

Punkt B_1 gehen, welcher den vergrößerten Achsenabstand $M_1 M_2'$ proportional den dazugehörigen Zahnzahlen teilt. Daß die Eingriffslinie eine Gerade bleibt, läßt sich wieder sehr schön durch den Versuch nach Abb. 21b mit einem gleichbleibenden Abstand zwischen den beiden Rollen nachweisen, und zugleich wird man am Fadenknolen erkennen, daß die Evolventenkurve die gleiche geblieben ist und die Achsenabstandsveränderung auf die Bewegungsübertragung keinen Einfluß ausübt. Bei der Kraftübertragung ist eine kleine Änderung eingetreten, und zwar bildet die Drucknormale mit der Mittelachse bei B_1 einen Winkel von 73° . Dies hat zur Folge, daß sich der Flächen- druck an den Zahnflächen und in den Lagerungen um ein geringes erhöht, doch bleibt dies von untergeordneter Bedeutung. Durch eine Verkürzung des Achsenabstandes um beispielsweise 0,25 mm wird das Gegenteil erreicht. $\sphericalangle A_2 B_1 M_1$ wird $78^\circ 30'$, wodurch die Drucknormale sich der Senkrechten auf der Mittelachse $M_1 M_2''$ nähert. Für die Kraftübertragung erscheint dies günstig; doch wird sich hier die Zahnreibung und damit die Abnutzung stärker geltend machen. Die in Abb. 21a auf der Eingriffslinie $C_1 A_1$ und $C_2 A_2$ angegebenen Punkte sind die ermittelten Berührungspunkte einer praktisch durchgeführten Untersuchung. Nun wird sich zwar der Eingriffswinkel und demzufolge der Überdeckungsgrad verändern, da letzterer aber beim Eingriff eines 40zähligen Rades in einen 8zähligen Trieb etwa 1,4 Teilung beträgt, ist nicht zu befürchten, daß er kleiner als eine Teilung wird. Gesetzt den Fall, bei einem Evolventeneingriff sind beide Räder unrund, so wird sich nicht wie bei der Zykloidenverzahnung bei jedem Zahn eine beachtliche Schwankung der Bewegungs- und Kraftübertragung bemerkbar machen, sondern erst im Laufe einer ganzen Radumdrehung wird auf der einen Seite des Rades die Lage der Eingriffslinie etwa in Richtung $C_1 A_1$, auf der entgegengesetzten Seite in Richtung $C_2 A_2$ und bei zu großen oder zu kleinen Rädern mehr oder weniger nach der einen oder anderen Seite abweichen. Die Richtungsänderung der Drucknormale im Laufe einer Radumdrehung bringt eine kleine Veränderung des Kraftmomentes und damit auch der Bewegungs- und Kraftübertragung mit sich, die sich aber nach einer vollen Radumdrehung wieder ausgeglichen haben. Die Schwankungen sind so gering, das sie vollständig außer Acht gelassen werden können.

Der Lagerdruck bei der Evolventenverzahnung

Die Untersuchung des Lagerdruckes, wie sie bereits bei der Zykloidenverzahnung vorgenommen wurde, zeigt uns die Abb. 22. Das Rad N besitzt an seiner Welle ein Kraftmoment von 100 gmm, welches auf L übertragen, dort ein Kraftmoment von 10 gmm ergibt. Dieses entspricht bei einem Radius von 2,5 mm einer Umfangskraft des Rades L von 4 g. Die vom Rade N auf Rad M einwirkende Kraft bleibt in ihrer Richtung und Größe durch die Eingriffslinie und damit auch Drucknormale gleich, so daß nach dem zu Abb. 12 u. 13 Gesagten die Größe des Lagerdruckes P in jeder Zahnstellung unverändert bleibt. Die Größe des Lagerdruckes ist im Polardiagramm der Abb. 22 eingetragen. Bei einer Untersuchung eines Eingriffes mit

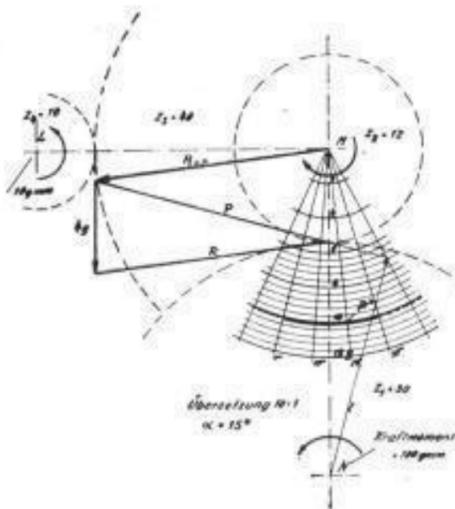


Abb. 22

unrunden Rädern wird sich eine kleine Schwankung des Lagerdruckes ermitteln lassen, da sich die Richtung der Drucknormale etwas verändert, was auch eine Veränderung des Hebelarmes ergibt.

Die Reibung der Evolventenzahnflächen

Als letztes bleibt nun nur noch die Reibung der Evolventenzahnflächen aufeinander. Diese Zahnreibungsverhältnisse sind für den Evolventeneingriff nach Abb. 17 in Abb. 23 dargestellt. Auch hier ist für die graphische Darstellung in gleicher Weise wie bei den Kurven in Abb. 14–16 verfahren. Da in diesem Falle die beiden Räder fast die gleichen Zahnzahlen haben, kann man für beide mit gleichem Material und ungefähr gleicher Abnutzung rechnen. Wie aus den Abb. 17 u. 23 zu er-

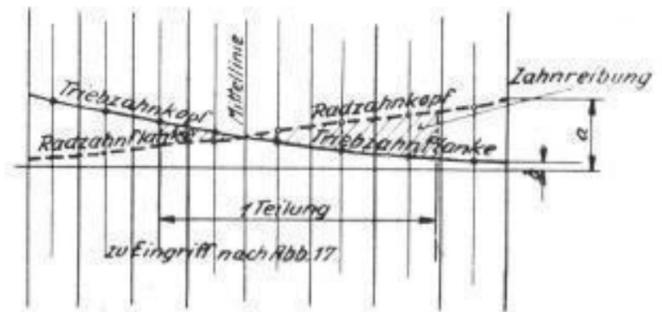


Abb. 23

sehen ist, unterliegen beide Zahnkopfspitzen der größten Abnutzung. Man ist zwar verschiedenlich der Ansicht, daß die Abnutzung der Zähne einer Evolventenverzahnung durch die beiden aufeinander arbeitenden konvexen Flächen sehr erheblich größer ist als bei der Zykloidenverzahnung, wo eine konvexe Fläche mit einer geraden Fläche zusammenarbeitet. Dem ist jedoch entgegenzuhalten, daß die konvexe Fläche eines Zykloidenzahnkopfes erheblich stärker gewölbt ist, und daß weiter die größere Ursache der Abnutzung hauptsächlich in dem herrschenden Flächen- druck zu suchen ist. Daß dieser Flächendruck bei der Zykloidenverzahnung aber sehr stark schwankt, ist nach Abb. 12 u. 13 bekannt.

Die Vor- und Nachteile der Zykloiden- und der Evolventenverzahnungen

Seit geraumer Zeit wird in der Uhrenindustrie durch Abwälzen eine Verzahnung ausgeführt, die ein Mittel aus Zykloide und Evolvente bildet. Doch wird damit nicht das angestrebte Ziel nach einer genau herstellbaren und leicht zu prüfenden Abwälzfräserform erreicht. Die Zahnflanken dieser Abwälzfräser sind nicht gerade, sondern müssen den konstruierten Kurven angepaßt werden und unterliegen damit den gleichen Schwierigkeiten für eine genaue Zahnherstellung wie die Verwendung von Scheibenfräsern für Zykloidenverzahnung. Diese Verzahnung einer genauen Betrachtung zu unterstellen, würde erst mit zuverlässigen konstruktiven Unterlagen und mikroskopischen Aufnahmen der Eingriffsvorgänge in Taschen- und Stül- uhren möglich sein.

In dieser zum Teil sehr knapp gehaltenen Betrachtung hat sich manches als Vor- oder Nachteil der einen oder anderen Verzahnung herausgestellt. Es erscheint mir daher nötig, noch einmal wenigstens das Hauptsächlichste übersichtlich und kurz zusammenzustellen. Es gibt hierfür wohl noch mehr Punkte, doch lassen sie sich zum Vorteil der einen wie der anderen Verzahnung ausbilden. Z. B. Wälzen mittels Wälzfräsern, und auch eine Art von Ingolden ließe sich nicht nur für Zykloidenverzahnung, sondern auch für Evolventenverzahnung durchführen.