

**DIN ISO 10110-12**

ICS 01.100.20; 37.020

**Entwurf**

Einsprüche bis 2021-03-29  
 Vorgesehen als Ersatz für  
 DIN ISO 10110-12:2016-04

**Optik und Photonik –  
 Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme –  
 Teil 12: Asphärische Flächen (ISO 10110-12:2019);  
 Text Deutsch und Englisch**

Optics and photonics –  
 Preparation of drawings for optical elements and systems –  
 Part 12: Aspheric surfaces (ISO 10110-12:2019);  
 Text in German and English

Optique et photonique –  
 Préparation des dessins pour éléments et systèmes optiques –  
 Partie 12: Surfaces asphériques (ISO 10110-12:2019);  
 Texte en allemand et anglais

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-01-29 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter [www.din.de/go/entwuerfe](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nafuo@din.de](mailto:nafuo@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) oder Alexander-Wellendorff-Str. 2, 75172 Pforzheim.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 58 Seiten

DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

## Inhalt

|                                                                                               | Seite |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Nationales Vorwort . . . . .                                                                  | 3     |
| Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise . . . . .                                 | 5     |
| Vorwort . . . . .                                                                             | 6     |
| 1 Anwendungsbereich . . . . .                                                                 | 7     |
| 2 Normative Verweisungen . . . . .                                                            | 7     |
| 3 Begriffe . . . . .                                                                          | 7     |
| 4 Mathematische Beschreibung asphärischer Flächen . . . . .                                   | 7     |
| 4.1 Koordinatensystem . . . . .                                                               | 7     |
| 4.2 Vorzeichenkonvention . . . . .                                                            | 8     |
| 4.3 Beschreibung der Flächentypen . . . . .                                                   | 9     |
| 4.3.1 Allgemeines . . . . .                                                                   | 9     |
| 4.3.2 Flächenbeschreibung — rotationsinvariant ( $h^2 = x^2 + y^2$ ) . . . . .                | 9     |
| 4.3.3 Flächenbeschreibung — rotationsvariant . . . . .                                        | 13    |
| 5 Zeichnungsangaben . . . . .                                                                 | 16    |
| 5.1 Angabe der theoretischen Fläche . . . . .                                                 | 16    |
| 5.2 Angabe von Oberflächenformtoleranzen . . . . .                                            | 16    |
| 5.3 Angabe von Zentriertoleranzen . . . . .                                                   | 16    |
| 5.4 Toleranzangaben für Oberflächenunvollkommenheiten und Oberflächenbeschaffenheit . . . . . | 16    |
| 6 Beispiele . . . . .                                                                         | 16    |
| 6.1 Elemente mit rotationsinvarianten Flächen . . . . .                                       | 16    |
| 6.2 Teile mit rotationsvarianten Flächen . . . . .                                            | 22    |
| Anhang A (informativ) Zusammenfassung der asphärischen Flächentypen . . . . .                 | 24    |
| Anhang B (informativ) Beschreibung von Asphären mit orthonormaler Steigung . . . . .          | 27    |
| Anhang C (informativ) Beschreibung von Asphären mit orthonormaler Amplitude . . . . .         | 28    |
| Literaturhinweise . . . . .                                                                   | 29    |

## Bilder

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 1 — Koordinatensystem . . . . .                                                                                                 | 8  |
| Bild 2 — Linse mit rotationsinvarianter asphärischer Fläche . . . . .                                                                | 17 |
| Bild 3 — Linse mit seitenvertauschter rotationsinvarianter asphärischer Fläche . . . . .                                             | 18 |
| Bild 4 — Beschreibung einer asphärischen Fläche, konisch und mit Potenzreihe . . . . .                                               | 19 |
| Bild 5 — Beschreibung einer asphärischen Fläche unter Verwendung einer<br>Asphärenbeschreibung mit orthonormaler Steigung . . . . .  | 20 |
| Bild 6 — Beschreibung einer asphärischen Fläche unter Verwendung einer<br>Asphärenbeschreibung mit orthonormaler Amplitude . . . . . | 21 |
| Bild 7 — Plan-zylindrische Linse . . . . .                                                                                           | 22 |
| Bild 8 — Plan-torische Linse . . . . .                                                                                               | 23 |

## Tabellen

|                         |    |
|-------------------------|----|
| Tabelle A.1 — . . . . . | 25 |
|-------------------------|----|

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 10110-12:2019, die vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“ erarbeitet wurde, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 027-01-02 AK „Zeichnungen für die Optik“ im DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

DIN ISO 10110 besteht mit dem Haupttitel *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme* aus folgenden Teilen

- Teil 1: Allgemeines
- Teil 5: Oberflächenformtoleranzen
- Teil 6: Zentriertoleranzen
- Teil 7: Oberflächenunvollkommenheiten
- Teil 8: Oberflächenbeschaffenheit
- Teil 9: Oberflächenbehandlungen und Beschichtungen
- Teil 11: Allgemeintoleranzen für Werte ohne Toleranzangabe
- Teil 12: Asphärische Flächen
- Teil 14: Toleranzen für Wellenfrontdeformationen
- Teil 17: Zerstörschwelle für Laserstrahlung
- Teil 18: Spannungsdoppelbrechung, Blasen und Einschlüsse, Homogenität, und Schlieren
- Teil 19: Allgemeine Beschreibung von Oberflächen und Komponenten

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

|               |       |                         |
|---------------|-------|-------------------------|
| ISO 1101:2017 | siehe | DIN EN ISO 1101:2017-09 |
| ISO 4288      | siehe | DIN EN ISO 4288         |
| ISO 10110-1   | siehe | DIN ISO 10110-1         |
| ISO 10110-5   | siehe | DIN ISO 10110-5         |
| ISO 10110-6   | siehe | DIN ISO 10110-6         |
| ISO 10110-7   | siehe | DIN ISO 10110-7         |

|              |       |                  |
|--------------|-------|------------------|
| ISO 10110-8  | siehe | DIN ISO 10110-8  |
| ISO 10110-19 | siehe | DIN ISO 10110-19 |

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

### **Änderungen**

Gegenüber DIN ISO 10110-12:2016-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das Dokument wurde im Hinblick auf Oberflächenformtoleranzen wie in ISO 10110-5 beschrieben aktualisiert;
- b) eine Verweisung auf ISO 10110-19 wurde hinzugefügt;
- c) das Dokument wurde umgestellt;
- d) einige Flächenbeschreibungen wurden hinzugefügt;
- e) die Übersetzung von en: „surface“ wurde angepasst und nach Bedeutung zwischen „Oberfläche“ und „Fläche“ unterschieden. Damit verbunden wurde der Titel zu „Asphärische Flächen“ angepasst.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 1101:2017-09, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrische Tolerierung — Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf (ISO 1101:2017); Deutsche Fassung EN ISO 1101:2017*

DIN EN ISO 4288, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit*

DIN ISO 10110-1, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 1: Allgemeines*

DIN ISO 10110-5, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 5: Oberflächenformtoleranzen*

DIN ISO 10110-6, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 6: Zentriertoleranzen*

DIN ISO 10110-7, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 7: Oberflächenunvollkommenheiten*

DIN ISO 10110-8, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 8: Oberflächengüte — Rauheit und Welligkeit*

DIN ISO 10110-19, *Optik und Photonik — Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme — Teil 19: Allgemeine Beschreibung von Oberflächen und Komponenten*

## Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe [www.iso.org/iso/foreword.html](http://www.iso.org/iso/foreword.html).

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 *Optics and Photonics*, Unterkomitee SC 1, *Fundamental Standards* erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 10110-12:2007), die technisch überarbeitet wurde. Sie beinhaltet auch die Änderung ISO 10110-12:2007/Amd.1:2013.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- a) das Dokument wurde im Hinblick auf Oberflächenformtoleranzen wie in ISO 10110-5 beschrieben aktualisiert;
- b) eine Verweisung auf ISO 10110-19 wurde hinzugefügt;
- c) das Dokument wurde umgestellt;
- d) einige Flächenbeschreibungen wurden hinzugefügt.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 10110 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter [www.iso.org/members.html](http://www.iso.org/members.html) zu finden.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Regeln für die Darstellung von optisch wirksamen asphärischen Flächen und Flächen mit niedriger Symmetrieordnung (wie Zylinder und Toroide) fest, in der Normenreihe ISO 10110, die Zeichnungsangaben für optische Elemente und Systeme normiert. Es legt außerdem Vorzeichenkonventionen und Koordinatensysteme fest.

Dieses Dokument gilt nicht für of-axis asphärische und unstetige Flächen wie zum Beispiel Fresnel-Flächen oder Gitter.

ANMERKUNG: Für of-axis asphärische und nicht-symmetrische Oberflächen, siehe ISO 10110-19.

Dieses Dokument legt nicht das Verfahren fest, mit dem die Übereinstimmung mit den Spezifikationen zu überprüfen ist.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 1101:2017, *Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerancing of form, orientation, location and run-out*

ISO 10110-1, *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 1: General*

ISO 10110-5, *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 5: Surface form tolerances*

ISO 10110-6, *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 6: Centring tolerances*

ISO 10110-7, *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 7: Surface imperfections*

ISO 10110-8, *Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 8: Surface texture*

## 3 Begriffe

In diesem Dokument werden keine Begriffe aufgeführt.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

## 4 Mathematische Beschreibung asphärischer Flächen

### 4.1 Koordinatensystem

Asphärische Flächen werden in einem rechtsorientierten orthogonalen Koordinatensystem (Rechtssystem) beschrieben, wobei die Z-Achse die optische Achse ist.

Wenn nicht anders festgelegt, liegt die Z-Achse in der Zeichenebene und verläuft von links nach rechts. Wenn nur ein Schnitt dargestellt ist, liegt die Y-Achse in der Zeichenebene und ist nach oben orientiert.

Der Ursprung des Koordinatensystems liegt im Scheitel der asphärischen Fläche (siehe Bild 1).

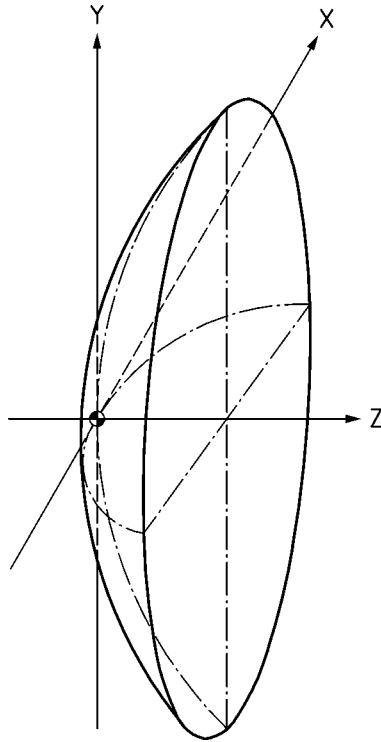


**Bild 1 — Koordinatensystem**

## **4.2 Vorzeichenkonvention**

Wie weiter unten in dieser Norm ausgeführt, werden die verschiedenartigen Typen asphärischer Flächen durch mathematische Gleichungen angegeben. In der Zeichnung wird die ausgewählte Gleichung mit ihren zugehörigen Konstanten und Koeffizienten spezifiziert. Um eindeutige Angaben der Flächen zu erhalten, müssen Vorzeichenkonventionen für die Konstanten und Koeffizienten eingeführt werden.

Ein Krümmungsradius (üblicherweise für den Scheitel angegeben) hat ein positives Vorzeichen, wenn der Krümmungsmittelpunkt rechts vom Scheitel liegt, und ein negatives Vorzeichen, wenn der Krümmungsmittelpunkt links vom Scheitel liegt.

Die Pfeilhöhe eines Asphärenpunktes ist positiv, wenn er rechts vom Scheitel (von der XY-Ebene) liegt, und negativ, wenn er links vom Scheitel (von der XY-Ebene) liegt.

**ANMERKUNG 1** In diesem Fall geht man von der Annahme aus, dass die Angabe von „links“ und „rechts“ bedeutet, dass Z von links nach rechts ansteigt. Wenn auf Grund einer Spiegelung (eine 180° Drehung um die Y-Achse) die Z-Achse umgekehrt verläuft, ist die Vorzeichenkonvention für Radius und Pfeilhöhen ebenfalls umgekehrt. Dies ist weitergehend erörtert in 4.3.

**ANMERKUNG 2** Unter der Annahme, dass kein Koordinatensystem nach ISO 10110-1:2019, 5.3 für die bezeichnete Fläche definiert wurde, ist dies die Standard-Vorzeichenkonvention. Für mehr Informationen zur Definition von lokalen Koordinatensystemen siehe ISO 10110-1.

### 4.3 Beschreibung der Flächentypen

#### 4.3.1 Allgemeines

Die Phrase „asphärische Fläche“ wird üblicherweise in der Optik zur Beschreibung von rotationsinvarianten Flächen verwendet, wie sie nachfolgend in 4.3.2 beschrieben sind. Flächenbeschreibungen für Flächen, die nicht rotationsinvariant sind, wie zylindrische Flächen, finden sich in 4.3.3. Komplexere optische Flächen können mit den Methoden nach ISO 10110-19 beschrieben werden.

#### 4.3.2 Flächenbeschreibung — rotationsinvariant ( $h^2 = x^2 + y^2$ )

##### 4.3.2.1 Asphärische Fläche, beschrieben durch einen konischen Teil und eine Potenzreihe

Die Beschreibung der asphärischen Fläche besteht aus einem konischen Teil und einer Potenzreihe, wobei die Z-Achse die Rotationsachse ist:

$$z(h) = \frac{h^2}{R \left[ 1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa) \left( \frac{h}{R} \right)^2} \right]} + \sum_{i=2}^n A_{2i} h^{2i} \quad (1)$$

Dabei ist:

$z$  die Pfeilhöhe;

$h$  die Höhe der Fläche senkrecht zur Z-Achse ( $h \geq 0$ );

$R$  der Krümmungsradius der Basissphäre;

$\kappa$  die konische Konstante;

$A_i$  der Asphären-Koeffizient.

Die konische Basisformel verhält sich wie folgt:

$\kappa > 0$  abgeflachte (oblate) Ellipse;

$\kappa = 0$  Kreis;

$-1 < \kappa < 0$  gestreckte (prolate) Ellipse;

$\kappa = -1$  Parabel;

$\kappa < -1$  Hyperbel.

ANMERKUNG 1 Die Formel zweiter Ordnung kann auch ohne die Potenzreihe verwendet werden.

ANMERKUNG 2 In drei Dimensionen werden die Formen der konischen Gleichung Ellipse, Kugel, Paraboloid und Hyperboloid genannt.

Eine Beispielzeichnung findet sich in Bild 4.

Eine erweiterte Version der gesamten Potenzreihe dieser Beschreibung findet sich in Gleichung (2).

$$z(h) = \frac{h^2}{R \left[ 1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa) \left( \frac{h}{R} \right)^2} \right]} + \sum_{i=1}^n A_i h^i \quad (2)$$

Im speziellen Fall beschreibt diese Gleichung ein Axicon:

$$z(h) = A_1 h \quad (3)$$

Es sollte darauf geachtet werden, dass die Vorzeichen der Potenzreihe in Gleichung  $z(h)$  den Vorzeichenkonventionen aus 4.1 und 4.2 genügen.

Im Fall, dass die Richtung der Z-Achse umgekehrt ist, die Linse jedoch unverändert bleibt, müssen die Vorzeichen des Krümmungsradius und der Asphären-Koeffizienten geändert werden. Die Vorzeichen der konischen Konstanten bleiben unverändert.

#### 4.3.2.2 Asphärische Fläche, beschrieben durch einen konischen Teil und orthogonale Polynome

##### 4.3.2.2.1 Asphären mit orthonormaler Steigung und sphärischer Basis

Flächen höherer Ordnung können auch durch Kombination einer sphärischen Fläche mit einem Polynom, mit orthonormalen Ableitungen, der folgenden Art gebildet werden.

$$z(h) = \frac{h^2}{R \left[ 1 + \sqrt{1 - w^2} \right]} + \frac{w^2 [1 - w^2]}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{R}\right)^2}} \sum_{m=0}^n B_m Q_m^{bfs}(w^2) \quad (4)$$

Dabei ist

$R$  der Krümmungsradius der Basis-Sphäre;

$h$  die Höhe der Fläche;

$h_0$  markiert die Obergrenze von  $h$ ; und

$w$  (normierte Oberflächenhöhe) definiert durch  $w = \frac{h}{h_0}$ ;

$B_m$  der Koeffizient; und

$Q_m^{bfs}$  der Polynom-Term.

Die Beschreibung von  $z$  gilt ausschließlich für  $0 \leq h \leq h_0$ . Die Gleichung für den Polynom-Term ist

$$Q_{m+1}^{bfs}(w^2) = \left[ P_{m+1}(w^2) - g_m Q_m^{bfs}(w^2) - k_{m-1} Q_{m-1}^{bfs}(w^2) \right] / l_{m+1} \quad (5)$$

Beginnend mit

$$Q_0^{bfs}(w^2) = 1 \quad (6)$$

$$Q_1^{bfs}(w^2) = \frac{1}{\sqrt{19}} (13 - 16w^2) \quad (7)$$

$$Q_2^{bfs}(w^2) = \sqrt{\frac{2}{95}} [29 - 4w^2 (25 - 19w^2)] \quad (8)$$

$$P_{m+1}(w^2) = (2 - 4w^2) P_m(w^2) - P_{m-1}(w^2) \quad (9)$$

Beginnend mit

$$P_0(w^2) = 2 \quad (10)$$

$$P_1(w^2) = 6 - 8w^2 \quad (11)$$

Diese Zusatzpolynome müssen in der Reihenfolge, wie hier aufgeführt, gelöst werden. Sie gelten ab  $m \geq 2$ .

$$k_{m-2} = -m(m-1)/2l_{m-2} \quad (12)$$

$$g_{m-1} = -(1 + g_{m-2}k_{m-2})/l_{m-1} \quad (13)$$

$$l_m = [m(m+1) + 3 - g_{m-1}^2 - k_{m-2}^2]^{1/2} \quad (14)$$

Beginnend mit

$$g_0 = -\frac{1}{2} \quad (15)$$

$$l_0 = 2 \quad (16)$$

$$l_1 = \frac{1}{2}\sqrt{19} \quad (17)$$

**ANMERKUNG 1**  $Q_2^{\text{bfs}}(w^2)$  ist oben gegeben zur Prüfung des rekursiven Algorithmus aus Gleichungen (5) bis (17). Siehe auch Anhang B.

**ANMERKUNG 2** „bfs“ ist eine Abkürzung für bestangepasste Sphäre (en: „best fit sphere“), deren Pfeilhöhen am Scheitel und  $h_0$  den Pfeilhöhen der asphärischen Fläche entsprechen.

For an example drawing, see Bild 5.

#### **4.3.2.2.2 Asphären mit orthonormaler Steigung und konischer Basis**

Es ist außerdem möglich, eine Fläche durch Kombination einer konischen Fläche mit einem Polynom analog zu Gleichung (4) zu bilden. Diese Form besteht auch aus einer Reihe an orthonormalen Polynomen.

$$z(h) = \frac{h^2}{R \left[ 1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa) w^2} \right]} + \frac{w^2 [1 - w^2]}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{R}\right)^2}} \sum_{m=0}^n B_m Q_m^{\text{bfs}}(w^2) \quad (18)$$

Dabei ist:

- $R$  der Krümmungsradius der Basis-Sphäre;
- $h$  die Höhe der Fläche;
- $h_0$  markiert die Obergrenze von  $h$ ; und
- $w$  (normierte Flächenhöhe) definiert durch  $w = \frac{h}{h_0}$ ;
- $\kappa$  die konische Konstante;
- $B_m$  der Koeffizient; und
- $Q_m^{\text{bfs}}$  die Polynom-Terme.

#### **4.3.2.2.3 Asphären mit orthonormaler Amplitude**

Eine Fläche höherer Ordnung kann auch durch Kombination einer konischen Fläche mit einem Polynom mit orthonormaler Amplitude der folgenden Art gebildet werden.

$$z(h) = \frac{h^2}{R \left[ 1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa) \left(\frac{h}{R}\right)^2} \right]} + w^4 \sum_{m=0}^n C_m Q_m^{\text{con}}(w^2) \quad (19)$$

Dabei ist

- $R$  der Krümmungsradius der Basis-Sphäre;
- $h$  die Höhe der Fläche;
- $h_0$  markiert die Obergrenze von  $h$ ; und
- $w$  (normierte Flächenhöhe) definiert durch  $w = \frac{h}{h_0}$ ;
- $\kappa$  die konische Konstante;
- $C_m$  der Koeffizient; und
- $Q_m^{\text{con}}$  die Polynom-Terme.

Die Gleichung des Polynomterms ist

$$Q_m^{\text{con}}(w^2) = T_m(2w^2 - 1) \quad (20)$$

Beginnend mit

$$Q_0^{\text{con}}(w^2) = 1 \quad (21)$$

$$Q_1^{\text{con}}(w^2) = -(5 - 6w^2) \quad (22)$$

$$Q_2^{\text{con}}(w^2) = 15 - 14w^2(3 - 2w^2) \quad (23)$$

$$T_m(w^2) = [(b(m) + c(m)w^2)T_{m-1}(w^2) - d(m)T_{m-2}(w^2)]/a(m) \quad (24)$$

Beginnend mit

$$T_0(w^2) = 1 \quad (25)$$

$$T_1(w^2) = 3w^2 - 2 \quad (26)$$

Diese Zusatzpolynome müssen in der Reihenfolge, wie hier aufgeführt, gelöst werden. Sie gelten ab  $m \geq 2$ .

$$a(m) = 2m(m + 4)(2m + 2) \quad (27)$$

$$b(m) = -32m - 48 \quad (28)$$

$$c(m) = (2m + 2)(2m + 3)(2m + 4) \quad (29)$$

$$d(m) = 2(m - 1)(m + 3)(2m + 4) \quad (30)$$

ANMERKUNG 1  $Q_0^{\text{con}}(w^2)$ ,  $Q_1^{\text{con}}(w^2)$  und  $Q_2^{\text{con}}(w^2)$  sind oben zur Prüfung des Rekursionsalgorithmus von Gleichungen (20) bis (30) gegeben. Siehe auch Anhang C.

ANMERKUNG 2 Die hier angegebene Polynom-Form ist identisch mit der radialen Zernike-Polynom-Entwicklung  $R_{2n}^q(w^2)$  in zweiter Ordnung  $q=4$ , nach ISO/TR 14999-2 mit  $w^4 Q_m^{\text{con}}(w^2) = R_{2n}^4(w^2)$  mit  $n = m + 2$ , und  $m = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 \dots$

ANMERKUNG 3 Anstatt den Rekursionsalgorithmus von oben zu verwenden, kann für niedrigere Ordnungen ( $m \leq 8$ ) die Polynomfunktion auch einfach mit der folgenden Gleichung berechnet werden  $Q_m^{\text{con}}(w^2) = \sum_{s=0}^m (-1)^s \frac{(2m+4-s)!}{s!(m+4-s)!(m-s)!} w^{2(m-s)}$ .

Eine Beispielzeichnung findet sich in Bild 6.

### **4.3.3 Flächenbeschreibung — rotationsvariant**

#### **4.3.3.1 Zentrierte Quadriken**

Entsprechend dem Koordinatensystem nach 4.1 ergibt sich die Gleichung für Flächen zweiter Ordnung, die in den Anwendungsbereich dieses Dokuments fallen, aus den kanonischen Formen

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (31)$$

für zentrierte Quadriken

Dabei sind

$a, b$  reelle oder komplexe Konstanten;

$c$  eine reelle Konstante.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + 2z = 0 \quad (32)$$

für parabolische Flächen

Dabei sind

$a, b$  reelle oder komplexe Konstanten,

und kann wie folgt ausgedrückt werden

$$z = f(x, y) = \frac{\frac{x^2}{R_X} + \frac{y^2}{R_Y}}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa_X) \left(\frac{x}{R_X}\right)^2 - (1 + \kappa_Y) \left(\frac{y}{R_Y}\right)^2}} \quad (33)$$

Dabei sind

$R_X$  der Krümmungsradius in der XZ-Ebene;

$R_Y$  der Krümmungsradius in der YZ-Ebene;

$\kappa_X, \kappa_Y$  die konischen Konstanten.

Die Verwendung der Krümmungen  $C_X = 1/R_X$  und  $C_Y = 1/R_Y$  anstelle der Krümmungsradien führt zu

$$z = f(x, y) = \frac{x^2 C_X + y^2 C_Y}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa_X) (x C_X)^2 - (1 + \kappa_Y) (y C_Y)^2}} \quad (34)$$

Wird mit der Gleichung (33) oder (34) ein eindimensionaler Flächenschnitt in der XZ-Ebene ( $y = 0$ ) oder der YZ-Ebene ( $x = 0$ ) beschrieben, ergeben sich analog zu 4.3.2.1 in Abhängigkeit von  $\kappa_Y$  (oder  $\kappa_X$ ) Schnittkurven folgender Typen:

$\kappa > 0$  abgeflachte Ellipse;

$\kappa = 0$  Kreis;

$-1 < \kappa < 0$  gestreckte Ellipse;

$\kappa = -1$     Parabel;

$\kappa < -1$     Hyperbel.

#### 4.3.3.2 Zylinder

Gleichungen (35) und (36) beschreiben einen Zylinder (durch  $\kappa_U$  mit nicht unbedingt kreisförmigem Querschnitt). Für ( $u = x$ ) verläuft die Zylinder-Scheitellinie parallel zur Y-Achse, die senkrecht zur XZ-Ebene steht. Für  $u = y$  verläuft die Zylinder-Scheitellinie parallel zur X-Achse, die senkrecht zur YZ-Ebene steht.

Unter Verwendung von Radien:

Für  $R_X = \infty$  oder  $R_Y = \infty$  führt Gleichung (33) zu

$$z = f(u) = \frac{u^2}{R_U \left[ 1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa_U) \left( \frac{u}{R_U} \right)^2} \right]} \quad (35)$$

Unter Verwendung von Krümmungen:

Für  $C_X = 0$  oder  $C_Y = 0$  führt Gleichung (34) zu

$$z = f(u) = \frac{u^2 C_U}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa_U) u^2 C_U^2}} \quad (36)$$

#### 4.3.3.3 Polynomische Flächen

Die Gleichung für polynomische Flächen ist

$$z = f(x, y) = A_2 x^2 + B_2 y^2 + A_4 x^4 + B_4 y^4 + A_6 x^6 + B_6 y^6 + \dots + C_3 |x|^3 + \dots + D_3 |y|^3 + \dots \quad (37)$$

Alternativ kann die Gleichung als Summation dargestellt werden:

$$z = f(x, y) = \sum_{i=2}^n (A_i |x|^i + B_i |y|^i) \quad (38)$$

#### 4.3.3.4 Torische Flächen

Eine torische Fläche wird durch Rotation einer definierenden Kurve erzeugt; diese Kurve liegt in einer Ebene, die auch die Rotationsachse enthält.

Die Gleichung einer torischen Fläche, die ihre definierende Kurve  $z = g(x)$  in der XZ-Ebene hat und deren Rotationsachse parallel zur X-Achse verläuft, lautet

$$z = f(x, y) = R_Y \mp \sqrt{[R_Y - g(x)]^2 - y^2} \quad (39)$$

Dabei ist  $R_Y$  die z-Koordinate, an der die Rotationsachse die Z-Achse schneidet.

Für die Anwendung dieses Dokuments wird  $g(x)$  aus Gleichung (33) abgeleitet, indem  $y = 0$  gesetzt wird.

$$g(x) = \frac{x^2}{R_X \left[ 1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa_X) \left( \frac{x}{R_X} \right)^2} \right]} \quad (40)$$

Die Gleichung einer torischen Fläche, die ihre definierende Kurve in der YZ-Ebene hat und deren Rotationsachse parallel zur Y-Achse verläuft, darf aus den Gleichungen (39) und (40) durch Ersetzen von  $x$  durch  $y$ ,  $R_X$  durch  $R_Y$  und  $\kappa_X$  durch  $\kappa_Y$  hergeleitet werden.

Der folgende Spezialfall der Gleichungen (39) und (40) sollte erwähnt werden:

Für  $\kappa_X = 0$  ergibt sich

$$g(x) = R_X \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{x}{R_X} \right)^2} \right] \quad (41)$$

und

$$f(x,y) = R_Y \mp \sqrt{\left[ R_Y - R_X + R_X \sqrt{1 - \left( \frac{x}{R_X} \right)^2} \right]^2 - y^2} \quad (42)$$

Gleichung (42) beschreibt einen Torus, dessen definierende Kurve ein Kreis mit dem Radius  $R_X$  ist.

#### **4.3.3.5 Kegelflächen**

Die kanonische Form

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad (43)$$

Dabei sind

$a, b$  komplexe Konstanten;

$c$  eine reelle Konstante;

führt zu Gleichung (44)

$$z = f(x,y) = c \sqrt{\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2}} \quad (44)$$

Dabei sind

$a, b, c$  reelle Konstanten.

Diese Gleichung beschreibt einen Kegel mit seiner Spitze im Koordinatenursprung mit elliptischem Querschnitt (wenn  $a \neq b$ ) und einem kreisförmigen Querschnitt (wenn  $a = b$ ).

#### **4.3.3.6 Kombinationen von Flächentypen**

Falls erforderlich können Flächentypen durch Hinzufügen von Polynomen  $f_1(x,y)$  (siehe Anhang A) modifiziert werden. Die Gleichung der Fläche lautet dann vollständig

$$z = f(x,y) + f_1(x,y) \quad (45)$$

Dabei ist

$f(x,y)$  die Grundform nach Gleichung (33) und (34) oder eine Ableitung davon, und

$f_1(x, y)$  die Polynom-Oberflächenfunktion, wie in Gleichung (37) darstellt.

Für zylindrische Flächen kann die definierende Kurve  $f(u)$  durch Hinzufügen einer Potenzreihe  $f_1(u)$  modifiziert werden (siehe Anhang A). Für torische Flächen kann die definierende Kurve  $g(x)$  durch Hinzufügen einer Potenzreihe  $g_1(x)$  modifiziert werden (siehe Anhang A).

Es sollte sorgfältig darauf geachtet werden, dass die Vorzeichen der Koeffizienten (Gleichung (45)) in  $f(x, y)$  und  $f_1(x, y)$  [oder für torische Flächen die Vorzeichen der Koeffizienten  $g(x, y)$  und  $g_1(x, y)$ ] mit den Konventionen nach 4.1 und 4.2 übereinstimmen. Im Fall, dass die Orientierung der Z-Achse umgekehrt werden muss, müssen die Vorzeichen der Radien oder Krümmungen und die der Koeffizienten für Gleichungen (37) und (38) geändert werden. Die Vorzeichen der konischen Konstanten bleiben unverändert.

## 5 Zeichnungsangaben

### 5.1 Angabe der theoretischen Fläche

Die Gleichung zur Beschreibung der asphärischen Fläche muss angegeben werden.

Der Krümmungsradius wird nach 4.2 mit Vorzeichen angegeben.

Die Flächenart muss, wie in ISO 10110-1 beschrieben, angegeben werden.

Eine Pfeilhöhentabelle muss mit ausreichender numerischer Genauigkeit in der Zeichnung enthalten sein (siehe Bild 2 und Bild 3).

### 5.2 Angabe von Oberflächenformtoleranzen

Oberflächenformtoleranzen müssen auf eine der folgenden Arten angegeben werden:

- a) nach ISO 1101; oder
- b) nach ISO 10110-5;

ANMERKUNG Die Spezifikation der vorherigen Version ISO 10110-12:2007 wurde angepasst und in ISO 10110-5 verschoben.

### 5.3 Angabe von Zentriertoleranzen

Zentriertoleranzen müssen entweder nach ISO 1101 oder nach ISO 10110-6 angegeben werden.

### 5.4 Toleranzangaben für Oberflächenunvollkommenheiten und Oberflächenbeschaffenheit

Toleranzangaben für Oberflächenunvollkommenheiten müssen nach ISO 10110-7 angegeben werden. Angaben für mittelfrequente Oberflächenwelligkeiten und Oberflächenbeschaffenheit müssen nach ISO 10110-8 angegeben werden.

## 6 Beispiele

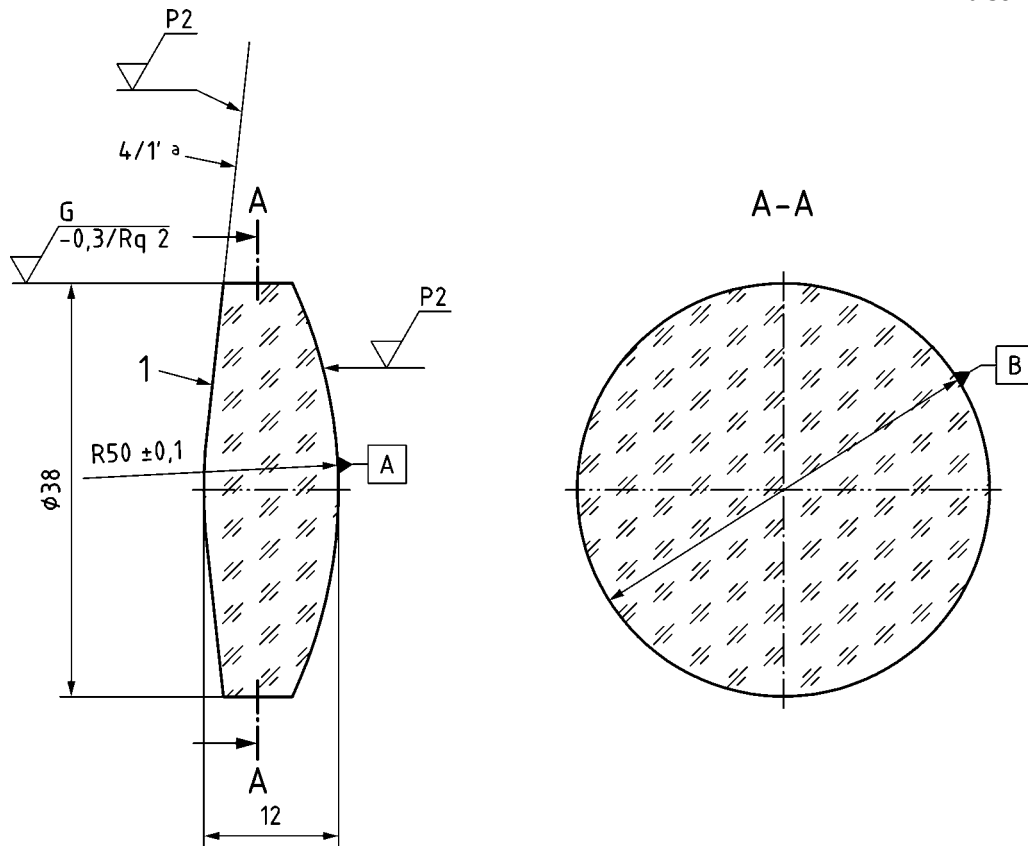
### 6.1 Elemente mit rotationsinvarianten Flächen

In Bild 2 ist eine asphärische Linse dargestellt, deren Bezugsachse durch den Krümmungsmittelpunkt der sphärischen Fläche A und der Achse des Außenzylinders B (durch die kreisförmige Bezugslinie) bestimmt ist. Diese befindet sich an der Grenze der sphärischen Fläche mit dem äußeren Zylinder, nach ISO 10110-6.

Die Formtoleranz der asphärischen Fläche ist in Tabellenform angegeben.  $\Delta z$  ist die maximal zulässige Abweichung, in Millimeter, in Z-Richtung für die gegebene  $h$ -Koordinate. Zusätzlich ist eine Steigungsfehlertoleranz  $\Delta S$  angegeben.

Die Zentriertoleranz ist nach ISO 1101 als maximal zulässige Planlaufabweichung und alternativ nach ISO 10110-6 als maximal zulässiger Kippwinkel (durch Index a gekennzeichnet) angegeben.

Maße in Millimeter



**Legende**

1 Asphäre

$$z = \frac{h^2}{R(1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)h^2/R^2})} + \sum_{i=2}^5 (A_{2i}h^{2i})$$

<sup>a</sup> Alternative Angabe der Zentriertoleranz.

| $h$  | $Z$      | $\Delta z$ | $\Delta S$ |
|------|----------|------------|------------|
| 0,0  | 0,000    | 0,000      | 0,3'       |
| 5,0  | 0,219352 | 0,002      | 0,5'       |
| 10,0 | 0,825330 | 0,004      | 0,5'       |
| 15,0 | 1,600528 | 0,006      | 0,8'       |
| 19,0 | 1,938077 | 0,008      |            |
| —    | —        | —          | (1/0,1)    |

$$R = 56,031$$

$$\kappa = -3$$

$$A_4 = -0,432\,64\,E-05$$

$$A_6 = -0,976\,14\,E-08$$

$$A_8 = -0,108\,52\,E-11$$

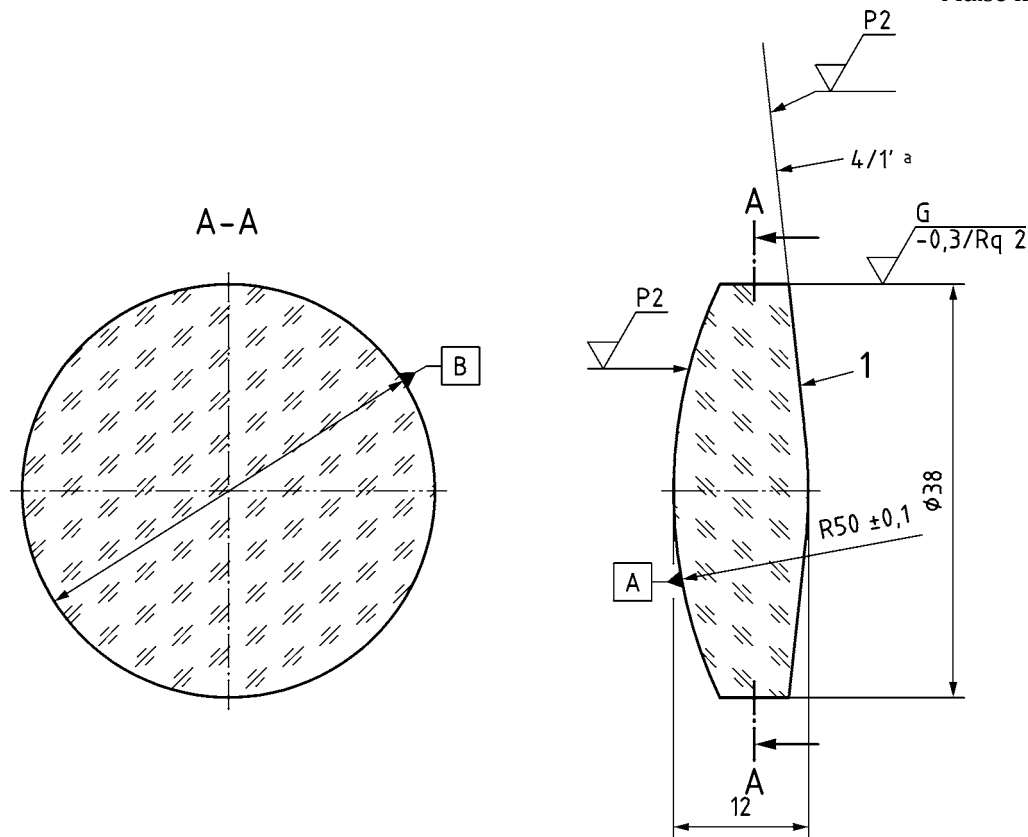
$$A_{10} = -0,122\,84\,E-13$$

**Bild 2 — Linse mit rotationsinvarianter asphärischer Fläche**

Bild 3 zeigt eine asphärische Linse mit derselben geometrischen Form wie die Linse in Bild 2, jedoch umgedreht (sodass die rechte Fläche die Asphäre ist). Wie zu sehen ist, haben sich dadurch die Vorzeichen des Radius  $R$  und

der Koeffizienten  $A_i$  geändert. Das hat weiterhin zur Folge, dass auch die Pfeilhöhen  $z$  ihr Vorzeichen geändert haben.

Maße in Millimeter



**Legende**

1 Asphäre

$$z = \frac{h^2}{R(1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)h^2/R^2})} + \sum_{i=2}^5 (A_{2i}h^{2i})$$

<sup>a</sup> Alternative Angabe der Zentriertoleranz.

| $h$  | $z$       | $\Delta z$ | $\Delta S$ |
|------|-----------|------------|------------|
| 0,0  | 0,000     | 0,000      | 0,3'       |
| 5,0  | -0,219352 | 0,002      | 0,5'       |
| 10,0 | -0,825330 | 0,004      | 0,5'       |
| 15,0 | -1,600528 | 0,006      | 0,8'       |
| 19,0 | -1,938077 | 0,008      |            |
| —    | —         | —          | (1(0,1))   |

$$R = -56,031$$

$$\kappa = -3$$

$$A_4 = 0,432\ 64\ \text{E-05}$$

$$A_6 = 0,976\ 14\ \text{E-08}$$

$$A_8 = 0,108\ 52\ \text{E-11}$$

$$A_{10} = 0,122\ 84\ \text{E-13}$$

**Bild 3 — Linse mit seitenvertauschter rotationsinvarianter asphärischer Fläche**