

Originäre wissenschaftliche Arbeit  
Angenommen am 04.04.2002

DANIEL LORDICK

# Schattengrenzen krummer Flächen – Drehflächen, Schraubrohrfläche und Meridiankreisschraubfläche

Rastavnice oblih ploha - rotacijskih i zavojnih kličkih

## SAŽETAK

Uobičajeno je da se tangenta  $t$  na rastavnicu  $e$  oble plohe  $\Phi$  konstruira na temelju činjenice da su  $t$  i zraka svetlosti  $l$  par konjugiranih dijametara tzv. DUPINOVE *indikatriše* u promatranoj točki  $P$ . Ovaj rad opisuje drukčiji pristup konstrukciji takve tangente: rastavnica  $e$  definira se kao prodorna krivulja plohe  $\Phi$  i specijalne pravčaste plohe  $\Psi$  koja ovisi o  $\Phi$  i snopu zraka svetlosti.  $\Psi$  se uvodi kao *pridružena pravčasta ploha* dukrivulje  $e$ . Taj pristup omogućuje jednostavnu, linearno i globalno primjenjivu konstrukciju tangente  $t$  za rotacijske i zavojne plohe, na način nacrte geometrije. Metoda je također prikladna za klizne plohe isto kao i za centralnu rasvjetu. U nekim je slučajevima ploha  $\Psi$  pravčasta kvartika.

**Gljučne riječi:** Dupinova indikatriša, oble plohe, pravčaste plohe, sjene

Shade Lines of Curved Surfaces - Rotational and Helical Circular Surfaces

## ABSTRACT

Typically a tangent  $t$  to the shade line  $e$  of a curved surface  $\Phi$  is constructed by making use of the fact that  $t$  and the light ray  $l$  form a pair of *conjugate diameters* of the so-called DUPIN-*indicatrix* of  $\Phi$  at an investigated point  $P$ . This article describes a very different approach to developing such a tangent: The shade line  $e$  is defined as the intersection of  $\Phi$  and a special ruled surface  $\Psi$ , which depends both on  $\Phi$  and on the bundle of light rays.  $\Psi$  is introduced as *accompanying ruled surface* along  $e$ . This approach allows a simple, linear and globally applicable construction of  $t$  for rotational and helical surfaces by means of descriptive geometry. The method is also suitable for translation surfaces as well as for central illumination [4]. In a few cases  $\Psi$  is a ruled quartic.

**Key words:** curved surface, Dupin-indicatrix, ruled surface, shades and shadows

**MSC 2000:** 51M99, 51N05, 53A05

Der Artikel führt kurz in die *Begleitregelflächenmethode* zur Konstruktion von Tangenten an die Eigenschattengrenzen krummer Flächen ein und zeigt anschließend ihre Anwendung auf Drehflächen, Schraubrohrfläche und Meridiankreisschraubfläche. Weitere Einzelheiten werden in [4] dargestellt. Dort sind, neben der Behandlung der Schiefflächen und des Torus bei Zentralbeleuchtung, insbesondere die Begleitregelflächen selbst Gegenstand der Untersuchung.

## 1 Begleitregelflächenmethode

Nur auf regulären krummen Flächenstücken kann eine Eigenschattengrenze auftreten, die in Abhängigkeit von der Lichtrichtung variiert. Für die zu untersuchen-

den Flächenstücke wird deshalb vorausgesetzt, dass sie nicht eben sind und zu jedem Flächenpunkt genau eine Flächennormale existiert. Außerdem beschränken wir uns vorerst auf den Fall der Parallelbeleuchtung (Abb. 1). Die Lichtrichtung wird so angenommen, dass keine Flächengebiete in so genanntem *Streiflicht* existieren.

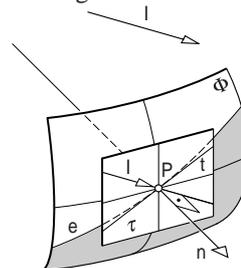


Abb. 1

Punkte der Eigenschattengrenze  $e$  einer Fläche  $\Phi$  erhält man mit

**Satz 1** Bei Parallelbeleuchtung ist die Eigenschattengrenze einer regulären krummen Fläche der Ort jener Flächenpunkte, in denen die Flächennormalen zur Lichtrichtung normal sind.

Die Flächennormalen längs  $e$  erfüllen eine *konoidale Begleitfläche*  $\Psi$ , deren Richtebene zur Lichtrichtung normal ist (Abb. 2). Wenn  $e$  regulär ist, was wir voraussetzen wollen, muss  $\Psi$  in einem Umgebungstreifen von  $e$  ebenfalls regulär sein.

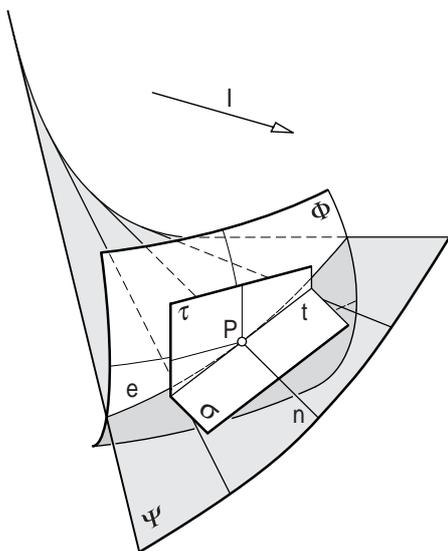


Abb. 2

Mit  $\Psi$  liegt eine Hilfsfläche vor, die  $\Phi$  in  $e$  (normal) schneidet. In jedem Punkt von  $e$  kann die Tangente an  $e$  folglich als Schnittgerade der entsprechenden Tangentialebenen von  $\Phi$  und  $\Psi$  konstruiert werden. Im Wesentlichen läuft das darauf hinaus, dass gewisse Tangentialebenen von  $\Psi$  unter Ausnutzung der *Berührkorrelation* verfügbar gemacht werden müssen.

Mit dem Ziel, eine konstruktiv leicht beherrschbare Regelfläche durch  $e$  zu erhalten, kann es gelegentlich, etwa bei Schiebflächen, sinnvoll sein, eine andere als die Normalenfläche zu betrachten. Wir berücksichtigen das durch folgende Bezeichnung:

**Def. 1** Eine durch Geraden erzeugte Hilfsfläche, die eine krumme Fläche  $\Phi$  längs der Eigenschattengrenze von  $\Phi$  schneidet, heißt eine *Begleitregelfläche der Eigenschattengrenze*.

Sind die Erzeugenden der Begleitregelfläche  $\Psi$  Flächennormalen von  $\Phi$ , so ist  $\Psi$  der Schnitt der Normalenkongru-

enz von  $\Phi$  mit dem *planaren Normalenkomplex* der Lichtrichtung. Bleibt die Lichtrichtung konstant, so ist  $\Psi$  auch Begleitregelfläche aller Parallellflächen von  $\Phi$ .

## 2 Tangenten an die Eigenschattengrenzen von Drehflächen

Bei jeder Drehfläche  $\Phi$  ist die Normalenkongruenz eine Untermenge des Gebüsches durch die Drehachse  $a$ . Jede Begleitregelfläche von  $\Phi$  liegt somit in der Schnittkongruenz dieses Gebüsches mit dem Normalenkomplex der Lichtrichtung. Weil beide Komplexe ersten Grades sind, erfüllt die Schnittkongruenz im Allgemeinen ein hyperbolisches Netz mit den Netzachsen  $a$  und  $l_\infty$ , der Ferngeraden der Normalebene zur Lichtrichtung ([5] S. 5 ff). Wenn die Lichtrichtung zu  $a$  normal ist, zerfällt das Netz und erfüllt eine Meridianebene.

**Satz 2** Die Begleitregelfläche einer Drehfläche bei Parallelbeleuchtung ist im Allgemeinen eine Netzfläche mit der Drehachse als Leitgerade und einer zur Lichtrichtung normalen Richtebene, das heißt sie ist ein *schiefes Konoid*.

Nur beim Torus hat die Normalenkongruenz neben  $a$  eine zweite einfache Leitkurve, den Mittenkreis  $m$ . Die Begleitregelfläche des Torus ist folglich eine Netzfläche durch  $m$  und wegen der gegenseitigen Lage von  $a$ ,  $l_\infty$  und  $m$  von vierter Grad und siebter STURMscher Art (Abb. 3).

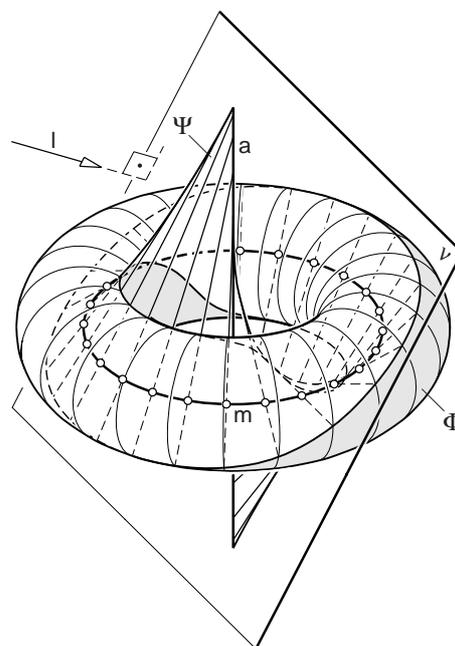


Abb. 3

In der Regel weist die Normalenkongruenz einer Drehfläche  $\Phi$  anstelle von  $m$  eine koaxiale Leitdrehfläche (Brennfläche)  $\Theta$  auf. Der Meridian von  $\Theta$  ist die Evolute des Meridians von  $\Phi$ . Jede Begleitregelfläche  $\Psi$  von  $\Phi$  berührt  $\Theta$  längs einer Raumkurve, deren Drehriss ein Teil der Evolute ist.

Durch die Leitgerade  $a$ , die Berührung mit  $\Theta$  sowie die Fernleitgerade  $l_\infty$  sind zu jeder Erzeugenden  $n$  von  $\Psi$  in drei verschiedenen Punkten die Tangentialebenen gegeben, mit deren Hilfe die Berührkorrelation längs  $n$  vervollständigt werden kann. Dabei wird die Tangentialebene im Berührungspunkt  $M$  von  $n$  mit  $\Theta$  durch  $n$  und die Breitenkreistangente in  $M$  aufgespannt. Zugleich ist  $M$  der Mittelpunkt des Meridiankrümmungskreises im zu  $n$  gehörenden Flächenpunkt  $P$  von  $\Phi$ . Für die Vervollständigung der Berührkorrelation ist demnach unerheblich, welche Eigenschaften  $\Theta$  besitzt. Die Konstruktion ist durchführbar, sobald zu jedem untersuchten Punkt von  $\Phi$  ein Meridiankrümmungskreis bekannt ist.

Wenn offensichtlich die Festlegung der Berührkorrelation längs einer Erzeugenden von  $\Psi$  – und damit verbunden die Konstruktion der Tangente an die Eigenschattengrenze – nur von der Meridiankrümmung und der Drehachse  $a$  sowie  $l_\infty$  abhängig ist, kann  $\Phi$  lokal durch einen entsprechenden Torus und seine Begleitregelfläche ersetzt werden. Bekanntlich gilt:

Längs des Breitenkreises durch einen allgemeinen Punkt  $P$  einer Drehfläche  $\Phi_1$  wird  $\Phi_1$  von einem koaxialen Torus  $\Phi_2$  oskuliert, dessen Meridian der Meridiankrümmungskreis von  $\Phi_1$  in  $P$  ist. Das heißt in  $P$  stimmt das Schattengrenzenverhalten von  $\Phi_1$  und  $\Phi_2$  jedenfalls bis zur ersten Ordnung überein. Wir begnügen uns deshalb damit, den Torus bezüglich seiner Eigenschattengrenze näher in Augenschein zu nehmen.

**Torus**

Zu einem allgemeinen Punkt  $P$  der Eigenschattengrenze  $e$  eines Torus  $\Phi$  soll die Tangente  $t$  von  $e$  im Normalriss in der Lichtmeridianebene, kurz *Lichtmeridianriss*, konstruiert werden (Abb. 4). Die Flächennormale  $n$  durch  $P$  ist eine Erzeugende der Begleitregelfläche  $\Psi$  von  $\Phi$  längs  $e$ . Die gesuchte Tangente  $t$  ist die Schnittgerade der Tangentialebenen  $\tau$  von  $\Phi$  und  $\sigma_P$  von  $\Psi$  in  $P$ . Es ist darum sinnvoll, die Berührkorrelation längs  $n$  direkt in  $\tau$  zu vervollständigen.

Zuerst benötigt man die Spuren der drei bekannten Tangentialebenen von  $n$  in  $\tau$ . Das Bild der Spur  $s_\infty$  der asymptotischen Ebene fällt in der gewählten Aufstellung in den Meridianriss von  $n$ . Die Spur der Tangentialebene  $\sigma_M$  in  $M$ , die durch  $n$  und den Mittenkreis  $m$  aufgespannt wird, ist die Breitenkreistangente  $t_b$  in  $P$ . Die Tangentialebene  $\sigma_N$  im Schnittpunkt  $N$  von  $n$  mit der Drehachse  $a$  schneidet  $\tau$  in der Meridiantangente  $t_k$ .

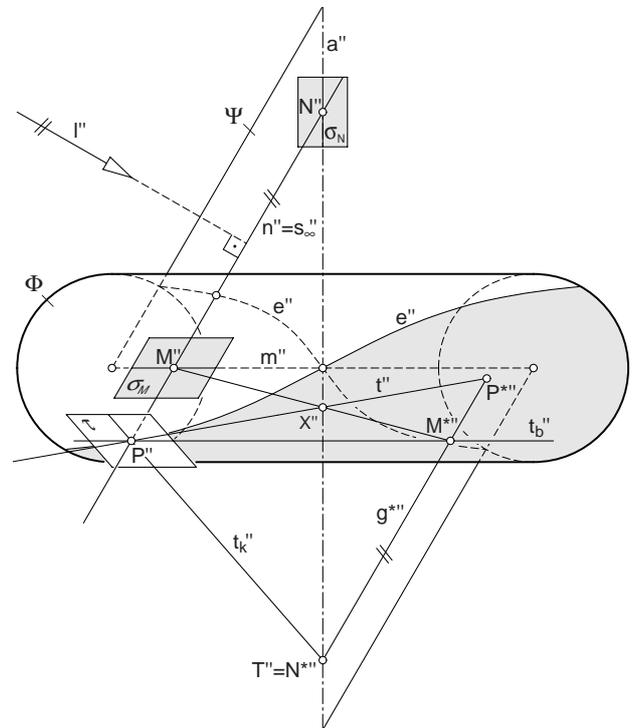


Abb. 4

Der Berührungspunkt der asymptotischen Ebene ist der Fernpunkt von  $n$ . Damit läuft die Konstruktion auf eine Teilverhältnisübertragung, etwa mittels geeigneter Perspektivität (*Strahlensatz*), hinaus. Auf einer Hilfsgeraden  $g^*$  in  $\tau$  parallel zu  $s_\infty$ , die durch den Schnittpunkt  $T$  von  $t_k$  und  $a$  gelegt werden kann, liegen die Schnittpunkte  $N^* := T$ ,  $M^* := g^* \cap t_b$  und  $P^* := g^* \cap t$ , deren Teilverhältnis  $TV(N^*, M^*, P^*)$  mit  $TV(N, M, P)$  übereinstimmt. Somit ist der Strahlenschnittpunkt  $X := NN^* \cap MM^*$  ein Punkt der gesuchten Tangente  $t$ .

Wenn man beachtet, dass  $M$  und  $N$  die Hauptkrümmungsmittelpunkte und  $t_k$  sowie  $t_b$  die Krümmungstangenten von  $P$  sind, so führt das auf folgenden allgemeinen

**Satz 3** *In einem Punkt  $P$  der Eigenschattengrenze  $e$  einer krummen Fläche schneiden die Tangente  $t$  von  $e$  und die Krümmungstangenten  $t_1$  und  $t_2$  aus jeder in der Tangentialebene von  $P$  befindlichen und zum berührenden Lichtstrahl in  $P$  orthogonalen Geraden  $g^*$  mit  $P \notin g^*$  jenes Teilverhältnis aus, das dem Teilverhältnis von  $P$  und den Hauptkrümmungsmittelpunkten  $K_1$  und  $K_2$  auf der Flächennormalen in  $P$  entspricht: Es ist mit  $P^* := g^* \cap t$ ,  $K_1^* := g^* \cap t_2$  und  $K_2^* := g^* \cap t_1$  dann  $TV(P, K_1, K_2) = TV(P^*, K_1^*, K_2^*)$ .*

Dieser Satz gilt unverändert auch bei Zentralbeleuchtung. Man beachte aufmerksam, dass  $K_1^*$  auf der Krümmungstangente von  $K_2$  liegt und  $K_2^*$  auf  $t_1$ .

Betrachten wir erneut den Lichtmeridianriss des Torus  $\Phi$  (Abb. 5): In den Äquatorpunkten von  $\Phi$  vereinfacht sich die Teilverhältnisübertragung zur Konstruktion der Tangenten an die Eigenschattengrenze  $e$  von  $\Phi$  durch die direkt ablesbare Lage der Krümmungstangenten. Außerdem ist das jeweilige Teilverhältnis der Äquatorpunkte mit den Krümmungsmittelpunkten im Hauptmeridian gegeben. Mit wenigen Linien erhält man so die Tangenten im elliptischen und im hyperbolischen Punkt  $P_e$  bzw.  $P_h$ .

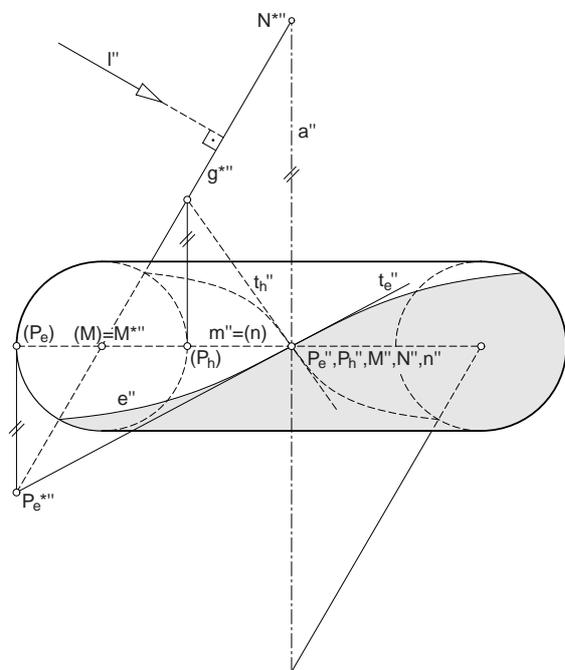


Abb. 5

Diese Konstruktion kann mit jener abgeglichen werden, die längs des Äquators oskulierende Drehquadriken einsetzt (Abb. 6, vgl. [6] und [2] S. 305; mögliche Umrisskonstruktionen der Drehquadriken sind gestrichelt wiedergegeben). Bekanntlich bilden sich der berührende Lichtstahl  $l$  und die Tangente  $t$  an die Eigenschattengrenze auf ein Paar konjugierter Durchmesser des Umrisses der oskulierenden Drehquadrik ab. Daraus folgt eine elementare Konstruktion konjugierter Durchmessergeraden bei Ellipse und Hyperbel.

**Satz 4** Die zu einer Durchmessergeraden  $l$  konjugierte Durchmessergerade einer Ellipse oder Hyperbel schneidet die durch einen Scheitelkrümmungsmittelpunkt gelegte Normale zu  $l$  in einem Punkt der zugehörigen Scheiteltangente.

Eine Umkehrung von Satz 4 ist die übliche Scheitelkrümmungskreisconstruction der Ellipse aus dem Tangentenrechteck. Schließlich sind die Diagonalen im Rechteck zueinander konjugierte Durchmesser der Ellipse. Bei der Hyperbel wiederum ist der zu einer Asymptoten konjugierte Durchmesser die selbe Asymptote.

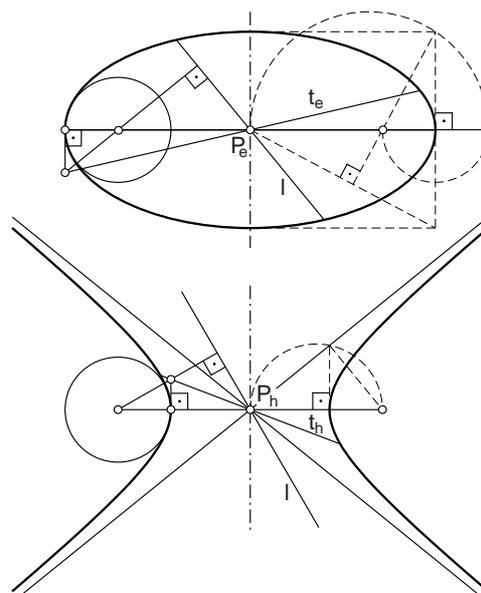


Abb. 6

### 3 Tangenten an die Eigenschattengrenzen von Schraubflächen

Auch die Normalenkongruenz einer Schraubfläche gehört einem linearen Komplex an, dem Normalenkomplex der Schraubung, kurz *Gewinde*. Folglich sind die Begleitregelflächen von Schraubflächen bezüglich Parallelbeleuchtung ebenfalls Netzflächen. Wie zuvor bei den Drehflächen gehört eine Netzachse, die Ferngerade  $l_\infty$ , zum Normalenkomplex der Lichtrichtung. Die zweite Netzachse wird durch Einsatz des Drehfluchtprinzips greifbar. Schließlich schneiden alle Flächennormalen längs der Eigenschattengrenze einer Schraubfläche bei Parallelbeleuchtung die Achsenparallele  $l_0$  durch den *Drehfluchtpunkt* der Lichtstrahlen (vgl. [7] S. 173 f). Das Netz ist im Allgemeinen hyperbolisch. Wird die Lichtrichtung jedoch normal zur Schraubachse  $a$  angenommen, so fallen die Netzachsen zusammen in eine  $a$  treffende Ferngerade  $l_\infty$ . Es liegt dann ein parabolisches Netz vor, bei dem die Projektivität längs  $l_\infty$  durch das Gewinde induziert wird.

**Satz 5** Die Begleitregelfläche einer Schraubfläche ist im Allgemeinen eine Netzfläche mit einer achsenparallelen Leitgeraden durch den Drehfluchtpunkt der Lichtstrahlen und einer zur Lichtrichtung normalen Richte ebene, das heißt sie ist ein schiefes Konoid.

Dies impliziert Satz 2 zu den Drehflächen: Wenn der Schraubparameter null ist, fallen alle Drehfluchtunkte in die Drehachse.

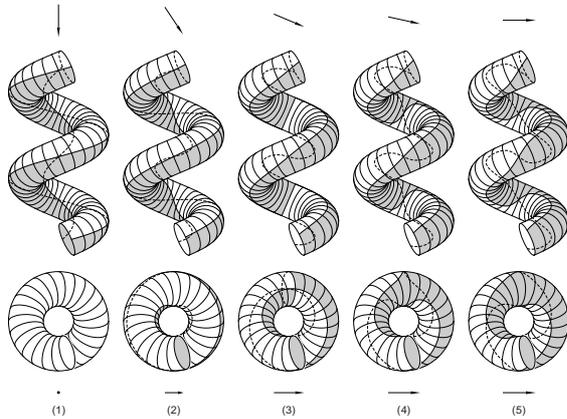


Abb. 7

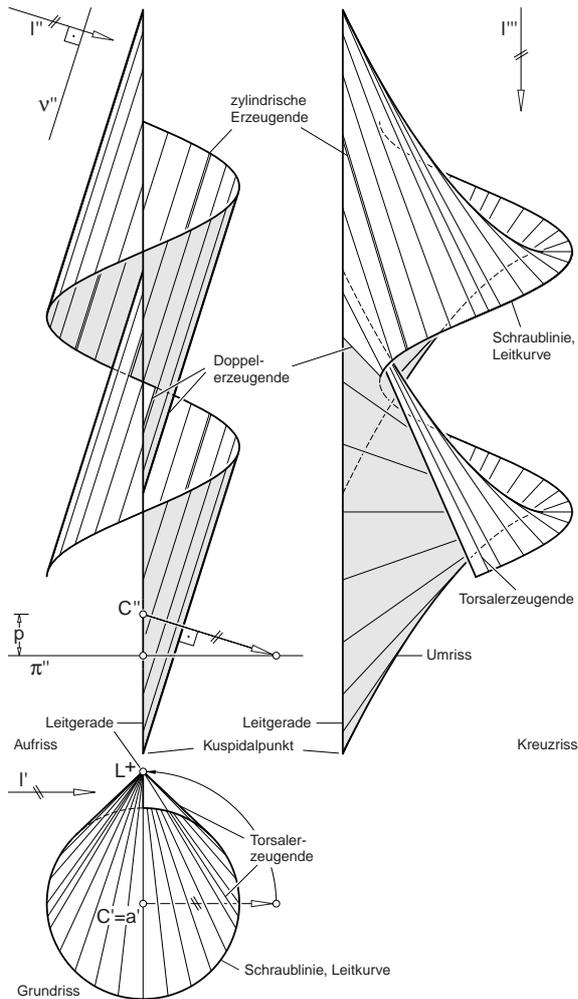


Abb. 8

**Schraubrohrfläche**

Die einzige Schraubfläche, deren Normalenkongruenz eine Leitkurve aufweist, ist die Schraubrohrfläche (Abb. 7). Jede Begleitregelfläche  $\Psi$  einer Schraubrohrfläche  $\Phi$  ist folglich durch drei konstruktiv leicht beherrschbare Leitkurven gegeben: Die zwei Netzachsen (getrennt oder zusammenfallend) und die Mittenschraublinie  $m$  (Abb. 8). Für die Vervollständigung der Berührungskorrelation ist folgendes bemerkenswert:

Bei jeder Erzeugenden  $n$  von  $\Psi$  schneidet die Tangentialebene in  $N := n \cap l_0$  durch  $n$  und  $l_0$  die zugehörige Tangentialebene  $\tau$  von  $\Phi$  in einer *Falltante* (es wird von lotrechter Aufstellung der Schraubachse ausgegangen). Die Tangentialebene in  $M$ , die durch  $n$  und die Schraubtangente im Schnittpunkt von  $n$  und  $m$  aufgespannt wird, schneidet  $\tau$  nach einer Krümmungstangente. Nach Festlegung der Berührungskorrelation kann durch Teilverhältnisübertragung und unter Rückgriff auf Satz 3 der zweite Hauptkrümmungsmittelpunkt auf  $n$  bestimmt werden. In Abb. 9 erfolgt die Tangentenkonstruktion für einen allgemeinen Punkt  $P$  der Eigenschattengrenze  $e$  von  $\Phi$  im Lichtmeridianriss.

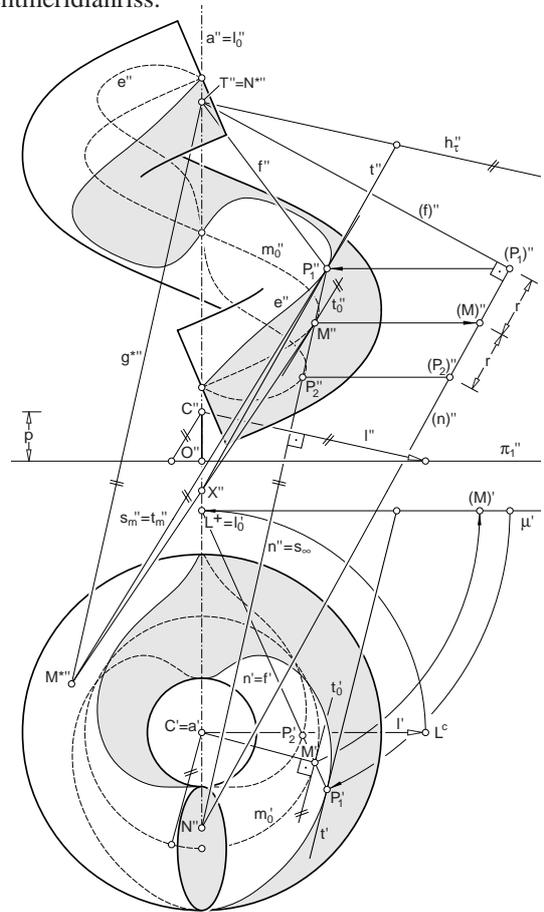


Abb. 9

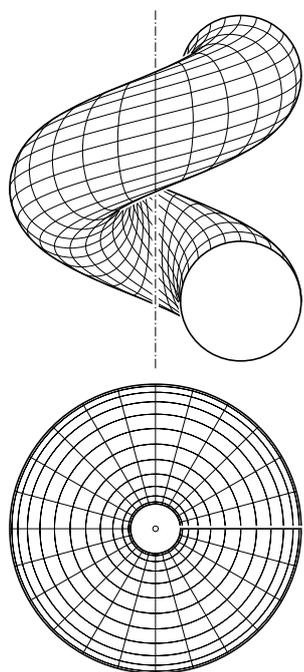


Abb. 10

**Meridiankreisschraubfläche**

Die Meridiankreisschraubfläche unterscheidet sich vom Torus dadurch, dass der Meridiankreis statt einer Drehung eine Schraubung erfährt (Abb. 10). Allerdings zieht diese kleine Modifikation einige konstruktive Schwierigkeiten bei der Festlegung der Begleitregelfläche nach sich. Um diese in den Griff zu bekommen, untersuchen wir zuerst die Normalenkongruenz der Meridiankreisschraubfläche  $\Phi$ :

Die Flächennormalen längs eines erzeugenden Kreises  $k$  von  $\Phi$  sind Gewindeggeraden und gehören zugleich dem Gebüsch durch die Drehachse  $a_k$  von  $k$  an. Das Gewinde und  $a_k$  bestimmen ein Netz. Solange die Gebüschachse  $a_k$  keine Gewindeggerade ist, sind die Netzachsen reell getrennt und das Netz ist hyperbolisch. Andernfalls ist das Netz parabolisch. Die Normalenfläche  $\Psi_k$  längs  $k$  wird demnach durch zwei Leitgeraden und den Leitkreis  $k$  festgelegt. Diese Feststellung kann auf alle Kreisschraubflächen ausgeweitet werden und gilt auch bei Drehung bzw. Schiebung:

**Satz 6** Die Normalenfläche längs eines erzeugenden Kreises einer zyklischen Bewegfläche ist im Allgemeinen eine Regelfläche vierten Grades siebter STURMScher Art.

Für ein weiteres Vorgehen ist es nötig, die zweite Leitgerade von  $\Psi_k$  aufzuspüren: Genau wie die Meridiankreisschraubfläche ist  $\Psi_k$  zu jener Durchmessergeraden  $d$  von  $k$  axialsymmetrisch, welche die Schraubachse  $a$  orthogonal

schneidet. Somit ist  $d$  die Doppelerzeugende von  $\Psi_k$  und die gesuchte Leitgerade  $q_0$  normal zu  $d$ .

Weil  $q_0$  zur Doppelkurve von  $\Psi_k$  gehört, schneiden sich die Flächennormalen paarweise in Punkten von  $q_0$ . Greift man zwei solche Erzeugende  $n_1$  und  $n_2$  heraus, deren Schnittpunkte  $P_1$  und  $P_2$  mit  $k$  auf einem Durchmesser von  $k$  liegen, so spannen sie eine Ebene durch  $a_k$  auf. Diese Ebene schneidet die zu  $d$  normale Meridianebene  $\phi$  in einer Höhenlinie (Abb. 11). Zugleich müssen die Grundrissbilder von  $n_1$  und  $n_2$  durch den gemeinsamen Drehfluchtpunkt  $T^+$  der zueinander parallelen Kreistangenten in  $P_1$  und  $P_2$  verlaufen. Daraus folgt:  $n_1$  und  $n_2$  schneiden  $\phi$  in einem gemeinsamen Punkt  $Q$  und  $q_0$  befindet sich in  $\phi$ .

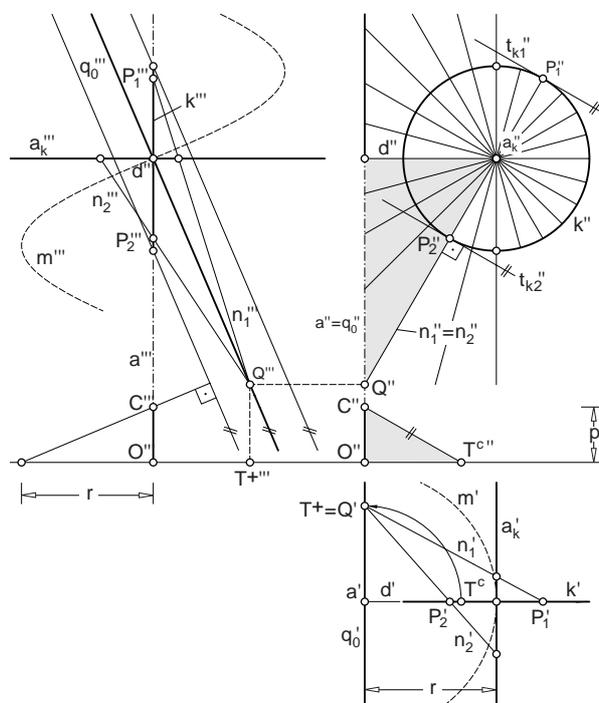


Abb. 11

Die Tangentialebenen von  $\Phi$  in den Endpunkten des zu  $a$  parallelen Durchmessers von  $k$  sind zueinander parallel. Demnach sind auch die Erzeugenden von  $\Psi_k$  in diesen Punkten zueinander parallel und schneiden sich im Fernpunkt von  $q_0$ . Weil die Bahnkurven der betreffenden Punkte von  $k$  zur Mittellinie  $m$  von  $\Phi$  kongruent sind, kann formuliert werden:

**Satz 7** Die Normalenfläche längs eines erzeugenden Kreises einer Meridiankreisschraubfläche besitzt neben der Drehachse des Kreises eine zweite Leitgerade, nämlich die Schnittgerade der Bahnnormalebene des Kreismittelpunktes mit der zur Kreisebene normalen Meridianebene.

Wird  $\Psi_k$  derselben Schraubung wie  $k$  unterworfen, so entsteht als Hüllfläche der Schraublagen von  $\Psi_k$  die Schraubfläche  $\Theta$ . Folglich ist  $\Theta$  die Brennfläche der Normalenkongruenz von  $\Phi$ . In jeder Schraublage von  $\Psi_k$  berühren sich  $\Psi_k$  und  $\Theta$  längs einer immer gleichen Flächenkurve  $c$  von  $\Psi_k$ , die *Eingriffslinie* oder *Charakteristik* genannt wird ([3] S. 194). Verschraubt man  $c$ , so entsteht  $\Theta$ . Die gemeinsamen Tangentialebenen von  $\Psi_k$  und  $\Theta$  längs  $c$  enthalten demnach jeweils eine Bahntangente der Schraubung.

Jede Begleitregelfläche  $\Psi$  von  $\Phi$  berührt die Brennfläche  $\Theta$  der Normalenkongruenz von  $\Phi$  längs einer nicht näher spezifizierten Kurve. Jede Erzeugende  $n$  von  $\Psi$  gehört jedoch auch einer Schraublage von  $\Psi_k$  an, weshalb der Berührungspunkt  $K$  von  $n$  mit  $\Theta$  auf  $c$  liegt. Für die Vervollständigung der Berührkorrelation wird es also darum gehen,  $K \in c$  auf  $\Psi_k$  zu bestimmen. Über die Schraubtangente in  $K$  und unter Rücksicht auf Satz 5 sind dann drei Tangentialebenen längs  $n$  bekannt. Um den konstruktiven Zugang zu vereinfachen bietet es sich an, analog zum Begriff *Zirkularprojektion* ([7] S. 68), den Begriff *Schraubprojektion* einzuführen. Dies geschieht allerdings nicht mit dem Ziel, eine Abbildung zu produzieren, die dann allgemein Schraubriss heißen könnte, sondern um die Kontur von  $\Psi_k$  unter Schraubprojektion zu untersuchen. Schließlich stimmt diese Kontur mit der Charakteristik  $c$  überein.

**Def. 2** Eine Abbildungsvorschrift, deren Projektionslinien die Bahnkurven einer Schraubung um die Achse  $a$  mit dem Schraubparameter  $p$  sind, heißt *Schraubprojektion um die Achse  $a$  mit dem Schraubparameter  $p$* . Ein Punkt  $K$  einer Fläche heißt *Konturpunkt* bezüglich *Schraubprojektion*, wenn die Tangentialebene in  $K$  die Schraubtangente von  $K$  enthält.

Jeder Punkt einer Schraubfläche ist ein Konturpunkt bezüglich Schraubprojektion (zur selben Schraubung). Unter Zuhilfenahme des Drehfluchtprinzips wird Def. 2 auch bei anderen Flächen erfüllt, wenn die Drehfluchtskurve der Tangentialebene von  $K$  den Grundriss von  $K$  enthält. Diesen bekannten Sachverhalt lesen wir als

**Satz 8** *Fällt in einem Punkt  $K$  einer Fläche der Grundriss der Flächennormalen in die Drehfluchtskurve der Tangentialebene von  $K$ , so ist  $K$  ein Konturpunkt bezüglich Schraubprojektion.*

Das kann nun folgendermaßen ausgenutzt werden: Die Drehfluchtskurven aller Tangentialebenen längs einer Erzeugenden  $n$  der Normalenfläche  $\Psi_k$  enthalten den Drehfluchtpunkt  $N^+$  von  $n$ . Die Flächennormalen längs  $n$  bilden dagegen ein *Normalenparaboloid*  $\Gamma$  ([5] S. 69). Im Grundriss hüllen die Bilder der Flächennormalen längs  $n$  in der Regel eine Umrissparabel  $u'$  ein ([7] S. 29).

Flächennormalen von  $\Psi_k$  durch Konturpunkte bezüglich Schraubprojektion zeigen sich im Grundriss folglich als Tangenten aus  $N^+$  an  $u'$ . Dafür gibt es zu jeder Erzeugenden von  $\Psi_k$  im algebraischen Sinne zwei Lösungen.

Wir werden nun die Umrissparabel  $u'$  von  $\Gamma$  im Grundriss unter Hinweis auf ihre Leitlinie und mithilfe eines Parabelpunktes mit Tangente bestimmen. Dazu ist es nötig, zuerst ein Berührparaboloid  $\Gamma_B$  längs  $n$  festzulegen (Abb. 12 am Hauptmeridiankreis  $k$ ):

Setzt man die Leitgeraden  $q_0$  und  $a_k$  von  $\Psi_k$  als Erzeugende von  $\Gamma_B$  ein, so ist die Richtebene von  $\Gamma_B$  grund- und aufrissprojizierend. In  $P$  findet man eine weitere Erzeugende  $g_P$  von  $\Gamma_B$  über die Tangentialebene  $\sigma_P$  von  $\Psi_k$ . Die Tangentialebene  $\sigma_P$  wird durch  $n$  und die Kreistangente  $t_k$  aufgespannt. Eine Höhenlinie  $h_P$  von  $\sigma_P$  verläuft durch den Schnittpunkt von  $t_k$  mit der Doppelerzeugenden  $d$  und den Schnittpunkt von  $n$  mit  $a_k$ .

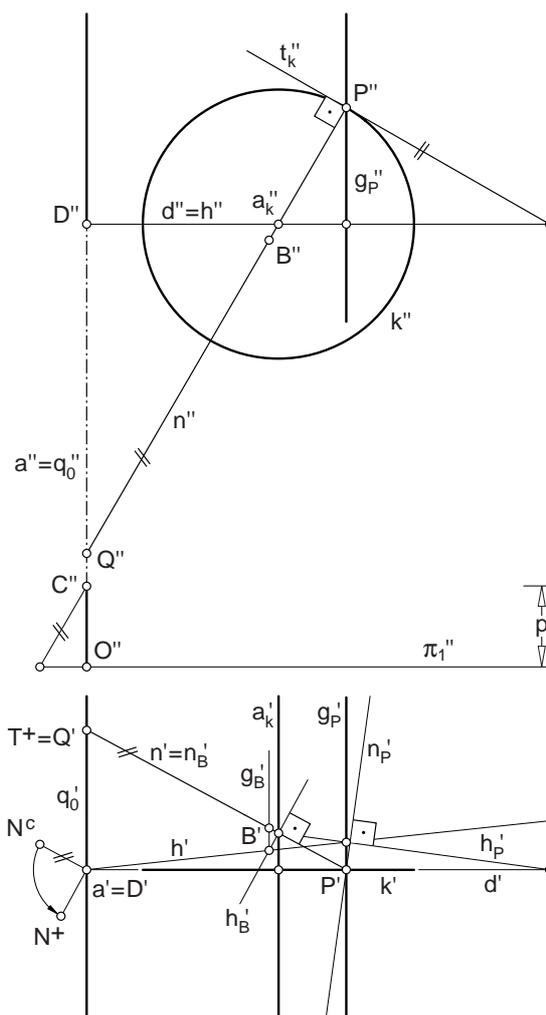


Abb. 12

Besonders nützlich für das weitere Vorgehen ist die horizontale Erzeugende  $h$  von  $\Gamma_B$  aus der Schar von  $n$ . Sie befindet sich in der Höhenebene durch  $a_k$  und schneidet  $q_0$  im Fußpunkt  $D$  von  $d$  sowie  $g_P$  im Schnittpunkt von  $g_P$  mit  $h_P$ . Die Erzeugende  $h$  ist deshalb so wertvoll, weil die Leitlinie von  $u'$  in  $h'$  fällt. Dies wird in [4] S. 188 f, 191 und 194 f begründet.

Um einen Punkt  $B'$  von  $u'$  und die dazugehörige Tangente  $n'_B$  zu erhalten, suchen wir den Konturpunkt  $B$  von  $\Gamma$  zu  $n$  auf. Dabei muss das Grundrissbild der Flächennormalen  $n_B$  von  $\Psi_k$  (und  $\Gamma_B$ ) in  $B$  (mithin eine Erzeugende von  $\Gamma$ ) mit  $n'$  zur Deckung kommen. Das heißt die Grundrissbilder aller Höhenlinien der Tangentialebene  $\sigma_B$  von  $\Gamma_B$  in  $B$  müssen zu  $n'$  orthogonal sein. Legt man eine solche Höhenlinie  $h_B$  durch den Schnittpunkt von  $n$  mit  $a_k$  vor, so trifft  $h_B$  die horizontale Erzeugende  $h$  in einem Punkt jener Erzeugenden  $g_B$  von  $\Gamma_B$ , die  $n$  im Berührungspunkt  $B$  von  $\sigma_B$  schneidet (Abb. 12).

Im Wesentlichen benötigt man außer der Leitlinie  $h'$  noch den Brennpunkt  $F$  von  $u'$  (Abb. 13). Dabei ist  $n' = n'_B$  Symmetriegerade zu  $F$  und dem Fußpunkt des Lotes aus  $B'$  zu  $h'$ .

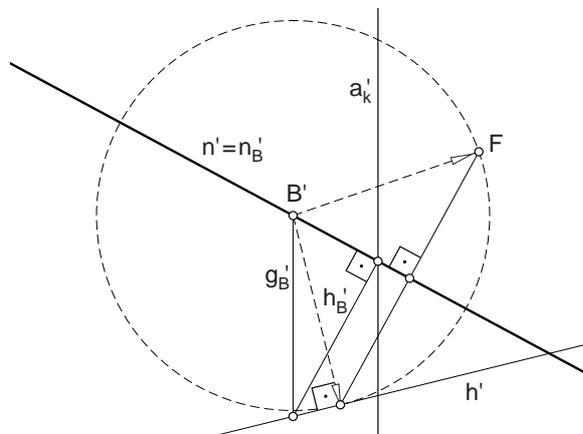


Abb. 13

Zu guter Letzt werden jetzt die Parabeltangente  $n'_{K_1}$  und  $n'_{K_2}$  aus  $N^+$  an  $u'$  konstruiert ([1] S. 208 f). Ein Hilfskreis um  $N^+$  durch  $F$  schneidet  $h'$  in den Gegenpunkten  $G_1$  und  $G_2$  (Abb. 14). Die Geraden  $FG_1$  und  $FG_2$  sind zu  $n'_{K_1}$  bzw.  $n'_{K_2}$  normal. Nach Satz 8 sind  $n'_{K_1}$  und  $n'_{K_2}$  die Grundrissbilder der Flächennormalen  $n_{K_1}$  und  $n_{K_2}$  von  $\Psi_k$  in den Konturpunkten  $K_1$  und  $K_2$  bezüglich Schraubprojektion auf der Erzeugenden  $n$  von  $\Psi_k$ . (Die Konturpunkte bezüglich Schraubprojektion auf der Doppelerzeugenden  $d$  von  $\Psi_k$  werden in [4] S. 198 gesondert behandelt.)

Die Konstruktion der Tangente an die Eigenschattengrenze  $e$  der Meridiankreisschraubfläche  $\Phi$  in einem Punkt  $P$  von  $e$  läuft nun wieder auf eine Teilverhältnisübertragung in der Tangentialebene  $\tau$  von  $P$  hinaus. Dabei ist folgender Zusammenhang erwähnenswert:

In  $P$  spannen die Bahntangente von  $P$  und die Meridiankreistangente  $t_k$  die Tangentialebene  $\tau$  auf. Die Erzeugende  $n$  der Begleitregelfläche längs  $e$  durch  $P$  ist Bahnnormale zu jedem ihrer Punkte. Folglich sind auch die Bahntangenten in den Konturpunkten bezüglich Schraubprojektion zu  $\tau$  parallel.

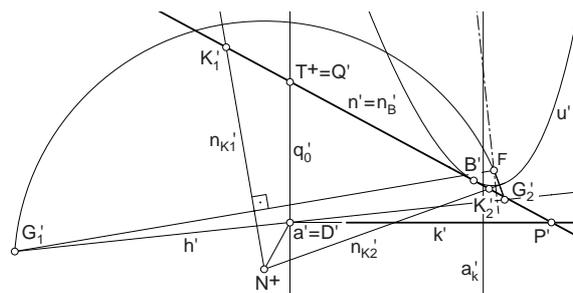


Abb. 14

### Schlussbemerkungen

Um Tangenten an die Eigenschattengrenzen krummer Flächen in den Griff zu bekommen wird in der Regel *lokal* das Instrumentarium der konstruktiven Differentialgeometrie eingesetzt. Dabei werden Zusammenhänge quadratischer Form ausgenutzt. Dagegen erfasst die hier vorgestellte *Begleitregelflächenmethode* Eigenschattengrenzen *global* als Schnittkurven und führt zu linearen Lösungen. Die Methode greift, sobald man die Normalenkongruenz der untersuchten Fläche konstruktiv beherrscht. Bei nächster Gelegenheit soll ergänzend vorgeführt werden, dass auch der Einsatz solcher Begleitregelflächen sinnvoll sein kann, deren Erzeugenden im Allgemeinen keine Flächennormalen sind.

Irgend zwei Lagen einer Kurve im Raum lassen sich stets durch eine Schraubung ineinander überführen ([7] S. 158). Diese fundamentale Eigenschaft der Schraubung muss auch für zwei benachbarte Lagen der erzeugenden Kurve  $k$  einer allgemeinen Bewegfläche  $\Phi$  gelten, woraus folgt: Ist  $P$  ein Punkt der Eigenschattengrenze von  $\Phi$ , so kann immer eine Kreisschraubfläche gefunden werden, die  $\Phi$  in  $P$  oskuliert und deren erzeugender Kreis der Krümmungskreis von  $k$  ist. Bei der Betrachtung der Meridiankreisschraubfläche wurde bereits skizziert, dass jede Kreisschraubfläche mit der Begleitregelflächenmethode erfasst wird. Konstruktiv ist das mit einigem Aufwand verbunden. Es bleibt zu vergleichen, ob hier der Einsatz der *DUPIN'schen Indikatrix* nicht zweckmäßiger ist.

Für Bewegflächen, insbesondere für die vorgeführten Spezialfälle, ist die *Begleitregelflächenmethode* auch zur Bestimmung von *Isophotentangenten* verwendbar und kann gelegentlich zu durchaus einfachen Konstruktionen Anlass geben.

**Literatur**

- [1] BEREIS, RUDOLF: Darstellende Geometrie I; Akademie Verlag, Berlin 1964
- [2] BRAUNER, HEINRICH: Lehrbuch der Konstruktiven Geometrie; Springer-Verlag, Wien, New York 1986
- [3] HOHENBERG, FRITZ: Konstruktive Geometrie in der Technik; 3. verb. Aufl. Springer-Verlag, Wien 1966
- [4] LORDICK, DANIEL: Konstruktion der Schattengrenzen krummer Flächen mithilfe von Begleitflächen; Shaker, Aachen 2001 (zugl. Karlsruhe, Univ., Diss. 2001)
- [5] MÜLLER, EMIL; KRAMES, JOSEF LEOPOLD: Konstruktive Behandlung der Regelflächen; in: Vorlesungen über Geometrie, Band III; Franz Deuticke, Leipzig, Wien 1931
- [6] STACHEL, HELLMUTH: Zum Umriss der Drehflächen; in: Anzeiger der math.-naturw. Klasse der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Nr. 10; Wien 1972
- [7] WUNDERLICH, WALTER: Darstellende Geometrie II; Bibliographisches Institut, Mannheim 1967

**Daniel Lordick**

Institut für Geometrie

Technische Universität Dresden

Zellescher Weg 12-14, D 01096 Dresden

e-mail: lordick@math.tu-dresden.de