

Tunnelvortriebsmaschine

Die Erfindung betrifft eine Tunnelvortriebsmaschine
5 mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Eine derartige Tunnelvortriebsmaschine ist aus DE 20
2020 104 813 U1 bekannt. Diese vorbekannte
Tunnelvortriebsmaschine verfügt über eine
10 Antriebswelle, die zum Drehen eines Schneidrads
eingerichtet ist. Weiterhin ist eine
Dichtungsanordnung vorhanden, die zum Abdichten eines
um die Antriebswelle zwischen stehenden Komponenten
und sich drehenden Komponenten ausgebildeten
15 Ringspalts eingerichtet ist. Die Dichtungsanordnung
weist eine Anzahl von Dichtungsringen sowie zwischen
den Dichtungsringen angeordnete Kammerungsringe auf.
Weiterhin sind eine zum Zuführen von Schmiermitteln
eingerichtete Fluidversorgungsanordnung und eine
20 Anzahl von zwischen benachbarten Dichtungsringen
ausgebildeten Aufnahmekammern vorhanden, die eine in
einer Vortriebsrichtung vorderseitig liegende erste
Binnenkammer und eine in einer Vortriebsrichtung
rückseitig der ersten Binnenkammer liegende zweite
25 Binnenkammer umfassen, die mit Schmiermitteln
beaufschlagbar sind.

Aus EP 3 854 990 A1 ist eine kaskadenartige
Dichtungsanordnung ähnlich wie in der vorgenannten DE
30 20 2020 104 813 U1 bekannt, bei der gegenüber einem
Stützdruck eine Drucküberhöhung im Innenbereich
vorgesehen ist.

Aus CN 107 401 678 A ist ebenfalls eine kaskadenartige
35 Dichtungsanordnung für eine Tunnelvortriebsmaschine

ähnlich wie in der vorgenannten DE 20 2020 104 813 U1 bekannt, die für hohe Stützdrücke vorgesehen und bei der eine Druckausgleichskammer vorgesehen ist.

5 Aus DE 10 2009 014 214 A1 ist eine Dichtungseinrichtung für eine Drehdurchführung zum Abdichten eines Vakuums gegen Atmosphärendruck bekannt, die eine Zwischenkammer mit einem Zwischenvakuum aufweist.

10 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Tunnelvortriebsmaschine der eingangs genannten Art anzugeben, die sich durch eine ressourcenschonend arbeitende Dichtungsanordnung mit einem
15 verhältnismäßig geringen Verschleiß auszeichnet und die zudem auch aus Gründen des Umweltschutzes eine Konditionierung von Medien in Vortriebsrichtung in dem vor der Dichtungsanordnung liegenden Bereich im Normalbetrieb im Wesentlichen unbeeinflusst lässt.

20 Diese Aufgabe wird bei einer Tunnelvortriebsmaschine der eingangs genannten Art erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

25 Dadurch, dass bei einer Tunnelvortriebsmaschine gemäß der Erfindung im Bereich der ersten Binnenkammer ein Zwischendruck vorliegt, der zwischen dem Druck des in Vortriebsrichtung vor der ersten Binnenkammer liegenden Bereichs und dem Druck in der zweiten
30 Binnenkammer liegt, verbleibt in der ersten Binnenkammer vorhandenes Schmiermittel im Wesentlichen verlustfrei in der ersten Binnenkammer, so dass sich im Normalbetrieb eine weitgehend ressourcen- sowie umweltschonende Schmierung ergibt und ein bei
35 herkömmlichen Tunnelvortriebsmaschinen

betriebsnotwendiger Austritt von Schmiermittel aus der ersten Binnenkammer in den üblicherweise mit Zuschlägen einer anderen Stoffklasse konditionierten Bereich in Vortriebsrichtung vorderseitig der ersten Binnenkammer zum Verbessern des Umweltschutzes unterbleibt.

Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung mit Bezug auf die Figuren der Zeichnung.

Es zeigen:

Fig. 1 in einer perspektivischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Tunnelvortriebsmaschine gemäß der Erfindung im abbauseitigen vorderen Bereich mit Blick auf ein Schneidrad,

Fig. 2 in einer perspektivischen Darstellung entsprechend Fig. 1 das Ausführungsbeispiel der Tunnelvortriebsmaschine mit entfernten Schneidrad und Blick auf eine Drehantriebsanordnung der Tunnelvortriebsmaschine, die von einer beispielhaften Dichtungsanordnung abgedichtet ist, die einen radial außenseitig angeordneten ersten Dichtungsbereich und einen radial innenseitig angeordneten zweiten Dichtungsbereich aufweist,

- Fig. 3 in einer Schnittansicht ein
Ausführungsbeispiel des ersten
Dichtungsbereichs der Dichtungsanordnung
gemäß Fig. 2 für die Drehantriebsanordnung,
5
- Fig. 4 in einer geschnittenen Stirnansicht einen
Ausschnitt aus den Dichtungsbereichen der
Dichtungsanordnung gemäß Fig. 2,
- 10 Fig. 5 in einer perspektivischen Ansicht einen
Teilabschnitt eines Kammerungsringes der
Dichtungsanordnung gemäß Fig. 3,
- Fig. 6 in einer perspektivischen, gegenüber der
15 Darstellung gemäß Fig. 5 vergrößerten
Teilabschnitt eines Kammerungsringes
beidseitig einer Nutbegrenzung,
- Fig. 7 in einer Schnittansicht ein
20 Ausführungsbeispiel des zweiten
Dichtungsbereichs der Dichtungsanordnung
gemäß Fig. 2,
- Fig. 8 in einem schematischen hydraulischen
25 Schaltbild eine Ausführung einer
Fluidversorgungsanordnung,
- Fig. 9 in einer schematischen Ansicht eine
beispielhafte Dichtungsanordnung mit einem
30 beispielhaften ersten Druckverlauf,
- Fig. 10 in einer schematischen Ansicht die
beispielhafte Dichtungsanordnung gemäß Fig. 9
mit einem beispielhaften zweiten Druckverlauf
35 und

Fig. 11 in einer schematischen Ansicht die
beispielhafte Dichtungsanordnung gemäß Fig. 9
mit einem beispielhaften dritten
5 Druckverlauf.

Fig. 1 zeigt in einer perspektivischen Ansicht ein
Ausführungsbeispiel einer zum Vortreiben eines Tunnels
eingerichtete Tunnelvortriebsmaschine im Bereich eines
10 Vortriebskopfes 103. Der Vortriebskopf 103 ist mit
einem in Umfangsrichtung geschlossenen Schildmantel
106 und mit einem Schneidrad 109 ausgebildet, das in
einer Vortriebsrichtung den Schildmantel 106
stirnseitig zu einer Ortsbrust mit einem Abbaubereich
15 112 abschließt und in der Darstellung gemäß Fig. 1 dem
Betrachter zugewandt ist. Das Schneidrad 109 ist in an
sich üblicher Art und Weise mit einer Anzahl von im
Detail nicht weiter erläuterten Abbauwerkzeugen
bestückt und drehbar.

20 Fig. 2 zeigt in einer perspektivischen Ansicht
entsprechend der Ansicht gemäß Fig. 1 den
Vortriebskopf 103 mit Blick auf eine in
Vortriebsrichtung rückseitig des in Fig. 2 nicht
25 dargestellten Schneidrads 109 liegende Tauchwand 203.
Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass die Tauchwand 203
eine ringsegmentartige Grundform mit einem radial
innenliegenden Durchbruchsbereich aufweist, in dem
eine als Hohlwelle ausgebildete Antriebswelle 206
30 angeordnet ist. Die Antriebswelle 206 ist im Betrieb
der Tunnelvortriebsmaschine jeweils drehfest mit dem
in Fig. 2 nicht dargestellten Schneidrad 109 und mit
einer in Vortriebsrichtung rückseitig der Tauchwand
203 angeordneten Drehantriebsanordnung 209 in
35 Eingriff, die dazu eingerichtet ist, das Schneidrad

109 zum Drehen in zweckmäßigerweise zwei Drehrichtungen anzutreiben.

5 Zum Abdichten der Antriebswelle 206 im Durchtrittsbereich durch die Tauchwand 203 verfügt das erläuterte Ausführungsbeispiel über eine Dichtungsanordnung 212, die einen radial außenseitig angeordneten ersten Dichtungsbereich 215 und einen radial innenseitig angeordneten zweiten
10 Dichtungsbereich 218 aufweist.

Fig. 3 zeigt in einer Schnittansicht in einer sich in axialer Richtung erstreckenden Schnittebene den ersten Dichtungsbereich 215 der Dichtungsanordnung 212 gemäß
15 Fig. 2.

Die Dichtungsanordnung 212 verfügt in dem ersten Dichtungsbereich 215 über eine Kopfdichtung 303, die in Vortriebsrichtung vorderseitig angeordnet ist und
20 eine Kopfkammer 306 begrenzt, die zweckmäßigerweise labyrinthartig ausgebildet ist und sich in Richtung des Schneidrads 109 und damit in den Abbaubereich 112 erstreckt. Die Kopfkammer 306 ist radial innenseitig von einem Dichtungsauflagering 309 und stirnseitig von
25 einem Abschlussring 312 begrenzt. Die Kopfdichtung 303 wiederum ist zwischen dem Dichtungsauflagering 309 und einem Abdeckring 315 angeordnet. Die Kopfkammer 306 steht über in dem Abschlussring 312 und in dem Abdeckring 315 ausgebildete Endabschnitte 318 mit
30 einer Zuführleitung 321 einer Zuführleitungsanordnung 324 fluidmechanisch in Verbindung. Über die in die Kopfkammer 306 mündende Zuführleitung 321 ist ein Konditioniermittel einspeisbar, das dazu eingerichtet ist, den Bereich in Vortriebsrichtung vor der
35 Dichtungsanordnung 212 zu konditionieren. Die

Kopfdichtung 303 ist auf der in Vortriebsrichtung vorderen Seite durch einen Fixierabschnitt 327 des Abschlusssrings 312 gehalten.

5 Auf der in Vortriebsrichtung rückseitigen Seite der Kopfdichtung 303 ist ein erster Kammerungsring 330 angeordnet, der zwischen dem Dichtungsauflagering 309 und einem in radialer Richtung außenseitig des Dichtungsauflagerings 309 unter Ausbilden eines
10 Ringspalts 333 angeordneten Dichtungsträger 336 als stehende Komponente angeordnet ist.

Auf der in Vortriebsrichtung rückseitigen Seite des ersten Kammerungsrings 330 ist eine erste
15 Binnendichtung 339 angeordnet, die von dem ersten Kammerungsring 330 auf ihrer in Vortriebsrichtung vorderseitigen Seite und durch einen zweiten Kammerungsring 342 auf ihrer in Vortriebsrichtung rückseitigen Seite gehalten ist. Auch der zweite
20 Kammerungsring 342 liegt zwischen dem Dichtungsauflagering 309 und dem Dichtungsträger 336.

Auf der in Vortriebsrichtung rückseitig gelegenen Seite des zweiten Kammerungsrings 342 ist eine zweite
25 Binnendichtung 345 positioniert, neben der wiederum auf ihrer in Vortriebsrichtung rückseitig gelegenen Seite ein dritter Kammerungsring 348 angeordnet ist.

Schließlich ist bei dem in Fig. 3 dargestellten
30 Ausführungsbeispiel auf der in Vortriebsrichtung rückseitig des dritten Kammerungsrings 348 gelegenen Seite eine Abschlusssichtung 351 angeordnet, die in Vortriebsrichtung rückseitig durch einen an dem Dichtungsträger 336 anliegenden Fixierabschnitt 354
35 gehalten ist.

Wie aus der Darstellung gemäß Fig. 3 ersichtlich ist, sind die Kopfdichtung 303, die Binnendichtungen 339, 345 und die Abschlussdichtung 351 jeweils mit einem
5 blockartigen Grundkörper 357, der radial außenseitig positioniert ist, und mit einer Dichtlippe 360 ausgebildet, die über einen Gelenkabschnitt mit einer verhältnismäßig geringen Materialstärke schwenkbar an dem jeweiligen Grundkörper 357 angebracht ist und mit
10 einer bestimmten Vorspannung auf dem Dichtungsauflagering 309 aufliegt. Die Dichtlippen 360 der Kopfdichtung 303 und der Binnendichtungen 339, 345 sind dabei so ausgerichtet, dass sie in Richtung des Abschlussrings 312 weisen, während die Dichtlippe 360
15 der Abschlussdichtung 351 von dem Abschlussring 312 wegweisend und zu dem Fixierabschnitt 354 hinweisend ausgerichtet ist.

Weiterhin lässt sich der Darstellung gemäß Fig. 3
20 entnehmen, dass die Kammerungsringe 330, 342, 348 jeweils mit einer radial außenseitig liegenden Ringnut 363 ausgebildet sind, die in Richtung des Dichtungsträgers 336 geöffnet ist und in die Endabschnitte 318 von Zuführleitungen 321 der
25 Zuführleitungsanordnung 324 zum bedarfsweisen Zuführen von Schmiermitteln oder Druckluft münden. In die Ringnuten 363 wiederum münden in Umfangsrichtung verteilt angeordnete Durchlassausnehmungen 366, die eine Fluidverbindung zwischen den Ringnuten 363 und
30 dem Ringspalt 333 schaffen.

Somit sind als Aufnahmekammern zwischen der Kopfdichtung 303 sowie der ersten Binnendichtung 339 eine erste Binnenkammer 369 und zwischen der ersten
35 Binnendichtung 339 sowie der zweiten Binnendichtung

345 eine zweite Binnenkammer 372 ausgebildet, während zwischen der zweiten Binnendichtung 345 und der Abschlussdichtung 351 eine Abschlussskammer 375 als weitere Aufnahmekammer ausgebildet ist.

5

Im Abbaubetrieb herrscht in der Kopfkammer 306, die mit dem Abbaubereich 112 in Verbindung steht, ein Druck, der gegenüber dem in dem Abbaubereich 112 herrschenden Stützdruck wenigstens geringfügig höher ist, wobei der Stützdruck bei einem druckgestützten Abbaubetrieb einem Vielfachen des Atmosphärendrucks entspricht.

10

Der auf der der Abschlussskammer 375 gegenüberliegenden Seite der Abschlussdichtung 351 liegende Bereich steht im Normalbetrieb, von einer Rollendrehverbindung 378 begrenzt, über eine Verbindungsleitung 381, die sich abschnittsweise zwischen dem Dichtungsauflagering 309 und der Rollendrehverbindung 378 erstreckt, auf ihrer in Vortriebsrichtung rückseitig gelegenen Seite mit einem in einem Getriebegehäuse herrschenden Druck, beispielsweise Atmosphärendruck, in Verbindung.

15

20

Weiterhin lässt sich der Darstellung gemäß Fig. 3 entnehmen, dass radial innenseitig des Dichtungsauflagerings 309 ein Flanschring 384 angeordnet ist, der drehfest mit der in Fig. 3 nicht dargestellten Antriebswelle 206 in Verbindung steht. An dem Abschlussring 312 ist auf seiner in Vortriebsrichtung vorderseitig gelegenen Seite ein Labyrinthblech 387 durch eine Schraubverbindung lösbar angebracht.

25

30

Bei dem ersten Dichtungsbereich 215 sind der Dichtungsauflagering 309, ein Innenring der

35

- Rollendrehverbindung 378 und der Flanschring 384 laufende Bauteile, während die Kopfdichtung 303, der Abschlussring 312, der Abdeckring 315, der erste Kammerungsring 330, der Dichtungsträger 336, die erste Binnendichtung 339, der zweite Kammerungsring 342, die zweite Binnendichtung 345, der dritte Kammerungsring 348, die Abschlusssdichtung 351, ein Außenring der Rollendrehverbindung 378 und das Labyrinthblech 387 stehende Bauteile sind.
- Es versteht sich, dass bei Abwandlungen des voranstehend erläuterten Ausführungsbeispiels insbesondere im Fall eines Vortriebs mit sehr hohen Stützdrücken über die beiden vorgenannten Binnenkammern 368, 372 hinaus wenigstens eine weitere Binnenkammer vorhanden ist, um einen Druckabbau in wenigstens drei oder mehr Binnenkammern einschließlich Vorsehen einer Redundanz zu erreichen.
- Fig. 4 zeigt in einer Schnittansicht im Bereich der ersten Binnenkammer 369 einen Ausschnitt der Dichtungsanordnung 212 im ersten Dichtungsbereich 215. Der Darstellung gemäß Fig. 4 lässt sich entnehmen, dass die Durchlassausnehmungen 366 in einem regelmäßigen Abstand über den Umfang des ersten Kammerungsrings 330 verteilt angeordnet sind. In dem in Fig. 4 dargestellten, in Bezug auf die Schwerkraft oben liegenden Scheitelbereich ist in dessen Zenit eine Zenitnutbegrenzung 403 und beidseitig der Zenitnutbegrenzung 403 jeweils eine Randnutbegrenzung 406 angeordnet, die die Ringnut 363 in Umfangsrichtung als Strömungsbremse begrenzen und zweckmäßigerweise bis zu einem bestimmten Grad gegen den Dichtungsträger 336 auch abdichten. Dadurch ist sichergestellt, dass bei beiden Drehrichtungen des Schneidrads 109 über die

Endabschnitte 318 der Zuführleitungen 321 eintretendes
Schmiermittel im Scheitelbereich gehalten ist und im
Wesentlichen vollständig durch die
Durchlassausnehmungen 366 zum Erzeugen einer
5 verlässlichen Schmierung im Scheitelbereich
durchtritt.

Die Bereiche um den in Fig. 4 nicht sichtbaren zweiten
Kammerungsring 342 und um den in Fig. 4 ebenfalls
10 nicht sichtbaren dritten Kammerungsring 348 sind
entsprechend aufgebaut.

Fig. 5 zeigt in einer abschnittsweisen
perspektivischen Darstellung den Aufbau des ersten
15 Kammerungsringes 330, wobei der zweite Kammerungsring
342 und der dritte Kammerungsring 348 entsprechend
aufgebaut sind. Der Darstellung gemäß Fig. 5 lässt
sich entnehmen, dass zwischen der Zenitnutbegrenzung
403 und jeder Randnutbegrenzung 406 eine Anzahl von
20 Durchlassausnehmungen 366 ausgebildet sind. Auf der
von der Zenitnutbegrenzung 403 wegweisenden Seite
jeder Randnutbegrenzung 406 sind weitere
Durchlassausnehmungen 366 in dem ersten Kammerungsring
330 ausgebildet, um eine Zufuhr von Schmiermitteln
25 auch außerhalb des in Fig. 5 dargestellten
Zenitbereichs sicherzustellen.

Fig. 6 zeigt in einer perspektivischen Ansicht
entsprechend Fig. 5 vergrößert den Bereich um eine als
30 Strömungsbremse wirkende Nutbegrenzung, beispielsweise
der Zenitnutbegrenzung 403. Der Darstellung gemäß Fig.
6 lässt sich entnehmen, dass die Zenitnutbegrenzung
403, wie entsprechend die Randnutbegrenzungen 406,
durch einen die Ringnut 363 querenden und radial
35 außenseitig mit der Ringnut 363 abschließenden

Nutstein 603 gebildet ist, der über eine Nutsteinbefestigungsschraube 606 mit dem ersten Kammerungsring 330 lösbar fest verbunden ist.

- 5 Bei einer nicht dargestellten Abwandlung sind die Zenitnutbegrenzung 403 und die Randnutbegrenzungen 406 durch einstückig mit dem jeweiligen Kammerungsring 330, 342, 348 ausgebildete Querstücke gebildet.
- 10 Fig. 7 zeigt in einer Schnittansicht entsprechend der Darstellung gemäß Fig. 3 die Dichtungsanordnung 212 im zweiten Dichtungsbereich 218. Der Darstellung gemäß Fig. 7 lässt sich entnehmen, dass die Dichtungsanordnung 212 im zweiten Dichtungsbereich 218
- 15 in ihren wesentlichen Komponenten entsprechend dem voranstehend erläuterten ersten Dichtungsbereich 215 aufgebaut ist, wobei zum Vermeiden von Wiederholungen in den beiden Dichtungsbereichen 215, 218 funktional einander entsprechende Komponenten mit den gleichen
- 20 Bezugszeichen versehen und zum Vermeiden von Wiederholungen nachfolgend zum Teil nicht nochmals im Detail erläutert sind. Ein Unterschied zwischen den in dem ersten Dichtungsbereich 215 verbauten Kammerungsringen 330, 342, 348 und den in dem zweiten
- 25 Dichtungsbereich 218 verbauten Kammerungsringen 330, 342, 348 besteht im Regelfall darin, dass die in dem zweiten Dichtungsbereich 218 verbauten Kammerungsringe 330, 342, 348 frei von Durchlassausnehmungen 366 und damit in Umfangsrichtung im Mittenbereich massiv und
- 30 unterbrechungsfrei ausgebildet sind.

- Weiterhin ist in dem zweiten Dichtungsbereich 218 der Dichtungsauflagering 309 als stehende Komponente ausgebildet, während der Flanschring 384 eine sich
- 35 drehende Komponente ist.

Die Zufuhr von Schmiermitteln für die Binnenkammern 369, 372 erfolgt über in dem Dichtungsauflagering 309 ausgebildete Endabschnitte 318 von Zuführleitungen 321 der Zuführleitungsanordnung 324, die sich
5 beispielsweise auch durch ein radial innenseitig des Dichtungsauflagerings 309 angeordnetes Getriebegehäuse 703 erstrecken. Im Bereich der Endabschnitte 318 der Zuführleitungen 321 sind als Strömungsbremsen
10 Separatoren 706 angeordnet. Dadurch ist eine zuverlässige Zufuhr von Schmiermitteln im Scheitelbereich des zweiten Dichtungsbereichs 218 sichergestellt.

15 Bei dem zweiten Dichtungsbereich 218 sind die Kopfdichtung 303, der Abschlussring 312, der erste Kammerungsring 330, die erste Binnendichtung 339, der zweite Kammerungsring 342, die zweite Binnendichtung 345, der dritte Kammerungsring 348, die
20 Abschlusssichtung 351, ein Innenring der Rollendrehverbindung 378 und der Flanschring 384 laufende Bauteile, während der Dichtungsauflagering 309, ein Außenring der Rollendrehverbindung 378 und das Getriebegehäuse 703 stehende Bauteile sind.

25 Fig. 8 zeigt in einem schematischen Schaltbild eine Ausführung einer Fluidversorgungsanordnung 803, die insbesondere dazu eingerichtet ist, wie weiter unten näher erläutert Schmiermittel oder Druckluft in die
30 ersten Binnenkammern 369 und in die zweiten Binnenkammern 372 einzuspeisen, wobei sich die nachfolgenden Erläuterungen exemplarisch auf die Verhältnisse bei einem der Dichtungsbereiche 215, 218 beziehen, die sich bei beiden Dichtungsbereichen 215,
35 218 gleichermaßen verhalten.

Die Fluidversorgungsanordnung 803 verfügt über einen ersten Niveauausgleichsbehälter 806, der über eine Fluideingangsleitung 809 mit dem Zenitbereich der ersten Binnenkammer 369 und über eine

5 Fluidausgangsleitung 812 sumpfseitig mit der ersten Binnenkammer 369 in Verbindung steht.

Zweckmäßigerweise ist der Füllstand des ersten Niveauausgleichsbehälters 806 mit zwei in Fig. 8 für

10 eine bessere Übersichtlichkeit nicht dargestellten Füllstandsensoren ausgestattet, die dazu eingerichtet sind, bei Überschreiten eines Maximalfüllstands oder bei Unterschreiten eines Minimalfüllstands in dem ersten Niveauausgleichsbehälter 806 ein Warnsignal

15 auszugeben. Weiterhin verfügt die Fluidversorgungsanordnung 803 über eine Umwälzpumpe 815, die über eine geschlossene Umwälzleitung 818 eingangsseitig mit dem Sumpfbereich der ersten Binnenkammer 369 und ausgangsseitig mit dem

20 Zenitbereich der ersten Binnenkammer 369 in Verbindung steht. Die mit der ersten Binnenkammer 369 zusammenwirkende Umwälzpumpe 815 ist dazu eingerichtet, in die erste Binnenkammer 369 eingespeistes Schmiermittel umzuwälzen, um

25 insbesondere bei großen Durchmessern eine zuverlässige Schmierung im Zenitbereich unabhängig von den jeweiligen Druckverhältnissen in den Binnenkammern 369, 372 und in der Abschlusskammer 375 sowohl im ersten Dichtungsbereich 215 als auch im zweiten

30 Dichtungsbereich 218 sicherzustellen.

Weiterhin ist die Fluidversorgungsanordnung 803 mit einem Druckluftreservoir 821 ausgestattet, das zum Aufrechterhalten eines vorbestimmten Druckes

35 eingerichtet und das über eine pneumatische Drossel

824.1 sowie über ein schaltbares Sitzventil 827.1 mit dem ersten Niveauausgleichsbehälter 806 verbunden ist. Somit ist der erste Niveauausgleichsbehälter 806 in einer geöffneten Stellung des mit ihm verbundenen Sitzventils 827.1 mit aus dem ersten Druckluftreservoir 821 stammenden Druck, nämlich einem gegenüber Atmosphärendruck höheren Druck als Überdruck, beaufschlagbar, so dass die erste Binnenkammer 369 über die Fluideingangsleitung 809 wahlweise mit Schmiermittel oder mit Druckluft beaufschlagbar ist.

Weiterhin ist an den ersten Niveauausgleichsbehälter 806 über eine weitere Drossel 824.2 und über ein weiteres schaltbares Sitzventil 827.2 eine Unterdruckleitung 830 angeschlossen, die mit der Eingangsseite einer Unterdruckpumpe 833 der Fluidversorgungsanordnung 803 verbunden ist. Die Unterdruckpumpe 833 ist, wie weiter unten näher erläutert, dazu eingerichtet, bei geöffneter Stellung des in der Unterdruckleitung 830 angeordneten Sitzventils 827.2 und bei geschlossener Stellung des zwischen dem ersten Druckluftreservoir 821 sowie dem ersten Niveauausgleichsbehälter 806 angeordneten Sitzventils 827.1 die erste Binnenkammer 369 gegenüber dem Atmosphärendruck mit einem vorbestimmten, gegenüber dem Atmosphärendruck geringeren Druck als Unterdruck zu beaufschlagen.

Weiterhin lässt sich der Darstellung gemäß Fig. 8 entnehmen, dass der erste Niveauausgleichsbehälter 806 über eine Druckmessleitung 836 mit zwischengeschaltetem Kugelhahn 839 mit einer Druckmesseinheit 842 verbunden ist. Die mit dem ersten Niveauausgleichsbehälter 806 verbindbare

Druckmesseinheit 842 ist dazu eingerichtet, den in dem ersten Niveauausgleichsbehälter 806 herrschenden Druck bei Bedarf zu messen.

- 5 Die Fluidversorgungsanordnung 803 verfügt weiterhin über einen zweiten Niveauausgleichsbehälter 845, der über eine Fluideingangsleitung 809 mit dem Zenitbereich der zweiten Binnenkammer 372 und über eine Fluidausgangsleitung 812 sumpfseitig mit der
10 zweiten Binnenkammer 372 in Verbindung steht. Zweckmäßigerweise ist der Füllstand des zweiten Niveauausgleichsbehälters 845 mit zwei in Fig. 8 für eine bessere Übersichtlichkeit nicht dargestellten Füllstandsensoren ausgestattet, die dazu eingerichtet
15 sind, bei Überschreiten eines Maximalfüllstands oder bei Unterschreiten eines Minimalfüllstands in dem zweiten Niveauausgleichsbehälter 845 ein Warnsignal auszugeben. Weiterhin verfügt die Fluidversorgungsanordnung 803 über eine Umwälzpumpe
20 815, die über eine geschlossene Umwälzleitung 818 eingangsseitig mit dem Sumpfbereich der zweiten Binnenkammer 372 und ausgangsseitig mit dem Zenitbereich der zweiten Binnenkammer 372 in Verbindung steht. Die mit der zweiten Binnenkammer 372
25 zusammenwirkende Umwälzpumpe 815 ist dazu eingerichtet, in die zweite Binnenkammer 372 eingespeistes Schmiermittel umzuwälzen, um insbesondere bei großen Durchmessern eine zuverlässige Schmierung im Zenitbereich sicherzustellen.
30
- Das Druckluftreservoir 821 der Fluidversorgungsanordnung 803 ist über eine pneumatische Drossel 824.1 und über ein schaltbares Sitzventil 827.1 mit dem zweiten
35 Niveauausgleichsbehälter 845 verbunden. Somit ist der

- zweite Niveauausgleichsbehälter 845 in einer geöffneten Stellung des mit ihm verbundenen Sitzventils 827.1 mit aus dem Druckluftreservoir 821 stammenden Druck, nämlich einem gegenüber
- 5 Atmosphärendruck höheren Druck als Überdruck, beaufschlagbar, so dass die zweite Binnenkammer 372 über die Fluideingangsleitung 809 wahlweise mit Schmiermittel oder mit Druckluft beaufschlagbar ist.
- 10 Weiterhin ist an den zweiten Niveauausgleichsbehälter 845 über eine weitere Drossel 824.2 und über ein weiteres schaltbares Sitzventil 827.2 die Unterdruckleitung 830 angeschlossen, die mit der Eingangsseite der Unterdruckpumpe 833 verbunden ist.
- 15 Die Unterdruckpumpe 833 ist, wie weiter unten näher erläutert, dazu eingerichtet, bei geöffneter Stellung des in der Unterdruckleitung 830 angeordneten schaltbaren Sitzventils 827.2 und bei geschlossener Stellung des zwischen dem Druckluftreservoir 821 sowie
- 20 dem zweiten Niveauausgleichsbehälter 845 angeordneten Sitzventils 827.1 die zweite Binnenkammer 372 gegenüber dem Atmosphärendruck mit einem vorbestimmten Unterdruck zu beaufschlagen.
- 25 Weiterhin lässt sich der Darstellung gemäß Fig. 8 entnehmen, dass der zweite Niveauausgleichsbehälter 845 über eine Druckmessleitung 836 mit zwischengeschaltetem Kugelhahn 839 mit einer Druckmesseinheit 842 verbunden ist. Die mit dem
- 30 zweiten Niveauausgleichsbehälter 845 verbindbare Druckmesseinheit 842 ist dazu eingerichtet, den in dem zweiten Niveauausgleichsbehälter 845 herrschenden Druck bei Bedarf zu messen.

Zusätzlich zu der Anordnung in Verbindung mit der ersten Binnenkammer 369 und dem ersten Niveauausgleichsbehälter 806 ist an den zweiten Niveauausgleichsbehälter 845 unter Dazwischenschalten einer pneumatischen Drossel 824.3 sowie eines schaltbaren Sitzventils 827.3 ein Belüftungsteil 848 angeschlossen, mit dem der zweiten Niveauausgleichsbehälter 845 bei geöffneter Stellung des dem Belüftungsteil 848 nachgeordneten Sitzventils 827.3 und bei geschlossener Stellung des dem Druckluftreservoir 821 nachgeordneten Sitzventils 827.1 sowie bei geschlossener Stellung des der Unterdruckpumpe 833 nachgeordneten Sitzventils 827.2 mit Atmosphärendruck beaufschlagbar ist.

Die Fluidversorgungsanordnung 803 verfügt weiterhin über einen Fluidpufferbehälter 851, der über eine Fluideingangsleitung 809 mit dem Zenitbereich der Abschlussskammer 375 und über eine Fluidausgangsleitung 812 sumpfseitig mit der Abschlussskammer 375 in Verbindung steht. Der Fluidpufferbehälter 851 ist dazu eingerichtet, für die Abschlussskammer 375 üblicherweise Luft, bei Bedarf insbesondere zum Schmieren der Abschlusssichtung 357 aber auch Schmiermittel zuzuführen.

Das Druckluftreservoir 821 der Fluidversorgungsanordnung 803 ist über eine pneumatische Drossel 824.1 und über ein schaltbares Sitzventil 827.1 mit dem Fluidpufferbehälter 851 verbunden. Somit ist der Fluidpufferbehälter 851 in einer geöffneten Stellung des mit ihm verbundenen Sitzventils 827.1 mit aus dem Druckluftreservoir 821 stammenden Druck, nämlich einem gegenüber

Atmosphärendruck höheren Druck als Überdruck,
beaufschlagbar.

Weiterhin ist an den Fluidpufferbehälter 851 über eine
5 weitere Drossel 824.2 und über ein weiteres
schaltbares Sitzventil 827.2 die Unterdruckleitung 830
angeschlossen, die mit der Eingangsseite der
Unterdruckpumpe 833 verbunden ist. Die Unterdruckpumpe
833 ist, wie weiter unten näher erläutert, dazu
10 eingerichtet, bei geöffneter Stellung des in der
Unterdruckleitung 830 angeordneten Sitzventils 827.2
und bei geschlossener Stellung des zwischen dem
Druckluftreservoir 821 sowie dem Fluidpufferbehälter
851 angeordneten Sitzventils 827.1 den
15 Fluidpufferbehälter 851 gegenüber dem Atmosphärendruck
mit einem vorbestimmten, gegenüber dem
Atmosphärendruck geringeren Druck als Unterdruck zu
beaufschlagen.

20 Weiterhin lässt sich der Darstellung gemäß Fig. 8
entnehmen, dass der Fluidpufferbehälter 851 über eine
Druckmessleitung 836 mit zwischengeschaltetem
Kugelhahn 839 mit einer Druckmesseinheit 842 verbunden
ist. Die mit dem Fluidpufferbehälter 851 verbindbare
25 Druckmesseinheit 842 ist dazu eingerichtet, den in dem
Fluidpufferbehälter 851 herrschenden Druck bei Bedarf
zu messen.

An den Fluidpufferbehälter 851 ist unter
30 Dazwischenschalten einer pneumatischen Drossel 824.3
sowie eines schaltbaren Sitzventils 827.3 ein
Belüftungsteil 848 angeschlossen, mit dem der
Fluidpufferbehälter 851 bei geöffneter Stellung des
dem Belüftungsteil 848 nachgeordneten Sitzventils
35 827.3 und bei geschlossener Stellung des dem

Druckluftreservoir 821 nachgeordneten Sitzventils 827.1 sowie bei geschlossener Stellung des der Unterdruckpumpe 833 nachgeordneten Sitzventils 827.2 mit Atmosphärendruck beaufschlagbar ist.

5

Der Darstellung gemäß Fig. 8 lässt sich weiterhin entnehmen, dass die Abschlussskammer 375 im Sumpfbereich mit einem Flüssigkeitsauslass 854 ausgestattet ist, der dazu eingerichtet ist, bei
10 Ansammeln von Flüssigkeit in der Abschlussskammer 375 diese in einen Sammelbehälter 857 auszuleiten.

Weiterhin ist die Fluidversorgungsanordnung 803 mit einem Vakuumspeicherbehälter 860 ausgestattet, der zum
15 Ausgleich von Druckschwankungen an die Unterdruckleitung 830 angeschlossen ist. Der Vakuumspeicherbehälter 860 steht ebenfalls über eine Druckmessleitung 836 mit zwischengeschaltetem Kugelhahn 839 mit einer Druckmesseinheit 842 in
20 Verbindung, um den gemittelten Druck in der Unterdruckleitung 830 zu bestimmen.

Zudem ist es zweckmäßig, dass die Fluidversorgungsanordnung 803 mit diversen, in Fig. 8
25 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellten Überwachungssensoren zum Messen von insbesondere Temperaturen, Wasseranteilen, Volumenströmen und/oder Schmutzanteilen ausgestattet ist, die zudem vorteilhafterweise zum Erkennen oder Vorhersagen von
30 Störungszuständen dazu eingerichtet sind, bei Überschreiten oder Unterschreiten von Grenzwerten Warnsignale auszugeben.

Außerdem versteht es sich, dass in einer Ausführung
35 die Umwälzpumpen 815 und die Unterdruckpumpe 833 für

eine raumsparende Ausführung eine bauliche Einheit bilden.

Die Fluidversorgungsanordnung 803 ist weiterhin mit
5 einem zentralen Steuer- und Regelmodul 863
ausgestattet, das, wie durch Pfeile mit jeweils zwei
Pfeilspitzen dargestellt, dazu eingerichtet ist, von
den voranstehend erläuterten Komponenten wie
insbesondere die drosseln 824.1, 824.2, 824.3,
10 Sitzventile 827.1, 827.2, 827.3 und Druckmesseinheit
842 die wie weiter unten näher erläutert Signale
aufzunehmen beziehungsweise diese zu steuern.

Liegt ein Stützdruck an der Ortsbrust 112 an oder
15 herrscht zum Beispiel in der Kopfkammer 306 ein
Referenzdruck p_{ref} , der größer als ein Grenzdruck
 p_{limit} ist, dann wird die Fluidversorgungsanordnung
803 in einem Überdruckmodus betrieben. Sowohl für
erste Binnenkammer 369, für die zweite Binnenkammer
20 372, für die Abschlussskammer 375 und für die mit der
Getriebekammer verbundene Verbindungsleitung 381 ist
dafür ein vorbestimmter Solldruck in dem Steuer- und
Regelmodul 863 hinterlegt. Dieser Solldruck ist
beispielsweise von dem Atmosphärendruck als
25 Referenzdruck p_{ref} abhängig. Typischerweise liegen
die Werte für die Solldrücke in einer Tabelle als
Funktion des Referenzdrucks p_{ref} vor. Weiterhin gilt,
dass der Referenzdruck p_{ref} größer als der Druck in
der ersten Binnenkammer 369, der Druck in der ersten
30 Binnenkammer 369 größer als der Druck in der zweiten
Binnenkammer 372, der Druck in der zweiten
Binnenkammer 372 größer als der Druck in der
Abschlussskammer 375 und der Druck in der
Abschlussskammer 375 kleiner als der oder gleich dem
35 Druck in der Verbindungsleitung 381 ist.

Der Druck in der Getriebekammer ist bei Bedarf höher als der Druck in der Abschlusskammer 375, damit die Dichtlippe 360 der zwischen der Getriebekammer und der Abschlusskammer 375 liegenden Abschlussdichtung 357 zur Unterstützung der Dichtwirkung angepresst wird.

Fällt der Druck in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 oder in der Abschlusskammer 375 unter einen Solldruck oder ist der Solldruck in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 oder in der Abschlusskammer 375 noch nicht erreicht, wird das betreffende, dem Druckluftreservoir 821 nachgeschaltete Sitzventil 827.1 geöffnet. Dadurch strömt Druckluft in die erste Binnenkammer 369, in die zweite Binnenkammer 372 oder in die Abschlusskammer 375 ein, bis der erforderliche Druck in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 oder in der Abschlusskammer 375 erreicht beziehungsweise wieder erreicht ist. Das parallel geschaltete, der Unterdruckpumpe 833 nachgeordnete Sitzventil 827.2 ist dabei geschlossen.

Ist der Solldruck erreicht, wird das betreffende, Druckluftreservoir 821 vorgeschaltete Sitzventil 827.1 geschlossen, und der Druck wird gehalten.

Steigt der Druck in der ersten Binnenkammer 369 über den Solldruck an, weil beispielsweise der Referenzdruck p_{ref} fällt, wird das zwischen der ersten Binnenkammer 369 und der Unterdruckpumpe 833 liegende Sitzventil 827.2 geöffnet, und die Unterdruckpumpe 833 saugt Luft aus der ersten Binnenkammer 369 über die der Unterdruckpumpe 833 vorgeschaltete Drossel 824.2 ab, bis in der ersten

Binnenkammer 369 der Solldruck wieder erreicht ist.
Das parallele, mit dem Druckluftreservoir 821
verbundene Sitzventil 827.1 ist dabei geschlossen.

5 Steigt der Druck in der zweiten Binnenkammer 372 über
den Solldruck an, weil beispielsweise der
Referenzdruck p_{ref} und/oder der Druck in der ersten
Binnenkammer 369 fallen beziehungsweise fällt, wird
10 entweder das zwischen der zweiten Binnenkammer 372 und
der Unterdruckpumpe 833 liegende Sitzventil 827.2
geöffnet, wodurch die Unterdruckpumpe 833 Luft aus der
zweiten Binnenkammer 372 über die der Unterdruckpumpe
833 vorgeschaltete Drossel 824.2 abgesaugt, bis der
15 Solldruck in der zweiten Binnenkammer 372 wieder
erreicht ist, oder das dem Belüftungsteil 848
vorgeschaltete Sitzventil 827.3 wird geöffnet und der
Druck in zweiten Binnenkammer 372 wird abgelassen,
wenn der Solldruck in der zweiten Binnenkammer 372 der
20 Atmosphärendruck ist. Das zwischen dem
Druckluftreservoir 821 und der zweiten Binnenkammer
372 liegende Sitzventil 827.1 ist in beiden Fällen
geschlossen.

Steigt der Druck in der Abschlusskammer 375 über den
25 Solldruck an, weil beispielsweise der Referenzdruck
 p_{ref} und/oder der Druck in der zweiten Binnenkammer
372 fallen beziehungsweise fällt, wird das zwischen
der Abschlusskammer 375 und der Unterdruckpumpe 833
liegende Sitzventil 827.2 geöffnet, und die
30 Unterdruckpumpe 833 saugt Luft aus der Abschlusskammer
375 über die diesem Sitzventil 827.2 nachgeordnete
Drossel 824.2 ab, bis der Solldruck in der
Abschlusskammer 375 wieder erreicht ist. Das dem
Belüftungsteil 848 vorgeschaltete Sitzventil 827.3 ist
35 dabei geschlossen.

Bei einer anderen Vorgehensweise wird das dem
Belüftungsteil 848 vorgelagerte Sitzventil 827.3
geöffnet, und der Druck in der Abschlussskammer 375
5 wird abgelassen, wenn der Solldruck in der
Abschlussskammer 375 der Atmosphärendruck ist.

Das entsprechende, dem Druckluftreservoir 821
vorgeschalte Sitzventil 827.1 ist bei den beiden
10 vorgenannten Vorgehensweisen geschlossen.

Über das Belüftungsteil 848 wird die zweite
Binnenkammer 872 und/oder der Abschlussskammer 375
dauerhaft auf Atmosphärendruck gehalten, ohne dass
15 hierfür eine Regelung notwendig ist. Dazu werden die
dem Druckluftreservoir 821 vorgelagerten Sitzventile
827.1 und die der Unterdruckpumpe 833 vorgelagerten
Sitzventile 827.2 geschlossen, und die dem jeweiligen
Belüftungsteil 848 vorgelagerten Sitzventile 827.3
20 werden geöffnet.

Bevorzugt ist, dass für den Fall, dass der
Referenzdruck p_{ref} größer als der Grenzdruck p_{limit}
ist, der Druck in der Abschlussskammer 375 kleiner als
25 der oder gleich dem Atmosphärendruck ist. Der
Atmosphärendruck ist über das jeweilige Belüftungsteil
848 einstellbar.

Zum Verringern des Drucks werden die dem
30 Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Sitzventile
827.1 und die den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten
Sitzventile 827.3 geschlossen, während die der
Unterdruckpumpe 833 vorgeschalteten Sitzventile 827.2
geöffnet sind, bis der vorbestimmte Unterdruck als
35 Solldruck eingestellt hat. Anschließend erfolgt die

- Druckregelung über ein Öffnen und Schließen von der Unterdruckpumpe 833 vorgeschalteten Sitzventilen 827.2, um den Unterdruck zu halten beziehungsweise wiederherzustellen. Für eine Druckerhöhung werden die betreffenden, dem Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Sitzventile 827.1 kurzzeitig geöffnet. Die den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten Sitzventile 827.3 sind dabei geschlossen.
- Bei einer anderen Vorgehensweise erfolgt die Regelung des Überdrucks in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 und in der Abschlusskammer 375 dadurch, dass die dem Druckluftreservoir 821 nachgeschalteten Sitzventile 827.2 und/oder bei der zweiten Binnenkammer 372 beziehungsweise bei der Abschlusskammer 375 die den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten Sitzventile 827.3 immer geöffnet sind, der Volumenstrom in den den Sitzventilen 827.2, 827.3 jeweils zugeordneten Drosseln 824.2, 824.3 jedoch kleiner als der Volumenstrom durch die zwischen dem Druckluftreservoir 821 und den jeweils nachgeordneten Sitzventilen 827.1 angeordneten Drosseln 824.1 ist. Die der Unterdruckpumpe 833 vorgeschalteten Sitzventile 827.2 und die den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten Sitzventile 827.3 werden nur dann geschlossen, wenn keine Druckluftzufuhr möglich ist. Die Drosseln 824.2, 824.1, 824.3 können dafür geregelt werden.
- Bei einer noch anderen Vorgehensweise erfolgt die Regelung des Überdrucks in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 und in der Abschlusskammer 375 dadurch, dass jeweils die Sitzventile 827.1, 827.2, 827.3 bedarfsweise einzeln oder in Kombination erst mit einer vorbestimmten

- zeitlichen Verzögerung gegenüber den jeweils anderen Sitzventilen 827.1, 827.2, 827.3 geschlossen werden. Dies erfolgt dann, wenn der Volumenstrom durch die der Unterdruckpumpe 833 vorgeschalteten Drosseln 824.2
- 5 oder durch die den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten Drosseln 824.3 kleiner als der Volumenstrom durch die dem Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Drosseln 824.1 ist.
- 10 Liegt ein Stützdruck an der Ortsbrust 112 an oder herrscht beispielsweise in der Kopfkammer 306 ein Referenzdruck p_{ref} , der kleiner als ein Grenzdruck p_{limit} ist, dann wird die Fluidversorgungsanordnung 803 in einem Unterdruckmodus betrieben. Hierfür sind
- 15 für die erste Binnenkammer 369, für die zweite Binnenkammer 372, für die Abschlusskammer 375 und für die Getriebekammer in dem Steuer- und Regelmodul 863 jeweils ein vorbestimmter Solldruck hinterlegt, der beispielsweise von dem Atmosphärendruck als
- 20 Referenzdruck p_{ref} abhängig ist. Die Werte für die Solldrücke liegen in einer Tabelle als Funktion des Referenzdrucks p_{ref} ab.
- Auch im Unterdruckmodus gilt, dass der Referenzdruck
- 25 p_{ref} größer als der Druck in der ersten Binnenkammer 369, der Druck in der ersten Binnenkammer 369 größer als der Druck in der zweiten Binnenkammer 372 und der Druck in der zweiten Binnenkammer 372 größer als der Druck in der Abschlusskammer 375 ist.
- 30 Zur Verbesserung der Dichtwirkung wird jeweils in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 und in der Abschlusskammer 375 ein Unterdruck angelegt. Zum Einstellen des Unterdrucks in der ersten
- 35 Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 und

in der Abschlusskammer 375 wird das der
Unterdruckpumpe 833 vorgelagerte und mit der ersten
Binnenkammer 369, mit der zweiten Binnenkammer 372
beziehungsweise mit der Abschlusskammer 375 verbundene
5 Sitzventil 827.2 geöffnet, und entsprechend wird durch
die Unterdruckpumpe 833 Luft abgesaugt, bis der
jeweilige Solldruck als Unterdruck erreicht ist. Die
dem Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Sitzventile
827.1 und die den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten
10 Sitzventile 827.3 sind dabei geschlossen.

Ist der jeweilige Solldruck erreicht, wird das
jeweilige, der Unterdruckpumpe 833 vorgeschaltete
Sitzventil 827.2 geschlossen, und der Druck wird in
15 der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten
Binnenkammer beziehungsweise in der Abschlusskammer
375 gehalten.

Steigt der Druck in der ersten Binnenkammer 369, in
20 der zweiten Binnenkammer 372 beziehungsweise in der
Abschlusskammer 375 über den Solldruck an, wird das
zugehörige, der Unterdruckpumpe 833 vorgeschaltete
Sitzventil 827.2 geöffnet, und die Unterdruckpumpe 833
saugt Luft über die zugehörige Drossel 824.2 ab, bis
25 der Solldruck wieder erreicht ist. Das jeweilige, dem
Druckluftreservoir 821 vorgeschaltete Sitzventil 827.1
und das jeweilige, dem Belüftungsteil 848
vorgeschaltete Sitzventil 827.3 sind dabei
geschlossen.

30 Ist der Solldruck wieder erreicht, wird das jeweilige,
der Unterdruckpumpe 833 vorgeschaltete Sitzventil
827.2 geschlossen, und der Druck wird in der ersten
Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372
35 beziehungsweise in der Abschlusskammer 375 gehalten.

Fällt jetzt der Druck in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 oder in der Abschlusskammer 375 unter den Solldruck, wird das
5 jeweilige, dem Druckluftreservoir 821 vorgeschaltete Sitzventil 827.1 geöffnet, und Druckluft strömt in die erste Binnenkammer 369, in die zweite Binnenkammer 372 beziehungsweise in die Abschlusskammer 375 ein, bis
10 der Solldruck in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 beziehungsweise in der Abschlusskammer 375 wieder erreicht wird. Das jeweilige, der Unterdruckpumpe 833 vorgeschaltete Sitzventil 827.2 und das jeweilige, dem Belüftungsteil 848 vorgeschaltete Sitzventil 827.3 ist dabei
15 geschlossen.

Ist der Solldruck erreicht, wird das jeweilige, dem Druckluftreservoir 821 vorgeschaltete Sitzventil 827.1 geschlossen, und der Druck in der ersten Binnenkammer
20 369, in der zweiten Binnenkammer 372 beziehungsweise in der Abschlusskammer 375 wird gehalten.

Falls es im Unterdruckmodus vorgesehen ist, wird über das betreffende Belüftungsteil 848 die zweite
25 Binnenkammer 372 und/oder die Abschlusskammer 375 dauerhaft auf Atmosphärendruck gehalten, ohne dass eine Regelung notwendig ist. Hierfür werden die jeweiligen, dem Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Sitzventile 827.1 und die der Unterdruckpumpe 833 vorgeschalteten Sitzventile 827.2 geschlossen, und das
30 dem jeweiligen Belüftungsteil 848 vorgeschaltete Sitzventil 827.3 ist geöffnet. Der Druck der Getriebekammer ist bedarfsweise höher als der Druck in der Abschlusskammer 875, damit die Dichtlippe 860 der
35 Abschlusssichtung 357 zwischen der Getriebekammer und

der Abschlussskammer 375 zur Unterstützung der Dichtwirkung angepresst wird.

- Bei einer anderen Vorgehensweise im Unterdruckmodus erfolgt die Regelung des Unterdrucks in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 und in der Abschlussskammer 375 dadurch, dass die jeweiligen, dem Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Sitzventile 827.1 und/oder bei der zweiten Binnenkammer 372 beziehungsweise bei der Abschlussskammer 375 die jeweiligen, den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten Sitzventile 827.3 immer geöffnet sind, der jeweilige Volumenstrom in den dem Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Drosseln 824.1 oder in den den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten Drosseln 824.3 jedoch kleiner als der jeweilige Volumenstrom durch die der Unterdruckpumpe 833 vorgeschalteten Drosseln 824.2 ist. Die dem Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Sitzventile 827.1 und die den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten Drosseln 827.3 werden nur dann geschlossen, wenn eine Luftabsaugung nicht möglich ist. Die Drosseln 824.1, 824.2, 824.3 sind hierfür zur Regelung eingerichtet.
- Bei einer noch anderen Vorgehensweise im Unterdruckmodus erfolgt die Regelung des Unterdrucks in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 und in der Abschlussskammer 375 dadurch, dass die Sitzventile 827.1, 827.2, 827.3 einzeln oder in Kombination erst mit einer vorbestimmten Zeitverzögerung gegenüber den jeweils anderen Sitzventilen 827.1, 827.2, 827.3 geschlossen werden. Dies erfolgt dann, wenn der Volumenstrom in den jeweiligen, dem Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Drosseln 824.1 oder in den jeweiligen,

den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten Drosseln 824.3 kleiner als der Volumenstrom durch die jeweiligen, der Unterdruckpumpe 833 vorgeschalteten Drosseln 824.2 ist.

5

Bei einer noch anderen Vorgehensweise im Unterdruckmodus erfolgt das Einstellen des Unterdrucks in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 und in der Abschlussskammer 375 über eine Steuerung der Unterdruckpumpe 833. Hierfür wird das entsprechende, der Unterdruckpumpe 833 vorgeschaltete Sitzventil 827.2 geöffnet, bis der Solldruck eingestellt ist, während die jeweiligen, dem Druckluftreservoir 821 vorgeschalteten Sitzventile 827.1 und die jeweiligen, den Belüftungsteilen 848 vorgeschalteten Sitzventile 827.3 geschlossen sind. Steigt der Druck in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 beziehungsweise in der Abschlussskammer 375 an, wird das jeweilige, der Unterdruckpumpe 833 vorgeschaltete Sitzventil 827.2 geöffnet, und die Unterdruckpumpe 833 saugt Luft bis zum Erreichen des Solldrucks in der ersten Binnenkammer 369, in der zweiten Binnenkammer 372 beziehungsweise in der Abschlussskammer 375 ab.

25

Fig. 9 bis Fig. 11 zeigen in schematischen Darstellungen in schematischen Darstellungen voranstehend bereits im Detail erläuterte, ganz wesentliche Komponenten der Dichtungsanordnung 212 im ersten Dichtungsbereich 215 sowie Schaubilder mit in verschiedenen Abbaubetriebsumgebungen qualitativ herrschende Druckverhältnisse. Diese Druckverhältnisse sind durch das sich voranstehend insbesondere in Verbindung mit Fig. 8 erläuterte Zusammenwirken in

30

Abhängigkeit der jeweiligen Abbauverhältnisse
wahlweise und vorbestimmt einstellbar.

Fig. 9 zeigt in einer schematischen Darstellung
5 wesentliche Komponenten der Dichtungsanordnung 212 im
ersten Dichtungsbereich 215 sowie ein Schaubild mit
bei einem mit einem verhältnismäßig hohem Stützdruck
druckgestützt durchgeführten Vortrieb qualitativ
herrschenden Druckverhältnissen, wobei in dem
10 Schaubild auf der Abszisse 903 ein Abstand x von einem
in Vortriebsrichtung vorderseitig der Kopfdichtung 303
liegenden willkürlichen Nullpunkt und auf einer
Ordinaten 906 ein Druck p in willkürlichen Einheiten
bezogen auf einem Referenzdruck p_{ref} , beispielsweise
15 dem Atmosphärendruck, auf der in Vortriebsrichtung
rückseitig der Abschlussdichtung 351 liegenden Seite
abgetragen ist. Aus der Darstellung gemäß Fig. 9 lässt
sich erkennen, dass gegenüber dem in der Kopfkammer
306 herrschenden, gegebenenfalls auch relativ hohen
20 Druck aufgrund dessen erheblichen Abbaus bereits durch
die Kopfdichtung 303 in der ersten Binnenkammer 369
ein reduzierter Druck herrscht, der bei der in Fig. 9
darstellten Ausgestaltung bereits in der zweiten
Binnenkammer 372 auf den Referenzdruck p_{ref} abgebaut
25 ist, der auch in der Verbindungsleitung 381 herrscht.
Aufgrund der gleichsinnigen Orientierungen der
Kopfdichtung 303 und der Binnendichtungen 339, 345 ist
somit ein verlustfreies Einspeisen von Schmiermitteln
in die Binnenkammern 369, 372 geschaffen.

30 Bei bevorzugten Ausführungen ist das in die erste
Binnenkammer 369 eingespeiste Schmiermittel ein
Fließfett oder ein Öl, während das in die zweite
Binnenkammer 372 eingespeiste Schmiermittel ein
35 Fließfett oder ein Öl ist.

Unter Fließfett ist voranstehend ein Medium zu verstehen, das eine Konsistenz gemäß einer entsprechenden Konsistenzkennzahl der NLGI-Klassen von 000, 00, 0 oder 1 nach DIN 51818 mit einem fließenden, schwach fließenden, halbflüssigen beziehungsweise sehr weichen Fließverhalten hat.

Weiterhin lässt sich der Darstellung gemäß Fig. 9 in Verbindung mit den Erläuterungen zu Fig. 8 entnehmen, dass die zweite Binnenkammer 372 auch als weitere Druckabbaustufe in Ergänzung zu der ersten Binnenkammer 369 oder als ersatzweise Druckabbaustufe bei einem Ausfall der Dichtwirkung der ersten Binnenkammer 369 dienen kann.

Abweichend von den in Fig. 9 dargestellten Druckverhältnissen lassen sich in Abhängigkeit der jeweiligen Vortriebsbedingungen wahlweise miteinander kombinierbaren Abwandlungen auch die nachfolgend erläuterten Druckverhältnisse einstellen.

Bei einer ersten Abwandlung ist der Druck in der zweiten Binnenkammer 372 niedriger als der Referenzdruck p_{ref} .

Bei einer zweiten Abwandlung ist der Druck in der Abschlusskammer 375 niedriger als der Referenzdruck p_{ref} .

Bei einer dritten Abwandlung ist der Druck in der Verbindungsleitung 381 höher als der Referenzdruck p_{ref} .

Fig. 10 zeigt eine Darstellung entsprechend Fig. 9, wobei in Fig. 10 in dem Schaubild die Druckverhältnisse qualitativ bei einem stützdruckfreien Vortrieb dargestellt sind. Der Darstellung gemäß Fig. 10 lässt sich entnehmen, dass die Drücke in den Binnenkammern 369, 372 bis zu der Abschlusskammer 375 durch Aufschalten der Unterdruckleitung 830 gemäß den Erläuterungen zu Fig. 8 stufenweise unter den Referenzdruck p_{ref} fallen, wobei auch hier die Schließfunktion der Kopfdichtung 303, der Binnendichtungen 339, 345 und der Abschlussdichtung 351 durch deren jeweilige Orientierung sichergestellt ist.

Abweichend von den in Fig. 10 dargestellten Druckverhältnissen ist bei einer Abwandlung der Druck in der Verbindungsleitung 381 höher als der Referenzdruck p_{ref} .

Fig. 11 zeigt eine Darstellung entsprechend Fig. 9, wobei in Fig. 11 in dem Schaubild die Druckverhältnisse mit einem verhältnismäßig niedrigen Stützdruck druckgestützt durchgeführten Vortrieb qualitativ dargestellt sind. Der Darstellung gemäß Fig. 11 lässt sich entnehmen, dass die Drücke in den Binnenkammern 369, 372 bis zu der Abschlusskammer 375 durch Aufschalten der Unterdruckleitung 830 gemäß den Erläuterungen zu Fig. 8 ausgehend von einem gegenüber dem Referenzdruck p_{ref} höheren Druck in der Kopfkammer 306 stufenweise unter den Referenzdruck p_{ref} fallen, wobei der Druck in der Verbindungsleitung 381 wieder höher als der Referenzdruck p_{ref} eingestellt ist und wobei auch hier die Schließfunktion der Kopfdichtung 303, der Binnendichtungen 339, 345 und der Abschlussdichtung

351 durch deren jeweilige Orientierung sichergestellt ist.

Abweichend von den in Fig. 11 dargestellten
5 Druckverhältnissen entspricht bei einer Abwandlung der Druck in der Verbindungsleitung 381 dem Referenzdruck p_{ref} .

Durch die anhand Fig. 9 bis Fig. 11 erläuterten
10 Druckkaskaden mit einem frei von zwischenliegenden Druckerhöhungen stufenweisen Rückführen des in der Kopfkammer 306 herrschenden Stützdrucks in den Binnenkammern 369, 372 ist eine zuverlässige Schmierung auch bei Undichtigkeiten sichergestellt.

15 Die Erfindung beruht somit aus einem jeweils vorbestimmten Zusammenspiel von absoluten Druckwerten, die aufgrund einer bevorzugten Wahl von niederviskosen Schmiermitteln wie Fließfett oder Öl auch, und damit
20 abweichend von üblicherweise verwendeten hochviskosen Schmiermitteln wie Schmierfett, verhältnismäßig einfach und hinreichend genau wie voranstehend erläutert messbar sind, und Druckunterschieden, die so eingerichtet sind, dass zum einen im Gegensatz zu
25 einer Schmierfett austragenden Verlustschmierung eine weitgehend verlustfreie Schmierung und zum anderen eine verhältnismäßig geringe Belastung der Dichtungsanordnung 212, und dabei insbesondere der Dichtlippen 360, geschaffen sind.

30

ANSPRÜCHE

1. Tunnelvortriebsmaschine mit einer Antriebswelle
5 (206), die zum Drehen eines Schneidrads (109) eingerichtet ist, mit einer Dichtungsanordnung (212), die zum Abdichten eines um die Antriebswelle (206) zwischen stehenden
10 Komponenten (309, 336) und sich drehenden Komponenten (309, 384) ausgebildeten Ringspalts (333) eingerichtet ist, wobei die Dichtungsanordnung (212) eine Anzahl von Dichtungsringen (303, 339, 345, 351) sowie
15 zwischen den Dichtungsringen (303, 339, 345, 351) angeordnete Kammerungsringe (330, 342, 348) aufweist, mit einer Fluidversorgungsanordnung (803), die zum Zuführen von Schmiermitteln in die Dichtungsanordnung (212) eingerichtet ist, und
20 mit einer Anzahl von zwischen benachbarten Dichtungsringen (303, 339, 345, 351) ausgebildeten Aufnahmekammern, die eine in einer Vortriebsrichtung vorderseitig liegende erste Binnenkammer (369) und eine in einer
25 Vortriebsrichtung rückseitig der ersten Binnenkammer (369) liegende zweite Binnenkammer (372) umfassen, die mit Schmiermitteln beaufschlagbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fluidversorgungsanordnung (803) dazu
30 eingerichtet ist, den Druck in der ersten Binnenkammer (369) so einzustellen, dass der Druck in der ersten Binnenkammer (369) geringer als der Druck in einem in Vortriebsrichtung vor dem die erste Binnenkammer (369) gegen einen Abbaubereich (112) abdichtenden Dichtungsring

(303) und höher als der in der zweiten Binnenkammer (372) herrschende Druck ist.

2. Tunnelvortriebsmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die
5 Fluidversorgungsanordnung (803) dazu eingerichtet ist, den Druck in der zweiten Binnenkammer (372) so einzustellen, dass dieser Druck zwischen dem Druck in der ersten Binnenkammer (369) und dem
10 Druck in einer in Vortriebsrichtung rückseitig der zweiten Binnenkammer (372) liegenden Abschlusskammer (375) liegt.
3. Tunnelvortriebsmaschine nach Anspruch 1 oder
15 Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Binnenkammer (369) gegenüber dem Atmosphärendruck wahlweise mit einem Überdruck oder mit einem Unterdruck beaufschlagbar ist.
- 20 4. Tunnelvortriebsmaschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Binnenkammer (372) wahlweise mit Atmosphärendruck oder gegenüber dem Atmosphärendruck mit einem Überdruck oder gegenüber dem Atmosphärendruck mit
25 einem Unterdruck beaufschlagbar ist.
5. Tunnelvortriebsmaschine nach Anspruch 3 oder
Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zum Beaufschlagen mit einem Unterdruck eine
30 Unterdruckleitung (830) und eine Unterdruckpumpe (833) vorhanden sind, die mit der jeweiligen Binnenkammer (369, 372) in einer Fluidverbindung stehen.

6. Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zum Beaufschlagen mit einem Überdruck ein Druckluftreservoir (821) vorhanden ist, das mit der jeweiligen Binnenkammer (369, 372) in einer Fluidverbindung steht.
7. Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zum Beaufschlagen mit Atmosphärendruck ein Belüftungsteil (848) vorhanden ist, das mit der zweiten Binnenkammer (372) in einer Fluidverbindung steht.
8. Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Abschlussskammer (375) vorhanden ist, die in Vortriebsrichtung rückseitig der letzten Binnenkammer (372) angeordnet und wahlweise mit Atmosphärendruck oder gegenüber dem Atmosphärendruck mit einem Überdruck oder gegenüber dem Atmosphärendruck mit einem Unterdruck beaufschlagbar ist.
9. Tunnelvortriebsmaschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zum Beaufschlagen mit einem Unterdruck eine Unterdruckleitung (830) und eine Unterdruckpumpe (833) vorhanden sind, die mit der Abschlussskammer (375) in einer Fluidverbindung stehen.
10. Tunnelvortriebsmaschine nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass zum Beaufschlagen mit einem Überdruck ein Druckluftreservoir (821) vorhanden ist, das mit

der Abschlusskammer (375) in einer Fluidverbindung steht.

- 5 11. Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zum Beaufschlagen mit Atmosphärendruck ein Belüftungsteil (848) vorhanden ist, das mit der Abschlusskammer (375) in einer Fluidverbindung steht.
- 10 12. Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine Verbindungsleitung (381) vorhanden ist, die in Vortriebsrichtung rückseitig der Abschlusskammer (375) angeordnet und wahlweise mit
- 15 Atmosphärendruck oder gegenüber dem Atmosphärendruck mit einem Überdruck beaufschlagbar ist.
- 20 13. Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Fluidversorgungsanordnung (803) dazu eingerichtet ist, als Schmiermittel in die erste Binnenkammer (369) ein Fließfett oder Öl und in die zweite
- 25 Binnenkammer (372) ein Fließfett oder Öl zu fördern.
- 30 14. Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Fluidversorgungsanordnung (803) dazu eingerichtet ist, als Schmiermittel in die Abschlusskammer (375) ein Fließfett oder Öl zu fördern.
- 35 15. Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass in

- 5 Binnenkammern (369, 372) angeordnete
Kammerungsringe (330, 342) mit einer Ringnut
(363) und mit bezogen auf die Schwerkraft im
Scheitelbereich liegenden Durchlassausnehmungen
(366) ausgebildet sind.
- 10 16. Tunnelvortriebsmaschine nach Anspruch 15, dadurch
gekennzeichnet, dass beidseitig eines
Scheitelbereichs von Binnenkammern (369, 372)
Strömungsbremsen (403, 406; 706) angeordnet sind.
- 15 17. Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche
1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die
Antriebswelle (206) als Hohlwelle ausgebildet ist
und dass die Dichtungsanordnung (212) einen
radial außenseitig angeordneten ersten
Dichtungsbereich (215) sowie einen radial
innenseitig angeordneten zweiten Dichtungsbereich
(218) aufweist.
- 20 18. Verfahren zum Vortreiben eines Tunnels mit den
Schritten
- Bereitstellen einer Tunnelvortriebsmaschine
nach einem der Ansprüche 1 bis 17 und
25 - Einstellen des Drucks in der ersten
Binnenkammer (369) derart, dass der Druck in der
ersten Binnenkammer (369) geringer als der Druck
in einem in Vortriebsrichtung vor dem die erste
Binnenkammer (369) gegen einen Abbaubereich (112)
30 abdichtenden Dichtungsring (303) und höher als
der in der zweiten Binnenkammer (372) herrschende
Druck ist.
19. Verfahren nach Anspruch 18 mit dem Schritt

- Einstellen des Drucks in der zweiten Binnenkammer (372) derart, dass der Druck in der zweiten Binnenkammer (372) von einem Referenzdruck (p_{ref}) verschieden ist.

5

20. Verfahren nach Anspruch 19 mit dem Schritt
- Einstellen des Referenzdrucks (p_{ref}) derart, dass der Referenzdruck (p_{ref}) von einem Atmosphärendruck verschieden ist.

10

21. Verfahren nach Anspruch einem der Ansprüche 18 bis 20, soweit eine Tunnelvortriebsmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 12 oder nach Anspruch 14 bereitgestellt ist, mit dem Schritt

15

- Einstellen des Drucks in der Abschlusskammer (375) derart, dass der Druck in der Abschlusskammer (375) geringer als der Druck in der zweiten Binnenkammer (372) ist.

20