

**Betriebsanleitung
BA 169 05**

**Federdruckbremse mit Gleichstrom-Lüftmagnet
Typ E500B**

- 1 Sicherheits-Hinweis**

Anschluss- sowie Einstell- und Wartungsarbeiten dürfen nur unter Beachtung der Sicherheits-Hinweise gemäß beiliegendem Merkblatt Nr. 122.. durchgeführt werden.
- 2 Allgemeines**

Neben dem Halten von Lasten im Ruhezustand dient die Federdruckbremse zur Verzögerung rotierender und geradlinig bewegter Massen, um so unerwünschte Nachlaufwege und -zeiten zu verkürzen.
Die Bremse lüftet elektromagnetisch. Im stromlosen Zustand wird die Bremskraft durch Federdruck erzeugt. Da bei diesem System die Bremswirkung auch bei einem unbeabsichtigten Stromausfall wirksam wird, kann es als Sicherheitsbremse im Sinne der Unfallverhütungsvorschriften betrachtet werden.
Während des Bremsvorgangs wird die kinetische Energie der Massenträgheitsmomente über die Bremsscheibe in Wärme umgewandelt. Die aus hochwertigem, asbestfreien Material bestehende Bremsscheibe ist besonders abriebfest und wärmebeständig. Ein gewisser Verschleiß ist jedoch unvermeidbar. Daher sind die in Abschn. 9 aufgeführten Grenzwerte zum Arbeitsvermögen und zur Mindestbelagstärke unbedingt einzuhalten.
- 3 Funktionsweise**

Das Funktionsprinzip wird anhand Bild 1 erläutert.

3.1 Bremsen

Die Bremsscheibe (1) wird über die Ankerscheibe (2) von den Federn (3) axial gegengie Flanschplatte (4) gedrückt. Eine Radialbewegung der Ankerscheibe wird durch die Zylinderschrauben (5) verhindert. Die Übertragung des Bremsmomentes auf den Rotor erfolgt über eine Verzahnung zwischen der Bremsscheibe und dem auf der Welle fest montierten Mitnehmer (6). Das Bremsmoment kann in Stufen mit der Federzahl geändert werden (siehe Abschn. 7).

3.2 Lüften

Bei Speisung der Spule (7) mit der vorgesehenen Gleichspannung wird die Ankerscheibe durch das entstehende Magnetfeld vom Magnetgehäuse (8) gegen die Federkraft angezogen. Durch die damit verbundene Entlastung der Bremsscheibe ist der Rotor frei beweglich.

Aufgrund der großzügigen Dimensionierung des Elektromagneten kann auch ein durch den Verschleiß der Bremsscheibe bedingter, erhöhter Luftspalt sL überwunden werden. Eine Nachstellmöglichkeit ist daher nicht vorgesehen.

Optional können alle Bremsen mit einer arretierbaren bzw. nicht arretierbaren Handlüftung ausgeführt werden, wodurch die Bremse, z.B. bei Stromausfall, mechanisch gelüftet werden kann.

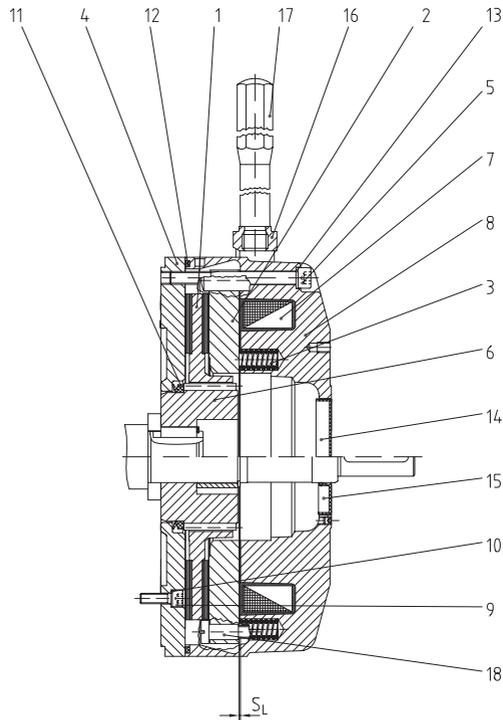


Bild 1: Federdruckbremse der Reihe E500B

4 Elektrischer Anschluss

4.1 Allgemeines

Es gibt grundsätzlich 2 verschiedene Möglichkeiten für die Spannungsversorgung des Gleichstrom-Magneten:

1. Extern aus einem bereits vorhandenen DC-Steuernetz oder durch einen Gleichrichter im Schaltschrank.
2. Durch einen im Motorklemmenkasten eingebauten Gleichrichter. Hierbei kann die Speisung des Gleichrichters entweder direkt vom Motorklemmenbrett oder aus dem Netz erfolgen.

In folgenden Fällen darf der Gleichrichter jedoch nicht am Klemmenbrett des Motors angeschlossen werden:

- Polumschaltbare Motoren und Weitspannungsmotoren
- Betrieb am Frequenzumrichter
- Sonstige Ausführungen, bei denen die Motorspannung nicht konstant ist, z.B. Betrieb an Sanftanlaufgeräten, Anlasstransformatoren, ...

4.1.1 Lüften

Wird an die Magnetspule Nennspannung angelegt, so baut sich der Spulenstrom und damit das Magnetfeld nach einer Exponentialfunktion auf. Erst wenn der Strom einen bestimmten Wert ($I_{\text{Lüft}}$) erreicht hat, wird die Federkraft überwunden und die Bremse beginnt zu lüften.

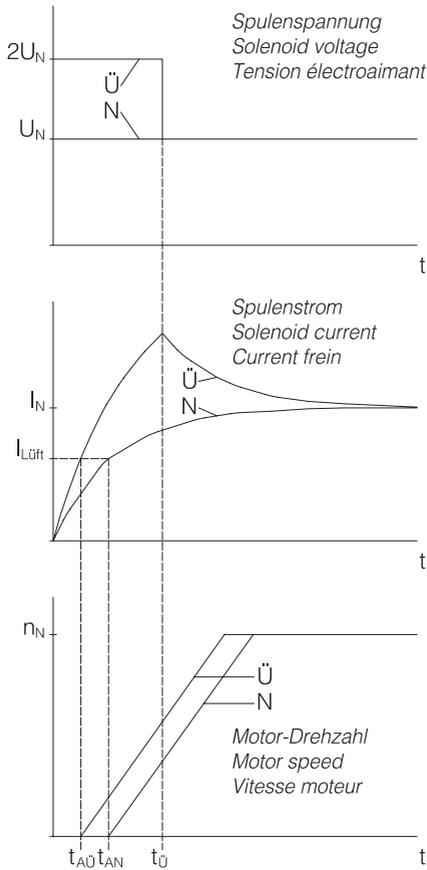


Bild 2: Prinzipieller Verlauf der Spulenspannung, des Spulenstroms und der Motordrehzahl bei Normalerregung (N) und Übererregung (Ü).

t_0 : Übererregungszeit; t_{AN} , $t_{AÜ}$: Ansprechzeiten bei Normal- und Übererregung

Während der Ansprechzeit t_A können 2 unterschiedliche Fälle auftreten, vorausgesetzt die Spannungsversorgung des Motors und der Bremse erfolgt zeitgleich:

- Motor wird blockiert - Bedingung: $M_A < M_L + M_{Br}$
Der Motor führt den Anzugsstrom und wird dadurch thermisch zusätzlich belastet. Dieser Fall ist in Bild 2 dargestellt.
- Bremse wird durchgerissen - Bedingung: $M_A > M_L + M_{Br}$
Die Bremse wird auch beim Anlauf thermisch belastet und verschleißt schneller.

M_A : Anzugsmoment des Motors, M_L : Lastmoment, M_{Br} : Bremsmoment

In beiden Fällen ergibt sich also eine zusätzliche Belastung von Motor und Bremse. Die Ansprechzeit tritt mit zunehmender Bremsengröße immer stärker in Erscheinung. Eine Reduzierung der Ansprechzeit empfiehlt sich daher vor allem bei mittleren und großen Bremsen sowie bei hoher Schalthäufigkeit. Eine relativ einfache Realisierung auf elektrischem Wege ist durch das Prinzip der „Übererregung“ möglich. Hierbei wird die Spule beim Einschalten kurzzeitig mit der doppelten Nennspannung betrieben. Durch den damit verbundenen steileren Anstieg des Stroms wird im Vergleich zur „Normalerregung“ die Ansprechzeit auf etwa die Hälfte vermindert. Diese Übererregungs-Funktion ist im Sondergleichrichter MSG integriert (siehe Abschn. 4.4).

Mit zunehmendem Luftspalt erhöht sich der Lüftstrom und damit die Ansprechzeit. Sobald der Lüftstrom den Spulennennstrom überschreitet, lüftet die Bremse bei Normalerregung nicht mehr und die Verschleißgrenze der Bremsscheiben ist erreicht.

4.1.2 Bremsen

Nach dem Abschalten der Spannungsversorgung für die Spule wird das Bremsmoment nicht sofort wirksam. Zunächst muss die magnetische Energie so weit abgebaut werden, bis die Federkraft die Magnetkraft überwinden kann. Dies erfolgt bei der Haltestromstärke I_{Halte} , die weitaus kleiner ist als der Lüftstrom. Abhängig von der schaltungstechnischen Ausführung ergeben sich unterschiedliche Ansprechzeiten.

4.1.2.1 Abschalten der AC-Versorgung des Standardgleichrichters SG

- a) Speisung des Gleichrichters vom Motorklemmenbrett (Bild 3, Kurve 1)
Ansprechzeit t_{A1} : Sehr lang
Ursache: Nach Abschalten der Motorspannung wird durch die Remanenz des Motors eine langsam abklingende Spannung induziert, die den Gleichrichter und somit die Bremse weiterhin versorgt. Außerdem wird die magnetische Energie der Bremsenspule relativ langsam durch den Freilaufkreis des Gleichrichters abgebaut.

- b) Separate Speisung des Gleichrichters (Bild 3, Kurve 2)
 Ansprechzeit t_{A2} : Lang
 Ursache: Nach Abschalten der Gleichrichterspannung wird die magnetische Energie der Bremsenspule relativ langsam durch den Freilaufkreis des Gleichrichters abgebaut.

Bei wechselstromseitiger Unterbrechung treten keine nennenswerten Abschaltspannungen an der Magnetspule auf.

4.1.2.2 Unterbrechung des DC-Stromkreises der Magnetspule (Bild 3, Kurve 3)

- a) Durch mechanische Schalter
 - bei separater Speisung aus einem DC-SteuerNetz oder
 - an den DC-Schaltkontakten (A2, A3) des Standardgleichrichters SG
 Ansprechzeit t_{A3} : Sehr kurz
 Ursache: Die magnetische Energie der Bremsenspule wird sehr schnell durch den am Schalter entstehenden Lichtbogen abgebaut.
- b) Elektronisch
 Durch Verwendung des Sondergleichrichters MSG
 Ansprechzeit t_{A3} : Kurz
 Ursache: Die magnetische Energie der Bremsenspule wird schnell durch einen im Gleichrichter integrierten Varistor abgebaut.

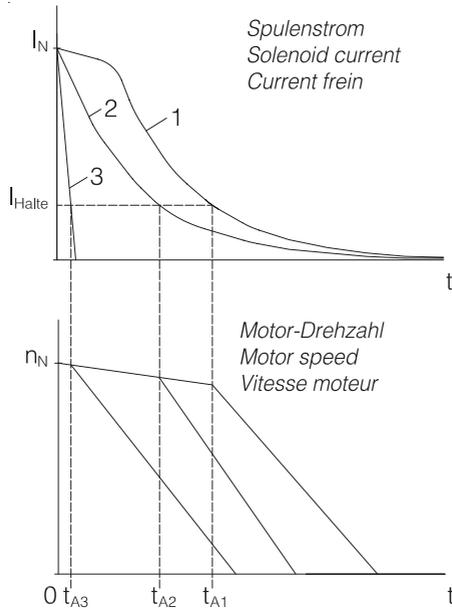


Bild 3: Prinzipieller Verlauf des Spulenstroms und der Motordrehzahl nach wechsel- (1, 2) und gleichstromseitiger (3) Abschaltung

Bei gleichstromseitiger Unterbrechung werden durch die Magnetspule Spannungsspitzen u_q induziert, deren Höhe gemäß folgender Beziehung von der Selbstinduktivität L der Spule und der Abschaltgeschwindigkeit di/dt abhängt:

$$u_q = L \cdot \frac{di}{dt}$$

Bedingt durch die Wicklungsauslegung steigt die Induktivität L mit zunehmender Spulen-Bemessungsspannung an. Bei höheren Spulenspannungen können daher die Abschaltspannungsspitzen gefährlich hoch werden. Aus diesem Grund werden alle Bremsen für Spannungen größer 24V mit einem Varistor beschaltet.

Der Varistor dient lediglich dem Schutz der Magnetspule und nicht als Schutz von umgebenden elektronischen Bauteilen bzw. Geräten gegen EMV-Störungen.

Auf Anfrage können auch Bremsen für Spannungen kleiner oder gleich 24V mit Varistor ausgeführt werden.

Erfolgt die gleichstromseitige Unterbrechung durch mechanische Schalter, so wird durch den entstehenden Lichtbogen an den Schaltkontakten starker Abbrand verursacht. Daher dürfen hierbei nur spezielle Gleichstromschütze oder angepasste Wechselstromschütze mit Kontakten der Gebrauchskategorie AC3 nach EN 60947-4-1 verwendet werden.

4.2 Externe Gleichspannungsversorgung

Falls die Speisung der Bremse direkt aus einem DC-Steuernetz erfolgt.

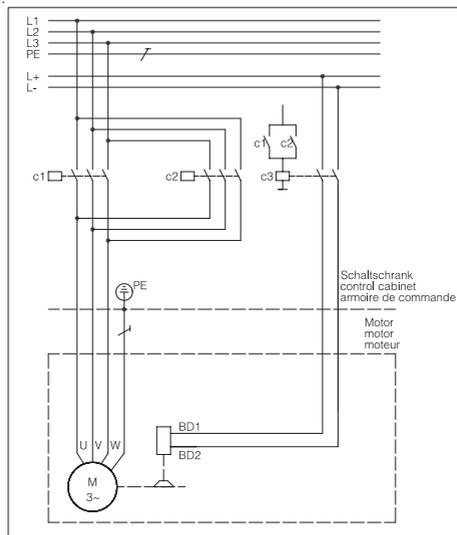


Bild 4: Direkte Gleichspannungsversorgung aus einem Steuernetz

4.3 Durch Standardgleichrichter SG 3.575A

Technische Daten des Gleichrichters

Funktionsprinzip	Einweggleichrichter
Anschlussspannung U_1	max. 575 V AC +5 %, 50/60 Hz
Ausgangsspannung	$0,45 * U_1$ V DC
max. Ausgangsstrom	2 A DC bei Einbau in Motorklemmenkasten 2,5 A DC bei Einbau in Schaltschrank
Umgebungstemperatur	-20° C bis 40° C
Klemmbarer Leiterquerschnitt	max. 1,5 mm ²

4.3.1 Spannungsversorgung des Gleichrichters vom Motorklemmenbrett

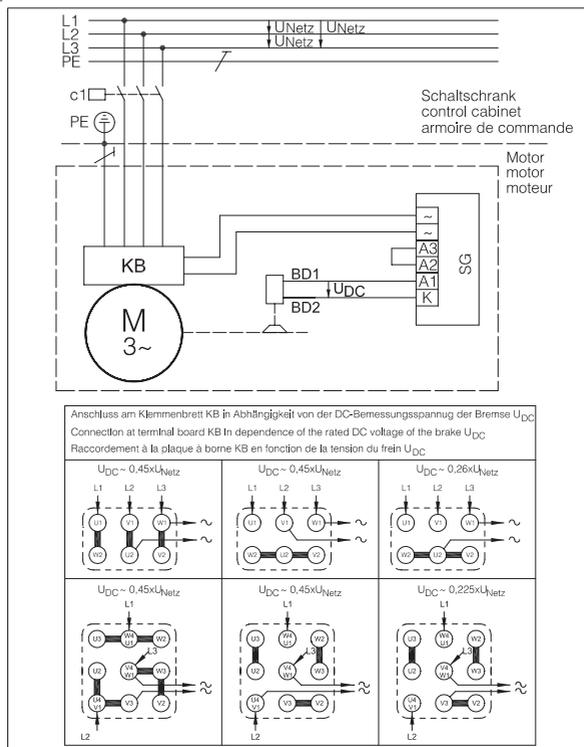


Bild 5: Wechselstromseitige Abschaltung → Klemme A2 und A3 gebrückt

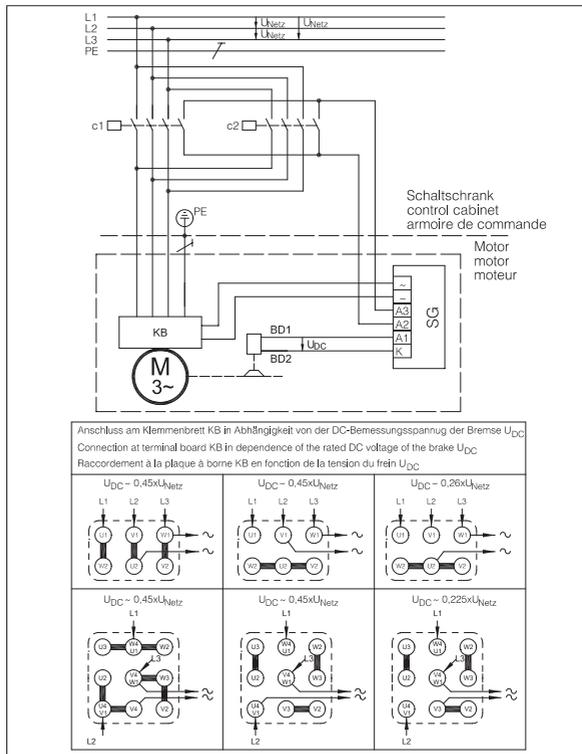


Bild 6: Gleichstromseitige Abschaltung an den Klemmen A2 und A3 z.B. über Drehrichtungsschütz

4.3.2 Spannungsversorgung des Gleichrichters über separates Schütz

Wie bereits in Abschn. 4.1 erläutert, darf bei allen Ausführungen mit variabler Motorspannung sowie bei polumschaltbaren Motoren der Gleichrichter nicht am Motorklemmbrett angeschlossen werden. Vielmehr muss hier die Eingangsspannung des Gleichrichters über ein separates Schütz geschaltet werden. Stellvertretend ist in Bild 7 die prinzipielle schaltungstechnische Umsetzung bei Betrieb am Frequenzumrichter dargestellt.

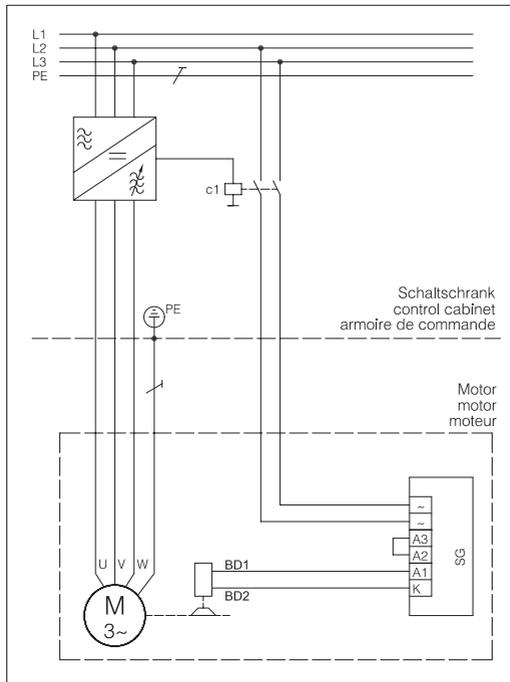


Bild 7: Betrieb am Frequenzumrichter
Wechselstromseitige Abschaltung → Klemme A2 und A3 gebrückt

4.4 Durch Sondergleichrichter MSG

Technische Daten des Gleichrichters

Funktionsprinzip	Einweggleichrichter mit zeitlich begrenzter Übererregung und elektronischer gleichstromseitiger Unterbrechung
Anschlussspannung U_1	220 - 480 V AC +6/-10 %, 50/60 Hz
Ausgangsspannung	$0,9 \cdot U_1$ V DC während Übererregung $0,45 \cdot U_1$ V DC nach Übererregung
Übererregungszeit	0,3 s
max. Ausgangsstrom	2 A DC
Umgebungstemperatur	-20° C bis 40° C
Klemmbarer Leiterquerschnitt	max. 1,5 mm ²

Den Sondergleichrichter MSG gibt es in zwei Ausführungen, die sich durch die Art der Abschalterkennung unterscheiden.

4.4.1 MSG 2.480U

Prinzip: Schnellabschaltung aufgrund fehlender Eingangsspannung.
Dieser Typ wird eingesetzt, falls die Spannungsversorgung separat eingespeist wird.

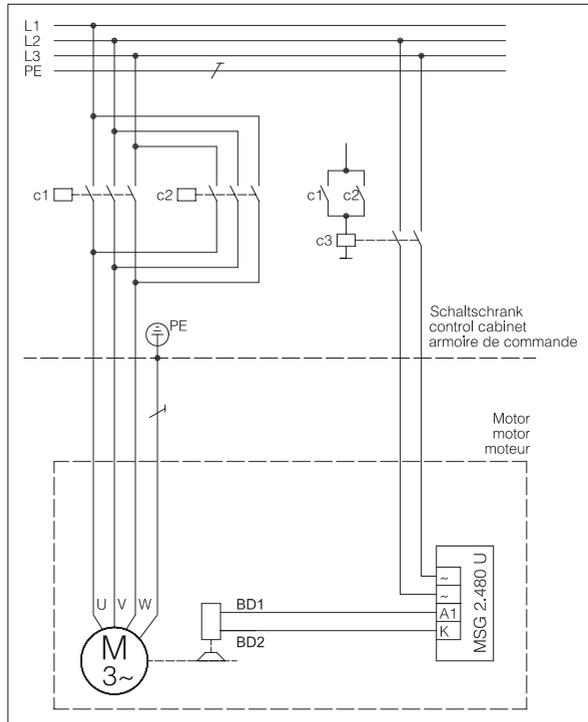


Bild 8: Elektrischer Anschluss des Typs MSG 2.480U

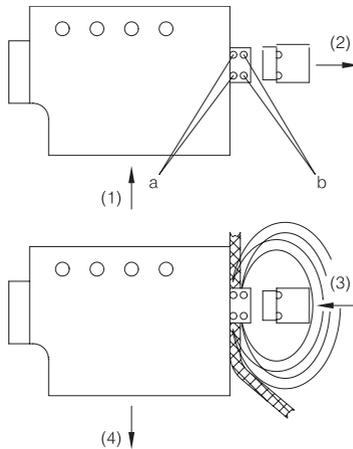


Bild 10: Fixierung des Leiters am Gleichrichter
a: Rastung 1, b: Rastung 2

- Gleichrichter aus der Führung des Klemmenkastens herausziehen (1)
- Halterung seitlich abziehen (2)
- Leiter bzw. Leiterschleifen innerhalb des Bügels gegen die Gleichrichterwand drücken und Halterung wieder aufstecken (3)
- Gleichrichter wieder auf die Führung schieben (4)

Der Bügel kann in zwei Rasterstellungen fixiert werden. Rastung 1 ist zu wählen, falls Rastung 2 bei kleinen Klemmenkästen platzmäßig nicht möglich ist. Abhängig von der Anzahl der Leiterdurchführungen dürfen in Rastung 1 folgende Leiterquerschnitte nicht überschritten werden:

3-malige Durchführung: max. 1,5 mm²

2-malige Durchführung: max. 2,5 mm²

1-malige Durchführung: max. 6 mm²

In Rastung 2 ist ein maximaler Querschnitt von 16 mm² zulässig.

Bei Motoren mit Nennströmen größer ca. 25 A geht der Magnetsensordes Gleichrichters aufgrund der relativ hohen Anlaufströme in die Sättigung und erkennt anschließend Ströme kleiner 1 A nicht mehr. Das bedeutet, dass ein Gleichrichter, der einmal an einem großen Motor ($I_N > 25$ A) betrieben wurde, für kleine Motoren nicht mehr verwendet werden darf.

Die maximale Dauerstrom-Belastbarkeit des Sensors beträgt 60 A.



Achtung:

Wird der Antrieb einer Hochspannungsprüfung unterzogen, sind vorher die beiden Anschlussleiter des Gleichrichters abzuklemmen.

5 Anbau

Im allgemeinen sind die Federdruckbremsen betriebsfertig am Motor montiert. Bei nachträglichem Anbau ist wie folgt vorzugehen (siehe Bild 1):

- 5.1 Flanschplatte (4) mit Hilfe der Zylinderschrauben (9) und den USIT-Ringen (10) am Motorlagerschild bzw. an der Lüfterhaube befestigen, mit Loctite sichern.
Anzugsmoment beachten, $MA = 22 \text{ Nm}$.
Bei Anbau ans Lagerschild:
Verbindungsstelle zwischen Flanschplatte und Lagerschild mit Flächen-dichtmittel abdichten.
- 5.2 Mitnehmer (6) – bei Anbau an Lüfterhaube mit V-Ring (11) – auf Welle montieren, auf ganze Traglänge der Passfeder achten und axial mit einem Sicherungsring fixieren.
- 5.3 Bremsscheibe (1) von Hand auf den Mitnehmer schieben, Bremsscheibenbund zeigt in Richtung Bremse. Auf Leichtgängigkeit der Verzahnung achten.
Keine Beschädigung !
- 5.4 Bremse mit O-Ring (12) über die Zylinderschrauben (5) und den USIT-Ringen (13) an der Flanschplatte befestigen. Anzugsmoment beachten, $MA = 45 \text{ Nm}$.
- 5.5 Bei Motorausführung ohne 2. Wellenende Verschlusskappe (14), bei Ausführung mit 2. Wellenende Wellendichtring (15) montieren.

Nach elektrischem Anschluss ist die Bremse betriebsbereit.

6 Montage der Handlüftung

Die Handlüftung kann nur im abgeschraubten Zustand der Bremse montiert werden.

Vorgehensweise (siehe Bild 1 und 11):

- 6.1 Bremse von Flanschplatte (4) lösen.
- 6.2 Verschlussstopfen aus Handlüftbohrungen im Magnetgehäuse (8) entfernen.
- 6.3 Druckfedern (19) auf die Handlüftbolzen (20) stecken.
- 6.4 Handlüftbolzen (20) mit Druckfedern (19) von innen (Blickrichtung auf Magnetspule (7)) in die Handlüftbohrungen im Magnetgehäuse (8) schieben.
- 6.5 O-Ringe (21) über Handlüftbolzen (20) schieben und in die Senkungen des Magnetgehäuses (8) drücken.
- 6.6 Zwischenplatten (22) über Handlüftbolzen (20) schieben.
- 6.7 Handlüftbügel (16) aufsetzen, Scheibe (23) aufstecken und selbstsichernde Muttern (24) leicht aufschrauben.
- 6.8 Beide Sicherungsmuttern (24) anziehen, bis die Ankerscheibe (2) gleichmäßig am Magnetgehäuse (8) anliegt.
- 6.9 Beide Sicherungsmuttern (24) um 1,5 Umdrehungen lösen und somit den Luftspalt zwischen Ankerscheibe (2) und Magnetgehäuse (8) bzw. das Prüfmaß $X (= 2,4^{+0,1} \text{ mm})$ herstellen.
- 6.10 Handlüftstab (17) in Handlüftbügel (16) einschrauben und anziehen.

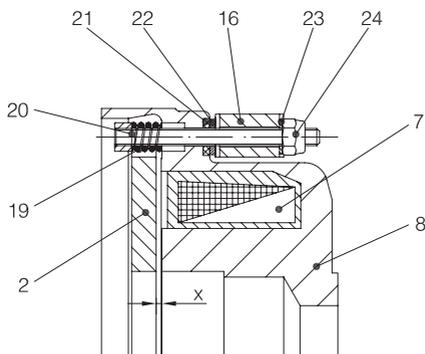


Bild 11: Montage der Handlüftung

7 Einstellung des Bremsmomentes

Das Bremsmoment kann in Stufen mit der Federzahl verändert werden. Die abhängig von der Federbestückung erzielten Bremsmomente sind in Abschn. 9 aufgeführt.

Vorgehensweise zur Änderung der Federbestückung (siehe Bild 1):

- 7.1 Bremse von Flanschplatte (4) abschrauben.
- 7.2 Befestigungsschrauben (5) entfernen.
- 7.3 Ansatzschrauben (18) aus Magnetgehäuse (8) herausdrehen und Ankerscheibe (2) abnehmen.



Achtung:

Die Federn (3) drücken gegen die Ankerscheibe. Zum Entfernen der Ansatzschrauben muß die Ankerscheibe gegen das Magnetgehäuse gedrückt werden, um ein schlagartiges Entspannen der Federn zu vermeiden.

Einbaulage der Ankerscheibe beachten und aufpassen, daß keine Federn herausfallen.

- 7.4 Federn (3) entsprechend gewünschtem Bremsmoment (siehe Abschn. 9) einlegen.



Achtung:

Die Federn sind **symmetrisch** anzuordnen.

- 7.5 Ankerscheibe (2) auf Magnetgehäuse (8) bzw. Federn (3) legen (Einbaulage beachten), Ankerscheibe gegen die Federkraft niederdrücken und Ansatzschrauben (18) auf Anschlag einschrauben.
- 7.6 Bremse mit Hilfe der Befestigungsschrauben (5) und den USIT-Ringen (13) an Flanschplatte (4) montieren. Anzugsmoment beachten, $MA = 45 \text{ Nm}$.

8 Wartung

Die E500B-Bremse ist weitgehend wartungsfrei, da durch die robuste und verschleißfeste Bremsscheibe eine sehr hohe Lebensdauer erzielt wird.

Ist jedoch die Bremsscheibe durch eine hohe Gesamtreibarbeit verschlissen und somit die Funktion der Bremse nicht mehr gewährleistet, so kann die Bremse durch Wechsel der Bremsscheibe wieder in ihren Ausgangszustand gebracht werden.

Der Verschleißzustand der Bremsscheibe ist durch Messen des Luftspalts oder der Bremsscheibendicke regelmäßig zu überprüfen. Spätestens bei Erreichen der in Abschn. 9 angegebenen Maximalwerte für den Luftspalt bzw. Minimalwerte für die Bremsscheibendicke muß die Bremsscheibe gewechselt werden (siehe Abschn. 8.2).

8.1 Messung des Luftspalts

Vorgehensweise (siehe Bild 1):

- 8.1.1 Bremse spannungsfrei schalten.
- 8.1.2 Bohrung am Umfang des Magnetgehäuses (8) durch Entfernen des Stopfens öffnen.
- 8.1.3 durch diese Öffnung den Abstand zwischen Ankerscheibe (2) und Magnetgehäuse (= Luftspalt s_L) mittels einer Fühlerlehre messen.
- 8.1.4 Bohrung wieder verschließen.

8.2 Messung der Bremsscheibendicke, Austausch der Bremsscheibe

Vorgehensweise (siehe Bild 1):

- 8.2.1 Motor und Bremse vom Netz trennen. Zuleitung an der Bremse abklemmen.
- 8.2.2 Bremse über die Befestigungsschrauben (5) von Flanschplatte (4) abschrauben.
- 8.2.3 Bremse reinigen. Abrieb mit Hilfe von Druckluft entfernen.
- 8.2.4 Bremsscheibe (1) von Mitnehmer (6) abziehen.
- 8.2.5 Dicke der Bremsscheibe messen. Bremsscheibe gegebenenfalls austauschen.
- 8.2.6 Ankerscheibe (2) auf Verschleiß und Planparallelität überprüfen (starke Rillenbildung darf nicht vorhanden sein). Ankerscheibe gegebenenfalls austauschen (Vorgehensweise wie in Punkt 7.3 und 7.5 beschrieben).
- 8.2.7 Bremsscheibe (1) auf Mitnehmer (6) schieben und auf radiales Spiel überprüfen.
Ist vergrößertes Spiel in der Verzahnung zwischen Mitnehmer und Bremsscheibe vorhanden, so ist der Mitnehmer von der Welle abzuziehen und zu ersetzen.
- 8.2.8 Bremse mit Hilfe der Befestigungsschrauben (5) und den USIT-Ringen (13) an Flanschplatte (4) montieren. Anzugsmoment beachten, $MA = 45 \text{ Nm}$.

9 Technische Daten

Typ	M _N [Nm]	ZF	W _{max} [*10 ³ J]	W _{th} [*10 ³ J]	W _L [*10 ⁶ J]	t _A [ms]	t _{AC} [ms]	t _{DC} [ms]	S _{Lmax} [mm]	d _{min} [mm]
E500B9	500	12	100	700	1200	370	800	80	1,0	17,9
E500B8	400	10	113	700	1600	310	1000	90	1,2	17,7
E500B7	350	8	120	700	2000	280	1200	100	1,4	17,5
E500B5	250	6	135	700	2800	220	1500	140	1,8	17,1
E500B4	200	5	150	700	3400	190	1700	160	2,1	16,8

Elektrische Leistungsaufnahme der Magnetspule bei 20° C: P_{el} = 150 W.

Erläuterung der Abkürzungen

M_N Nenn-Bremsmoment.

Dieser Wert wird erst nach einer gewissen Einlaufzeit der Brems-scheibe erreicht und kann danach abhängig von der Betriebstemperatur und dem Verschleißzustand der Reibpartner um ca. -10 / +30 % abweichen.

ZF Anzahl der Federn

W_{max} Maximal zulässige Schaltarbeit bei einmaliger Bremsung.

Die Schaltarbeit W_{Br} einer Bremsung berechnet sich wie folgt:

$$W_{Br} = \frac{J \cdot n^2}{182,5}$$

J – Massenträgheitsmoment [kgm²] des Gesamtsystems bezogen auf die Motorwelle

n – Motordrehzahl [1/min] die abgebremst wird

W_{th} Maximal zulässige Schaltarbeit pro Stunde

W_L Maximal zulässige Schaltarbeit bis zum Tausch der Brems-scheibe

t_A Ansprechzeit beim Lüften mit Normalerregung.

Bei Übererregung durch den Sondergleichrichter MSG ergeben sich ca. halb so lange Ansprechzeiten.

t_{AC} Ansprechzeit beim Bremsen mit wechselstromseitiger Abschaltung, d.h. durch Unterbrechung der Spannungsversorgung eines separat gespeisten Standardgleichrichters

t_{DC} Ansprechzeit beim Bremsen mit gleichstromseitiger Unterbrechung durch mechanischen Schalter.

Bei elektronischer gleichstromseitiger Unterbrechung durch den Sondergleichrichter MSG ergeben sich ca. doppelt so hohe Ansprechzeiten.

Abhängig von der Betriebstemperatur und dem Verschleißzustand der Brems-scheibe können die tatsächlichen Ansprechzeiten (t_A, t_{AC}, t_{DC}) von den hier angegebenen Richtwerten abweichen.

S_{Lmax} Maximal zulässiger Luftspalt

d_{min} Minimal zulässige Dicke der Brems-scheibe