Wird β verkleinert, so schließen die Kopfkreise eine kürzere Strecke ein; Eingriffstrecke und Überdeckungsgrad nehmen also ab. Bei normaler Kopfhöhe $k = m$ und $\beta = 75^0$ ist der theoretische obere Grenzwert für ε bei Außenverzahnungen 2,54, bei $\beta = 70^0$ 1,98.

Teilt man die Flanke eines Zahnes in eine Anzahl gleicher Teile, Abb. 1846 links und sucht zu den einzelnen Punkten die zugehörigen der Gegenflanke, so zeigt sich, daß verschieden lange Strecken miteinander in Eingriff kommen und aufeinander gleiten. Man findet z. B. den Gegenpunkt zu P_1, indem man durch diesen einen Kreisbogen um den Mittelpunkt des Rades *1* bis zum Schnitt P' mit der Eingrifflinie zieht und von dort auf einem Kreisbogen um den Mittelpunkt des Rades *2* nach P_2 an der Gegenflanke geht. Die kürzeren Strecken am Fuße werden stärker abgenutzt werden, so daß dort eine Aushöhlung entsteht und die Zahnform allmählich verändert wird, vgl. die Ausführungen zu Abb. 1878. Je ungleicher die Strecken am Rade *2* sind, um so rascher und stärker wird diese Änderung eintreten.

Evolventenflanken haben erhabene Form und sind um so schärfer gekrümmt, je kleiner die Grundzylinder sind, je geringer also die Zahnzahl, die Teilung und der Neigungswinkel β ist. An der Zahnstange, im Grenzfall mit unendlich großem Teil- und Grundzylinder, entstehen ebene, in der Ansicht auf die Stange, Abb. 1850, geradlinige, senkrecht zur Erzeugenden stehende Flanken. Denn das die Flanken erzeugende Band verschiebt sich bei der Abwicklung auf dem unendlich großen, im Unendlichen liegenden Grundzylinder parallel zu sich selbst.

E. Unterschneidungen und ihre Vermeidung.

Nach den allgemeinen Ausführungen auf Seite 1033 ist die Eingrifflinie praktisch nur verwendbar, soweit sie zwischen den Fußpunkten F_1 und F_2 der von M_1 und M_2 auf die Erzeugende gefällten Lote, d. h. zwischen den Berührungspunkten der Grundkreise liegt, eine Bedingung, die bei Evolventenrädern mit normalen Kopfhöhen und kleinen Zahnzahlen oft nicht erfüllt ist. Dann treten Unterschneidungen der Zahnfüße des Kleinrades auf, indem die Zahnspitzen des großen in die Füße des Gegenrades eindringen und dort eine Aushöhlung erfordern. In Abb. 1851 ist zunächst für zwei Räder mit Außenverzahnung der Grenzfall dargestellt, in welchem der Kopfkreis K_1 des größeren Rades durch den Fußpunkt F_2 geht. Rad *2* wird dabei ein sogenanntes Grenzrad. Der andere Endpunkt A der Eingriffstrecke, der durch den Kopfkreis des kleinen Rades bestimmt wird, liegt sicher innerhalb des benutzbaren Gebietes, also zwischen F_1 und O. Unter der Voraussetzung der normalen Kopfhöhe von m Millimetern folgt im Grenzfalle aus dem Dreieck M_1, F_2O die Bedingung:

$$\overline{M_1F_2}^2 = \overline{F_2O}^2 + \overline{OM_1}^2 - 2\,\overline{F_2O}\cdot\overline{OM_1}\cos(180^0 - \beta),$$

die mit $M_1F_2 = R_1 + m = \frac{z_1 \cdot m}{2} + m$, $\overline{F_2O} = R_2 \cos\beta = \frac{z_2 m}{2}\cos\beta$ und $\overline{OM_1} = R_1 = \frac{z_1 \cdot m}{2}$ zu der Beziehung:

$$z_1 = \frac{z_2^2 \cos^2\beta - 4}{4 - 2 z_2 \cos^2\beta}$$

führt.

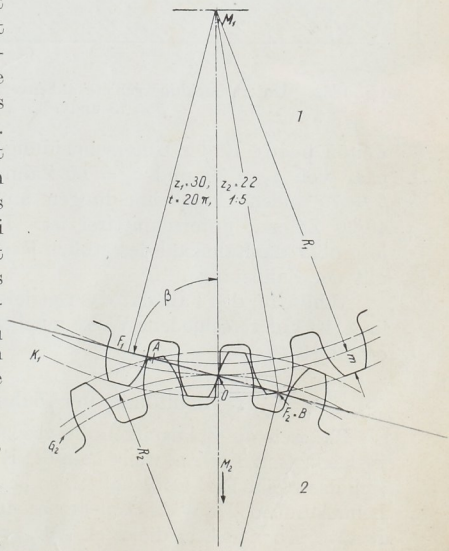

Abb. 1851. Grenzfall unterschnittfreier Verzahnung. Rad *2* ist ein Grenzrad.