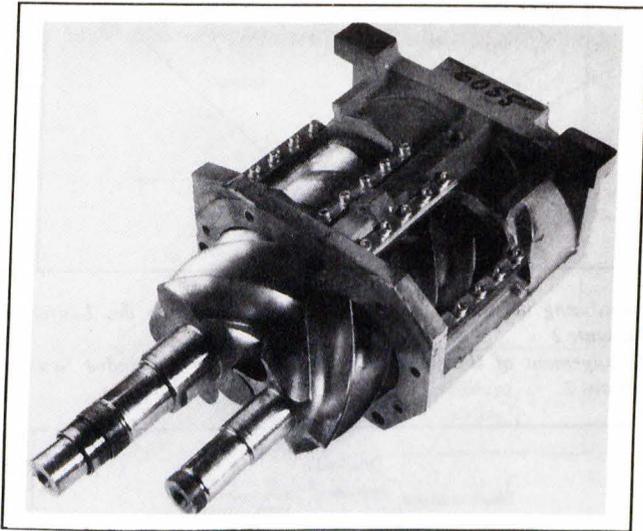
- die Kühlwirkung,
- die Schmierwirkung,
- die Entropieerzeugung,
- die Schallemission und
- die *Dichtwirkung*

im Schraubenkompressor berechnen zu können, ist die Visualisierung der Ölverteilung zur Formulierung realer Randbedingungen unerlässlich.

Aus vielen Experimenten ist bekannt [1], [2], [3], [4], daß von allen Wirkmechanismen des Öls der Dichtwirkung auf die arbeitsraumbegrenzenden Spalte für die Leistungsaufnahme des Kompressors eine herausragende Rolle zufällt. Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich deshalb zunächst auf die *Ölverteilung* in einem Serienmaschinentyp.

## 2. Versuchsgegenstand

Die Ölverteilung wurde in zwei baugleichen Serienmaschinen durch *zwei große Sichtfenster (Variante 1), Bild 1*, und durch 20 kleine, kreisrunde Sichtfenster für eine endoskopische Betrachtung (*Variante 2), Bild 2*, untersucht. Die Lage der Endoskopfenster entnimmt man **Bild 3**, ihre Konstruktion, **Bild 4**.



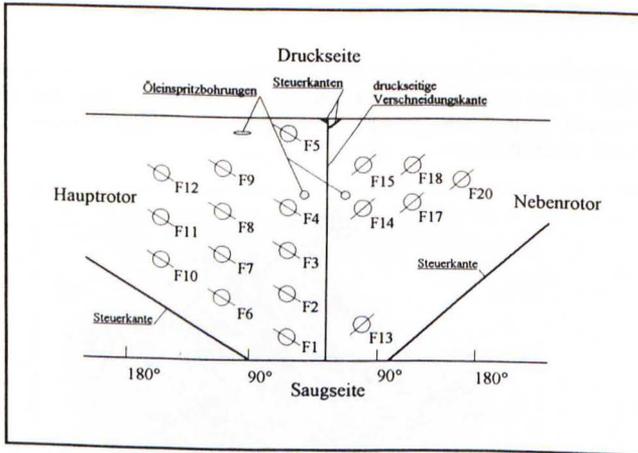
**Bild 1:** *Versuchsmaschine der Variante 1 mit großen Sichtfenstern*  
**Fig. 1:** *Experimental engine of variant 1 with large windows*

Die serienmäßigen Öleinspritzbohrungen sind in **Bild 5** zu erkennen, hinzu kommen die Lageröleinsorgungen an den Arbeitsraumstirnseiten.

Ordnet man bei der Variante 2 die in **Bild 2** eingezeichneten 20 Fenster nach dem Druckverlauf im Kompressor, entsteht ein im **Bild 6** angegebener Zusammenhang mit dem Druckverlauf in der Maschine.

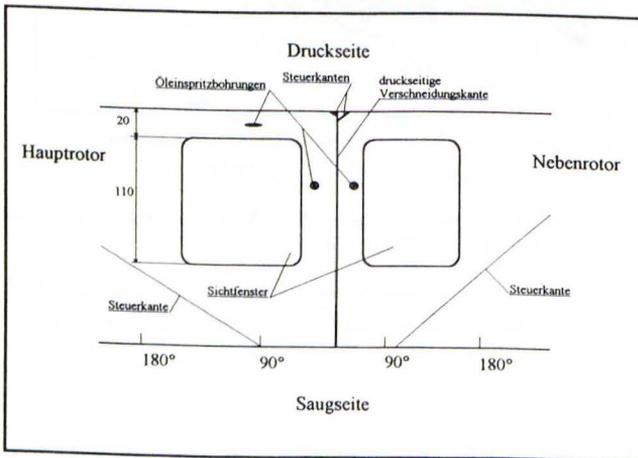
## 3. Versuchstechnik

Den Aufbau der Untersuchungseinrichtung entnimmt man **Bild 7**. Sowohl bei den Versuchen an den großen Sichtfenstern (Variante 1) als auch bei den Endoskopaufnahmen (Variante 2) erfolgt die Belichtung durch, mit der Rotorstellung getriggerte, Lichtblitze. Zur Beleuchtung der Variante 1 reicht aufgrund der großen Glasflächen eine getriggerte Handlampe aus. Die Lichteinleitung über das Endoskop übernimmt eine eigens für diesen Zweck angepaßte getriggerte Punktlichtquelle, die über einen flexiblen Lichtleiter mit dem Endoskop verbunden ist. Die Fokussierung der optischen Systeme und die Aufnahmen bei stehender Maschine übernimmt eine permanente Punktlichtquelle.



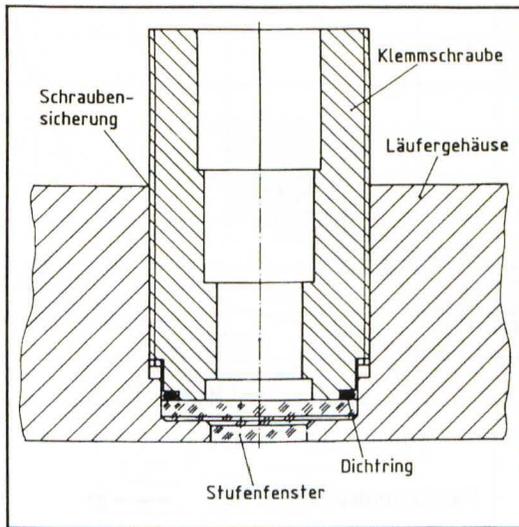
**Bild 2:** Anordnung der Endoskopfenster in der Abwicklung des Läufergehäuses, Variante 2

**Fig. 2:** Arrangement of the inspection windows in the unwinded housing view, variant 2

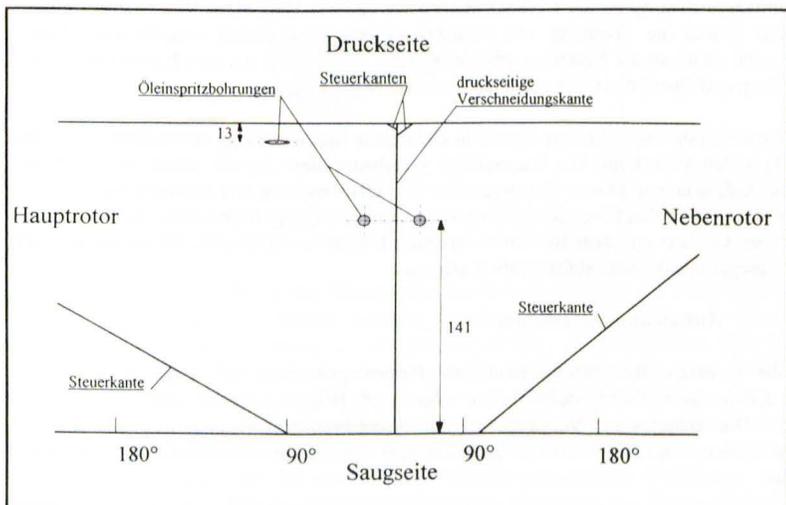


**Bild 3:** Gehäuseabwicklung mit Lage der großen Sichtfenster und der Öleinspritzbohrungen

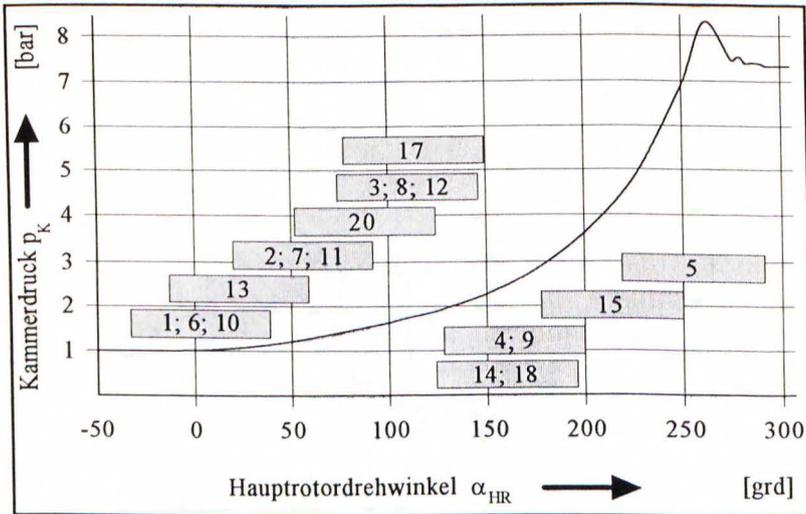
**Fig. 3:** Development of a housing with position of the large windows and the oil-injection boreholes



**Bild 4:** *Aufspannung der Endoskopfenster im Läufergehäuse*  
**Fig. 4:** *Attachment of the inspection windows in the housing*



**Bild 5:** *Abwicklung der Innenfläche des Rotorgehäuses*  
**Fig. 5:** *Developed view of the inside of the housing*



**Bild 6:** Zuordnung der Endoskopfenster zum Druckverlauf in der Maschine

**Fig. 6:** Correlation between inspection windows and pressure distribution

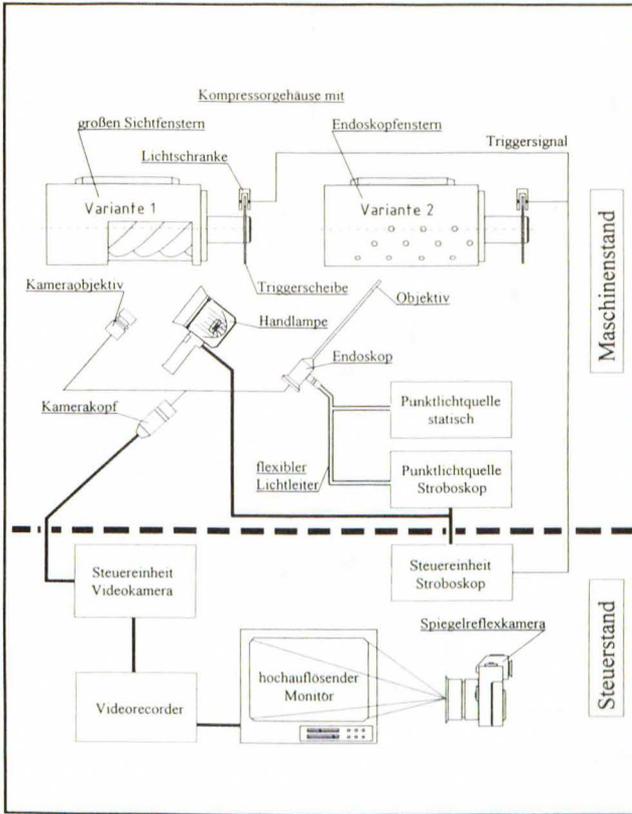
Die umfangreichen optischen Untersuchungen werden mit Hilfe einer Videokamera dokumentiert. Durch die Trennung von Kamerakopf und Steuereinheit entsteht eine kleine, leichte und damit an der Maschine sehr bewegliche Vorrichtung aus dem Kamerakopf, dem Endoskop und einem den Öffnungswinkel bestimmenden Objektiv.

Die Umwandlung der optischen Signale in elektrische Signale erfolgt unmittelbar nach dem Eintritt in den Videokopf. Die Steuereinheit verarbeitet diese Signale weiter und überträgt sie zur Aufzeichnung an den Videorecorder. Zur Überwachung und Auswertung der Versuche steht ein hochauflösender Videomonitor zur Verfügung. Standbilder, vom Recorder mit hoher Qualität auf dem Bildschirm erzeugt, können zur Einzelbilddokumentation mit einer Spiegelreflexkamera abfotografiert werden.

### 3.1 Aufzeichnungsverfahren

Für die genauere Betrachtung sämtlicher Phasenlagen eines Arbeitsspiels, kann das Stroboskop einen Zeitlupeneffekt von zehn Grad Hauptrotordrehwinkel pro Sekunde liefern. Die ablaufenden Vorgänge in der Arbeitskammer können von der Kamera aufgenommen, vom Videorecorder aufgezeichnet und auf dem Videomonitor überwacht werden.

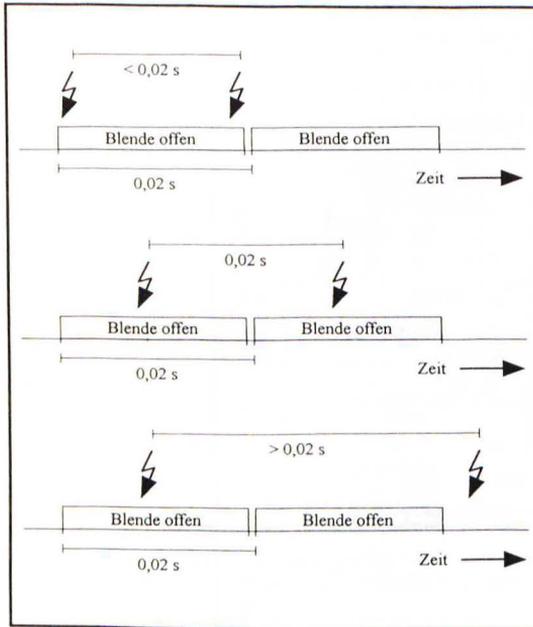
Unabhängig von der Belichtungszeit der Einzelaufnahmen liefert die Videokamera fünfzig Bilder pro Sekunde. Bei der gewählten Belichtungsmethode wird die Belichtung der Aufnahmen immer durch die Blitzintensität und -dauer bestimmt. Die Blitzdauer liegt in jedem Fall unterhalb der Blendenöffnungszeit der Kamera, so daß sich der zeitliche Ablauf einer



**Bild 7:** Versuchsanordnung für optische Untersuchungen

**Fig. 7:** Experimental arrangement of the optical examination

Bilderzeugung von der Öffnung der Blende über den Blitzbeginn und das Abklingen des Blitzes bis zum Schließen der Blende erstreckt. Die Blitzfrequenz entspricht der Hauptrotordrehzahl. Bei jeder Umdrehung des Hauptrotors erfolgt nur ein Lichtblitz. Über den Bildstart entscheidet jedoch das Zusammenspiel zwischen Kamera und Stroboskop, **Bild 8**. In jedem Fall liegen zwei auf diese Weise erzeugte, aufeinanderfolgende Bilder zeitlich so weit auseinander, daß man nicht von direkt aufeinanderfolgenden, also seriellen Bildern ausgehen kann, bei dem jedes Bild die Weiterentwicklung des im vorhergehenden Bild dargestellten Vorgangs zeigt. Das ist sicher ein Nachteil des verwendeten Verfahrens. Jedes Bild erfaßt bei konstanter Phasenverschiebung die gleiche Phasenlage des Rotors. Zwischen zwei Aufnahmen wandern damit der Zähnezahl entsprechend viele Zahnköpfe an dem betrachteten Bildausschnitt vorbei. Erscheinungen wie Blasen und Tropfen, die in den Strömungen sichtbar werden, können demnach nicht entlang ihres Strömungsweges verfolgt werden; geliefert werden nur stochastische Informationen ohne Kontinuität.



**Bild 8: Zusammenwirken von Kamera und Stroboskop**  
**Fig. 8: Cooperation of camera and stroboscope**

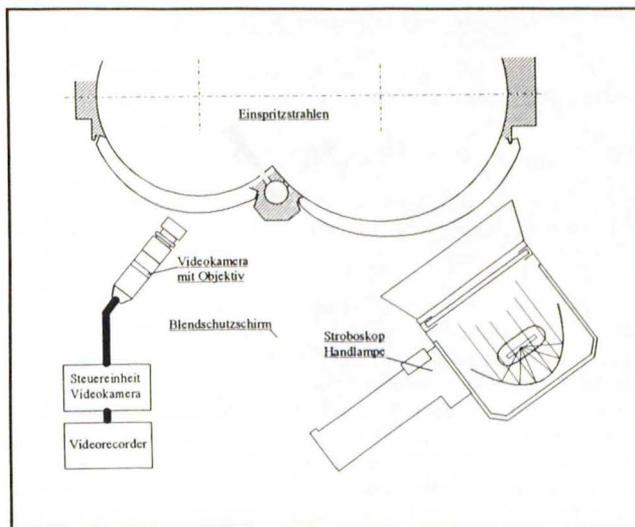
#### 4. Versuchsergebnisse

##### 4.1 Versuchsparameter und Stoffdaten

Die folgenden Angaben geben die bei den Versuchen an der Variante 1 (große Sichtfenster) realisierte Variation der wichtigen Betriebsparameter wieder:

Variante 1	Versuchsparameter	
Umfangsgeschwindigkeit	$u_{HR}$	20 m/s
Eintrittsdruck	$p_I$	0,3...1 bar
Druckverhältnis	$\Pi$	5...10
spez. Ölvolumen	$v_{\dot{O}l}$	3...10 l/m <sup>3</sup>

Die Versuche mit der Variante 2 (Endoskopfenster) nehmen der Anzahl der Fenster und der breiteren Interpretationsmöglichkeiten der Aufnahmen wegen einen deutlich größeren Teil der Untersuchungen ein. Das Kennfeld der eingestellten Betriebsparameter wird zusätzlich um die Variation der Umfangsgeschwindigkeit erweitert.



**Bild 9:** Zuordnung von Handlampe und Kamera im Bereich der nebenrotorseitigen Haupteinspritzung, Variante 1

**Fig. 9:** Arrangement of portable lamp and camera near to the main-injection at the female rotor, variant 1

**Bild 9** verdeutlicht die Zuordnung von der Lichtquelle zur Videokamera, um die Vorgänge in der Umgebung der Haupteinspritzung beobachten zu können.

Das von der Lampe ausgesendete Licht tritt entlang der betreffenden Arbeitskammer hinter der Verschneidungskante hindurch und durchleuchtet so die Umgebung der Öleinspritzung. Ein Blendschutzschirm am Gehäusesteg verhindert Reflexionen an der Außenfläche des Nebenrotorfensters.

Variante 2	Versuchsparameter	
Umfangsgeschwindigkeit	$u_{HR}$	13,5...40 m/s
Eintrittsdruck	$p_1$	1 bar
Druckverhältnis	$\Pi$	5...10
spez. Ölvolume	$v_{\dot{O}l}$	3..12 l/m <sup>3</sup>

Die Stoffdaten des verwendeten synthetischen Kompressoröles sind:

Stoffdaten des verwendeten Öles			
Eintrittstemperatur	$T_{Ein}$	K	313
dynamische Viskosität	$\eta_{\dot{O}l}$	Pas	0,02145
Dichte	$\rho_{\dot{O}l}$	kg/m <sup>3</sup>	860
Oberflächenspannung	$\sigma_{\dot{O}l}$	N/m	0,0256

## 4.2. Kompressor mit großen Sichtfenstern (Variante 1)

Es gehört einige Übung dazu, die Videoaufnahmen im Hinblick auf die strömungsmechanischen Vorgänge in der laufenden Maschine zu interpretieren.

### 4.2.1 Aufnahmen des gesamten Fensterausschnitts

Die hier verwendeten Abbildungen eignen sich nur bedingt zur Analyse der Vorgänge an den Arbeitsraumbegrenzungen, sollen aber zur Orientierung des Lesers dennoch beschrieben werden.

Die nachfolgenden **Bilder 10** und **11** zeigen Haupt- und Nebenrotor bei einem die Fenster nur wenig belastenden Betriebspunkt  $p_1 = 0,3$  bar. Die Aufnahmen vermitteln einen räumlichen Eindruck von der Rotoroberfläche. An der Fensterinnenfläche zeigen sich einige Reflexionen, die durch einen Ölfilm verursacht werden, dessen *Welligkeit in der Struktur der Lichtreflexe zum Ausdruck* kommt. Sowohl beim Haupt- als auch beim Nebenrotor ist der gesamte Arbeitsraum vom Zahnkopf bis zum Grund deutlich zu erkennen. Die Beobachtung ist *nicht etwa durch Öltropfen beeinträchtigt*. Im rechten Teil des Hauptrotorfensters wird der Bereich um den Zahngrund sehr stark von den Reflexionen an der Filmoberfläche überdeckt, so daß der Profilgrund im linken Teil der Aufnahme kontrastreicher erscheint. *Die Drehrichtung ist bei allen Aufnahmen von oben nach unten gerichtet* ( $\rightarrow$ ), d.h., am Hauptrotor befindet sich die Druckseite unten links, am Nebenrotor unten rechts ( $\rightarrow$ ).



**Bild 10:** Variante 1, Hauptrotorfenster bei

**Fig. 10:** Variant 1, male rotor window with

$$\begin{array}{ll}
 u_{HR} = 20 \text{ m/s} & \Gamma = 10 \\
 p_1 = 0,3 \text{ bar} & v_{Ol} = 9 \text{ l/m}^3 \\
 u_{HR} = 20 \text{ m/s} & \Gamma = 10 \\
 p_1 = 0,3 \text{ bar} & v_{Ol} = 9 \text{ l/m}^3
 \end{array}$$

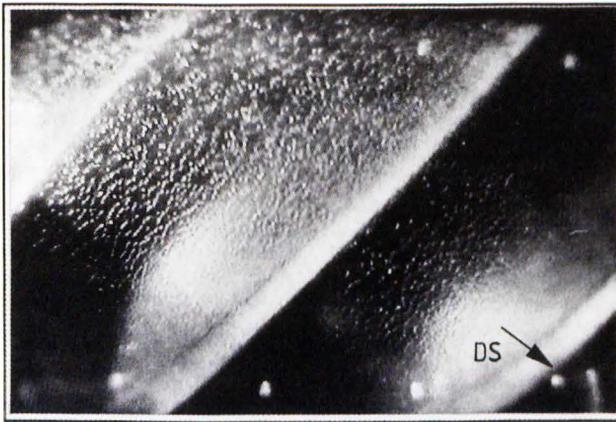


Bild 11: Variante 1, Nebenrotorfenster bei

$$u_{HR} = 20 \text{ m/s} \quad \Pi = 10$$

$$p_I = 0,3 \text{ bar} \quad v_{O1} = 9 \text{ L/m}^3$$

Fig. 11: Variant 1, female male rotor window with

$$u_{HR} = 20 \text{ m/s} \quad \Pi = 10$$

$$p_I = 0,3 \text{ bar} \quad v_{O1} = 9 \text{ L/m}^3$$

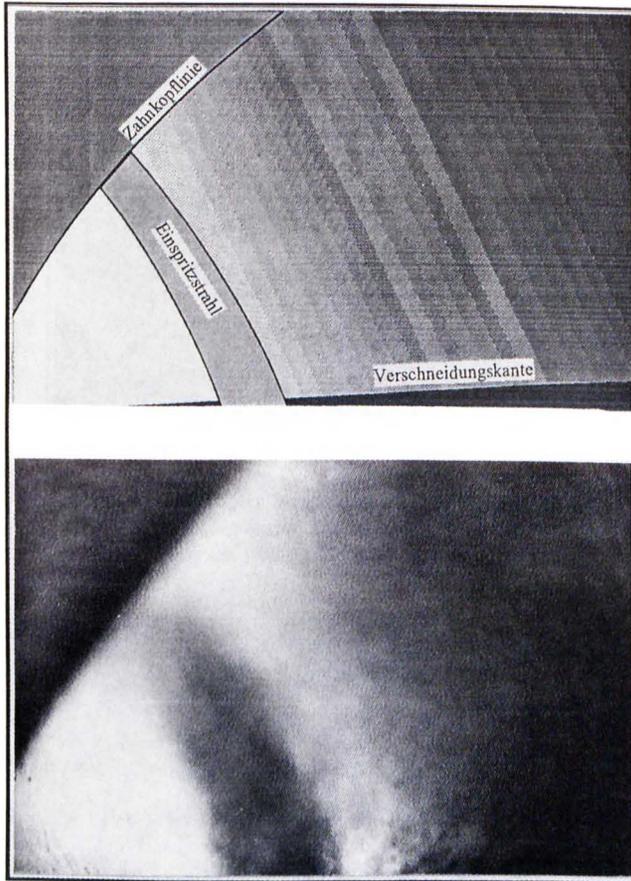
#### 4.2.2 Haupteinspritzstellen

Anhand einer Bildfolge im Videofilm kann die Entwicklung des Ölfreistrahles am Austritt der Haupteinspritzung des Nebenrotors verfolgt werden.

Die in den Text eingefügten Skizzen der Standbilder sind als Ersatz für den Leser gedacht, dem die Videoaufnahmen nicht zur Verfügung stehen. Zur leichteren Orientierung sind in **Bild 12** die Verschneidungskante, die Zahnkopflinie und der Einspritzstrahl gekennzeichnet.

Die Entstehung des Einspritzstrahls beginnt unmittelbar nach dem Überstreichen der Einspritzbohrung durch den vorlaufenden Zahnkopf. Bis zum vollständigen Verdecken des Sichtfeldes durch den nachfolgenden Nebenrotorzahn bleibt der *Einspritzstrahl erhalten*. In dem gesamten untersuchten Kennfeldbereich ergaben sich keine sichtbaren Veränderungen im Verhalten dieses Ölfreistrahles.

Der Hauptrotorzahn verdeckt den Einspritzstrahl aufgrund seiner Bauchigkeit wesentlich früher als der Nebenrotorzahn, so daß ähnlich deutliche Aufnahmen wie auf der Nebenrotorseite am Hauptrotor nicht gelingen.



**Bild 12:** Ausgebildeter Freistahl an der Nebenrotoreinspritzung

**Fig. 12:** Free jet at the female rotor oil-injection

#### **4.3 Das Erscheinungsbild von Tropfen, Blasen und des Ölschwalls am Gehäusespalt**

Die Aufnahme in **Bild 13** ist ein fotografiertes Standbild eines Videofilmes, der mit Hilfe der Permanentlichtquelle bei sehr langsam laufender Maschine aufgezeichnet wurde. Die in diesem Fall von der Videokamera vorgegebene Belichtungszeit betrug  $10^{-3}$  s. Aufgrund der permanenten Belichtung und der geringen Umfangsgeschwindigkeit kann die Strömung nun über mehrere aufeinanderfolgende Bilder verfolgt werden. Die auffälligen kleinen punkt-

förmigen Bereiche (Ausschnitt A in Bild 13) änderten ihr Aussehen kaum und auch der zwischen zwei Aufnahmen zurückgelegte Weg ist sehr kurz.

Ein solches Verhalten ist typisch für *Gasblasen, die in einem langsam strömenden Ölfilm eingeschlossen* sind. Solche Blasen treten häufig in ähnlicher Form auf, ihre Bewegung ist bei stroboskopischer Belichtung und höherer Drehzahl jedoch nicht mehr zu verfolgen. Eine Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit ist demnach zwar nicht möglich, das Erscheinungsbild eingeschlossener Gasblasen kann auf diese Weise jedoch geklärt werden.

Ein grundsätzlich anderes Bild erzeugen Öltropfen (Ausschnitt B in Bild 13), die auf dem Ölfilm auftreffen und dabei, ähnlich wie ins Wasser fallende Steine, Kreise ziehen. Auf den Aufnahmen ist in der Regel nur ein Kreis zu sehen, da zur Ausbildung mehrerer Wellen bei den gegebenen Umständen keine Zeit verbleibt. Diese Wellen bestehen in der Ausformung der Filmoberfläche und unterliegen damit sehr viel stärker dem Einfluß der vorbeistreichenden Rotorzähne, als die schon erwähnten Gasblasen im Inneren des Ölfilms. Aus diesem Grunde ist die zeitliche Entwicklung der *Wellenstruktur* anhand aufeinanderfolgender Videoaufnahmen nicht überprüfbar. Bei den auftreffenden Tropfen handelt es sich grundsätzlich um *Einzelerscheinungen*, die sich auf ein einzelnes Videobild beschränken.

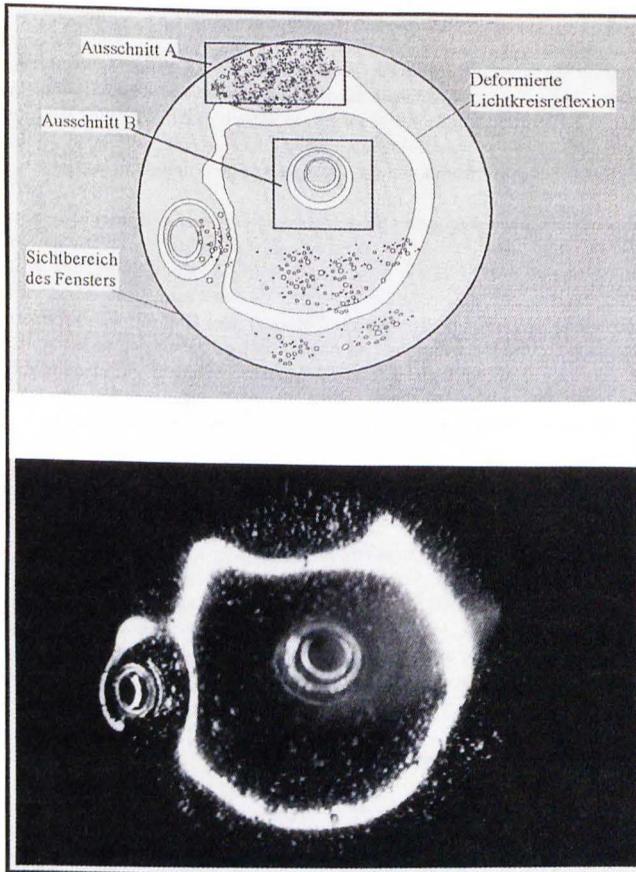
Eine wichtige Beobachtung ist unmittelbar vor den Zahnköpfen zu machen. In **Bild 14** ist die deutliche ölbedingte gelbe Färbung auf den Originalaufnahmen (→) zu erkennen. Die Position dieser Ölsammlung läßt keine andere Deutung zu, als die, daß es sich hier um einen *Ölschwall vor dem Gehäusepalt* handelt. Während der verschiedenen zu beobachtenden Phasen kündigt sich das Herannahen des Zahnkopfes durch unregelmäßig auf dem Fenster auftreffende Ölmassen an, die im weiteren Verlauf an Häufigkeit und Größe zunehmen. Dabei stellt sich in der Regel der Zustand eines geschlossenen Ölschwalls ein. Die zuvor geschilderten Vorgänge lassen sich nun im zeitlichen Ablauf in einen Zyklus einordnen, der das Grundgerüst für alle durchgeführten Beobachtungen an den Endoskopfenstern bildet.

## 5. Randbedingungen für den theoretischen Ansatz

Die in Kapitel 4 beschriebenen Untersuchungen erlauben Annahmen für eine theoretische Modellentwicklung zur Berechnung der Ölverteilung. Für ein *vereinfachtes ebenes Modell* werden anhand der gesamten Visualisierung aus der Strömungsmechanik bekannte Methoden zur Strömungsberechnung auf die speziellen Umgebungsbedingungen in den Arbeitskammern eines Schraubenkompressors übertragen. Die schon bei der Formulierung der Ölschwalthypothese gemachte Annahme, es möge so viel Öl in den Arbeitsraum eingebracht werden, daß alle Spaltvolumen gefüllt werden können, muß auch hier gelten.

### • *Die Einspritzstellen*

Die Einspritzung durch radiale Bohrungen mit mehreren Millimetern Durchmesser erzeugt in keinem Betriebspunkt üblicher Einsatzgebiete der Schraubenmaschine eine für den Wärmetausch günstige große Oberfläche. Es entstehen nur sporadisch größere Tropfen, die der Gasströmung innerhalb der Arbeitsräume nicht folgen können.



**Bild 13:** *Im Ölfilm eingeschlossene Gasblasen und auftreffende Tropfen bei permanenter Belichtung*    *Ausschnitt A: Blasen im Ölfilm*

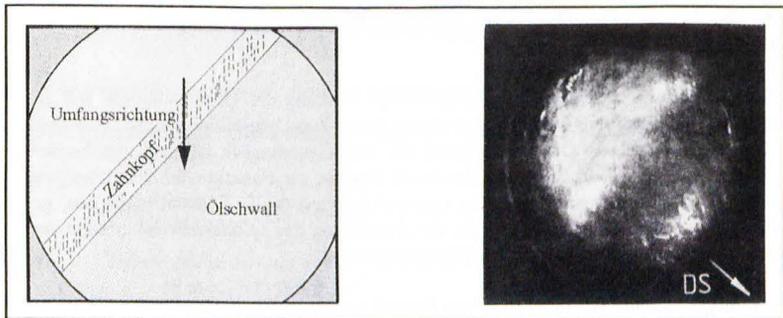
*Ausschnitt B: Auftreffende Tropfen*

**Fig. 13:** *In the oil film enclosed gas holes and impinging drops during permanent illumination*    *Cutout A: Gas holes in the oil film*  
*Cutout B: Impinging drops*

- *Die Ölverteilung im Innern der Arbeitskammer*

Die aus der Visualisierung zu ersehende Durchsichtigkeit der Arbeitskammern bei allen Betriebsbedingungen unterstützt die Annahme, nach der sich der größte Teil des Öls in der Kammer in Form eines Filmes auf den Oberflächen vorliegt. Der Zahngrund von Haupt- und Nebenrotor ist, abgesehen von Aufnahmen bei stark mit Blasen durchsetztem Film auf der Fensteroberfläche, klar erkennbar, wobei sich besonders der Hauptrotorzahnfuß als scharfe Linie in Richtung der Fußkreissteigung darstellt. Damit sind auch die rechnerisch schwer erfaßbaren gasdynamischen und strömungstechnischen Vorgänge im Profileingriff und an den Spaltaustritten nicht dazu geeignet, ein dauerhaftes Tropfenspektrum oder gar eine nebelartige Ölverteilung zu erzeugen.

Die Berechnungen zur Kühlwirkung des Einspritzöls müssen daher von einer filmförmigen Verteilung des Öls ausgehen, so wie sie bereits qualitativ der *Ölschwalthypothese* [2] als Grundlage diente.



**Bild 14:** *Ölschwall vor dem Gehäusespalt am Nebenrotor*

**Fig.: 14:** *Oil surge at the housing gap of female rotor*

- *Der Ölfilm auf dem Gehäuse*

Der Ölfilm auf der Gehäuseinnenfläche bestimmt die Qualität der Aufnahmen. Blasen und auftreffende Tropfen beeinflussen die Durchsichtigkeit des Films. Die durchgeführte Parametervariation verdeutlicht die Unabhängigkeit des Filmzustandes vom eingestellten Betriebspunkt. Durch die zyklische Wiederkehr der kinematischen Vorgänge und die Abgeschlossenheit des Arbeitsraumes beim Verdrängerprinzip, sowie durch den in der gesamten Variationsbreite hohen Einfluß des zentrifugalen Kräftefeldes, werden die Abläufe während der Verdichtung bestimmt. Entscheidende Unterschiede ergeben sich als Funktion des Ortes in der Maschine.

Die charakteristische Eigenschaft des Öls im Arbeitsraum ist ein dünner, glatter und meist blasenfreier Ölfilm unmittelbar hinter dem Spalt. Eine scharfe und verzerrte

Wiedergabe zeigen dagegen die Videoaufnahmen vom Zahnfuß. Man erkennt eine vergleichsweise klare Abgrenzung des Ölschwalls. Eine druckgetriebene Komponente ist in den Spaltströmungen nicht zu erkennen. Die Dicke des Ölfilms kann anhand der weitgehend unverzerrten Reflexion der Aufnahmen an der kreisförmigen Leiteinleitung des Endoskopes beurteilt werden. Dabei stellt der Durchmesser des an der Filmoberfläche reflektierten Lichtkreises ein Maß für den Abstand der Reflexionsebene und damit für die Filmdicke dar.

- *Der Ölschwall vor dem Gehäusespalt*

Während eines Zyklusses kündigt sich das Herannahen des Zahnkopfes durch ein mehr oder weniger breites Band intensiver gelber Färbung an, das in Bild 14 (→) die Lage des Ölschwalls vor dem Gehäusespalt kennzeichnet. Bei der Beobachtung aufeinanderfolgender Videobilder wird eine ausgeprägte Schwankung der Ölschwallbreite erkennbar, die auf relativ ungeordnete, die Ausformung des Ölschwalls bestimmende Stömungsvorgänge schließen läßt. Zur optischen Mittelung dieser Schwankungen kann die Ölschwallbreite anhand einer Messung ermittelt werden, bei der die Zeit zum Durchlaufen der gesamten Ölschwallbreite mit der Zykluszeit verglichen wird.

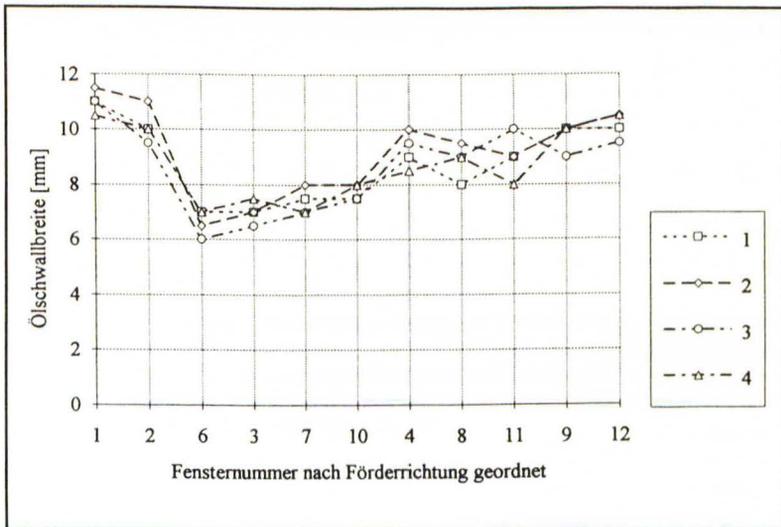
Zur Erläuterung des in **Bild 15** dargestellten Verlaufs der Ölschwallbreite soll zunächst die Reihenfolge der Fenster in dieser Darstellung begründet werden. Aus einer Kräftebilanz an einem Ölschwallelement vor dem Gehäusespalt läßt sich die *Förderichtung, die der Zahnkopf am Ölschwall bewirkt*, als Funktion der Rotorsteigung bestimmen. Ordnet man die Fenster nun senkrecht zu dieser Föderrichtung neu, gelangt man zu einer Reihenfolge, die die Ausbildung des *Ölschwalls mit steigendem Abstand von der saugseitigen Stirnfläche* beschreibt.

In Bild 15 fügen sich die Werte zu einer von Fenster 6 aus leicht ansteigenden Funktion. Die Breite des Ölschwalls an den Fenstern 1 und 2 wird vermutlich stark von der *ND-seitigen Lagerölversorgung* bestimmt, wogegen der Ölschwall ab Fenster 6 dem in der Theorie beschreibbaren Verteilungsmechanismus des Spaltvolumenstroms am Profileingriff unterliegt. Im rechten Teil des Kurvenverlaufes zeigt sich ein leichter Anstieg der Ölversorgung in den Schwall vor dem Gehäusespalt hinein und zwar mit steigendem Abstand von der HD-seitigen Stirnfläche und damit zunehmender Nähe zu den Haupteinspritzstellen. Die Mittelwerte aller Fenster bei den einzelnen Betriebspunkten schwanken zwischen 8,5 und 9 Millimetern Ölschwallbreite.

### **Schlußbemerkung**

Es liegt nahe, dieses Thema fortzusetzen mit dem Ziel, zu einer für die Energiewandlung des gesamten Schraubenkompressors optimalen Ölverteilung zu gelangen, ohne den Fertigungsaufwand heutiger Maschinen steigern zu müssen.

Da schon bei recht niedrigen Umfangsgeschwindigkeiten des Hauptrotors hohe Ölschwallbreiten zu erzielen sind, sollte die Frage der notwendigen Fertigungstoleranzen geklärt werden. Zumal erste Rechenergebnisse darauf hinweisen, daß bereits bei kleinen Ölschwallvolumen der Profileingriffsspalt vollständig mit Öl versorgt werden kann.



**Bild 15:** Änderung der Ölschwallbreite senkrecht zur Förderrichtung,

- 1:  $u = 13 \text{ m/s}$   $V_{\dot{O}l} = 9 \text{ l/m}^3$   
 2:  $u = 13 \text{ m/s}$   $V_{\dot{O}l} = 12 \text{ l/m}^3$   
 3:  $u = 20 \text{ m/s}$   $V_{\dot{O}l} = 5 \text{ l/m}^3$   
 4:  $u = 20 \text{ m/s}$   $V_{\dot{O}l} = 9 \text{ l/m}^3$

**Fig. 15:** Change of the oil surge width vertical to transport direction, window

- 1:  $u = 13 \text{ m/s}$   $V_{\dot{O}l} = 9 \text{ l/m}^3$   
 2:  $u = 13 \text{ m/s}$   $V_{\dot{O}l} = 12 \text{ l/m}^3$   
 3:  $u = 20 \text{ m/s}$   $V_{\dot{O}l} = 5 \text{ l/m}^3$   
 4:  $u = 20 \text{ m/s}$   $V_{\dot{O}l} = 9 \text{ l/m}^3$

## Literatur

- [1] Kauder, K. L'huile dans le compresseur à vis - un facteur régissant des conditions d'exploitation optimales. In: Pompes, pompes à vide, compresseurs, S. 38-44, Nürnberg: Übersee-Post Organisation, 1987
- [2] Kauder, K. Das Konstruktionselement Öl im Schraubenverdichter. In: Handbuch Verdichter, S. 86-91, Essen: Vulkan Verlag, 1990
- [3] Moser, J. Die Wirkung des Einspritzöls in naßlaufenden Schraubenkompressoren. Dissertation Technische Universität Wien, 1992
- [4] Harling, H.B. Untersuchung zur Ölverteilung in Schraubenkompressoren mit Schmiermitteleinspritzung. Dissertation Universität Dortmund, 1993, VDI Fortschrittsberichte, Reihe 1, Nr. 230, VDI Verlag Düsseldorf, 1994
- [5] Fujiwar, M. Kasuya, K. Osada, Y. A New Design Method for Oil-Injected Screw Compressors and Its Applications. In: Hitachi Review, Vol 36, Nr. 3, 1987
- [6] Persson, J.-G. Heat-exchange in liquid-injected screw-compressors. In: VDI-Berichte 640, Schraubenmaschinen, Düsseldorf: VDI Verlag, 1987