

## Entwicklungsstand „Trioval-Rotor“-Kompressor

### 1 Ausgangssituation

Die Entwicklung begann mit der Entscheidung, als erstes Entwicklungsprojekt aus der Reihe der Rotationskolben-Prinzipien das Trioval-Konzept anzufassen, da bei diesem der Kompromiss aus konstruktivem Aufwand für ein voll arbeitsfähiges Funktionsmodell und realisierbarer Energieumsetzung am günstigsten erschien. Die konstruktiv-rechnerische Erfassung und Auslegung startete Anfang August 2004.

### 2 Konstruktive Auslegung des Trioval-Kompressors

Vereinbarungsgemäß wurde zunächst darauf verzichtet, Radialdichtelemente in Form von Dichtlippen oder –Leisten einzusetzen. Die hydraulische Dichtheit sollte einzig durch die Luftreibung im Dichtspalt zwischen Rotor und Gehäuse erzeugt werden.

Das zu realisieren bedeutete, sowohl Rotor als auch Gehäuse sehr präzise zu fertigen. Jede Form von mechanischer Überdeckung (Pressung) zwischen dem Rotor und dem Gehäuse musste ausgeschlossen werden.

Die Entscheidung zum Antrieb des Rotors fiel nach einer Vorstudie zunächst zugunsten einer elektromotorischen Lösung, bestehend aus zwei elektronisch gekoppelten Gleichstromschrittmotoren mit hohem Drehmoment. Die Drehzahlregelung sowie die Triggerung sollten über ein programmierbares Steuergerät erfolgen.

Nach weiteren Bewegungsstudien mit Mehrkörperdynamik-Software (Working Model 3D) und CAD-Optimierungen in Pro-Engineer konnte die Zahnlauf-Abwälz-Geometrie im Rotor vereinfacht werden, indem die Eckzahn-Brücken entfielen und durch An- und Ablauf-Zähne auf der jeweiligen Zahnleiste ersetzt wurden.

Ein LASER-ausgeschnittenes 2 ½ -D – Modell war bereits Anfang September 2004 fertiggestellt. Die grundsätzliche Rotationsbewegung des Rotors im Gehäuse konnte dargestellt werden. Deutlich wurde aber bereits, dass sehr hohe Präzision bei der Positionierung der Antriebswellen (Konzentrität und Parallelität) und der Oberflächengüte der Zahnräder und Zahnleisten gewährleistet werden musste.

#### 2.1 Realkonstruktion des 3D-Funktionmodells

Das auf der Basis der Erkenntnisse aus dem 2 ½ -D-Modell zu konstruierende 3D-Modell wurde so ausgelegt, dass sich günstige Laufeigenschaften des Rotors im Gehäuse einstellen konnten.

Das Gehäuse wurde aus Stahl (ST 42) sehr robust und schwer ausgelegt, um etwaige Schwingungen aus der Massenträgheit oder Unwuchten des Rotors kompensieren zu können.

Der Rotor wurde aus einer Al-Mg-Si-Legierung gefertigt (Präzisionsdraht-Erodieren), die Zahnleisten-Oberfläche wurde hart-anodisiert, um die Oberflächen verschleißarm halten zu können.

Zwischen die Elektromotoren und die Antriebswellen der Zahnräder wurden einstellbare Kupplungen konstruiert, die Längen- und leichten Achsversatz auszugleichen in der Lage sind.

Für die Ein- und Auslassventile wurden die Öffnungen im Gehäuse vorgesehen, die Ventile und Ventilsitzringe wurden in die Grundplatte eingebracht. In Ausnutzung maximaler Standardisierung wurden sowohl für die Ventile Einlass-Kopfstücke (X45CrSi 9.3) als auch für die Sitzringe (CroMo 12FS) die Originalteile aus dem AUDI-Motor 827 /5V verwendet. Damit ist die tribologische Kompatibilität der Ventiltriebs-Teile mit großen Reserven gewährleistet. Für die nachfolgenden Modellarbeiten werden die Ventile allerdings radial platziert, d.h. Montagebestandteil des Rotor-Gehäuses sein.

Nach Abschluss aller Konstruktionsarbeiten wurden die Einzelteile jeweils in zwei Ausführungen hergestellt, vermessen, justiert und montiert.

Die Präzision von Rotor und Gehäuse wurde so weit getrieben, dass beide Teile mit einer Toleranz der Laufflächen von  $\pm 0,02\text{mm}$  zueinander passen.

Zusätzlich wurde die Lauffläche im Gehäuse nachträglich mit Polierkorund behandelt, so dass sich eine Oberflächenrauigkeit von  $< 6\mu\text{m}$  einstellte.

### **3 Gegenwärtiger Entwicklungsstand, Ende Dezember 2004**

Das 3D-Funktionsmodell konnte zum Laufen gebracht werden (siehe Video), es zeigte sich aber, dass folgende Entwicklungsansätze überarbeitet werden müssen, um einen reibungsfreien Dauerlauf mit ausreichenden Gleichförmigkeitsgrad gewährleisten zu können:

- Die Kupplungen sind zu schwach ausgelegt und haben nach kurzer Einlaufzeit wegen mangelnder Robustheit die Momentübertragbarkeit verloren (Rutschen kann nicht mehr verhindert werden, Rotor kann nicht am gleichförmigen Laufen gehalten werden).
- Die Kupplungen müssen deutlich stabiler ausgelegt werden, Achs- und Winkelversatz zwischen den Motorabtriebswellen und den Zahnradwellen muss justierbar ausgeglichen werden könnten. (nur für die gegenwärtige Modell-Phase), für die Motoren ist eine abnehmbare Zwischenplattform konstruktiv auszulegen, die Motorwellen sind mit je einem zusätzlichen Handrad auszustatten, um Justagevorgänge einfacher vornehmen zu können)
- Der Radialspalt zwischen Rotor und Gehäuse muss vergrößert werden auf mind. 0,1mm sodass Parallelitäts- und Konzentritätsabweichungen der beiden Zahnräder nicht zu Interferenzen zwischen Rotor und Gehäuse führen.
- Zur Einstellung der Kammerdichtheit sind offenbar doch Dichtleisten jeweils über und unter den Antriebswellen in das Gehäuse einzupassen
- Die Lage der Ein- und Auslassventile muss aus der axialen Position im Gehäuseboden in eine radiale Position im Gehäuse verlegt werden, dabei ist zu überprüfen, ob durch die Rotorüberdeckung nicht komplett auf die Einlassventile verzichtet werden kann. Wobei der Rotor als Steuerelement selbst dienen würde.

#### 4 Ausblick

Der erreichte Entwicklungsstand nach nur 4 Monaten Arbeit ist ermutigend. Der grundsätzliche Nachweis der Funktionsfähigkeit des Prinzips wurde sowohl am 2 ½ D-Modell als auch am 3D-Voll-Modell erbracht. Alle für die Modellpräzisierung erforderlichen Elemente sind erkannt und konstruktiv umsetzbar. Die Detail-Überarbeitungen, wie im Pkt. 3 beschrieben, können ab Januar 2005 begonnen und in Hardware dargestellt werden, sodass ab Februar 2005 am optimierten Modell erste Funktionsstudien über die isotropen Zustandsänderungen (Fördervolumen /Druckerhöhung über dem Arbeitsspiel, drehzahlabhängiges Betriebsverhalten, Wirkungsgradbetrachtungen), des real ausgeführten Kompressors begonnen werden können. Das programmierbare elektronische Steuergerät lässt dabei prinzipiell eine stufenlose Drehzahlregelung zwischen 0 und 3000 U/min zu. Parallel dazu wird das elektromotorische Antriebskonzept ab Januar 2005 durch ein alternatives Planeten-Getriebe-Antriebskonzept ergänzt, das größere Robustheit des Antriebs verspricht und letztendlich kostengünstiger und ausfallsicherer erscheint.

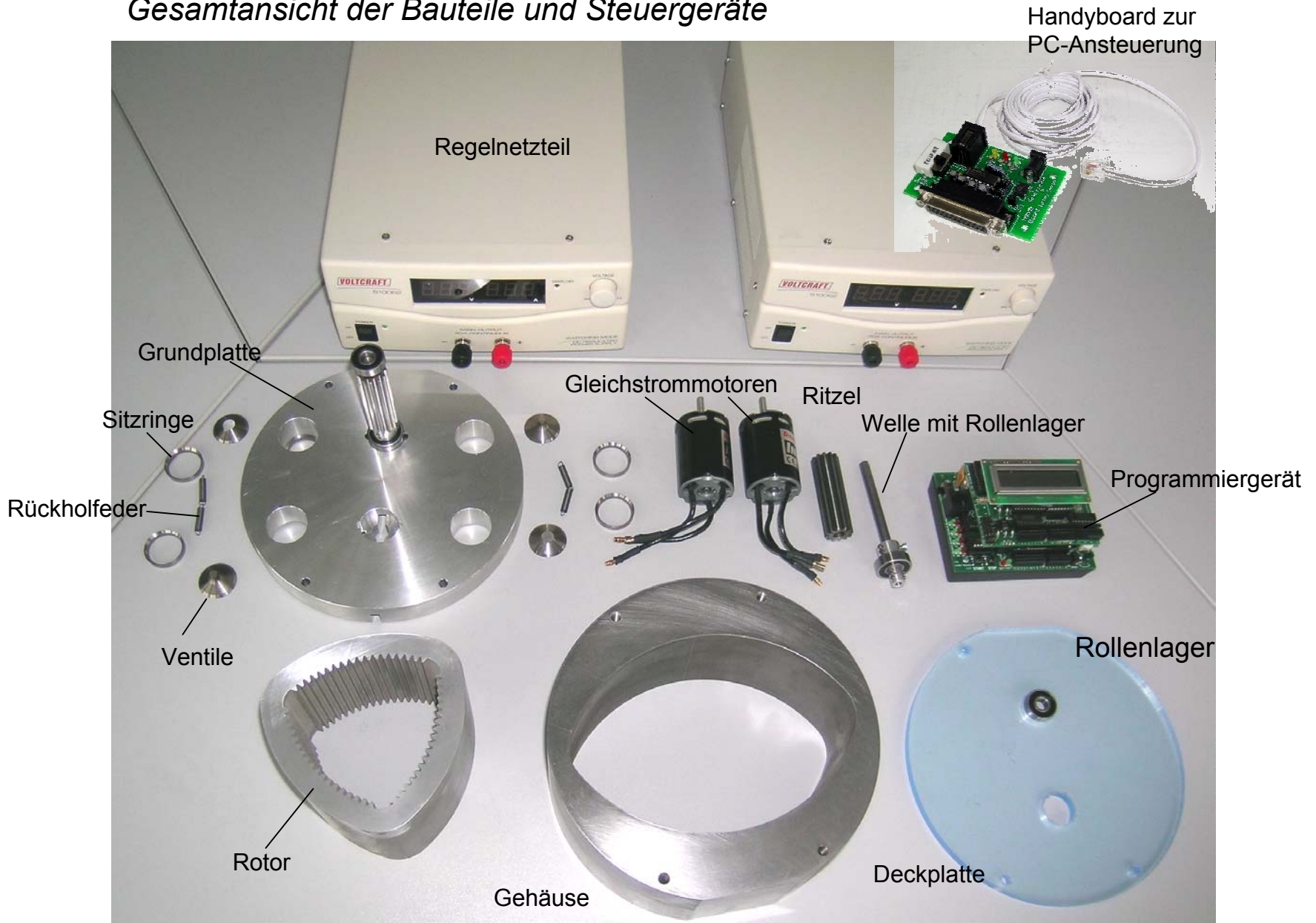


Dr. Ing. Hans-G. Lüdecke

Product Engineering

Nordhausen, den 22. Dezember 2004

## Gesamtansicht der Bauteile und Steuergeräte



# Trioval-Kompressor, Entwicklungsstand Dezember 2004

---

Zusammenbau Rückansicht



Zusammenbau Rückansicht, Sicht auf eingebaute Ventile



# Trioval-Kompressor, Entwicklungsstand Dezember 2004

Ansaugtaschen Einlassventile



Grundplatte Rückansicht, Ein Motor montiert



Grundplatte mit einer  
on zwei Ritzelwellen montiert



Ritzel mit Welle und Rollenlager montiert

Rotor, ohne Eckzahnbrücken,  
Aber mit An- und Ablaufzähnen



Gehäuse mit einem Ritzel und Rotor vormontiert

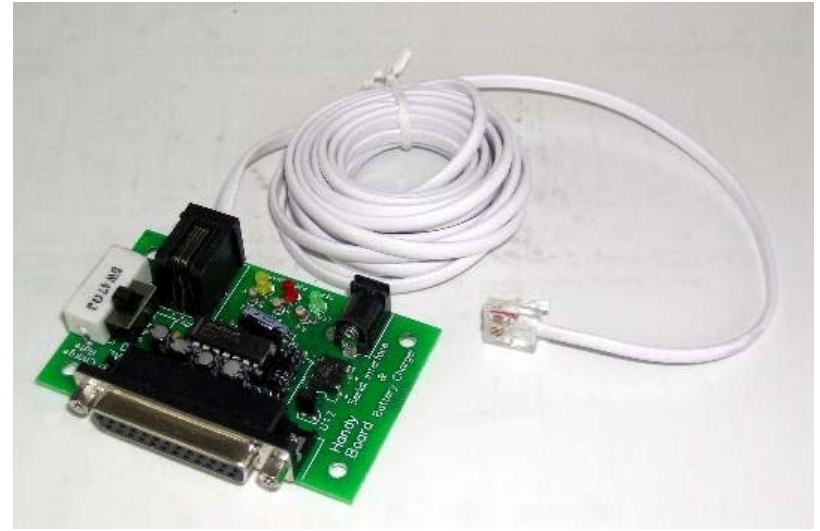


Deckplatte mit Rollenlagern





Steuer- und Programmiergerät  
D-RAM Baustein und alpha-numerischem Display



Handy-Board mit PC-Interface