

# Beitrag zur geometrischen Optimierung des Arbeitsraumes der Schraubenmaschinen

Doz. Dr.-Ing. J. Švigler, Dr.-Ing. P. Albl, Pilsen/CZ

## Zusammenfassung

Im Beitrag wird die geometrische Optimierung des Arbeitsraumes der Schraubenmaschine aus der Sicht des Erreichens der extremen Werte des Volumens und Druckes des Arbeitsmediums gelöst. Die Definitionsbereiche der einzelnen Grössen werden so bestimmt, dass der theoretisch punktliche Eingriff der zusammeneingreifenden Zahnprofile garantiert wird und dass es nicht zur Interferenz der Zahnprofile kommt. Die Optimierungsaufgabe ändert nicht die Grundkonstruktionsparameter der Maschine wie den Achsenabstand, Zahl der Zähne und Steigungswinkel der Schraubenlinie.

## Abstract

The contribution solves geometrical optimization of the screw machine – working space regarding reaching extreme volume and pressure values liquid medium. Before the optimization process itself the quantities are divided into the basic quantities and those depending on the basic ones. The definition fields of particular quantities are determined in the way that theoretical accurate contact of the meshing screw surfaces is ensured guaranteed and the interference of tooth profiles will be avoided the origin. The optimization itself doesn't change the basic structural machine parameters such as axis distance, number of teeth and helix angle.

## 1 Einleitung

Vor der eigenen Optimierung müssen wir zuerst die Geometrie des Profils definieren und geometrische Grössen in unabhängige, die für die Bildung der Profile entscheidend sind, und in andere Grössen, die an diesen Grundgrössen abhängen, teilen. Die Kurven der Profile sind durch NURBS Kurven beschrieben. Für das Erreichen der notwendig hohen Genauigkeit der Beschreibung muss man jede Approximation der ursprünglichen Kurven vermeiden. Die Kurven sind deshalb als eine einparametrische Menge von Punkten, aus denen jeder der leitende Punkt der Kurve ist, definiert. Das bedeutet, dass wir in die Lösung die Punkte der Splinekurve durch die wir die ursprüngliche Profilkurve approximieren die

zwischen den leitenden Punkten liegen nicht einbeziehen. Im Bezug auf den Umfang der Berechnung führen wir die Reduktion der unabhängigen Veränderlichen durch. Weil man die Optimierungsaufgabe numerisch durchführen muss, nehmen wir in die Lösung ein konkretes Profil, Bild 1. Der angeführte Vorgang gilt aber allgemein. Das Hauptbedürfnis ist, dass es nicht zur Veränderung der Hauptkonstruktionsparameter der Maschine kommt, wie Achsenabstand, Zahl der Zähne und Halbmesser der Wälzkreise.

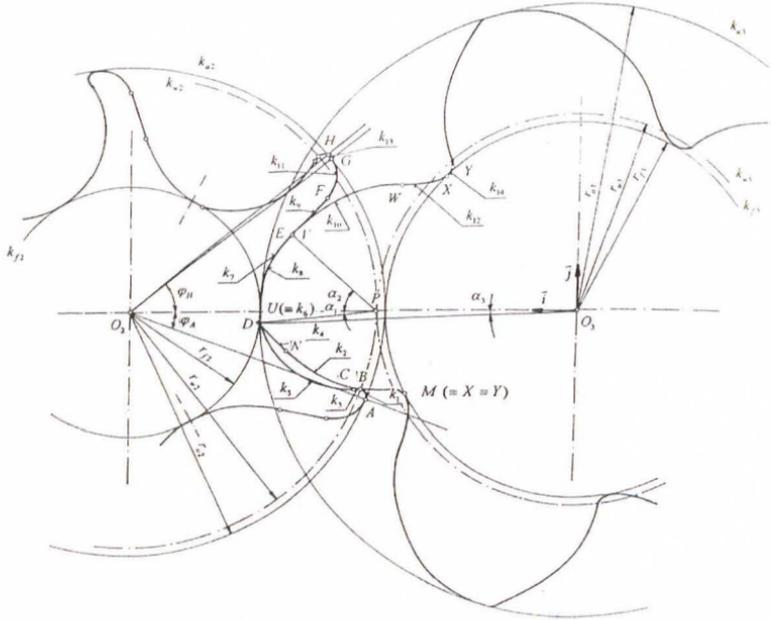


Bild 1: Zahnprofile, die zur Optimierung benutzt werden  
Fig. 1: Toothprofiles used for Optimization

Den direkten Einfluss auf die Größe des Arbeitsraumes und seine Form haben die Länge der Rotoren und der Steigungswinkel der Schraubenlinie. Weil beide Größen, namentlich die Rotorenlänge, einen Einfluss auf die Konstruktionsparameter der Maschine haben, wurden sie in die Optimierungsaufgabe nicht einbezogen. Weitere Größen, die die Volumengröße des Gases und seines Druckes im Arbeitsraum beeinflussen, sind die Anbringung der Öffnungen für Ansaugen und Auslass. Für unsere Lösung werden wir als Moment der Verschliessung der Ansaugung, d. h. als Beginn der inneren Kompression, den Augenblick betrachten, wann der Arbeitsraum bei der gegebenen Rotorenlänge sein maximales Volumen erreicht. Für den Moment des Auslasses, d. h. den Moment der Öffnung der Druckraumes, betrachten wir die Lage der Rotoren, in der sich beide Arbeitskammern schon in eine verbunden haben, so dass der Arbeitsraum durch eine gemeinsame Kammer gebildet wird.

## 2 Geometrie der Zahnprofile

Die Profile der Zähne werden durch die Kurven  $k_1 \div k_{14}$  gebildet, daraus entsteht die Kurve  $k_2$  als Einhüllende der Kurve  $k_1$ , die Kurve  $k_4$  entsteht als Einhüllende der Kurve  $k_3$ , die Kurve  $k_6$  entsteht als Einhüllende der Kurve  $k_7$ , die Kurve  $k_{10}$  entsteht als Einhüllende der Kurve  $k_9$ , die Kurve  $k_{12}$  entsteht als Einhüllende der Kurve  $k_{11}$  und endlich die Kurve  $k_{14}$  ist die Hüllkurve der Kurve  $k_{13}$ . Kurven und aus ihnen zusammengestellte Profile wurden für diese Haupteintrittsgrössen bestimmt:

Achsenabstand	$a_w = 85 \text{ mm}$ ,
Zahl der Zähne des Hauptrotors	$z_3 = 5$ ,
Zahl der Zähne des Nebenrotors	$z_2 = 6$
Steigungswinkel der Schraubenlinie	$\gamma = 45^\circ$ ,
Rotorenlänge	$l = 193,8 \text{ mm}$ ,
Kreislinie des Zahnprofils des Nebenrotors	$r_7 = 219,14 \text{ mm}$ .

Vor der eigenen Optimierungsaufgabe ist es notwendig den Umfang der Intervalle zu bestimmen, in denen man verschiedene Variationen der in Betracht kommenden Parameter so durchführen kann, dass es nicht zu der Verletzung des Eingriffs des Zahnflächen kommt. Weiter ist es am Platze aus der Lösung jene Grössen auszuschliessen, oder ihre Umformung durchzuführen, welche die Genauigkeit der Lösung in grösserem Masse und damit auch die Bedeutung und den Sinn des Optimisierungsprozesses nicht beeinflussen und welche umgekehrt bei ihrem Erhalten die Lösung zu viel komplizieren würden. Darum führen wir folgende Regulierung der Zahnprofile durch:

- Den Bogen  $\widehat{BC} \in k_3$  ersetzen wir durch eine Strecke.
- Die Kurve  $k_9 = \widehat{EF}$  ersetzen wir durch einen Geradenabstand.
- Die Kurve  $k_{13} \in k_{a2}$  lassen wir aus, so dass die Kurven  $k_1$  und  $k_{11}$  kontinuierlich an sich im Punkt  $G \equiv H$  anknüpfen.

### Kurve $k_5$

Der Punkt  $C \in k_5$ , Bild 1, ist aussergewöhnlich wichtig, denn seine Lage beeinflusst direkt die Grösse der Kopfrundungsöffnung und deshalb wird gefordert, den Punkt  $C$  so weit wie möglich vom Mittelpunkt des Nebenrotors  $O_2$  zu verschieben. Die Lage des Punktes  $C$  beeinflusst aber auch die Kurve  $k_3$ , die in Folge der angenommenen Voraussetzung in eine Gerade übergeht und in diesem Punkte sich an die Kurve  $k_5$  anschliesst. Die Kurve  $k_3$  ist eine Bildungskurve der Hüllkurve  $k_4 \equiv \widehat{UN}$  und muss ermöglichen eine glatte und kontinuierliche Bildung nicht nur dieser Einhüllung, sondern auch der Einhüllung  $k_2 \equiv \widehat{NM}$ ,

durch die Kurve  $k_1$  gebildet wird, welche sich an die Kurve  $k_3$  im Punkt  $B$  anschliesst. Die Lage des Punktes  $C \equiv U$  muss dann im Augenblick, wo er zum Kontaktpunkt wird, der Beziehung für den Winkel der Einstellung des Hauptrotors  $\varphi_{3C}$  entsprechen.

$$\operatorname{tg}\left(\frac{Z_3}{Z_2} \varphi_{3C}\right) r_C \sin(\alpha_U + \varphi_{3C}) - r_C \cos(\alpha_U + \varphi_{3C}) + r_{w3} = 0. \quad (1)$$

**Kurve  $k_1$**

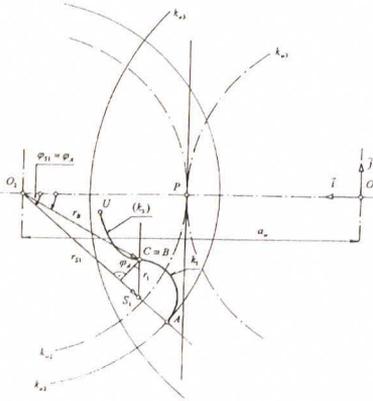


Bild 2: Maximale Grösse des Bogens  $k_1$  auf dem Zahnkopf des Nebenrotors

Fig. 2: Maximum value of curve  $k_1$  on tooth head of female rotor

Die Kurve  $k_1$  bildet die Abrundung des Zahnkopfes des Nebenrotors und knüpft kontinuierlich an die Kurve  $k_3$  an, und auf den Kopfkreis  $k_{a2}$ . Die minimale Grösse ist durch die Bedingung

$$r_1 > r_{a2} - r_{w2}, \quad (2)$$

beschränkt, welche die notwendige Bedingung ist zur Vermeidung der Entstehung eines Wendepunktes auf der Kurve  $k_2$  und damit auch für die Vermeidung der Entstehung einer Interferenz auf dieser Kurve. Weiter ist die Grösse der Kreislinie durch das Bedürfnis einer direkten Anknüpfung der Kurve  $k_1$  auf die Trochoide  $k_3$  begrenzt. Dieses Bedürfnis bildet die zweite Bedingung, welche die maximale Grösse des Bogens  $k_1$  bestimmt. Diese Situation ist auf Bild 2

dargestellt, aus welchem wir folgende Beziehungen

$$r_{a2} - r_B \cos(\varphi_A - \varphi_B) - r_B \frac{\sin(\varphi_A - \varphi_B)}{\cos \varphi_A} (\sin \varphi_A + 1) = 0, \quad (3)$$

$$r_1 \cos \varphi_A = r_B \sin(\varphi_A - \varphi_B), \quad (4)$$

gewinnen können.

**Kurve  $k_9$**

Die Kurve  $k_9$ , die nach der angenommenen Umformung durch eine Gerade gebildet ist, knüpft tangential an die Kurven an, so sie ihre gemeinsame Tangente bildet. Die



im Augenblick des Eingriffs grösser als  $r_{a3} - r_{w3}$  ist. Diese Erscheinung vermeiden wir durch das Einstellen der Neigung der Kurve  $k_9$ , die die Grenzlage  $k_9 \perp \overline{O_2 O_3}$  für den Fall  $k_3 \equiv \overline{EF}$  hat. Die Bedingung für die minimale Grösse des Radius, welche die Grenzlage der Kurve  $k_9$  garantiert, ist durch die Beziehung

$$r_{11} \geq \frac{\cos \beta_H (1 + \cos \varphi_H)}{\sin^2 \varphi_H} \sqrt{r_{a2}^2 + (a_w - r_{a3})^2 - 2r_{a2} (a_w - r_{a3}) \cos \varphi_H}, \quad (8)$$

bestimmen.

**Kurve  $k_{a2}$**

Die Grösse des Kopfkreises des Nebenrotors ist bestimmt durch die gesamte Geometrie der Profile und hauptsächlich durch die Kurve  $k_1$ , die durch den Bogen mit dem Mittelpunkt im Pol  $P$  gebildet wird. In dieser Lösung ist die minimale Grösse des Bogens  $k_{a2}$  durch die Beziehung

$$r_{a2} = r_{w2} + m_2, \quad m_2 = 0,5 \text{ mm} \Rightarrow r_{a2} = 46,86 \text{ mm}, \quad (9)$$

bestimmt und zwar damit, dass für  $m_2$  man einen beliebigen Wert wählen kann.

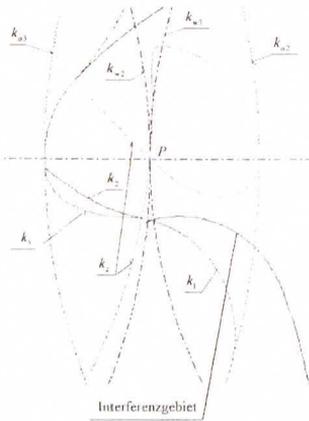


Bild 5: Kurve  $k_2$  mit der Interferenz

Fig. 5: Curve  $k_2$  with interference

Der maximale Wert  $r_{a2}$  ist durch die Gleichungen (3) und (4), welche das Anknüpfen der Trochoide  $k_5$  an den Zahnkopf mittels dem Bogen  $k_1$ , gewährleistet bestimmt. Die durch die Gleichungen (3), (4) gebildete Bedingung ist eine notwendige aber nicht eine ausreichende Bedingung, denn bei der Bildung der Kurve  $k_2 \equiv R_3 O_{k_1}$ , die als Einhüllende  $k_1$  entsteht, kann es unter bestimmten Bedingungen, auch beim Erhalten der Bedingungen (3), (4), zur Entstehung des Wendepunktes kommen. Die Folge ist, Bild 5, die Interferenz der Kurve  $k_2$ . Das ist eine unerwünschte Erscheinung, die man vermeiden muss. Zur Entstehung des Rückzweiges der Einhüllung und deshalb zur Entstehung des Wendepunktes auf dieser Kurve kommt es nicht, wenn der Vorgang der

Eingriffskurve  $k_z = k_1 \cup k_2$  im Bereich des Kontakts zwischen den Punkten  $A, B$ , Bild 1, monoton ist, genauer gesagt, nicht sinkend. Die Lage des allgemeinen Punktes  $Z$  auf der Eingriffskurve  $k_z$  ist nach dem Bild 6 durch folgende Beziehung

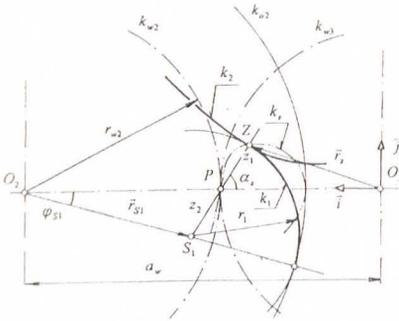


Bild 6: Eingriffskurve

Fig. 6: Mesh curve

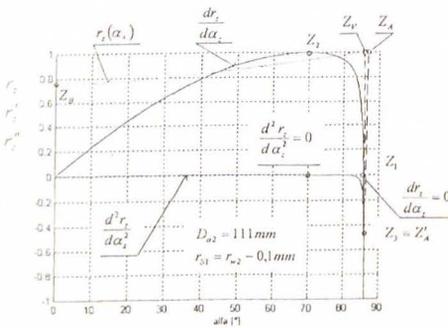


Bild 7: Monotonie der Eingriffskurve

Fig. 7: Monotone of mesh curve

dieAbleitung  $\frac{dr_z}{d\alpha_z} < 0$  ist, während im Punkt  $Z_A$  ist  $\frac{dr_z}{d\alpha_z} > 0$ . Die Feststellung dieser Situation aus dem Verlauf der Funktion  $dr_z/d\alpha_z$  ist kompliziert und es muss durch eine numerische Methode überhaupt nicht entdeckt werden. Den Winkel  $\alpha_z$  bestimmen wir aus der Bedingung

$$\frac{d^2 r_z}{d\alpha_z^2} = 0 \tag{12}$$

die aus einer Überlegung kommt, dass falls im Punkt  $Z_3 \in \frac{dr_z}{d\alpha_z}$  das lokale Minimum und im Punkt  $Z_2 \in \frac{dr_z}{d\alpha_z}$  das lokale Maximum existiert, dann muss notwendig zwischen diesen

$$r_z = \sqrt{r_{w3}^2 + z_1^2 - 2r_{w3} \cdot z_1 \cdot \cos \alpha_z}, \tag{10}$$

wo

$$z_1 = r_1 - z_2,$$

bestimmt. Das Bedürfnis der monotonen Eingriffskurve ist durch die Bedingung

$$\frac{dr_z}{d\alpha_z} \geq 0, \tag{11}$$

gestellt. Auf dem Bild 7 ist der Vorgang der Eingriffskurve  $k_z$  dargestellt und seine erste,  $r'_z$ , und zweite,  $r''_z$ , Derivation im Definitionsbereich  $\langle 0^\circ, 86,236^\circ \rangle$ , der durch Punkte  $Z_B, Z_A$  begrenzt ist, die den Bildungspunkten  $B, A$ , die die Kurven  $k_1$  bilden, zugehören, Bild 1, Bild 2. Aus dem Bild 7 ist es sichtbar, dass  $\frac{dr_z}{d\alpha_z} < 0$  in dem Abstand  $Z_V Z_A \in \langle 85,8^\circ, 86,36^\circ \rangle$  ist. Die durch die Gleichung vorgeschriebene Bedingung ist nicht erfüllt und deshalb der Zahnprofil des Nebenrotors ist nicht brauchbar. Es kann eine Situation existieren, und tatsächlich es bei einer gewissen Kombination der Größen geschieht, dass im Punkt  $Z_3$  die

Punkten ein Punkt oder eine Menge von Punkten existieren, für die  $\frac{d^2 r_z}{d \alpha_z^2} < 0$  gilt. Der Umfang des Bereiches der negativen Werte der zweiten Derivation ist wesentlich grösser als bei der ersten Derivation und deshalb ist die Bestimmung des Punktes, in dem  $\frac{d^2 r_z}{d \alpha_z^2} = 0$  ist, viel leichter und genauer. Durch die Erfüllung der Bedingung (12) bestimmen wir den lokalen Extrem, also das Minimum  $\frac{dr_z}{d \alpha_z}$ . Falls in  $Z_3$   $\frac{dr_z}{d \alpha_z} < 0$  ist, dann ist die vorgeschlagene Geometrie wieder ungünstig und es ist nötig den ganzen Vorgang mit einer geänderter Konfiguration der Geometrie zu wiederholen.

Dieser Vorgang gilt bei der Voraussetzung, dass  $r_{s1} = konst.$  Diese Voraussetzung limitiert aber stark den Definitionsbereich  $r_{a2}$ . Man sieht, daß man die Erfüllung von beiden diesen angeführten Bedingungen (3) und (8) erreichen kann. Auf dem Bild 8 ist der Vorgang  $r_{w2} - r_{s1}$  dargestellt, der

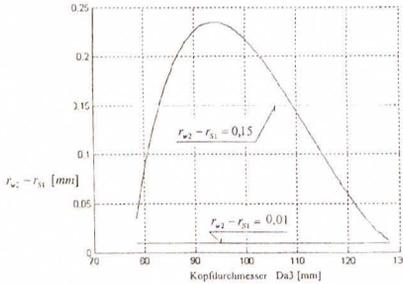


Bild 8: Kombination  $r_{w2}$  und  $r_{s1}$  für die Erfüllung Gl. (3) und (8)

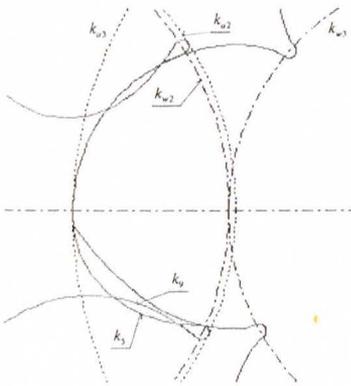
Fig. 8: Combination  $r_{w2}$  with  $r_{s1}$  through fulfilment Eqs. (3) and (8)

identische Grössen  $r_{a2}$  bei der Erfüllung der Bedingungen (3), (8) garantiert. Das angegebene Bedürfnis für die Erhaltung der beiden Bedingungen wurde im Optimierungsprogramm für die Bestimmung der maximalen Grösse  $r_{a2}$  angewendet. Bei der Analyse werden wir so vorgehen, dass wir den maximalen Wert  $r_{11}$  aus der Bedingung (6) bestimmen und dass wir das Erhalten von Bedingungen (3) und (8) für die minimale Grösse  $r_{11}$  vereinfachen damit, dass wir  $r_{11 \min} = r_{1 \min}$  legen. Gleichzeitig kontrollieren wir die Erfüllung der Bedingung (8).

**Kurve  $k_{a3}$**

Die Grösse des Kopfkreises des Hauptrotors  $k_{a3}$  ist ähnlich wie  $k_{a2}$  durch die gesamte Geometrie des angewendeten Profiltyps beeinflusst. Die minimale Grösse muss wieder der Ungleichheit  $r_{a3} > r_{w3}$  entsprechen, siehe Bild 1. Aus demselben Grund wurde wie bei  $k_{a2}$  folgende Beziehung

$$r_{a3} = r_{w3} + m_3, \quad m_3 = 0,5 \text{ mm} \Rightarrow r_{a3} = 39,13 \text{ mm}, \tag{13}$$



benutzt. Die maximale Grösse  $r_{a3}$  ist nur durch ein Bedürfnis limitiert, und zwar, dass es nicht zu der Durchbringung der Kurven  $k_9$  und  $k_5$  kommt, die den Profil der Zahnseite bilden. Die Situation ist auf dem Bild 9 für  $r_{a2} = 47,5 \text{ mm}$  und  $r_{a3} = 65 \text{ mm}$  dargestellt. In die Lösung der eigenen Optimierung werden wir also mit dem Definitionsbereich  $D_{a3} = \langle 78,3 \text{ mm}; 128 \text{ mm} \rangle$  einsteigen, siehe Bild 8.

Bild 9: Durchbringung der Kurven auf der Zahnseite des Nebenrotors

Fig. 9: Intersection of curves on tooth side of female rotor

### 3 Optimierung der geometrischen Parameter

Auf dem Grund der durchgeführten Analyse betrachten wir für die Optimierungsaufgabe die Kombination von drei unabhängig veränderlichen geometrischen Parametern, das sind Kopfdurchmesser der Rotoren  $D_{a3}, D_{a2}$  und der Radius des Bildungskreises  $k_{11}$ , also auch der Kreislinie  $k_1$ . Definitionsbereiche von diesen Parametern wurden durch die obige Analyse folgend bestimmt:  $D_{a3} \in \langle 78,3 \text{ mm}; 128 \text{ mm} \rangle$ ,  $D_{a2} \in \langle 93,7 \text{ mm}; Gl.(11), + Gl.(12) \rangle$ ,  $r_{11} \in \langle Gl.(7) + Gl.(8) + Gl.(6) \rangle$ . Wir sehen, dass bei den Grössen  $D_{a2}$  und  $r_{11}$  die Grenzwerte ihrer Definitionsbereiche durch

Funktionsbeziehungen definiert sind, die durch angegebene Gleichungen beschrieben sind. Die grafische Darstellung der Definitionsbereiche ist auf dem Bild 10 gezeigt. In der Optimierungsaufgabe ist die Beschreibung der Zustandsveränderung der kompressiblen Flüssigkeit durch eine polytropische Veränderung

$$p V^\kappa = \text{konst.}, \quad \kappa = 1,4 \quad (14)$$

ausgedrückt. Die durch Spiele verursachten Verluste sind in der Berechnung nicht betrachtet und sogleich ist nicht betrachtet der Einfluss der Kopf Rundungsöffnung.

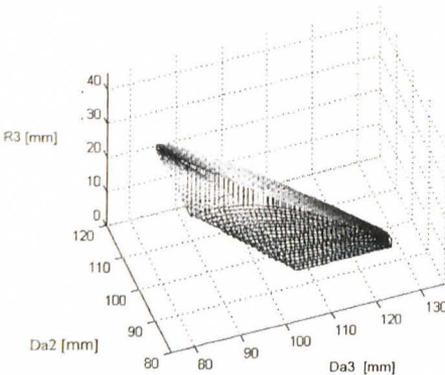


Bild 10: Definitionsbereich der Optimierungsgrössen

Fig. 10: Definition field of optimised quantities

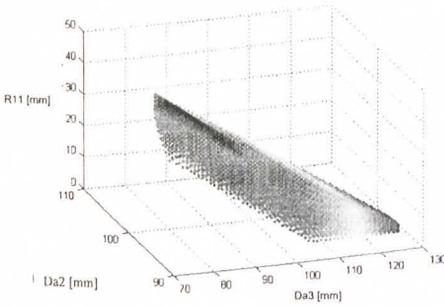


Bild 11: Werte der Zielfunktion des Volumens  
 Fig. 11: Value of volume target function

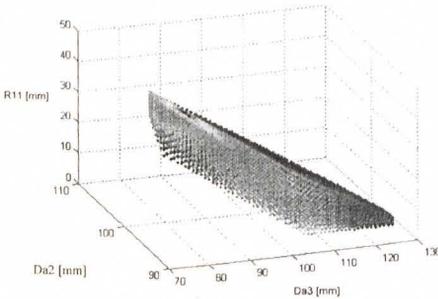


Bild 12: Werte der Zielfunktion des Druckes  
 Fig. 12: Value of pressure target function

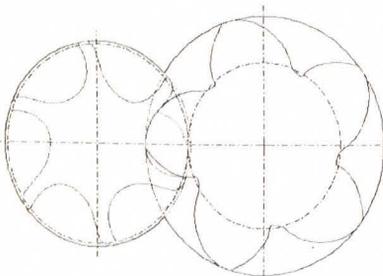


Bild 13: Ausgangsgeometrie der Profile  
 Fig. 13: Original geometry of profiles

Eine der meist gebrauchten stochastischen Methoden ist die Methode Monte Carlo, deren Idee wurde für den Vorgang angewendet, der die Funktionsbereiche bei einzelnen Zielfunktionen in ausgewählten Punkten verglich. Diese Punkte entstanden durch eine Kombination der Werte, die wir durch die gleichmässige Teilung der Definitionsbereiche der unabhängig Veränderlichen erhalten haben. Die Gesamtzahl der gewonnenen Kombinationen ist  $20 \cdot 10^3$ .

Das Ergebnis der Analyse der Zielfunktionen ist auf dem Bild 11 und Bild 12 gezeigt, die entstanden durch das Zählen der Werte der Zielfunktionen für die angeführten Kombinationen. Das Volumen des Arbeitsraumes, Bild 11, bewegt sich im Intervall von  $V_{\min} = 9278,7 \text{ mm}^3$  bis  $V_{\max} = 282004,6 \text{ mm}^3$ . Das Volumen des ursprünglichen Arbeitsraumes kann man um 19,3% erhöhen oder um 96,1% sinken. Der Ausstiegsdruck im Arbeitsraum bewegt sich im Augenblick des Öffnens des Ausstiegsraumes im Intervall von  $p_{\max} = 1,67341 \text{ MPa}$  bis  $p_{\min} = 0,92053 \text{ MPa}$  und beim Einstiegsdruckes des angesaugten Gases  $p_0 \approx 0,1 \text{ MPa}$ . Bezogen an den Wert des Einstiegsdruckes  $p_0 = 0,99463 \text{ MPa}$  für originelle Profile stellt der maximale Druckwert eine Erhöhung um 68,2% und der minimale Wert eine Senkung um 7,5%.

Extreme Werte der Zielfunktionen wurden für Grenzpunkte des Definitionsbereichs

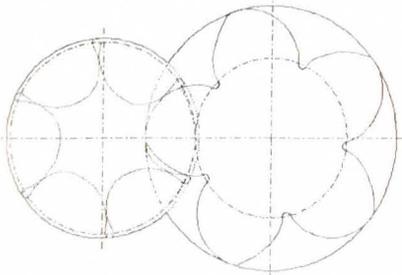


Bild 14: Profile für das Erreichen des maximalen Volumens

Fig. 14: Profiles for achievement of maximum volume

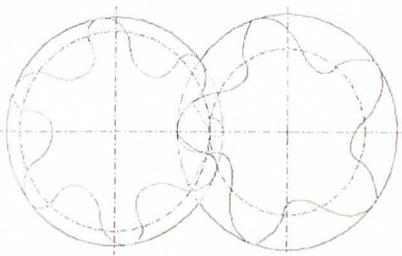


Bild 15: Profile für das Erreichen des minimalen Druckes

Fig. 15: Profiles for achievement of minimum pressure

erreicht. Die Werte der unabhängigen Veränderlichen, bei denen die Zielfunktion ihr Minimum erreichte, sind identisch mit Werten, bei denen die Zielfunktion des Druckes sein Maximum erreichte. Anders gesagt, im angewendeten Modell der Optimierung sind Zahnprofile der Rotoren, die man zum Erreichen des maximalen Ausstiegsdruckes braucht, identisch mit Profilen für das Erreichen des minimalen Volumens. Die umgekehrte Situation gilt aber überraschend nicht, denn die Geometrie der Verzahnung, welche die Bedingung für das Erreichen des maximalen Volumens ist, ist nicht identisch mit der Geometrie, die nötig zum Erreichen des minimalen Druckes ist. Die Kombination der Veränderlichen  $D_{a3}$ ,  $D_{a2}$ ,  $r_{11}$  für das Erreichen des minimalen Ausstiegsdruckes ist also unterschiedlich von den Kombinationen, die nötig zum Erreichen von extremen Werten von Volumen und Druck sind. Die Formen der Zahnprofile, gewonnene durch die Optimierung, sind auf folgenden Bildern dargestellt. Auf dem Bild 13 ist der Stirnschnitt der ursprünglichen Rotoren gezeigt, der die Ausgangsgeometrie der Profile darstellt, siehe Bild 1, für  $D_{a2} = 191,2 \text{ mm}$ ,  $D_{a3} = 242,2 \text{ mm}$ ,  $r_{11} = 6,2 \text{ mm}$ ,  $r_1 = 1,437 \text{ mm}$ .

#### 4 Ausblick

Der Beitrag, der sich beschäftigt mit der Optimierung des Arbeitsraumes der Schraubenmaschine aus der Sicht des Erreichens extremer Werte des angesaugten Gasvolumens und Auftriebsdruckes beim Erhalten der Grundkonstruktionsparameter, zeigt, dass man den Arbeitsraum optimieren kann. Durch eine geeignete Auswahl der geometrischen Größen und durch ihre Kombination kann man relativ markant Arbeitsparameter der Schraubenmaschine ändern.

## Literatur

- [1] Švigler, J., Albl, P.: *Some problems connected with mesh of screw compressor gearing and possibilities of their removal by means of profile shaping*. Proceedings of the International Conference Engineering Mechanics, pp. 237-242. Svatka, Czech Republic, 1996.
- [2] Švigler, J., Albl, P.: *Contribution towards the kinematic analysis of screw compressor*. Proceedings of the VII International Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, pp. 599-604. Liberec, Czech Republic, 1996.
- [3] Albl, P.: *Model of the work space of the screw compressor*. University of West Bohemia. Dissertation, Pilsen, 1997.
- [4] Kauder, K., Reusch, B., Berlik, S., Helpertz, M.: *Automatisierte Optimierung der Geometrie von Schraubenrotoren, Teil 1*. Schraubenmaschinen Nr. 9, S. 27-46. Dortmund, 2001.
- [5] *Technische Dokumentation des Schraubenkompressors*.
- [6] *Program system UFO*. ČSAV, Prague 1990.