

Transportrechen mit Zykloidengetriebe

Dipl.-Ing. Dipl.-Inform. **Rainer Nolte**, Nolte NC-Kurventechnik GmbH

Kurzfassung

In Verpackungsmaschinen werden häufig Rechen verwendet, um Produkte taktweise durch die Maschine zu transportieren. Dafür werden manchmal reine Koppelgetriebe, meist aber Kurven-Koppelgetriebe verwendet. Bei kurvengesteuerten Transportrechen kann das Bewegungsdiagramm an den Transportfingern relativ freigestaltet werden, um Kollisionen mit anderen Teilen zu vermeiden und gleichzeitig die dynamischen Belastungen im Mechanismus zu optimieren. Bei hohen Taktzahlen kommen kurvengesteuerte Rechen aber an ihre Grenzen. In einem konkreten Anwendungsfall haben wir deshalb nach alternativen kinematischen Konzepten für den Rechenantrieb gesucht. In der VDI-Richtlinie 2727 haben wir in Form eines Zykloidengetriebes mit annähernd quadratischer Koppelkurve ein interessantes kinematisches Konzept für den Rechenantrieb gefunden. Kombiniert man das Zykloidengetriebe mit einem Unrundräderpaar oder einem Servoantrieb, so kann der Bewegungsablauf am Rechen im Hinblick auf Kollisionsvermeidung und Verringerung dynamischer Belastungen noch optimiert werden.

Abstract

In packaging machines rakes are used to move articles stepwise through the machine. Recently engineers used coupler mechanisms, today cam driven mechanisms are the standard solution to move rakes. When the cycle speeds rise these cam driven mechanisms come to their limits. In a concrete application we looked for alternate approaches to move the rake and found a kinematic principle in the VDI guideline 2727 using gears and cycloidal motions. This cycloidal mechanism may be combined with a servo drive or a nonlinearly transmitting gear to optimize the motion profiles in x and y for the rake.

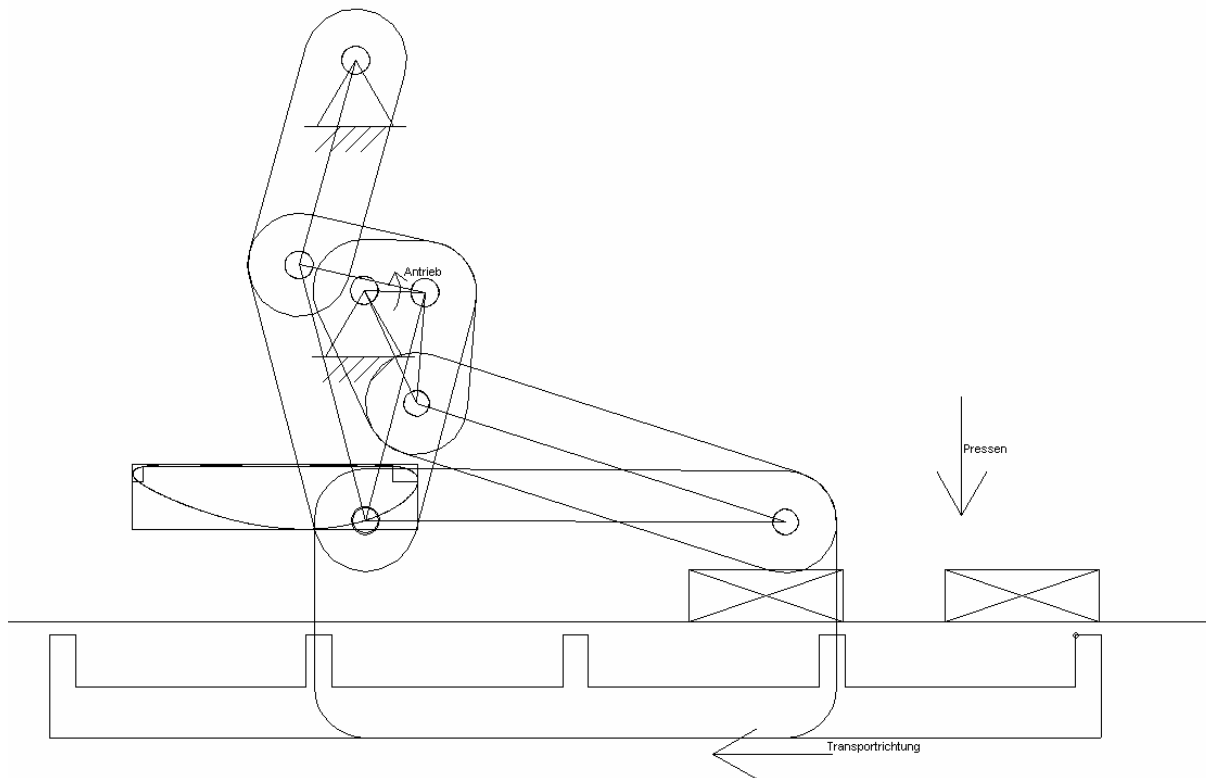


Bild 1: Koppelgetriebe zum Rechentransport

1. Rechen mit Koppelgetriebe

Bild 1 zeigt ein Koppelgetriebe zum Antrieb eines Rechens. Es besteht aus einer Kurbelschwinge mit zusätzlichem Zweischlag. Die Kurbelschwinge erzeugt eine geeignete Koppelkurve mit angenäherter Geradführung für den Transport des Produkts (im Bild nach links) und mit einem wannenförmigen Bahnkurvenstück, um den Rechen unter den nachfolgenden Produkten durchtauchen zu lassen. Der Zusatzzweischlag ist so gestaltet, daß das Rechenbauteil nur verschoben, aber nicht gedreht wird. Von oben oder seitlich wirkende Pressen sorgen dafür, daß die nur wenige Gramm wiegenden Produkte liegen bleiben, wenn der Rechen die Rückbewegung beginnt.

Solche sechsgliedrigen Koppelgetriebe sind zwar relativ einfach und kompakt aufgebaut, aber die Führungsbewegung läßt sich kaum an spezielle Anforderungen anpassen. Manchmal sollte der Rechen nach dem Ablegen der Produkte auf der Zielposition möglichst zuerst etwas zurücklaufen und erst dann abtauchen, um keine Markierungen auf dem Produkt zu hinterlassen. Außerdem sollte er erst kurz vor der Aufnahme position beginnen

hochzulaufen, um nicht mit dem nachfolgenden Produkt zusammenzustoßen. Bei dem dargestellten Mechanismus ist auch der minimale Übertragungswinkel von ca. 17 Grad im Zusatzweischlag ungünstig. Gerade bei höheren Taktzahlen wäre der Mechanismus dadurch nicht steif genug.

VDI_2012_Transportrechen_mit_Koppelgetriebe: x, Taktzahl: 150 U/min, Zykluszeit: 400 ms

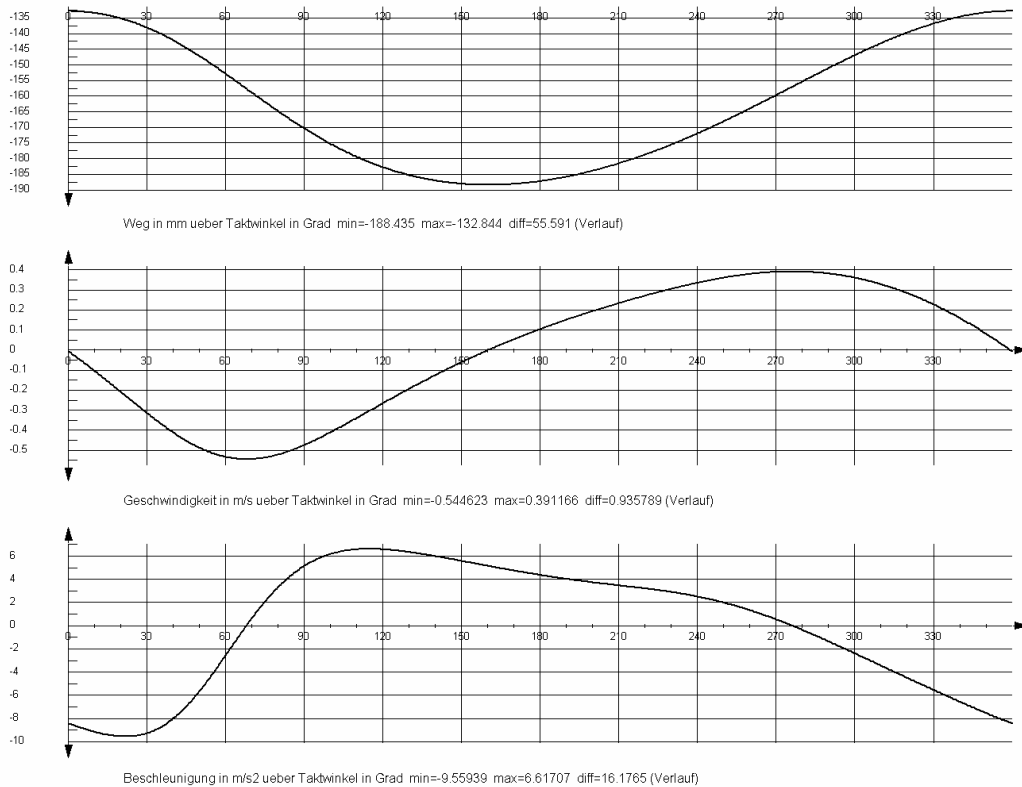


Bild 2: Horizontalbewegung des Koppelgetriebe-Rechens

VDI_2012_Transportrechen_mit_Koppelgetriebe: my2, Taktzahl: 150 U/min, Zykluszeit: 400 ms

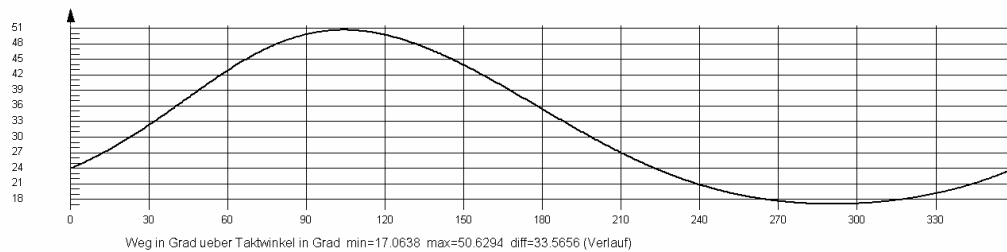


Bild 3: Übertragungswinkel im Zusatzweischlag des Rechens mit Koppelgetriebe

2. Rechen mit Kurven-Koppelgetriebe

Verbreitet für den Antrieb von Rechen sind Kurven-Koppelgetriebe ähnlich dem in Bild 4 dargestellten.

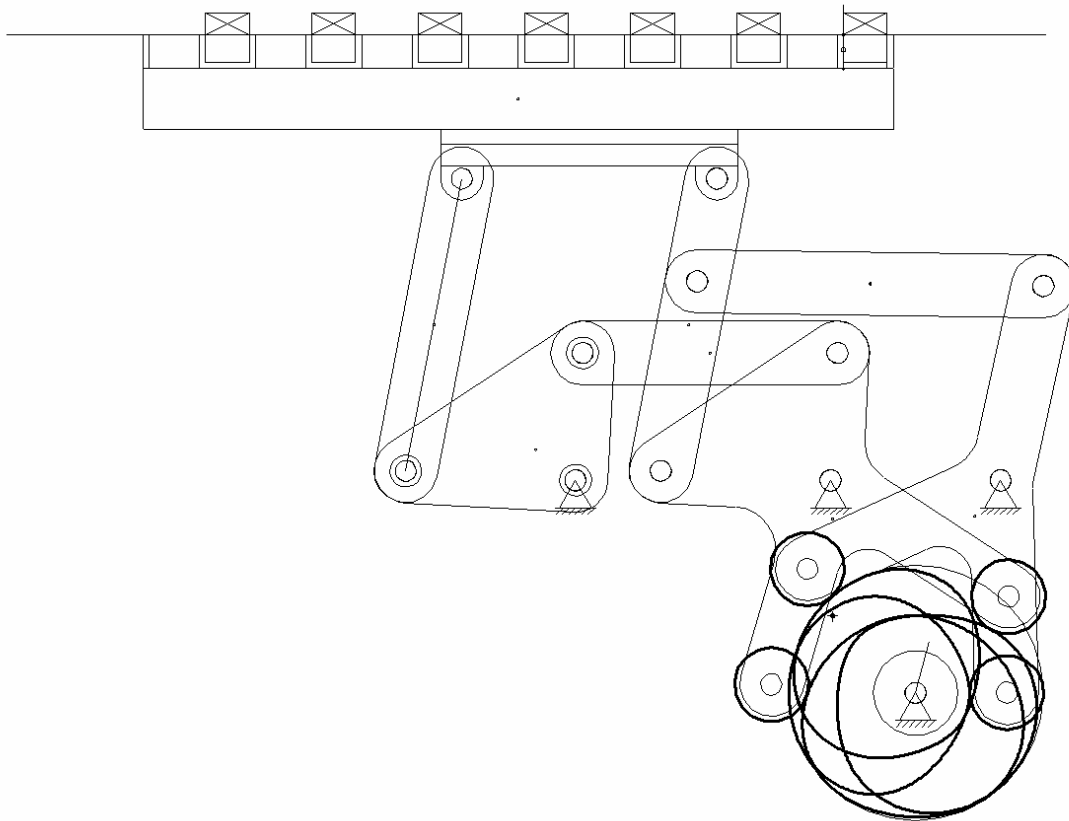


Bild 4: Rechen mit Kurven-Koppelgetriebe

Das gewünschte Bewegungsdiagramm kann direkt am Rechen vorgegeben werden, siehe Bilder 5 und 6. Durch kinematische Analyse werden die Bewegungsdiagramme an den Kurvenhebeln ermittelt, um die Kurvenbahnen der beiden Komplementärkurven zu ermitteln. Auch hier sorgen Pressen dafür, daß die Produkte nach dem Vortransport liegen bleiben. Typische Taktzahlen für solche kurvengesteuerten Rechen liegen bei 150 Takten/min. Die Taktzahlen sind aber stark von der Größe der Produkte und den damit einher gehenden Rechenteilungen bzw. Rechentransportwegen abhängig.

In einem speziellen Anwendungsfall sollte nun ein Rechen für 800 Takte/min bei einem Transportweg von 50 mm konzipiert werden.

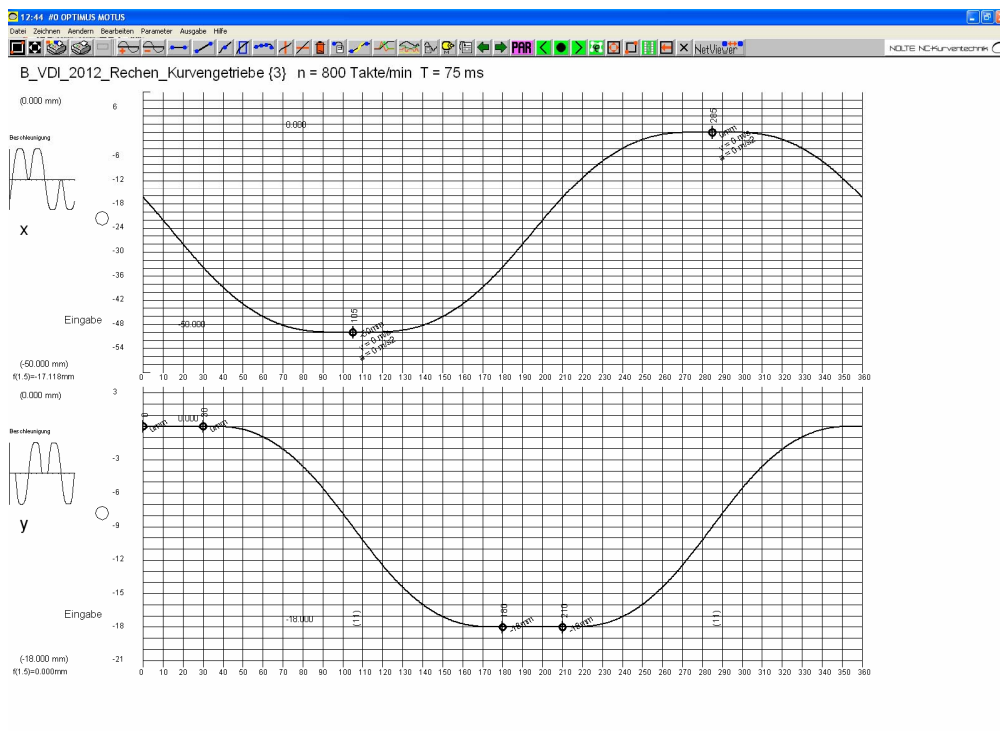


Bild 5: Bewegungsplan für die Rechenbewegung in X (horizontal) und Y (vertikal)

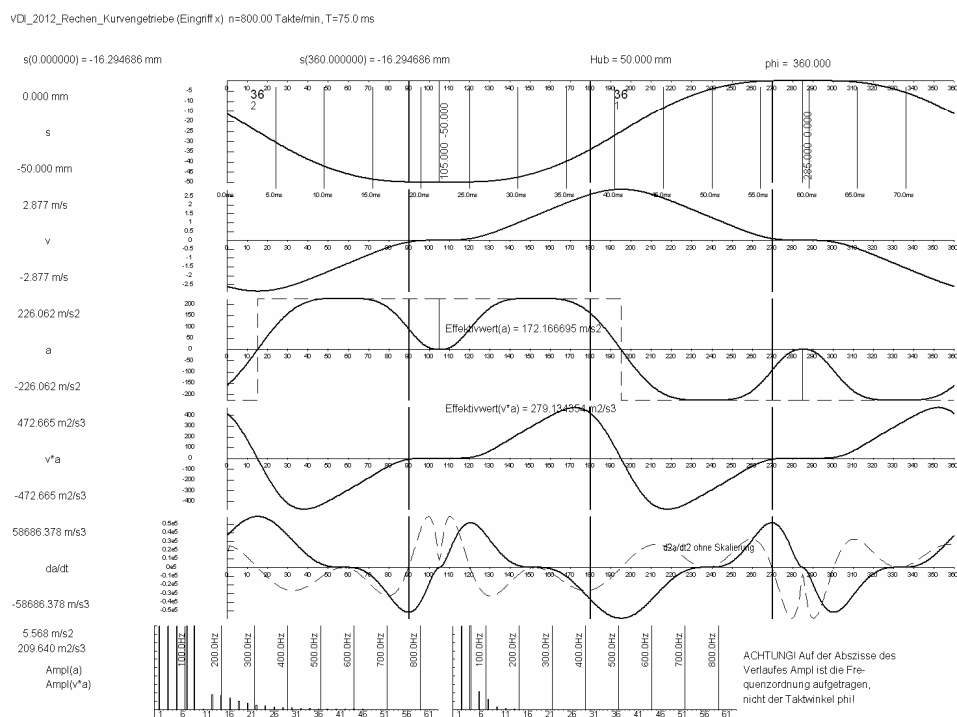


Bild 6: Horizontalbewegung am Rechen mit Weg s, Geschwindigkeit v, Beschleunigung a, v*a, Ruck da/dt, Ping d^2a/dt^2 und harmonischen Analysen von Beschleunigung und v*a

VDI_2012_Rechen_Kurvengetriebe, 800 1/min, T = 75 ms, Gelenk 3 von kurvenkoerper auf horizontalhebel

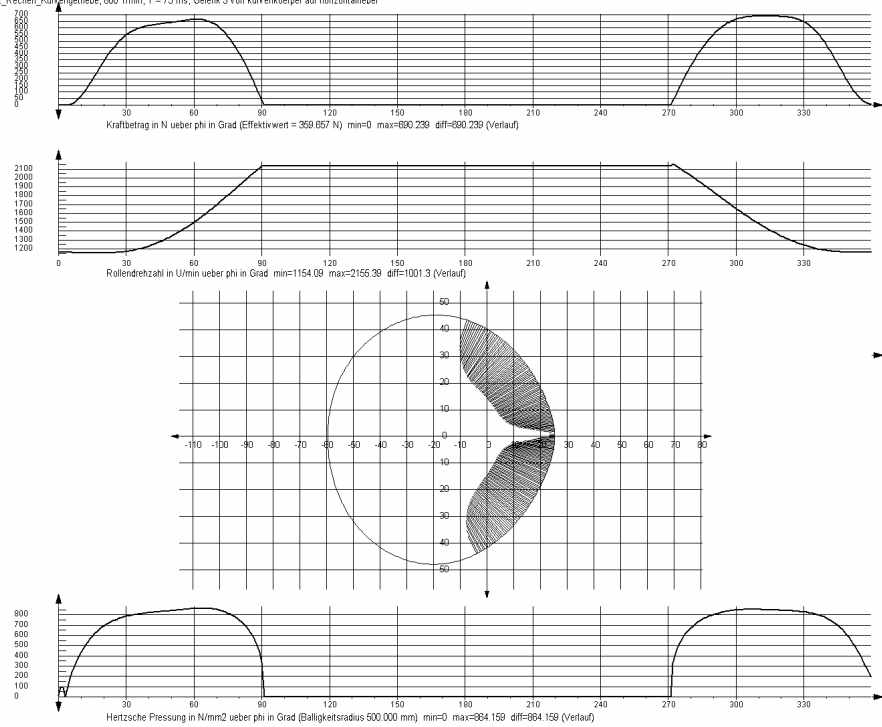


Bild 7: Belastung einer Kurvenbahn bei 800 Takten/min

VDI_2012_Rechen_Kurvengetriebe, 800 1/min, T = 75 ms, Gelenk 7 von gestell auf teil

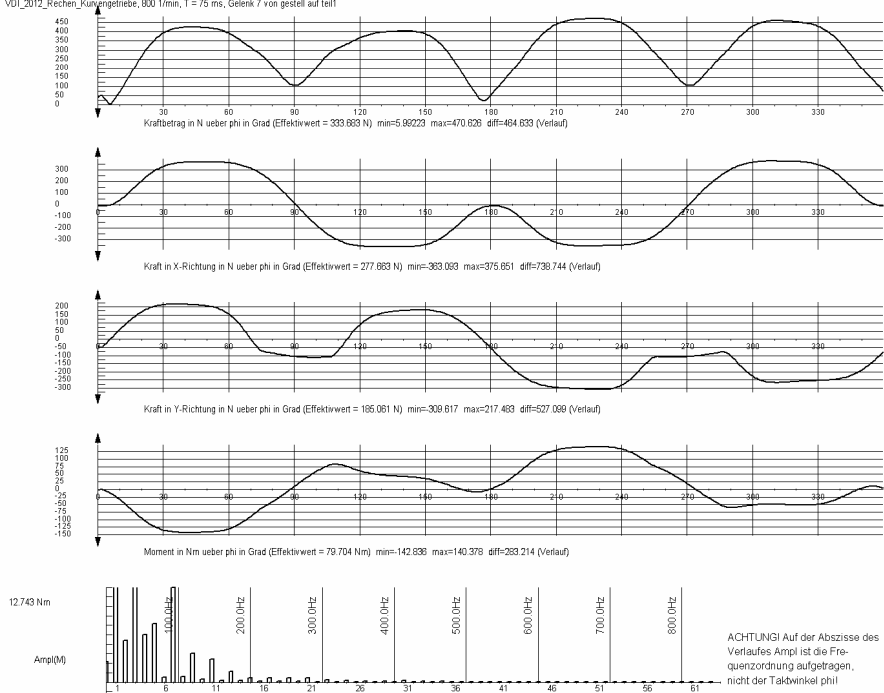


Bild 8: Gestellkräfte durch das Kurven-Koppelgetriebe

Bild 7 zeigt die Belastung einer Kurvenbahn bei den angenommenen bewegten Massen und bei 800 Takten/min. Rechnerisch sind weder Kurve noch Rolle überlastet. Wenn die Kurven im Einsatz gehärtet werden, ist eine Lebensdauer von über 30000 Stunden zu erwarten.

Ein Auszug aus dem Berechnungsprotokoll:

Maximale Hertzsche Pressung: 864.2 N/mm2
 Kurvenlebensdauer bei 60 HRC Oberflaechenhaerte: 31622 h
 Empf. Mindest-Haertungstiefe bei Einsaetzhaertung : 0.31 mm

Hersteller	Rollentyp	Aussendrm [mm]	Bolzendrm [mm]	Breite [mm]	Rollenmantel	Cdyn [kN]	Cstat [kN]	Drehzahl [1/min]	Max.pHertz [N/mm2]	Min.Kurven- breite [mm]	Nom.Lebens- dauer 90%
INA	NATR15	35.000	15.000	18.000	500.0 mm ballig	9.70	14.10!	3600	864.2	4.0	333808 h
INA	NATR15PP	35.000	15.000	18.000	opt. INA-Profil	9.70	14.10!	3600	864.2	4.0	333808 h
INA	RSTO15	35.000	15.000	11.800	500.0 mm ballig	9.10	10.70!	3300	864.2	4.0	269813 h
INA	STO15	35.000	15.000	11.800	500.0 mm ballig	9.10	10.70!	3300	864.2	4.0	269813 h
INA	RNA2202.2RS	35.000	15.000	13.800	500.0 mm ballig	7.60	9.50!	3400	864.2	4.0	148014 h
INA	NA2202.2RS	35.000	15.000	13.800	500.0 mm ballig	7.60	9.50!	3400	864.2	4.0	148014 h
INA	NUTR15	35.000	15.000	18.000	opt. INA-Profil	15.00	16.80!	6500	734.5	4.0	100 Jahre
INA	PWTR15.2RS	35.000	15.000	18.000	opt. INA-Profil	11.60	11.30!	6000	864.2	4.0	605970 h
INA	KR35	35.000	16.000	18.000	500.0 mm ballig	9.70	14.10!	3600	864.2	4.0	333808 h
INA	KR35PP	35.000	16.000	18.000	opt. INA-Profil	9.70	14.10!	3600	734.5	4.0	333808 h
INA	KRE35PP	35.000	16.000	18.000	opt. INA-Profil	9.70	14.10!	3600	864.2	4.0	333808 h
INA	NUKR35	35.000	16.000	18.000	opt. INA-Profil	15.00	16.80!	6500	864.2	4.0	100 Jahre
INA	NUKRE35	35.000	16.000	18.000	opt. INA-Profil	15.00	16.80!	6500	864.2	4.0	100 Jahre

Bei derart hohen Taktzahlen sind zwei Umstände problematisch:

- Daß der Kurven-Koppelmechanismus viele Lager enthält, die ein gewisses Spiel haben und Spielstöße hervorrufen werden.
- Daß auch bei gering erscheinenden Massen hohe dynamische Kräfte auf das Gestell wirken, die die Maschine insgesamt unruhig werden lassen. Dies erfordert einen dynamischen Massenausgleich, der bei kurvengesteuerten Mechanismen in der Regel nur mit hohem Aufwand zu verwirklichen ist.

Aus diesen beiden Gründen haben wir nach Alternativen zum bekannten Kurven-Koppelgetriebe für den Rechenantrieb gesucht.

Bestärkt wurden wir dadurch, daß die Maximalbeschleunigung von 226 m/s² um ein Vielfaches höher ist als bei vergleichbaren Rechenantrieben des gleichen Herstellers.

3. Suche nach kinematischen Strukturen

Um geeignete Mechanismen für eine Bewegungsaufgabe zu finden, bieten sich verschiedene Ansätze an:

- Suche in Mechanismenkatalogen (z.B. VDI-Richtlinie 2727 [2] oder die dmglb [4])
- Rückblick auf früher bearbeitete Projekte (Erfahrungsschatz, auch von Kollegen)
- Anwenden von Methoden der klassischen Getriebesynthese, siehe z.B. [3]
- Nachdenken und schrittweises Entwickeln einer Mechanismenstruktur mit Hilfe einer Kinematiksoftware [1]

In diesem Fall haben wir einen Lösungsansatz in der VDI-Richtlinie 2727, Blatt 4 gefunden, siehe Bild 9.

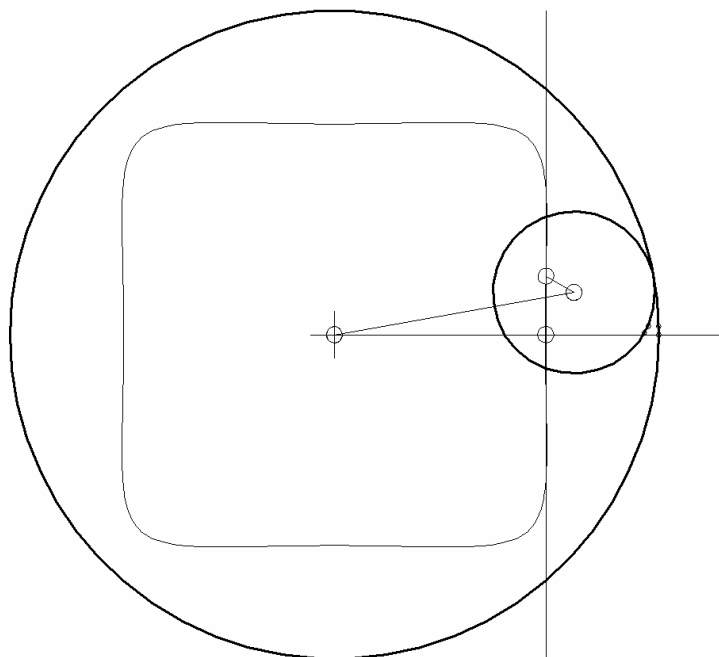


Bild 9: Zykloidengetriebe mit annähernd quadratischer Koppelkurve

Die annähernd senkrechten Teile der Zykloide sind gut für die Aufnahme und Abgabe der Produkte durch den Rechen geeignet.

4. Rechen mit Zykloidengetriebe

Bild 10 zeigt den Mechanismus, der aus dem Ansatz "Zykloidengetriebe" entstanden ist.

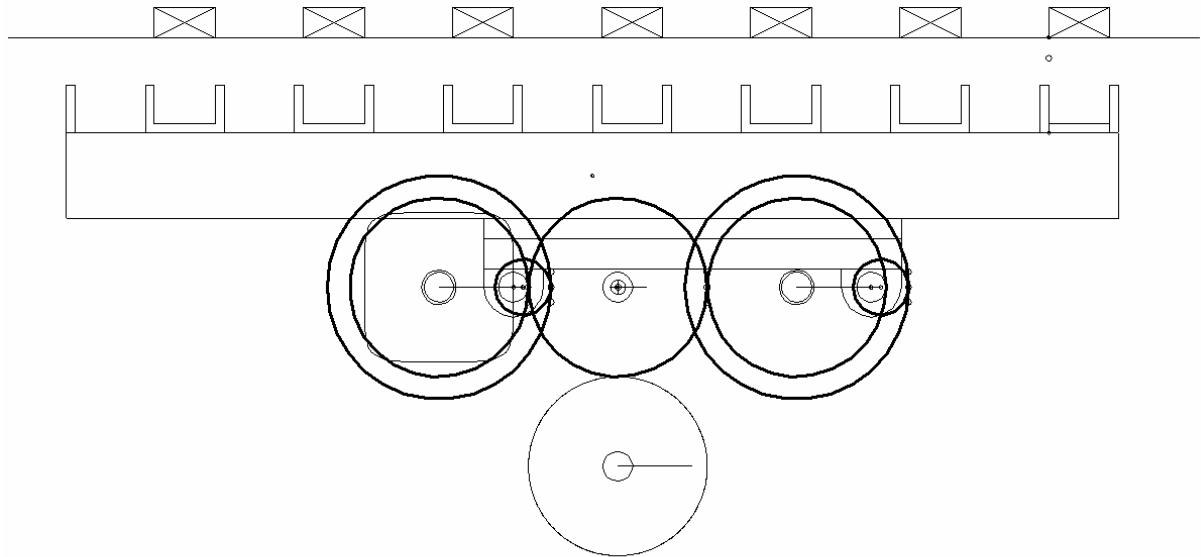


Bild 10: Rechen mit Zykloidengetriebe

Der Mechanismus ist wesentlich kompakter und hat weniger bewegte Teile und damit Massen als das Kurven-Koppelgetriebe. Die Verzahnungen lassen sich spielfrei ausführen, so daß Spielstöße weitgehend vermieden werden. Der dynamische Massenkraftausgleich ist vergleichsweise einfach dadurch zu erreichen, daß ein oder zwei zusätzliche Ritzel mit Punktmassen eingebracht werden, jeweils 180 Grad versetzt zu den für die Rechenbewegung arbeitenden Ritzeln.

Bild 11 zeigt die resultierende Horizontalbewegung am Rechen. Da keine Kurven beteiligt sind, sind die Beschleunigungsverläufe am Rechen kaum optimierbar. Sie weisen aber auch so eine weiche Charakteristik auf. Das Spektrum der Beschleunigung besteht durch die Beschränkung auf nur sehr wenige nennenswerte Harmonische.

In gewissem Rahmen können die Beschleunigungsverläufe am Rechen in Horizontal- und Vertikalrichtung durch Vorschalten eines Unrundräderpaars verbessert werden, siehe Bild 12. Auch die Verwendung eines Servoantriebs zur Erzeugung der Ungleichmäßigkeit kommt in Betracht, ist aber bei Taktzahlen von 800/min nicht mehr einfach umsetzbar.

VDI_2012_Rechen_Zykloidengetriebe_Diagramme (Eingriff x) n=800.00 Takte/min, T=75.0 ms

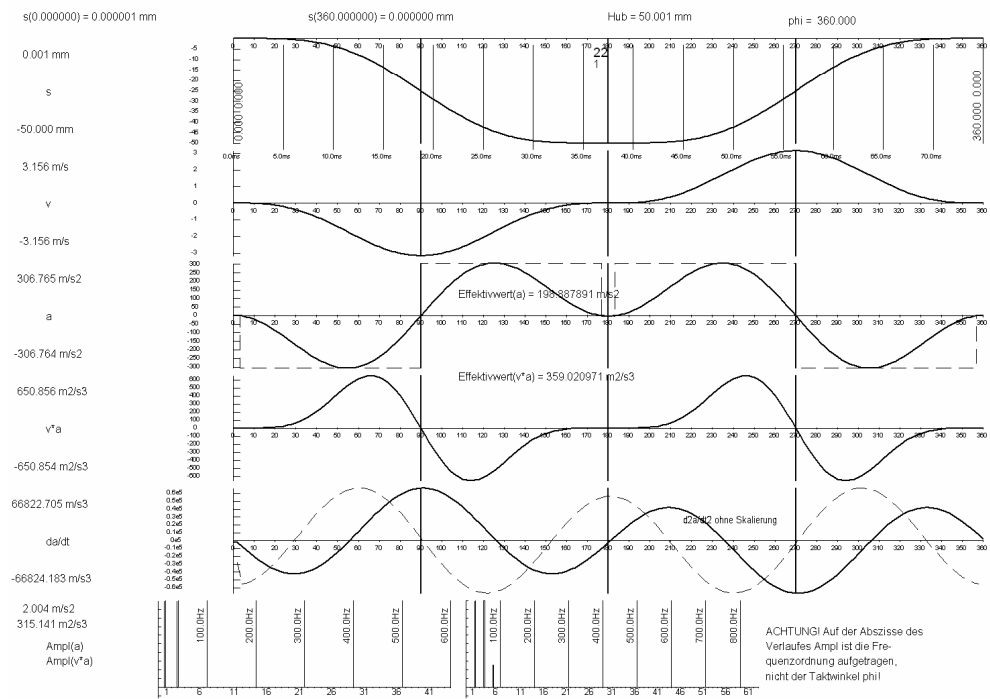


Bild 11: Horizontalbewegung am Rechen mit Zykloidengetriebe

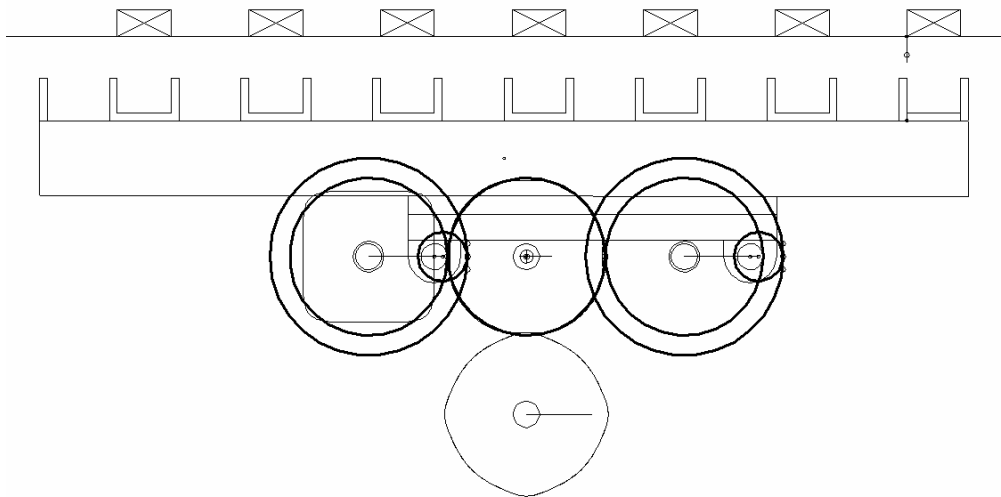


Bild 12: Vorschalten eines Unrundräderpaars

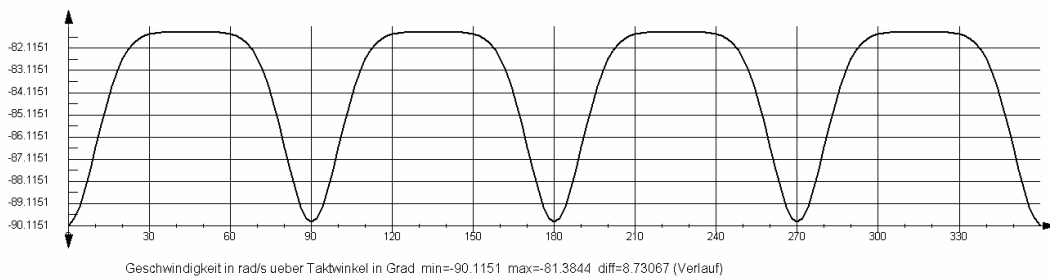


Bild 13: Geschwindigkeitsverlauf für den ungleichmäßigen Antriebs des Zykloidengetriebes

VDI_2012_Rechen_Zykloidengetriebe_ungleichmaessig_Diagramme (Eingriff.x) n=800.00 Takte/min, T=75.0 ms

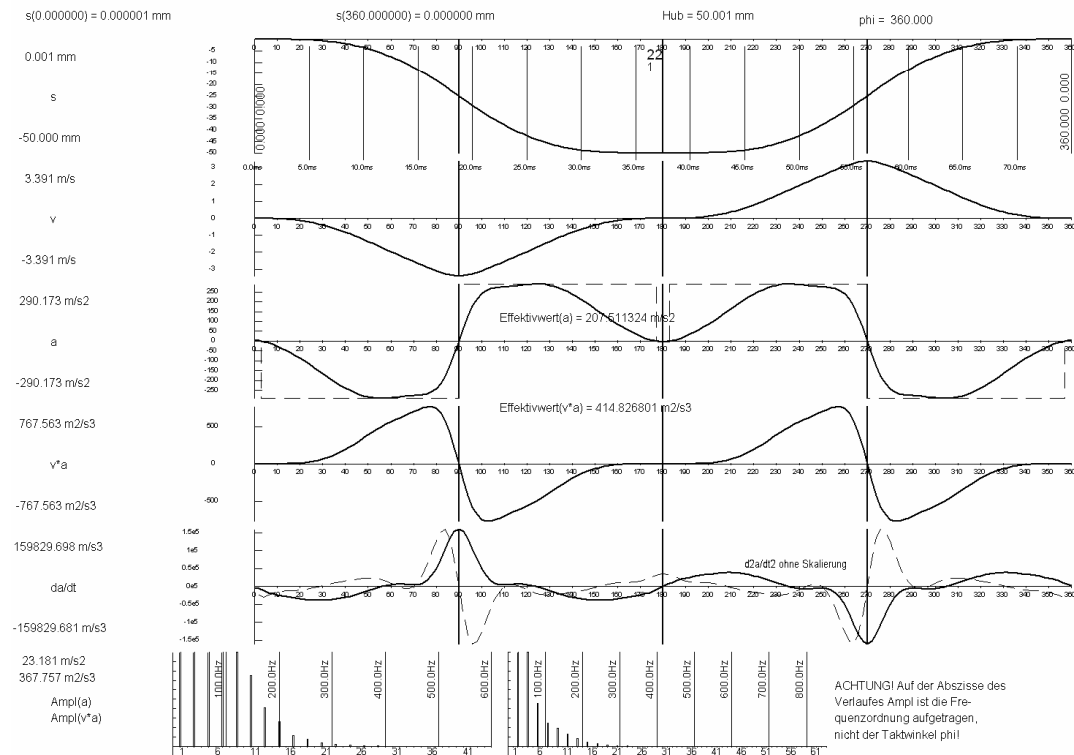


Bild 14: resultierende Horizontalbewegung am Rechen

Literatur

- [1] Dokumentation zur Mechanismensoftware OPTIMUS MOTUS (R)
- [2] VDI-Richtlinie 2727: „Lösung von Bewegungsaufgaben mit Getrieben“, Blatt 4
- [3] Volmer, J. (Hrsg.): "Getriebetechnik Koppelgetriebe". VEB Verlag Technik, 1979.
- [4] www.dmglib.org: "Digitale Mechanismen- und Getriebebibliothek"