

# Technische Erläuterungen.

Elektromagnete von Gruner –  
kundenspezifische Ausführungen.



## GRUNER AG

Bürglestraße 15-17 · 78564 Wehingen  
Tel. +49 7426 948-0 · Fax +49 7426 948-200  
[www.gruner.de](http://www.gruner.de) · [info@gruner.de](mailto:info@gruner.de)



*Schalten und Bewegen*

## Vorwort

Zusätzlich zur DIN VDE 0580 (Elektromagnetische Geräte und Komponenten, allgemeine Bestimmungen) sollen die nachfolgenden technischen Erläuterungen dazu beitragen die Kundenwünsche nach einem optimalen Elektromagneten wirtschaftlich umzusetzen.

Die wichtigsten Begriffe der Elektromagnetetechnik werden erklärt und sollten gemeinsam von Gruner und den Kunden beachtet werden.

Elektromagnete unterteilt man in **passive und aktive Elektromagnete**.

**Passive Elektromagnete** üben keine unmittelbare Bewegung aus, sie dienen dazu Materialien zu halten, daher auch die Bezeichnung **Haftmagnete**.

**Aktive Elektromagnete** dagegen üben unmittelbar eine mechanische nutzbare Bewegung aus. Als Überbegriff hat sich die Bezeichnung **Betätigungsmagnet oder Hubmagnet** eingebürgert.

Diese technischen Erläuterungen beziehen sich nur auf die Gruner Produkte und sind sicher nicht vollständig. Sie sollen nicht die bekannte Literatur ersetzen.

Bei weiteren Fragen können Sie uns jederzeit kontaktieren.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b> .....	6
<b>2 Funktionsweise</b> .....	7
<b>3 Bauarten der Gruner AG für Gleichstrom-Magnete</b> .....	10
3.1 Einfach-Hubmagnete (z.B. 256, 257 und 258).....	11
3.2 Geräuschgedämpfte Hubmagnete (z.B. 506 und 507).....	12
3.3 Mono- und bistabile Hubmagnete (z.B. 552 und 553).....	13
3.4 Bistabile Ventilmagnete (z.B. 552).....	14
3.5 Haftmagnete (z.B. M2003).....	14
3.6 Sondermagnete (z.B. M2004).....	15
<b>4 Ansteuerungen der Gleichstrom-Hubmagnete</b> .....	16
4.1 Wechselspannung über Brückengleichrichter.....	16
4.2 Geglättete Gleichspannung.....	16
4.3 Batteriespannung (z.B. 9 V bis 16 V).....	16
4.4 Dithersignale auf Gleichspannung.....	17
4.5 Konstantspannung, Konstantstrom.....	17
4.6 Pulsweitenmodulation PWM.....	17
4.7 Übererregungselektronik für Anzug und Halten.....	17
4.8 Positive Abzugsspannung und negative reduzierte Rückstellspannung.....	17
4.9 Ansteuerung über Kondensatorentladungen.....	17
4.10 Gleichstromseitiges Schalten / wechselstromseitiges Schalten.....	18
4.11 Schnellerregung und Übererregung zur Verkürzung der Anzugszeit.....	18
<b>5 Reduzierung der Abschaltüberspannung, Funkenlöschung</b> .....	19
5.1 Bedämpfung durch ohmschen Widerstand.....	19
5.2 Bedämpfung durch Dioden und Zenerdioden.....	19
5.3 Bedämpfung durch Brückengleichrichter.....	19
5.4 Bedämpfung durch Varistoren (spannungsabhängige Widerstände).....	19
5.5 Funkenlöschung.....	19
<b>6 Anwendungen</b> .....	20
6.1 Allgemein.....	20
6.2 Automobiltechnik.....	21
6.3 Einbaurichtlinien für Elektromagnete.....	22
6.4 Lebensdauer.....	22

<b>7 Kenngrößen für die Elektromagnete der Gruner AG</b> .....	<b>23</b>
7.1 Elektrische Begriffe .....	23
7.1.1 Nennspannung $U_n$ .....	23
7.1.2 Anzugsspannung $U_{anz}$ .....	23
7.1.3 Nennstrom $I_n$ .....	23
7.1.4 Anzugsstrom $I_{anz}$ .....	23
7.1.5 Rückstellstrom $I_r$ .....	24
7.1.6 Grenzstrom $I_g$ (bei Betrieb mit Konstantstrom) .....	24
7.1.7 Nennleistung $P_n$ .....	24
7.1.8 Grenzleistung $P_g$ (bei Betrieb mit Konstantstrom) .....	24
7.2 Mechanische Begriffe .....	24
7.2.1 Kräfte bei Elektromagneten mit Anker (Hubmagnete) .....	24
7.2.1.1 Magnetkraft (Anzugskraft) .....	24
7.2.1.2 Elektromagnetkraft + Permanent-Magnetkraft .....	24
7.2.1.3 Stromlose Haltekraft / Permanentmagnetkraft .....	25
7.2.1.4 Hubkraft .....	25
7.2.1.5 Haltekraft und Haftkraft .....	25
7.2.1.6 Resthaftkraft und Rückstellkraft (Remanenz) .....	25
7.2.1.7 Kraft-Hub-Hysterese .....	25
7.2.1.8 Kraft-Strom-Hysterese .....	26
7.2.2 Kräfte bei Elektromagneten ohne Anker (Haftmagnete) .....	26
7.2.2.1 Bestromte Abrisskraft .....	26
7.2.2.2 Stromlose Restabrissskräfte (Remanenz) .....	26
7.2.2.3 Stromlose Abrisskraft .....	27
7.2.2.4 Bestromte Restabrissskraft .....	27
7.2.3 Hub .....	27
7.2.3.1 Magnethub (Gesamthub) .....	27
7.2.3.2 Arbeitshub .....	27
7.2.3.3 Leerhub .....	27
7.2.3.4 Hubanfangslage .....	27
7.2.3.5 Hubendlage .....	27
7.2.4 Magnetkraft-Hubkennlinie $F = f(s)$ .....	28
7.2.5 Hubarbeit, Hubanpassung .....	28
7.2.6 Kundenkraftbedarf (Kundenkraft) .....	28
7.3 Allgemeine Zeitbegriffe .....	29
7.3.1 Betriebsarten .....	29
7.3.2 Einschaltdauer $t_5$ .....	30
7.3.3 Stromlose Pause $t_6$ .....	30
7.3.4 Spieldauer $t_7$ .....	30
7.3.5 Spielfolge .....	30
7.3.6 Relative Einschaltdauer ED .....	30
7.3.7 Arbeitsspiel .....	31
7.3.8 Schalthäufigkeit .....	31

7.4 Zeitbegriffe bei Hubmagneten .....	31
7.4.1 Anzugszeit $t_1$ .....	31
7.4.2 Ansprechverzug $t_{11}$ .....	31
7.4.3 Hubzeit $t_{12}$ .....	31
7.4.4 Abfallzeit $t_2$ .....	31
7.4.5 Abfallverzug $t_{21}$ .....	32
7.4.6 Rücklaufzeit $t_{22}$ .....	32
7.5 Temperaturbegriffe und thermische Klassen .....	32
7.5.1 Umgebungstemperatur $\vartheta_{13}$ .....	32
7.5.2 Beharrungstemperatur $\vartheta_{23}$ .....	32
7.5.3 Bezugsstemperatur .....	33
7.5.4 Übertemperatur $\Delta \vartheta_{31}$ .....	33
7.5.5 Heißpunktdifferenz $\Delta \vartheta_{34}$ .....	33
7.5.6 Obere Grenztemperatur $\vartheta_{21}$ .....	33
7.5.7 Betriebswarmer Zustand, Spulenendtemperatur .....	33
7.5.8 Luftkühlung, Kühlflächenkühlung .....	33
7.5.9 Thermische Klassen .....	33
7.6 Schutzklassen .....	34
7.6.1 Geräte der Schutzklasse I / Schutzerdung .....	34
7.6.2 Geräte der Schutzklasse II / Schutzisolierung .....	34
7.6.3 Geräte der Schutzklasse III / Schutzkleinspannung .....	34
<b>Quellen</b> .....	<b>37</b>

## 1 Einführung

Gruner entwickelt kundenspezifische Elektromagnete seit mehr als 50 Jahren.

Der Elektromagnet ist durch seinen einfachen Aufbau ein preisgünstiger Aktor für die unterschiedlichsten Kundenanforderungen.

Elektromagnete finden Anwendung für die Funktionen wie z. B. Positionieren, Ausstoßen, Verriegeln, Umleiten, Klemmen, Sperren und Halten.

Im Automobilbereich beeinflussen Gruner Elektromagnete im Umgebungstemperaturbereich von  $-40\text{ °C}$  bis  $+105\text{ °C}$  positiv die Sicherheit, Umwelt sowie den Komfort bzw. die Bedienbarkeit.

Im Automobil-Innenraum schalten und bewegen Gruner-Magnete geräuscharm (siehe Anwendungen im Gangwahlschalter und in Fahrberechtigungssystemen).

Für diese Funktionen sind Elektromagnete geeignet, diese müssen jedoch speziell für die gewünschte Kundenanforderung gemeinsam angepasst werden.

Die Gruner AG konzentriert sich auf Gleichstrom-Hubmagnete und -Haftmagnete. Eingebaute Dauermagnete realisieren gegen Mehrpreis ein stromloses Halten des beweglichen Ankers bzw. ein stromloses Halten einer kundenseitigen Last.


Hubmagnete können für die ziehende oder gegen Mehrpreis für die drückende Anwendung aufgebaut werden.

Die Elektromagnete der Gruner AG können den Kundenwünschen angepasst werden.

Nach einer frühen Kundenanfrage realisiert Gruner eine zeitnahe Machbarkeitsstudie mit nachfolgenden Mustern.


Bei der Gruner AG werden nachfolgende drei Entwicklungsmethoden eingesetzt.

1.




Basis ist ein neutraler Elektromagnet mit vorhandenen Magnetkraft- und Leistungskennlinien.

2.



Mit dem A-Muster werden die Kunden-Vorgaben überprüft und optimiert.

3.



Mit einer FEM-Berechnung werden die Kunden-Vorgaben überprüft und optimiert. Nachfolgende A-Muster bestätigen die Kunden-Vorgabedaten.

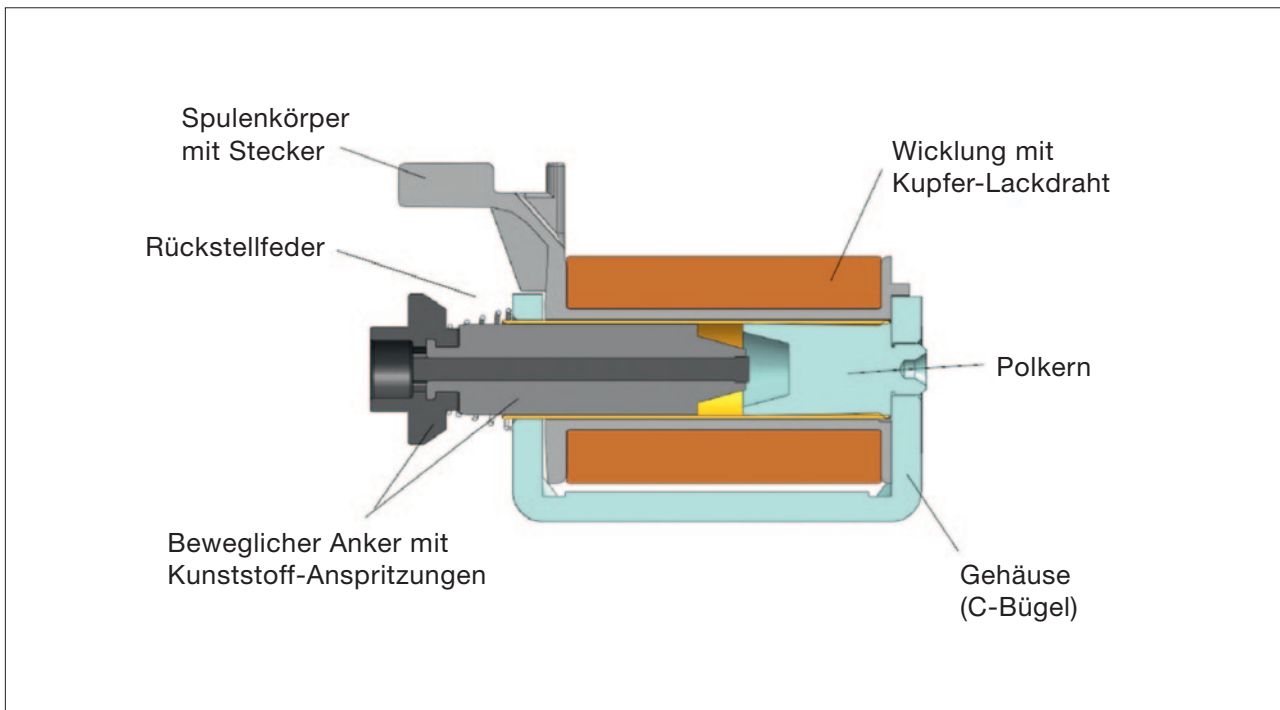
## 2 Funktionsweise

Der einfachste Elektromagnetkreis besteht aus einer Wicklung und einem Eisennagel. Bei Anlegen einer Spannung an die beiden Drahtenden wird der Eisennagel in die Wicklung (Spule) hineingezogen.

Zur Realisierung eines **Einfachhubmagneten** werden zusätzliche optimierte magnetisierbare Teile wie Polkern, Anker und Gehäuse in den Magnetkreis eingebaut für mehr bzw. angepasste Magnetkraft und weniger Leistung.

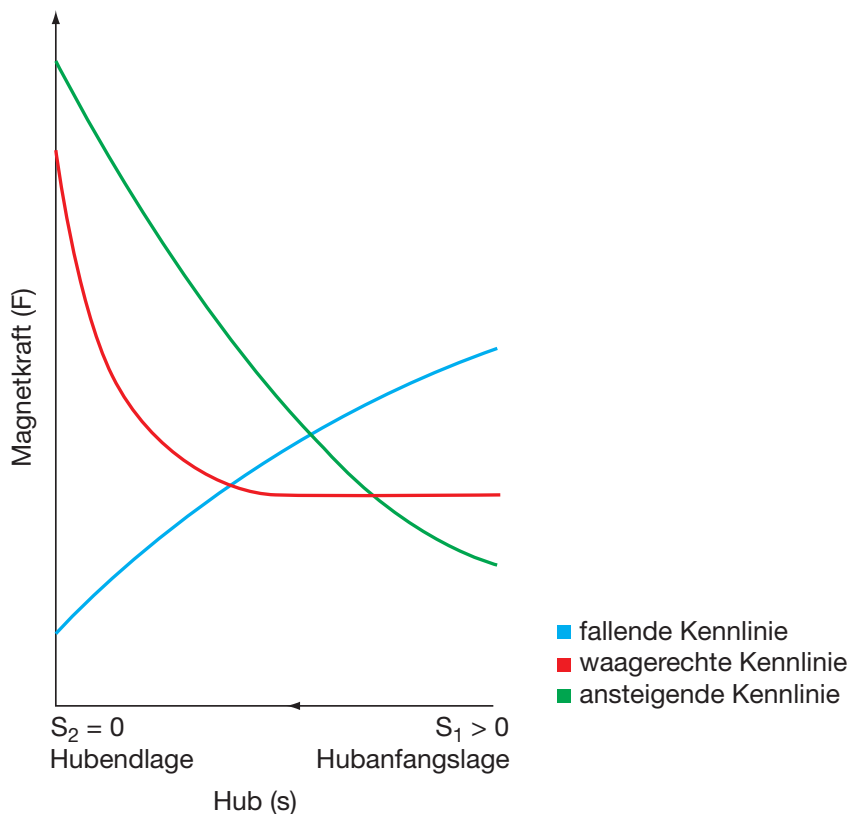


### Einfach-Hubmagnet, ziehend (Aufbau)



Das Bild zeigt den kostengünstigen Aufbau für **eine ziehende Anwendung**. (Die Kundenmechanik wird mit dem Ankerende mit der Kunststoff-Anspritzung verriegelt). Für eine **drückende Anwendung** wird eine zusätzliche dünne unmagnetische Ankerachse mit dem Anker verbunden und durch den Polkern nach außen geführt.

Mit der optimalen Geometrie des festen Polkerns und des beweglichen Ankers kann der **Magnetkraftverlauf ansteigend, waagrecht oder fallend** den Kundenwünschen angepasst werden. Eine ansteigende Kennlinie wird gewählt, wenn z. B. eine bauseitige oder kundenseitige Rückstellfeder zur Ankerrückstellung im stromlosen Zustand verwendet wird.



Ein verbleibender Restmagnetismus (Remanenz) im stromlosen Zustand zwischen dem beweglichen Anker und dem festen Kern ist unter anderem für Ankerklemmer verantwortlich. Abhängig von der kundenseitigen Ankerrückstellkraft und der verbleibenden Restspannung müssen bauseits Maßnahmen zur Vermeidung getroffen werden. Denkbar ist u. a die Verwendung einer Antiklebescheibe (= Zusatzluftspalt im geschlossenen Magnetkreis).

Der geschlossene Magnetkreis (der bewegliche Anker liegt direkt am festen Polkern an) wird in den Magnetkraftkennlinien mit der Hubstellung 0 (= große Magnetkräfte) definiert. Das obige Schnittbild zeigt den offenen Magnetkreis mit der Hubstellung max. (= kleine Magnetkräfte).



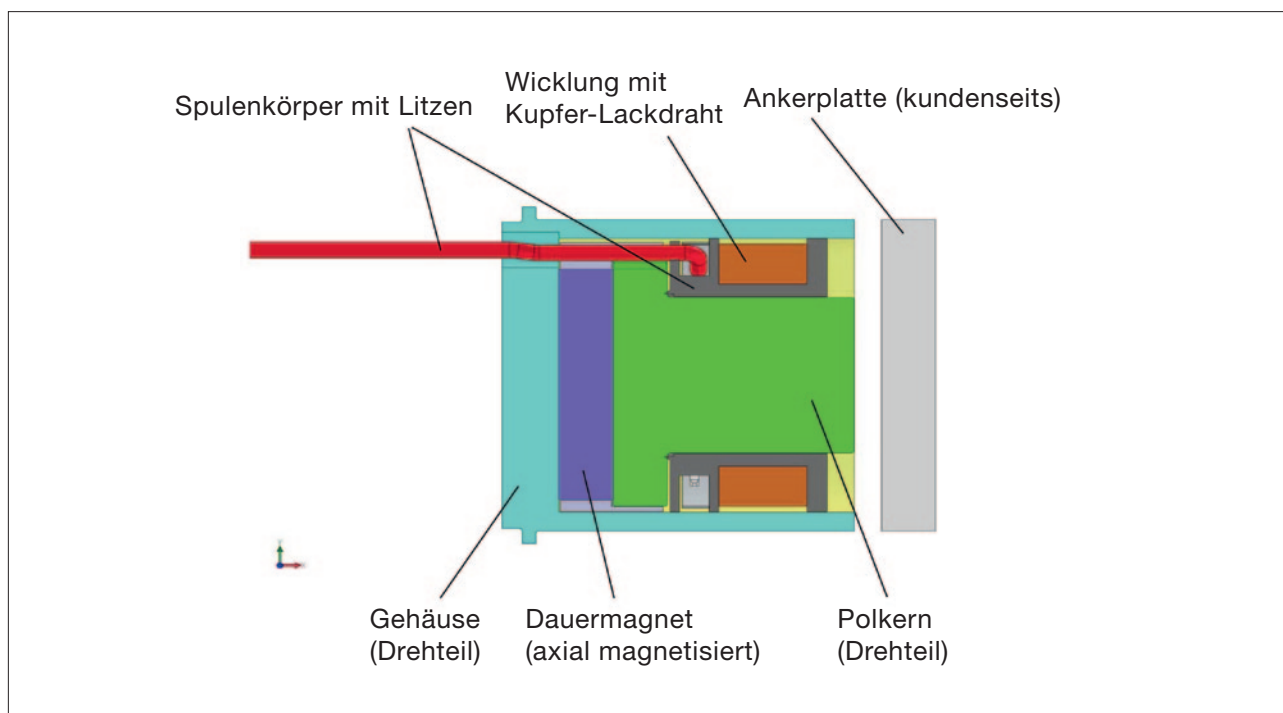
Elektrohaftmagnete oder **Permanent-Elektrohaftmagnete (mit eingebauten Dauermagneten)** sind sehr einfach aufgebaut und halten im geschlossenen Magnetkreis eine kundenseitige magnetisierbare Last.

Die Ankerplatte (= Kundenlast) wird in der Regel kundenseits realisiert. Elektrohaftmagnete bzw. Permanent-Elektrohaftmagnete haben eine sehr steile Magnetkraftkennlinie  $F = f(s)$  ohne nennenswerte Fernwirkung.

Eine bekannte Anwendung ist der Schrottplatz wo z.B. magnetische und unmagnetische Metalle getrennt werden. Eine weiteres Einsatzfeld ist die Teilefixierung an Flächenschleifmaschinen. Haftmagnete werden in Türhaltesystemen kombiniert mit Brandmeldeanlagen eingesetzt.

Permanent-Elektrohaftmagnete halten die Kundenlast stromlos, für den Lastabwurf wird nur ein kurzer Spannungsimpuls zur Neutralisierung des eingebauten Dauermagneten benötigt. Kopfstützen im Automobil können fixiert, umgelenkt bzw. im Crash-Fall in Fahrtrichtung „aktiviert“ werden. Im Gangwahlschalter werden die verschiedenen Schaltgassen verriegelt bzw. fixiert.

### Permanent-Elektrohaftmagnet (Aufbau)



### 3 Bauarten der Gruner AG für Gleichstrom-Magnete

Die Kundenvorgabe mit den technischen Anforderungen und den weiteren Randbedingungen wie Jahresmenge, Zielpreis und SOP ist die Basis für die Wahl der Bauart.

Die vorhandene Checkliste (alternativ Kunden-Lastenheft) hilft dem Kunden und der Gruner AG den geeigneten Elektromagneten für die gewünschte Anwendung auszuwählen bzw. zu optimieren.

#### Checkliste




**Gleichstrommagnete** haben bei der Gruner AG einen Anteil von ca. 95 %. Die Hubkraftkennlinie kann dem Kundenwunsch angepasst werden. Eine Lebensdauer mit mehreren Millionen Ankerbewegungen ist realisierbar. Die Spulenerwärmung wirkt sich negativ auf die Magnetkraft aus. Gegenüber dem Wechselstrommagneten gibt es keine Spulenbrände bei blockiertem Anker im geöffneten Magnetkreis bzw. nicht geschlossenen Magnetkreis. Gleichstromhubmagnete lassen sich durch Dreh-, Zieh-, Stanzbiegeteile und Kunststoffspritzteile kostengünstig aufbauen.

Bei Wechselstrom-Anwendungen kann kundenseits oder bauseits ein Gleichrichter vorgebaut werden. Die Spule kann an die Gleichrichterspannung bauseits angepasst werden.

**Wechselstrommagnete** haben Nachteile wie eine kleinere Lebensdauer und eine brummende Geräuschentwicklung. Gegenüber dem Gleichstrommagneten wird kein Gleichrichter benötigt. Bei Wechselstrommagneten muss der Anker immer vollständig in die Hubstellung 0 (Magnetkreis geschlossen) gehen, da ansonsten starke Geräusche (Brummen) und unzulässig hohe Temperaturen auftreten.

**Polarisierte Elektromagnete** (Impulsmagnete, Selbsthaltungsmagnete, Hybridmagnete, mono- und bistabile Magnete, Permanent-Elektrohaftmagnete usw.) haben zusätzlich eingebaute Dauermagnete zur stromlosen Fixierung des Ankers bzw. der Ankerplatte im geschlossenen Magnetkreis. Durch die kurze Spulenbestromung im „ms-Bereich“ gibt es keine nennenswerte Spulenerwärmung. Die Magnetkräfte bleiben annähernd konstant. Bei den mono- und bistabilen Hubmagneten sind positive Anzugspannungen und negative Rückstellspannungen notwendig.

### 3.1 Einfach-Hubmagnete (z.B. 256, 257 und 258)

 Datenblatt 256    Datenblatt 257    Datenblatt 258


Einfach-Hubmagnete sind Geräte mit begrenzter Ankerlängsbewegung, bei denen die Hubbewegung von der Hubanfangslage in die Hubendlage durch die elektromagnetische Kraftwirkung und die Rückstellung durch äußere Kräfte (z.B. eine bauseitige oder kundenseitige Rückstellfeder) erfolgt. Je nach Kraftabgabe wird unterschieden zwischen ziehender und drückender Ausführung.

Gleichstrom-Hubmagnete lassen sich sehr vielseitig einsetzen. Die zweckmäßige Anwendung setzt jedoch die genaue Kenntnis ihrer spezifischen Eigenschaften voraus. Sie zeichnen sich in der Hauptsache durch nachstehende Merkmale aus:

- Brummfreie Arbeitsweise
- Zusätzliche Dämpfungselemente garantieren eine ruhige Arbeitsweise
- Von der Ankestellung unabhängiger Stromverbrauch
- Hohe in Grenzen veränderbare Magnetkraft bzw. Haltekraft
- Die maximal verwirklichtbaren Schaltzahlen werden nur begrenzt durch die Länge der Anzugs- und Schaltzeiten
- Die Wicklungstemperatur erhöht sich nicht bei steigender Schaltzahl
- Innerhalb des Gesamthubes kann durch äußere Mittel jeder beliebige Hub verwirklicht werden
- Verzögerung des Hubvorganges ist ohne weiteres möglich

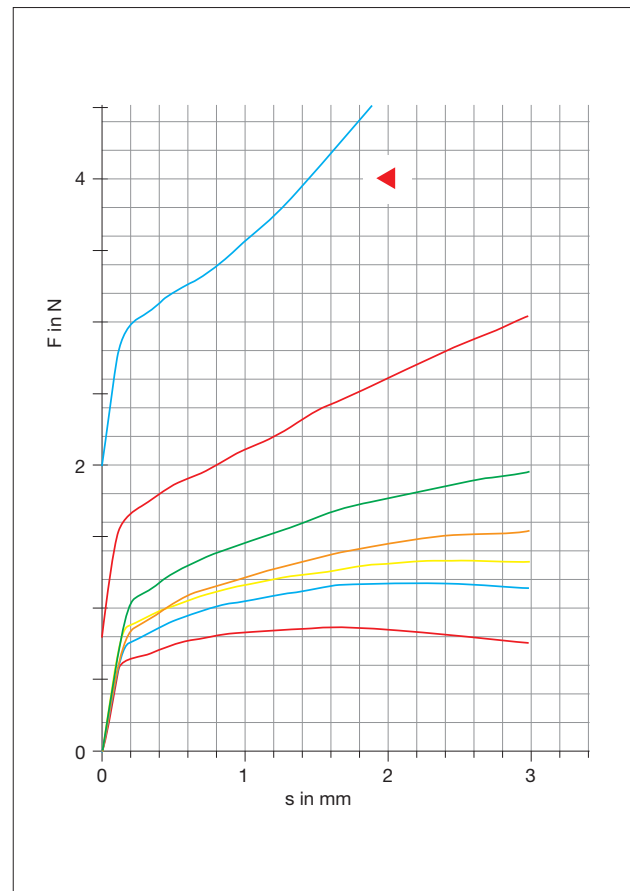
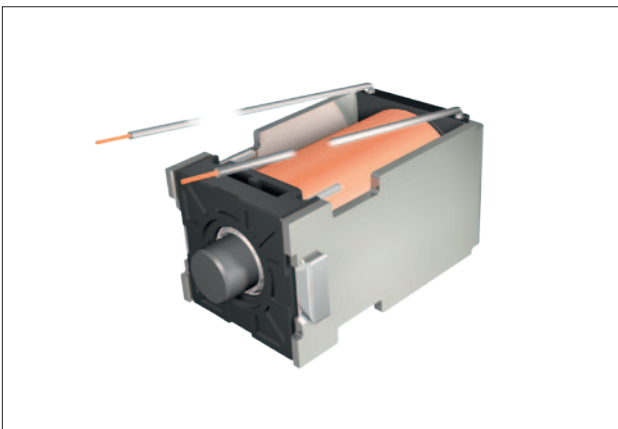


### 3.2 Geräuschgedämpfte Hubmagnete (z.B. 506 und 507)

 Datenblatt 506    Datenblatt 507

Geräuschgedämpfte Hubmagnete sind Einfach-Hubmagnete mit zusätzlichen internen Dämpfungselementen zur Vermeidung der typisch metallischen Anzugs- und Rückstellgeräusche.

Die Geräusche am Hubmagneten sind beeinflussbar durch die werkseitige Konstruktion, die kundenseitige elektrische Ansteuerung und das Einbau-Umfeld. Die Elektromagnetkraft muss mit dem Kundenkraftbedarf optimal abgestimmt werden.



### 3.3 Mono- und bistabile Hubmagnete (z.B. 552 und 553)

 Datenblatt 552     Datenblatt 553

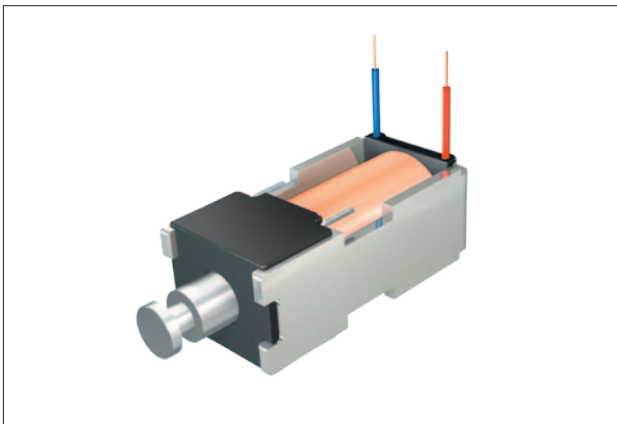
**Monostabile Hubmagnete** sind Geräte, bei denen durch die elektromagnetische Kraftwirkung die Hubbewegung des Ankers von der Hubanfangslage in die Hubendlage erfolgt. Die eingebauten Dauermagnete halten den Anker stromlos in der Hubendlage. Mit einer negativen Spulenbestromung wird das Dauermagnetfeld neutralisiert (= kraftlos) und der Anker kann durch eine externe Kundenkraft wieder in die Hubanfangslage zurückgestellt werden.

Mit einer zusätzlichen bauseitigen Rückstellfeder kann ein **bistabiler Hubmagnet** aufgebaut werden. Für die stromlose Gerätekraft in der Hubendstellung (Anker angezogen nach der positiven Spulenbestromung) sind hauptsächlich die Dauermagnete verantwortlich. Die stromlose Gerätekraft in der Hubanfangsstellung (Anker zurückgestellt nach der negativen Spulenbestromung) wird hauptsächlich durch die Rückstellfeder realisiert.


Mono-stabil: Der Anker hält stromlos in der Hubendstellung (Hub 0).

Bi-stabil: Der Anker hält stromlos in der Hubend- und in der Hubanfangsstellung.

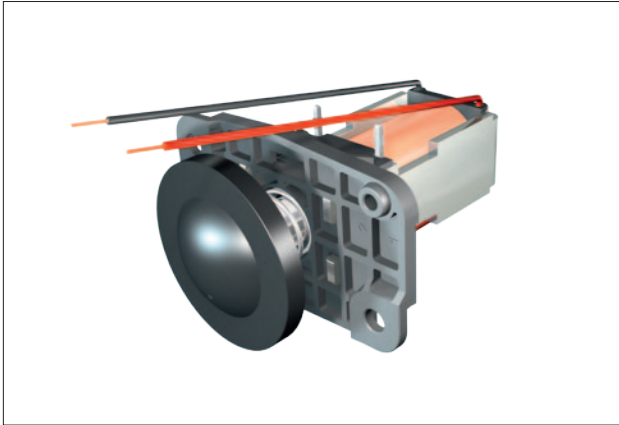
Die besonderen Eigenschaften wie Energieeinsparung, Sicherheit bei Stromausfall, Reduzierung der Baumaße, Gewichts- und Kosteneinsparung sowie annähernd konstante Magnetkräfte ermöglichen vielseitige Anwendungen im Büro-Maschinen- und Apparatebau, in der Automation, in Textilmaschinen, in Regelungs- und Steuerungsanlagen sowie im Automobilbau.




### 3.4 Bistabile Ventilmagnete (z.B. 552)

 Datenblatt 552

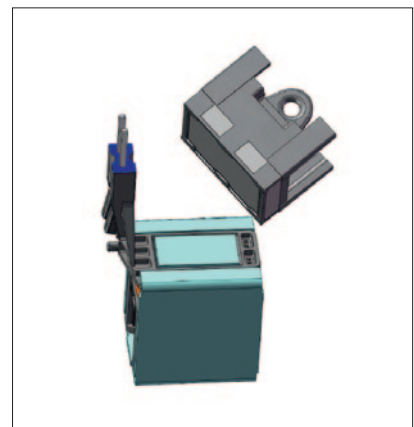
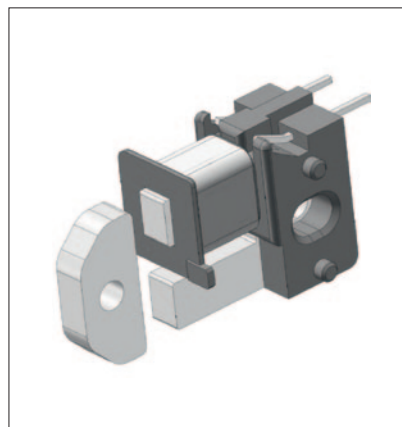
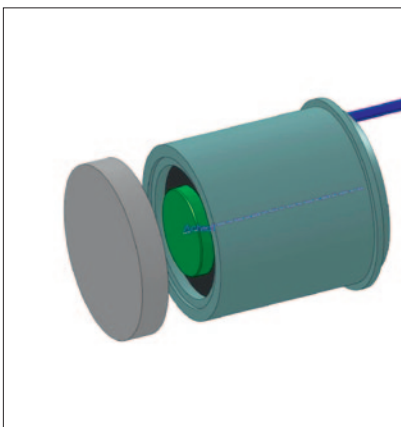
Bistabile Hubmagnete mit eingebauten Dauermagneten sind zusätzlich mit einem beweglichen Ventilteller ausgestattet und eignen sich für Abdichtfunktionen in Gasanwendungen. Die kundenseitige kurzzeitige Ansteuerung im „ms-Bereich“ erfolgt üblicherweise mit einer geeigneten Batterie mit Kondensatorentladung.




### 3.5 Haftmagnete (z.B. M2003)

 Datenblatt M2003

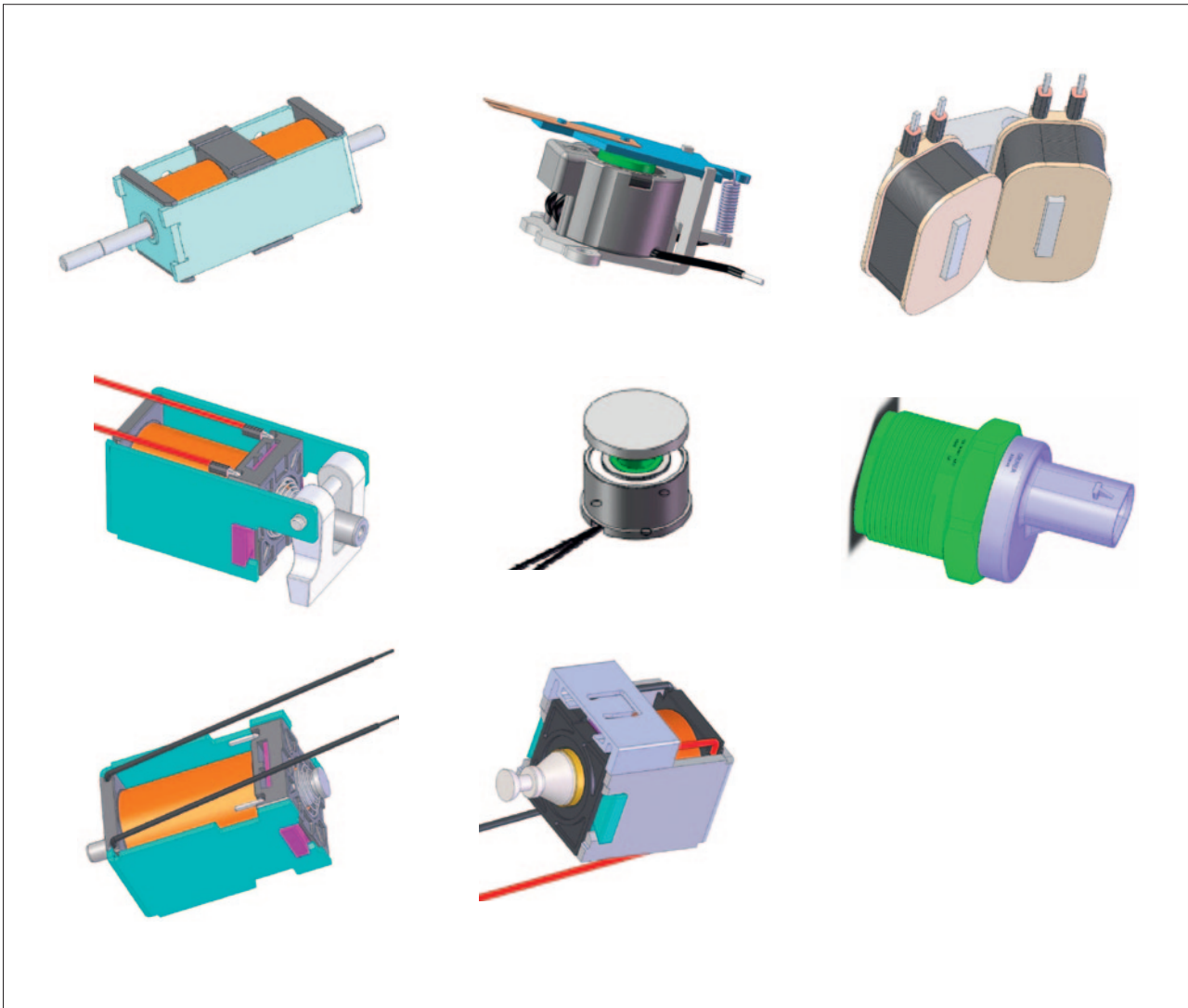
Haftmagnete werden für einen hohen Wirkungsgrad mit Drehteilen aufgebaut, die Ankerplatte (Kundenlast) gehört üblicherweise nicht zum Lieferumfang. Permanent-Elektrohaftmagnete haben einen zusätzlichen Dauermagneten (Permanentmagneten) eingebaut. Zur Kostenreduzierung bei kleinerem Wirkungsgrad ist ein Aufbau mit Stanz-Biegeteilen möglich. Der Spulenkörper ist üblicherweise ein Kunststoffspritzteil.



### 3.6 Sondermagnete (z.B. M2004)

 Datenblatt M2004

Aufbauend auf einem **Haft-** oder ziehenden/drückenden **Hubmagneten** können angepasste Umkehrhubmagnete, Klappankermagnete, Zwillingshaftsyste, Klappenstellmagnete, Verriegelungsmagnete, Kupplungs-Bremssysteme, umspritze Erregersysteme und Elektromagnete mit Zusatz-Elektronik dem Kunden gegen geringe Mehrkosten deutliche Vorteile (z.B. kleinerer Bauraum, Teilerduzierung) für seine Anwendung bringen.



## 4 Ansteuerungen der Gleichstrom-Hubmagnete

Zur Beeinflussung einerseits von Schaltzeiten, Schaltgeräuschen, Magnetkraft-Hysteresen, Magnetkräften und Spulentemperaturen und andererseits zur Beeinflussung der Baugröße sind unterschiedliche Ansteuerarten möglich. Bitte nennen Sie uns Ihre Anwendung mit der zur Verfügung stehenden Ansteuerart, wir unterstützen Sie gerne bei der Wahl der optimalen Ansteuerung.

Je nach Art der Ansteuerung kann die Nennkraft-Hub-Hysterese zwischen  $< 3\%$  (z.B. Pulsweitenmodulation) bis ca.  $10\%$  (z.B. Batteriespannung) beeinflusst werden.

### 4.1 Wechselspannung über Brückengleichrichter

Diese gleichgerichtete Wechselspannung ohne Glättung veranlasst den Anker zu (kleinsten) Mikro-Bewegungen und realisiert somit eine kleine bzw. günstigere Kraft-Hub-Hysterese.

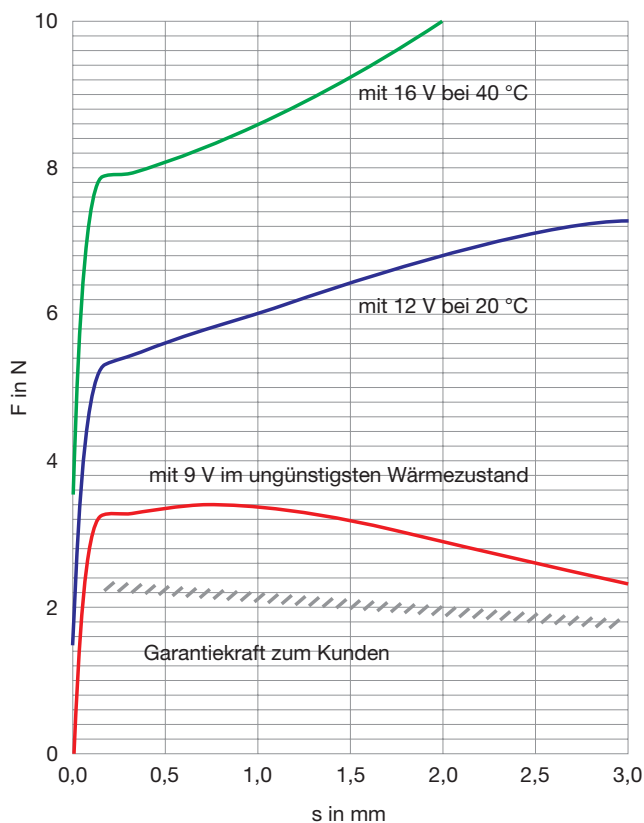
### 4.2 Geglättete Gleichspannung

Diese gleichgerichtete Wechselspannung mit Glättung hat wie die Batteriespannung vergleichbare/ähnliche Auswirkungen auf den Elektromagneten. Der Anker wird nicht zu Mikro-Bewegungen veranlasst, die Kraft-Hub-Hysterese wird größer bzw. ungünstiger.

### 4.3 Batteriespannung (z.B. 9 V bis 16 V)

Diese Ansteuerung ist bei kundenspezifischen Elektromagneten für Automobilanwendungen üblich.

Nicht optimal für die Baugröße, die Erwärmung, die Magnetkräfte, die Geräuschentwicklung und die Lebensdauer ist der große Spannungsbereich von minimal 9 V bis maximal 16 V.





#### 4.4 Dithersignale auf Gleichspannung

Die Gleichspannung mit überlagertem Rechteckpuls veranlasst den Anker zu kleinsten Mikro-Bewegungen und realisiert somit eine kleine/günstige Kraft-Hub-Hysterese. Diese Ansteuerung ist hauptsächlich bei Proportional-Magnet-Anwendungen zu finden.

#### 4.5 Konstantspannung, Konstantstrom

Die Ansteuerung mit **Konstantspannung** reduziert die Magnetkraftdifferenzen. Die Magnetkräfte sind nur noch abhängig vom Umgebungstemperaturbereich und den werkseitigen Fertigungstoleranzen.

Eine **Konstantstrom**-Ansteuerung hat für den Kunden Vorteile wie Bauraumreduzierung, Magnetkräfte sind nicht mehr abhängig von den Spannungs- und Temperaturunterschieden, reduzierte Anzugsgeräusche und höhere Lebensdauer.

#### 4.6 Pulsweitenmodulation PWM

Diese Ansteuerung ist bei kundenspezifischen Elektromagneten für Automobilanwendungen ebenfalls üblich. PWM ist auch unter Pulsbreitenmodulation (PBM) und Pulsdauermodulation (PDM) bekannt.

Durch die Pulsweiten-Änderung kann die im Mittel am Elektromagneten anliegende Spannung bzw. der durch die Spule fließende Strom je nach Anwendung z. B. zeitabhängig angepasst werden. Der Elektromagnet kann für den kurzen Ankeranzug (im ms-Bereich) mit einer hohen mittleren Spannung angesteuert werden, für das anschließende 100 %-ED-Halten in Hubendstellung kann die mittlere Spannung deutlich reduziert werden.

Diese Spannungs- bzw. Stromreduzierung kann neben einer kleinen Eigenerwärmung auch eine geringe Geräuschbildung zur Folge haben.

#### 4.7 Übererregungselektronik für Anzug und Halten

Diese Ansteuerung ähnlich der PWM soll den Elektromagneten für den kurzen Ankeranzug (im ms-Bereich) mit einer hohen Spannung ansteuern, für das anschließende 100 %-ED-Halten in Hubendstellung soll die Spannung deutlich reduziert werden.

Diese Spannungsreduzierung hat eine kleine Eigenerwärmung im Haltebetrieb zur Folge.

#### 4.8 Positive Abzugsspannung und negative reduzierte Rückstellspannung

Bei polarisierten bistabilen Hubmagneten (mit eingebauten Dauermagneten) ist die positive Anzugsspannung für den Ankeranzug (von Hubanfangsstellung bis zur Hubendstellung) erforderlich. Die negative und eventuell reduzierte Rückstellspannung neutralisiert das Dauermagnetfeld und stellt den Anker mit Hilfe einer werkseitigen oder kundenseitigen mechanischen Rückstellung (z. B. Rückstellfeder) wieder in die Hubanfangslage zurück.

#### 4.9 Ansteuerung über Kondensatorentladungen

Polarisierte mono- und bistabile Hubmagnete (mit eingebauten Dauermagneten) benötigen nur wenige Millisekunden (ms) für den Anzug und das Rückstellen. Hier bietet sich idealerweise eine Ansteuerung über eine Kondensatorentladung an.

**4.10 Gleichstromseitiges Schalten / wechselstromseitiges Schalten**

Beim **gleichstromseitigen** Schalten wird die Abschaltüberspannung nicht gedämpft. Diese Schaltung wird meistens bei Elektromagneten mit geringer elektrischer Leistung angewendet, um die Abfallzeit zu verkürzen. Zur Reduzierung/Vermeidung der Abschaltspannungsspitzen müssen kundenseitige geeignete Maßnahmen getroffen werden.



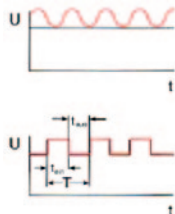
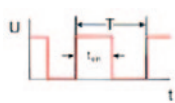
Bei **wechselstromseitigen** Schalten wird die Abschaltüberspannung vollständig gedämpft, jedoch ist die Abfallzeit stark verzögert.

**4.11 Schnellerregung und Übererregung zur Verkürzung der Anzugszeit**

Bei der **Schnellerregung** wird durch die Reihenschaltung eines ohmschen Widerstandes und entsprechende Erhöhung der Netzspannung die elektromagnetische Zeitkonstante des elektrischen Kreises vermindert und damit auch die Anzugszeit reduziert.

Bei der Anzugszeitverkürzung durch **Übererregung** wird während der Anzugszeit durch Erhöhung der Spannung die Anzugsleistung und damit die Anzugszeit bestimmende Magnetkraft erhöht. Die Übererregung darf jedoch, um eine Zerstörung der Wicklung durch Überhitzung zu vermeiden, nur so lange andauern, wie dies für die Anzugsfunktion unbedingt erforderlich ist. Nach dem Anziehen des Ankers muss die Erregung auf einen zulässigen Wert, welcher der relativen Einschaltdauer entspricht, herabgesetzt werden.

Nachfolgende Übersicht zeigt einige typische Versorgungsspannungen für die Elektromagnete mit den Auswirkungen auf die Kraft-Hub-Hysterese.

Versorgungsspannung	Kurvenform	H <sub>FN</sub>
Batteriespannung		ca. 10 %
Wechselspannung über Brückengleichrichter		3 %
Dithersignale auf Gleichspannung		< 3 %
Pulsweitenmodulation (PWM)		< 3 % für $15\% < \frac{t_{\text{ein}}}{T} \leq 85\%$

## 5 Reduzierung der Abschaltüberspannung, Funkenlöschung

Die Induktivität, mit der ein Gleichstrom-Elektromagnet behaftet ist, verursacht besonders bei den größeren Magneten hohe negative Abschaltüberspannungen, die teilweise zum Durchschlagen der elektrischen Isolation führen und empfindliche elektronische Bauelemente in der kundenseitigen elektronischen Ansteuerung zerstören können.

Folgende Maßnahmen zur Bedämpfung sind z.B. zu empfehlen, bei der Auswahl sind wir gerne behilflich.

Eine Bedämpfung der Abschaltspannungsspitze ist jedoch immer ein Kompromiss zwischen Ankerabfallzeit und Lebensdauer der Elektronik und Schalter im Umfeld.

### 5.1 Bedämpfung durch ohmschen Widerstand

Durch einen Parallelwiderstand wird die Abschaltüberspannung begrenzt. Dadurch erhöht sich jedoch die Abfallzeit und der elektrische Leistungsbedarf. Diese Abschaltüberspannung wird mit Reduzierung des Parallelwiderstandes kleiner.

### 5.2 Bedämpfung durch Dioden und Zenerdioden

Bei der Auswahl der Dioden muss darauf geachtet werden, dass diese die Betriebsspannung sicher sperren und kurzzeitig den Nennstrom des beschalteten Elektromagneten in Durchlassrichtung aushalten müssen. Der Ankerabfall wird auch bei dieser Schaltung leicht verzögert. Besonders bewährt haben sich in solchen Schaltungen Dioden mit Avalanche-Verhalten.

### 5.3 Bedämpfung durch Brückengleichrichter

Wird die Schaltung wechselstromseitig, d.h. vor dem Gleichrichter vorgenommen, so wird die Abschaltüberspannung vollständig gedämpft. Diese Maßnahme hat jedoch zur Folge, dass der Ankerabfall sehr stark verzögert wird.

### 5.4 Bedämpfung durch Varistoren (spannungsabhängige Widerstände)

Zur Dämpfung der Abschaltüberspannung werden auch Varistoren eingesetzt. Der elektrische Leistungsbedarf erhöht sich nur geringfügig. Die Abfallzeit wird nur wenig verzögert, die Abschaltüberspannung wird jedoch beträchtlich gedämpft.

### 5.5 Funkenlöschung

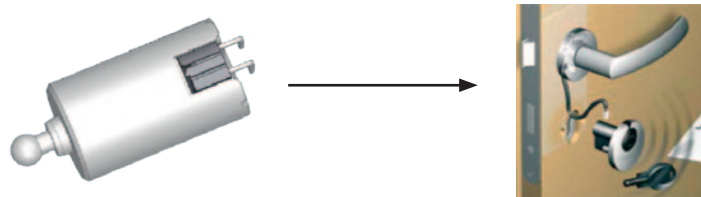
Die hohe Abschaltüberspannung insbesondere größerer Gleichstrom-Elektromagnete verursacht bei den verwendeten Schaltern, sofern keine Funkenlöschmittel vorgesehen sind, Lichtbogen und somit Abbrand der Kontakte und Materialwanderung. Das gebräuchlichste Funkenlöschmittel ist die Funkenlöschung mittels Varistoren und EC-Glied. Mit dem Varistor wird die Abschaltüberspannung auf die Spitzenspannung des verwendeten Kondensators gedämpft. Das RC-Glied, das parallel zum Schaltkontakt liegt, bewirkt, dass die am Kontakt auftretende Spannung die Lichtbogen-Mindestspannung nicht überschreitet, wodurch ein Lichtbogen sicher vermieden wird.

## 6 Anwendungen

### 6.1 Allgemein

Bi-stabile Miniatur-Hubmagnete finden Anwendung in elektronischen Zugangskontrollen.

Bi-stabiler Miniatur-Hubmagnet für eine elektronische Zugangskontrolle



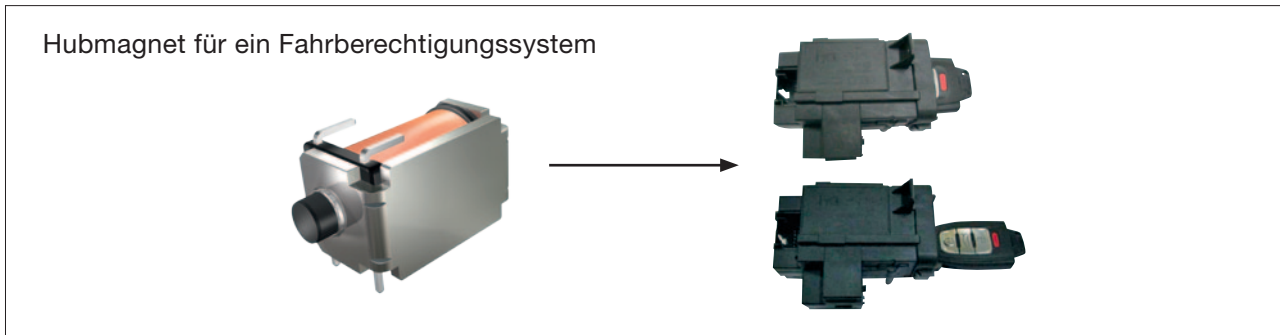
In Prepayment-Gasanwendungen steuern Ventilmagnete den Durchfluss.

Bi-stabiler Ventilmagnet für eine Prepayment-Gasanwendung

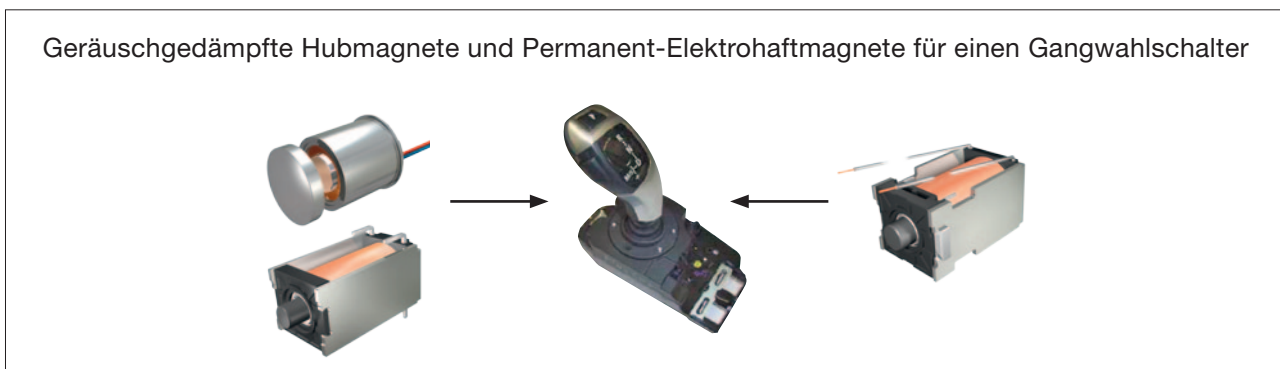


## 6.2 Automobiltechnik

Kostengünstige Einfach-Hubmagnete übernehmen Verriegelungsfunktionen in Fahrberechtigungssystemen.



Geräuschgedämpfte Hubmagnete und Permanent-Elektrohaftmagnete sind im Gangwahlschalter eingebaut.



### 6.3 Einbaurichtlinien für Elektromagnete

Gleichstromhub- und Gleichstromhaftmagnete können in beliebiger Einbaulage eingesetzt werden. Es ist darauf zu achten, dass die Kräfte nur in axialer Richtung abgenommen werden.

Spannung, Einschaltdauer, Temperatur und Schutzklasse sind vor Inbetriebnahme des elektromagnetischen Gerätes unbedingt zu überprüfen.

Der Anwender hat die in der DIN VDE 0580 beschriebenen Anforderungen und Schutzmaßnahmen zu beachten. Elektromagnete sind keine verwendungsfertigen Geräte im Sinn der VDE 0580.

### 6.4 Lebensdauer

Die Lebensdauer der Elektromagnete (z.B. die Anzahl der möglichen Ankerhübe) ist nicht nur von der Bauart sondern hauptsächlich von äußeren Bedingungen wie Einbaulage, äußerem Schmutzzustand sowie Art und Höhe der axialen und radialen Ankerbelastung abhängig.

Um eine hohe Lebensdauer der Hubmagnete zu erreichen, sollte der Magnet mit mindestens 70 % der Magnetkraft belastet werden. Der Magnetanker ist mit dem zu betätigenden Kundenteil nicht starr sondern gelenkig mit allseitigem Spiel zu verbinden.

Mit PTFE-Lagern (wartungsfreie Präzisionslager) bzw. mit gleitbeschichteten Ankern ausgerüstete Elektromagnete dürfen kundenseits nicht geschmiert werden, da dadurch die Lebensdauer der Lager herabgesetzt wird und die Lagerstellen zum Kleben neigen.

Bei kundenspezifischen Elektromagneten kann werkseitig die Ankerlagerung dem Kundenwunsch nach einer vorgegebenen Lebensdauer angepasst werden.

## 7 Kenngrößen für die Elektromagnete der Gruner AG

Die folgenden Kenngrößen aus der DIN VDE 0580 wurden teilweise an die Gruner Messtechnik angepasst bzw. berücksichtigen die Vorgehensweise in der Entwicklung der Gruner AG.

### 7.1 Elektrische Begriffe

Spannungs- und Stromangaben sind, sofern nichts anderes angegeben, bei Gleichstrom arithmetische Mittelwerte.

#### 7.1.1 Nennspannung $U_n$

Die Nennspannung  $U_n$  ist die Spannung, für die der Elektromagnet ausgelegt ist. Die dauernd zulässige Spannungsänderung beträgt +5 % bis -10 %.

Bei kundenspezifischen Entwicklungen muss der gesamte Spannungsbereich von  $U_{\min}$  bis  $U_{\max}$  (z.B. 9 V bis 16 V) mit Definition der Nennspannung für die Kraft- und Leistungsauslegung berücksichtigt werden.

#### 7.1.2 Anzugsspannung $U_{\text{anz}}$

Die Anzugsspannung ist die Spannung, die erforderlich ist, um den Anker von der Hubanfangslage in die Hubendlage zu bewegen. Die Last kann einerseits eine eingebaute Rückstellfeder oder andererseits eine definiert Kundenlast sein.

Die kundenseitige Ermittlung der erforderlichen Mindestanzugsspannung im verbauten Zustand des Elektromagneten gibt wertvolle Hinweise über die dynamischen Kraftreserven des Elektromagneten.

Die „Stromeinschnürung“ der Kennlinie  $I = f(t)$  sollte mit minimaler Spannung im gesamten Umgebungstemperaturbereich mit zusätzlicher Magneteigenerwärmung im ansteigenden Kennlinienverlauf liegen (siehe Diagramm Zeitbegriffe).

Die Aufzeichnung der Hubkennlinie  $s = f(t)$  muss mit einem berührungslosen Wegaufnehmer erfolgen.

#### 7.1.3 Nennstrom $I_n$

Bei Geräten mit Spannungswicklung bezieht er sich auf die Nennspannung und auf die Umgebungstemperatur 20 °C (= Wicklungstemperatur, ohne zusätzliche Magneteigenerwärmung).

#### 7.1.4 Anzugsstrom $I_{\text{anz}}$

Der Anzugsstrom ist der Strom, der erforderlich ist, um den Anker von der Hubanfangslage in die Hubendlage zu bewegen. Die Last kann einerseits eine eingebaute Rückstellfeder oder andererseits eine definiert Kundenlast sein.

Die kundenseitige Ermittlung des erforderlichen Mindestanzugsstromes im verbauten Zustand des Elektromagneten gibt wertvolle Hinweise über die dynamischen Kraftreserven des Elektromagneten.

Die „Stromeinschnürung“ der Kennlinie  $I = f(t)$  sollte mit minimaler Spannung im gesamten Umgebungstemperaturbereich mit zusätzlicher Magneteigenerwärmung im ansteigenden Kennlinienverlauf liegen (siehe Diagramm Zeitbegriffe). Die Aufzeichnung der Hubkennlinie  $s = f(t)$  muss mit einem berührungslosen Wegaufnehmer erfolgen.

### 7.1.5 Rückstellstrom $I_r$

Der Rückstellstrom ist der Strom, bei dem der Anker von der Hubendlage in die Hubangfangslage zurückkehrt.

### 7.1.6 Grenzstrom $I_g$ (bei Betrieb mit Konstantstrom)

Der Grenzstrom ist der maximal zulässige Strom, mit dem der Elektromagnet dauernd belastet werden kann ohne diesen thermisch zu zerstören.

### 7.1.7 Nennleistung $P_n$

Die Nennleistung ist ein geeigneter Wert zur Bezeichnung/Identifizierung des Elektromagneten und bezieht sich auf die Nennspannung und den Nennstrom bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C (= Wicklungstemperatur ohne zusätzliche Magneteigenerwärmung).

Bei mono- und bistabilen Hubmagneten (mit eingebauten Dauermagneten) wird noch zwischen Anzugs-Leistungsaufnahme und Rückstell-Leistungsaufnahme unterschieden.

Beim Permanent-Elektrohaftmagneten ist die Entregung-Leistungsaufnahme für die Neutralisation verantwortlich.

### 7.1.8 Grenzleistung $P_g$ (bei Betrieb mit Konstantstrom)

Die Grenzleistung ist das Produkt aus dem Quadrat des Grenzstromes und dem Widerstand im betriebswarmen Zustand.

## 7.2 Mechanische Begriffe

### 7.2.1 Kräfte bei Elektromagneten mit Anker (Hubmagnete)

#### 7.2.1.1 Magnetkraft (Anzugskraft)

Die Magnetkraft ist der ausnutzbare, also um die Reibung verminderte Teil der im Hubmagneten in Hubrichtung erzeugten mechanischen Kraft bei waagrechter Ankerlage. Magnetkraftkennlinien der Gruner AG werden grundsätzlich in beiden Richtungen in senkrechter Ankerlage ermittelt, jedoch nur in Hubrichtung gegenüber dem Kunden dargestellt.

Für den Kunden ist in der Regel der ungünstigste Zustand zu berücksichtigen, d.h. die Magnetkraft muss mit der Minimalspannung bei maximaler Umgebungstemperatur und maximaler Eigenwärmung immer über dem Kundenkraftbedarf liegen.

#### 7.2.1.2 Elektromagnetkraft + Permanent-Magnetkraft

Bei mono- und bistabilen Hubmagneten verstärkt der eingebaute Dauermagnet die elektromagnetische Anzugskraft der Spule. Für den Anzug ist eine positive Spulenbestromung erforderlich. Der Umschaltvorgang (Ankerückstellen = Neutralisieren des Dauermagneten/Permanentmagneten) wird durch einen negativen reduzierten Spannungsimpuls (abhängig von der Gegenkraft der Rückstellfeder und der externen Kundenlast) ausgelöst.



### 7.2.1.3 Stromlose Haltekraft / Permanentmagnetkraft

Bei mono- und bistabilen Hubmagneten ist nur der eingebaute Dauermagnet für die stromlose Haltekraft in der Hubendstellung verantwortlich. Diese stromlose Haltekraft im Hubendbereich hat einen steilen ansteigenden Verlauf und muss immer mindestens 30 % über den zu haltenden Teilengewichten oder Federkräften liegen.

### 7.2.1.4 Hubkraft

Die Hubkraft ist die Magnetkraft, welche unter Berücksichtigung der zugehörigen Gewichtskraftkomponente der Ankermasse nach außen wirkt.

Bei der Gruner AG werden die Magnetkraftkennlinien immer messtechnisch bedingt in senkrechter Ankerlage ermittelt. Bei ziehenden Messungen verstärkt das Ankergewicht die Magnetkraft, bei drückenden Messungen reduziert das Ankergewicht die Magnetkraft.

### 7.2.1.5 Haltekraft und Haftkraft

Die **Haltekraft** ist die Magnetkraft bei Erreichen der Hubendlage.

Die **Haftkraft** ist die Kraft beim Verlassen der Hubendlage.

### 7.2.1.6 Resthaftkraft und Rückstellkraft (Remanenz)

Die Resthaftkraft ist die nach Ausschalten des Stromes verbleibende Haftkraft.

Die Rückstellkraft ist die nach Ausschalten des Stromes zur Rückführung des Ankers in die Hubanfangslage erforderliche Kraft.

Bei kundenspezifischen Elektromagneten kann werkseitig die für den Kunden maximal zulässige Resthaftkraft bzw. gewünschte Rückstellkraft (z. B. mit Druckfeder) gegen Mehrkosten realisiert werden.

Bei mono- und bistabilen Hubmagneten wird die (stromlose) Rückstellkraft durch die eingebauten Dauermagnete und die Rückstellfeder beeinflusst.

### 7.2.1.7 Kraft-Hub-Hysterese

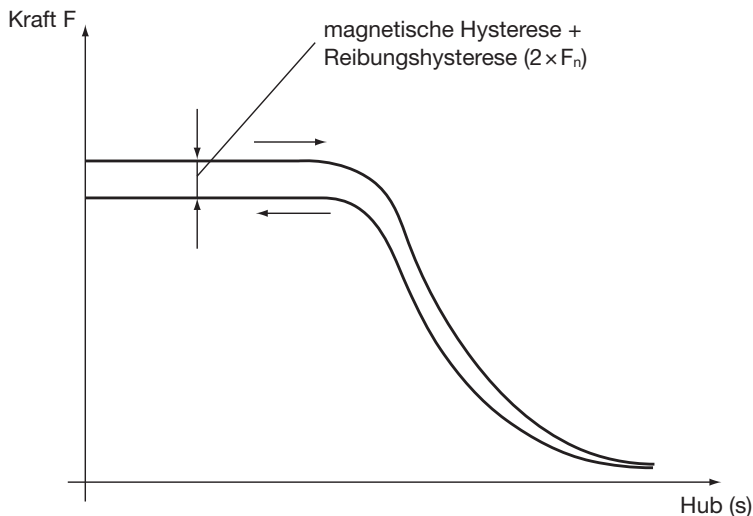
Die Kraft-Hub-Hysterese ist die Differenz zwischen der Magnetkraft in Hubrichtung und in der Gegenrichtung bei voll durchfahrenem Bemessungshub, die sich bei konstantem Stromwert ergibt.

Die Kraft-Hub-Hysterese ist die Summe der magnetischen Hysterese und der Reibungshysterese und kann durch die Spannungsart/Versorgungsspannung positiv beeinflusst werden.

Die Kraft-Hub-Hysterese ist u. a. ein allgemeines Qualitätsmerkmal für die Ankerlagerung. Bei Low-Cost-Ausführungen ist die Kraft-Hub-Hysterese generell größer.

Mit zunehmender Lebensdauer (Anzahl der Ankerbewegungen) wird durch den radialen Lagerverschleiß die Kraft-Hub-Hysterese größer. Dies muss bei der ersten Machbarkeitsstudie beim Kundenkraftbedarf berücksichtigt werden.

Der radiale Lagerverschleiß ist einerseits konstruktiv bedingt und andererseits auch von den kunden-seitigen Radialkräften auf den Anker (bei der ziehenden Ausführung) und die unmagnetische Ankerachse (bei der drückenden Ausführung) abhängig.



### 7.2.1.8 Kraft-Strom-Hysterese

Die Kraft-Strom-Hysterese ist die Differenz der Stromwerte zwischen der aufwärts- und abwärtsmagnetisierten Magnetkraft-Hub-Kennlinie bei jeweils konstantem Hub.

## 7.2.2 Kräfte bei Elektromagneten ohne Anker (Haftmagnete)

### 7.2.2.1 Bestromte Abrisskraft

Die bestromte Abrisskraft definiert beim Elektrohaftmagneten (**ohne Dauermagnete**) im geschlossenen Magnetkreis in Hubendstellung mit einem Prüfanke oder kundenseitigen Anker oder Last die Spitze der Haftkraft beim Abreißen der Ankerplatte. Für ein sicheres Halten ist daher zu beachten, dass die zu haltende Kundenkraft mindestens 30 % unter dieser Abrisskraft liegen muss. Die dokumentierten Kraftkennlinien  $F = f(s)$  der Gruner AG zeigen diese Kraftspitzen in der Hubendstellung.

### 7.2.2.2 Stromlose Restabrissskräfte (Remanenz)

Diese unerwünschten Restabrissskräfte (verbleibende Resthaftkraft bei ausgeschalteter Spule ohne Umpolung) besonders bei leichten und dünnen kundenseitigen Lasten können durch Aufbringen eines künstlichen Luftspaltes mit einer unmagnetischen Beilage (Kunststoff, Messing, Aluminium, Lack u.s.w.) oder eines galvanisch behandelten Kundenteils (Anker) wirkungsvoll unterbunden werden. Durch diese Maßnahmen werden die Haftkräfte/Abrisskräfte reduziert. Ohne Haftkraftverlust kann die Remanenz durch einen zeit- und spannungsdosierten Gegenimpuls (Umpolung) abgebaut werden. Elektrohaftmagnete sollten mindestens mit 60 % der angegebenen Abrisskräfte belastet werden. Remanenzprobleme treten erst gar nicht auf.

Bitte definieren Sie bei kundenspezifischen Entwicklungen die maximal zulässigen stromlosen Restabrissskräfte. Werkseitig können baugrößenbedingt verschiedene konstruktive Gegenmaßnahmen eventuell auch gegen Mehrkosten realisiert werden.

### 7.2.2.3 Stromlose Abrisskraft

Die stromlose Abrisskraft definiert beim Permanent-Elektrohaftmagneten (**mit Dauermagnet**) im geschlossenen Magnetkreis in Hubendstellung mit einem Prüfanke oder kundenseitigen Anker oder Last die Spitze der Haftkraft beim Abreißen der Ankerplatte. Für ein sicheres Halten ist daher zu beachten, dass die zu haltende Kundenkraft mindestens 30 % unter dieser stromlosen Abrisskraft liegen muss. Die dokumentierten Kraftkennlinien  $F = f(s)$  der Gruner AG zeigen diese Kraftspitzen in der Hubendstellung.

### 7.2.2.4 Bestromte Restabrissskraft

Physikalisch bedingt sind bestromte Rest-Abrisskräfte abhängig vom Spannungsbereich und dem Umgebungstemperaturbereich sowie den werkseitigen Fertigungstoleranzen nicht zu vermeiden. Eine umgebungstemperaturabhängige Konstantstrom-Ansteuerung ist für eine optimale Neutralisation ideal (V-förmiger Neutralisationsbereich). Die kundenseitigen Rückstellkräfte müssen deshalb ohne Konstantstromansteuerung mit ausreichender Sicherheit über den bestromten Rest-Abrisskräften liegen.

Bitte definieren Sie bei kundenspezifischen Entwicklungen zusätzlich zu den stromlosen Abrisskräften/Haltekräften auch die maximal zulässigen bestromten Restabrissskräfte. Werkseitig können baugrößenbedingt verschiedene konstruktive Optimierungsmaßnahmen eventuell auch gegen Mehrkosten realisiert werden.

## 7.2.3 Hub

### 7.2.3.1 Magnethub (Gesamthub)

Der Magnethub ist der vom Anker zwischen Hubanfangslage und Hubendlage zurückgelegte Weg.

### 7.2.3.2 Arbeitshub

Der Arbeitshub ist der zur Betätigung einer Gegenlast ausnutzbare Teil des Gesamthubes. Üblicherweise wird der Arbeitshub mit dem magnetkraftsteuernden Anker und Polkern konstruktiv dem Kundenwunsch angepasst.

### 7.2.3.3 Leerhub

Der Leerhub ist der Teil des Gesamthubes, den der Anker ohne wesentliche Gegenkraft zurücklegt. Eine Beeinflussung der Magnetkraftkennlinie ist in der Regel nicht möglich.

### 7.2.3.4 Hubanfangslage

Die Hubanfangslage oder **Hub max.** oder „**Magnetkreis offen**“ ist die Ausgangslage des Ankers vor Beginn der Hubbewegung bzw. nach Beendigung der Rückstellung.

Die Hubanfangslage kann werkseitig gegen Mehrkosten begrenzt (verliersicher) oder üblicherweise kundenseits begrenzt werden (nicht verliersicher).

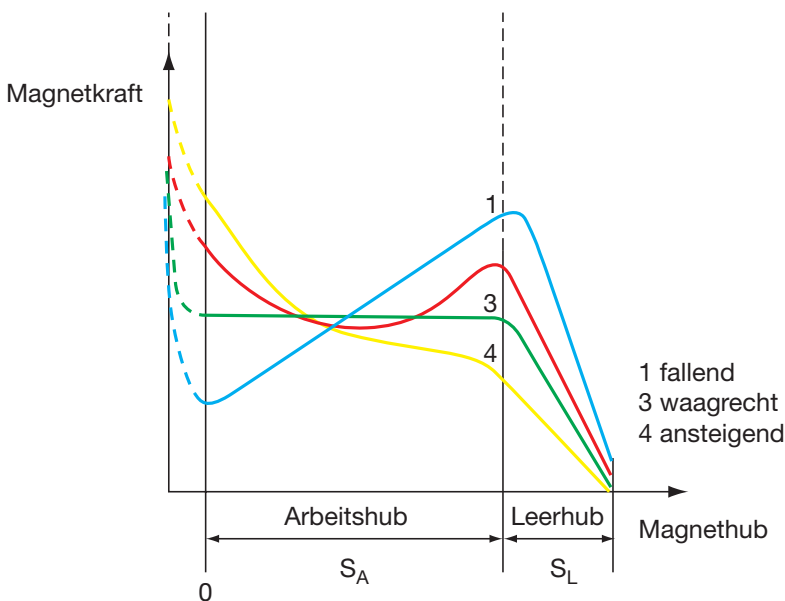
### 7.2.3.5 Hubendlage

Die Hubendlage (**Hub 0**) oder **Hub min.** oder „**Magnetkreis geschlossen**“ ist die im Elektromagneten konstruktiv festgelegte Ankerstellung, die er mit der elektromagnetischen Kraftwirkung (oder mit einem eingebauten Dauermagneten) einnimmt.

### 7.2.4 Magnetkraft-Hubkennlinie $F = f(s)$

Die Magnetkraft-Kennlinien eines Hubmagneten können in Richtung zur Hubendlage mit wenigen Ausnahmen fallend (1), waagrecht (3) oder ansteigend (4) werkseitig realisiert werden.

Physikalisch bedingt ist im Hubendbereich (bei Hubstellung 0) immer eine ansteigende Magnetkraftkennlinie vorhanden. Diese kann werkseitig gegen Mehrkosten mit einer zusätzlichen „Antiklebe-scheibe“ vermieden werden, der Arbeitshub und eventuelle Leerhub ist dafür anzupassen. Kunden-seits kann mit konstruktiven Maßnahmen einer Hubbegrenzung d.h. mit einer Nullpunktverschiebung (im Diagramm nach rechts) diesem steilen Magnetkraftverlauf gegengesteuert werden.



### 7.2.5 Hubarbeit, Hubanpassung

Die Hubarbeit ist das Integral der Magnetkraft  $F$  über dem Magnethub  $s$ .

Bei einem waagrechten Magnetkraft-Kennlinienverlauf ist dies das Produkt aus der Magnetkraft in Hubanfangslage und dem Magnethub.

Durch werkseitige besondere Anpassung der magnetkraftsteuernden Anker und Polkerne können die Magnethübe ohne wesentliche Veränderung der Hubarbeit in relativ weiten Grenzen angepasst (verkürzt oder verlängert) werden. Eine Hubverkürzung erhöht die Magnetkräfte und eine Hubverlängerung reduziert die Magnetkräfte.

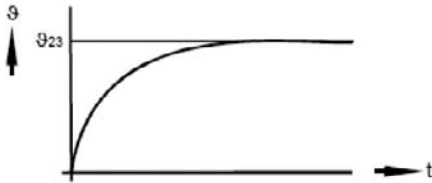
### 7.2.6 Kundenkraftbedarf (Kundenkraft)

Der Kundenkraftbedarf (z.B. ansteigende Federkraft, Haltelast, Verriegelungskraft usw.) ist die Basis für die zu realisierende Magnetkraftkennlinie  $F = f(s)$  eines Hubmagneten oder die zu realisierende Abrisskraft eines Haftmagneten.

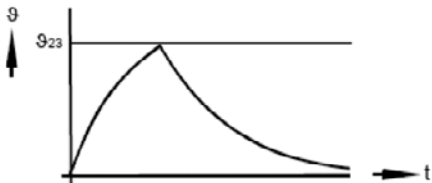
Die ansteigende, fallende oder waagrechte Magnetkraftkennlinie bzw. die Abrisskraft muss immer mit ausreichender Sicherheit über dem Kundenkraftbedarf liegen. Dafür muss der ungünstigste Zustand mit Minimalspannung, maximaler Umgebungstemperatur und zusätzlicher Magneteigenerwärmung berücksichtigt werden.

## 7.3 Allgemeine Zeitbegriffe

### 7.3.1 Betriebsarten



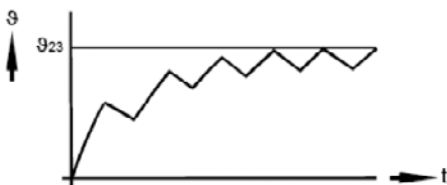
Beim **Dauerbetrieb S1** ist die Einschaltdauer so lang, dass die Beharrungstemperatur erreicht wird.



Der **Kurzzeitbetrieb S2** ist der Betrieb, bei dem die Einschaltdauer so kurz ist, dass die Beharrungstemperatur nicht erreicht wird und die stromlose Pause so lang ist, dass sich der Elektromagnet auf eine Temperatur abkühlt, die weniger als 2 K von der Umgebungstemperatur abweicht.

Die Vorzugswerte für die Einschaltdauer  $t_5$  beim Kurzzeitbetrieb S2 sind 2 s, 20 s, 1 min oder 10 min.

Der Kurzzeitbetrieb wird mit der Angabe der Einschaltdauer z.B. „S2 20 s“ definiert.



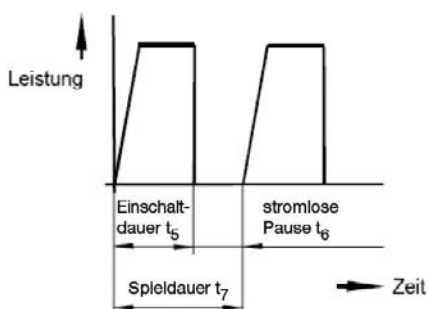
Für den **Aussetzbetrieb S3** können wesentlich größere Leistungen und damit größere Magnetkräfte realisiert werden als beim Dauerbetrieb. Die Einschaltdauer und die stromlose Pause wechseln sich in regelmäßiger Folge ab, wobei die Pausen so kurz sind, dass sich der Elektromagnet nicht auf die Umgebungstemperatur abkühlt.

Bei regelmäßiger Spielfolge wird der Aussetzbetrieb S3 gekennzeichnet durch die Angabe der relativen Einschaltdauer und der höchstzulässigen Spieldauer z.B. S3 40 % 5 min. Wenn die Spieldauer nicht ausgewiesen ist, gilt bei Gleichspannungsgeräten 5 Minuten.

Die realisierte Leistung ist verantwortlich für die zulässige **relative Einschaltdauer, die Spieldauer** und die thermische Zeitkonstante des Elektromagneten. Die Vorzugswerte für die Spieldauer wurden nach DIN VDE 0580 mit 2, 5, 10 und 30 Minuten definiert.

Die in den Datenblättern der Gruner AG angegebenen Kraft- und Leistungswerte beziehen sich auf eine Spieldauer von 5 Minuten (300 Sekunden). Daraus ergeben sich folgende zulässige Maximalwerte für die Einschaltdauer.

Relative Einschaltdauer (% ED)	1	5	15	25	40	60	100
Zulässige maximale Einschaltdauer (Sekunden)	3	15	45	75	120	180	300



### 7.3.2 Einschaltdauer t<sub>5</sub>

Die Einschaltdauer t<sub>5</sub> ist die Zeit, welche zwischen dem Einschalten und Ausschalten des Stromes liegt.

### 7.3.3 Stromlose Pause t<sub>6</sub>

Die stromlose Pause t<sub>6</sub> ist die Zeit, welche zwischen dem Ausschalten und dem Wiedereinschalten des Stromes liegt.

### 7.3.4 Spieldauer t<sub>7</sub>

Die Spieldauer t<sub>7</sub> ist die Summe aus Einschaltdauer und stromloser Pause.

### 7.3.5 Spielfolge

Die Spielfolge ist eine einmalige oder periodische wiederkehrende Summierung/Aneinanderreihung von Spieldauern verschiedener Länge.

### 7.3.6 Relative Einschaltdauer ED

Die relative Einschaltdauer ED ist das Verhältnis von Einschaltdauer zur Spieldauer z.B. in % ausgedrückt und errechnet sich nach folgender Formel:

$$\% \text{ ED} = (\text{Einschaltdauer} \times 100) / \text{Spieldauer}$$

$$\% \text{ ED} = (\text{Einschaltdauer} \times 100) / (\text{Einschaltdauer} + \text{stromlose Pause})$$

Für die Berechnung der relativen Einschaltdauer wird im allgemeinen der Vorzugswert der Spieldauer nach DIN VDE 0580 mit 5 Minuten zugrunde gelegt.

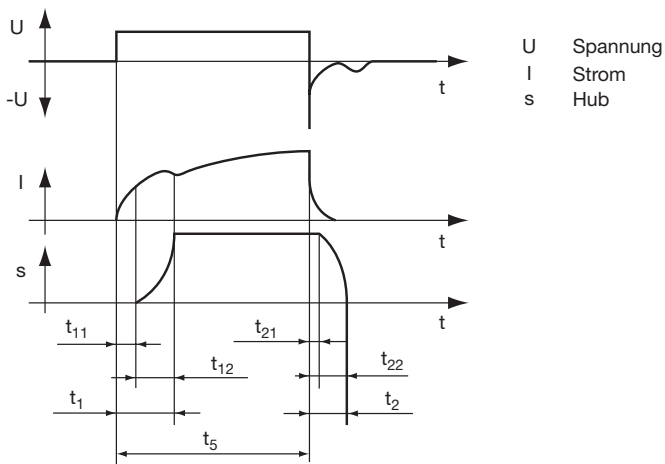
### 7.3.7 Arbeitsspiel

Ein Arbeitsspiel umfasst einen vollständigen Ein- und Ausschaltvorgang.

### 7.3.8 Schalthäufigkeit

Die Schalthäufigkeit ist die Anzahl der gleichmäßig über eine Stunde verteilten Arbeitsspiele.

## 7.4 Zeitbegriffe bei Hubmagneten



### 7.4.1 Anzugszeit $t_1$

Die Anzugszeit  $t_1$  ist die Summe aus Ansprechverzug  $t_{11}$  und Hubzeit  $t_{12}$ .

Durch besondere Ansteuerungen kann die Anzugszeit reduziert werden.

Die kundenseitige Ermittlung der Anzugszeit im verbauten Zustand des Elektromagneten gibt wertvolle Hinweise über die Kraftreserven des Elektromagneten. Die „Stromeinschnürung“ der Kennlinie  $I = f(t)$  sollte mit minimaler Spannung im gesamten Umgebungstemperaturbereich mit zusätzlicher Magneteigenerwärmung im ansteigenden Kennlinienverlauf liegen. Die Aufzeichnung der Hubkennlinie  $s = f(t)$  muss mit einem berührungslosen Wegaufnehmer erfolgen.

### 7.4.2 Ansprechverzug $t_{11}$

Der Ansprechverzug  $t_{11}$  ist die Zeit vom Einschalten des Stromes bis zum Beginn der Ankerbewegung. In dieser Zeit baut sich das Magnetfeld so weit auf, dass es die äußere Gegenkraft überwindet und den Anker in Bewegung setzt.

### 7.4.3 Hubzeit $t_{12}$

Die Hubzeit  $t_{12}$  ist die Zeit vom Beginn der Ankerbewegung bis zum Erreichen der Hubendlage.

### 7.4.4 Abfallzeit $t_2$

Die Abfallzeit  $t_2$  ist die Summe aus Abfallverzug und Rücklaufzeit.

### 7.4.5 Abfallverzug t21

Der Abfallverzug t21 ist die Zeit vom Ausschalten des Stromes bis zum Beginn der Rücklaufbewegung des Ankers. In dieser Zeit baut sich das Magnetfeld so weit ab, dass der Anker sich unter Einwirkung der äußeren Gegenkraft in Bewegung setzen kann.

### 7.4.6 Rücklaufzeit t22

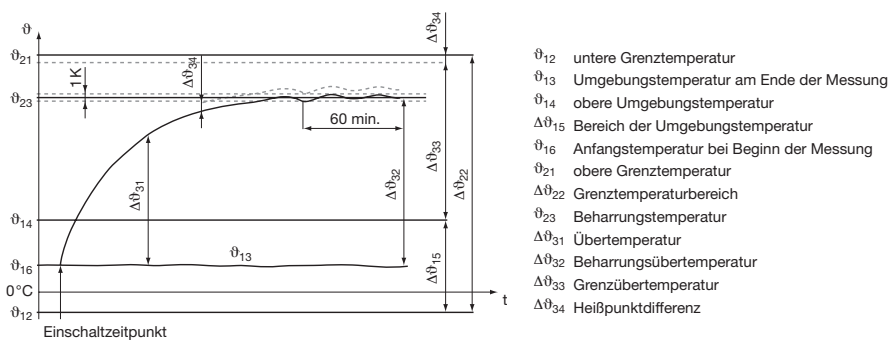
Die Rücklaufzeit t22 ist die Zeit vom Beginn der Rücklaufbewegung des Ankers bis zum Erreichen der Hubanfangslage.

## 7.5 Temperaturbegriffe und thermische Klassen

Die Temperaturbegriffe aus der DIN VDE 0580 wurden teilweise an die Gruner Messtechnik angepasst bzw. berücksichtigen die Vorgehensweise in der Entwicklung der Gruner AG.

Die Temperaturen werden mit °C (Grad Celsius) und die Temperaturdifferenzen mit K (Kelvin) definiert.

Das Diagramm aus der DIN VDE 0580 zeigt einen typischen Erwärmungsvorgang mit dem abschließenden Beharrungszustand.



### 7.5.1 Umgebungstemperatur $\theta_{13}$

Die Umgebungstemperatur  $\theta_{13}$  ist die Durchschnittstemperatur der Umgebung am Ende der Temperaturmessung.

Bei kundenspezifischen Entwicklungen muss der gesamte Umgebungstemperaturbereich (z.B. -40 °C bis +85 °C) für die Kraft- und Leistungsauslegung berücksichtigt werden.

### 7.5.2 Beharrungstemperatur $\theta_{23}$

Die Beharrungstemperatur  $\theta_{23}$  ist die bei Gleichheit zwischen zugeführter und abgeführter Wärme auftretende Temperatur. Die Gleichheit besteht dann, wenn die Temperatur sich innerhalb 60 Minuten (1 Stunde) höchstens um +/- 2 K ändert. Die Beharrungstemperatur wird auf schlecht wärmeleitender Unterlage (z.B. Holz oder Glaswolle) und bei ruhender Umgebungsluft bei 100 %  $U_{\text{nenn}}$  ermittelt. Abweichend kann die Beharrungstemperatur auch im verbauten Zustand mit Kundenteilen gemessen werden.

Diese Beharrungstemperatur beeinflusst werkseitig die thermische Klasse der Spulenwerkstoffe.



### 7.5.3 Bezugsstemperatur

Die Bezugstemperatur ist die Beharrungstemperatur im stromlosen Zustand bei bestimmungsgemäßer Anwendung und kann von der Umgebungstemperatur nach oben und unten abweichen. Die Magnetmontage z.B. auf wärmeabführenden Blechen, in der Nähe eines kühlenden Luftstromes, in ungünstigen Kunststoffteilen oder in der Nähe weiterer Wärmequellen muss kundenseitig mitgeteilt und werkseitig z.B. bei den Spulenwerkstoffen berücksichtigt werden (siehe auch Luftkühlung, Kühlflächenkühlung).

### 7.5.4 Übertemperatur $\Delta \vartheta_{31}$

Die Übertemperatur  $\Delta \vartheta_{31}$  (in K) ist der Unterschied zwischen der Spulentemperatur und der Umgebungstemperatur  $\vartheta_{13}$ .

### 7.5.5 Heißpunktdifferenz $\Delta \vartheta_{34}$

Die Heißpunktdifferenz  $\Delta \vartheta_{34}$  (in K) ist der Unterschied zwischen der mittleren Wicklungstemperatur und der Temperatur an der heißesten Stelle der Wicklung. In der Praxis wird über eine Widerstandsmessung indirekt ein mittlere Wicklungstemperatur ermittelt.

### 7.5.6 Obere Grenztemperatur $\vartheta_{21}$

Die Obere Grenztemperatur  $\vartheta_{21}$  ist die höchste zulässige Temperatur welche werkseitig z.B. durch die Spulenwerkstoffe vorgeben ist. Bitte beachten Sie auf den Datenblättern und den kundenspezifischen Zeichnungen die Hinweise zu den thermischen Klassen. Temperaturermittlungen beim Kunden müssen die werkseitigen Temperaturermittlungen bestätigen, bei Abweichungen müssen die Spulenwerkstoffe überprüft werden.

### 7.5.7 Betriebswarmer Zustand, Spulenendtemperatur

Der betriebswarme Zustand ist der Zustand bei dem die Beharrungstemperatur erreicht wird. Bei Elektro-Hubmagneten gilt als Maß für den betriebswarmen Zustand der mittlere Wicklungswiderstand, welcher nach mindestens einstündiger Beharrungsdauer mit definierter Einschaltdauer und bei Nennspannung erreicht wird.

Die Spulenendtemperatur ist im Beharrungszustand die Summe der Umgebungstemperatur und der zusätzlichen Magneteigenerwärmung.

### 7.5.8 Luftkühlung, Kühlflächenkühlung

Bei der Luftkühlung erfolgt die Wärmeabgabe des Magneten an die Umgebungsluft z.B bei der Montage auf kleinen oder schlecht wärmeleitenden Flächen wie Holz oder Kunststoff.

Kühlflächenkühlung ist dann vorhanden, wenn der Magnet gut wärmeleitend mit einer Metallfläche verbunden ist, die Wärmeabfuhr erfolgt hauptsächlich über diese Zusatzmetallfläche (siehe auch Bezugstemperatur).

Bei kundenspezifischen Elektromagneten bitten wir um entsprechende Informationen für einen optimalen Elektromagneten.

### 7.5.9 Thermische Klassen

Die Isolierstoffe der Spule werden entsprechend ihrer Dauertemperaturbeständigkeit in thermische Klassen eingeteilt. Bei der Festlegung der Grenzübertemperaturen wird für die Elektromagnete der

Gruner AG eine Bezugstemperatur von +35 °C und eine Heißpunktdifferenz von 5 K definiert. Die Erregerwicklungen unserer Elektromagnete sind im allgemeinen für die thermische Klasse B (130 °C) ausgelegt. Für besondere Anwendungen können die Elektromagnete auch für die thermische Klasse F (155 °C) und H (180 °C) gefertigt werden. Bitte nehmen Sie dazu Kontakt mit der Gruner AG auf.

Weicht die obere Umgebungstemperatur von +35 °C ab, so muss die Grenzüberatemperatur entsprechend angepasst werden.

Thermische Klasse	Grenztemperatur (°C)	Grenzüberatemperatur (K)
Y	90	50
A	105	65
E	120	80
B	130	90
F	155	115
H	180	140
200	200	160
220	220	180

## 7.6 Schutzklassen

Schutzklassen dienen in der Elektrotechnik der Einteilung und Kennzeichnung von elektrischen Betriebsmitteln (zum Beispiel Geräten und Installationsbauteilen) in Bezug auf die vorhandenen Sicherheitsmaßnahmen zur Verhinderung eines elektrischen Schlages. Die Schutzklassen sind übergeordnet in der DIN EN 61140 (VDE 0140-1) festgelegt.

Bei kundenspezifischen Elektromagneten kann werkseitig die für den Kunden notwendige Schutzklasse gegen Mehrkosten realisiert werden.

### 7.6.1 Geräte der Schutzklasse I / Schutzerdung

Ein elektromagnetisches Gerät der Schutzklasse I ist ein Gerät, das einen Schutzleiteranschluss hat und bei dem die spannungsführenden Teile nur eine Betriebsisolierung haben.

### 7.6.2 Geräte der Schutzklasse II / Schutzisolierung

Ein elektromagnetisches Gerät der Schutzklasse II ist ein Gerät mit Betriebs- und Schutzisolierung, das keine Möglichkeit für den Anschluss eines Schutzleiters hat.

### 7.6.3 Geräte der Schutzklasse III / Schutzkleinspannung

Ein elektromagnetisches Gerät der Schutzklasse III ist ein Gerät für den Anschluss einer Schutzkleinspannung (kleiner als 42 V) und das außerdem keine Stromkreise hat, die für den Betrieb mit höherer Spannung bestimmt sind.

## 7.7 Schutzarten

Die Schutzart gibt die Eignung von elektrischen Betriebsmitteln (z.B. Elektromagnet, Leuchte u.s.w.) für verschiedene Umgebungsbedingungen an, zusätzlich den Schutz von Menschen gegen potenzielle Gefährdung bei deren Benutzung (gegen direkte Berührung, gegen Eindringen von festen Fremdkörpern, gegen Eindringen von Wasser).

Bei kundenspezifischen Elektromagneten kann werkseitig die für den Kunden notwendige Schutzart gegen Mehrkosten realisiert werden.

Die Angabe der Schutzart erfolgt nach DIN VDE entsprechend dem IP-Code mit den zwei Kennziffern. Diese zeigen an, welchen Schutzzumfang ein Gehäuse oder Elektromagnet bezüglich Berührung bzw. Fremdkörper (erste Kennziffer) und Feuchtigkeit bzw. Wasser (zweite Kennziffer) bietet.

### Schutzart für Berührungs- und Fremdkörperschutz (1. Kennziffer)

Ziffer	DIN EN 60529 Ziffer	Schutz gegen Berührung	Schutz gegen Fremdkörper
0	0	kein Schutz	kein Schutz
1	1	Geschützt gegen den Zugang mit dem Handrücken	Geschützt gegen feste Fremdkörper (Durchmesser ab 50 mm)
2	2	Geschützt gegen den Zugang mit einem Finger	Geschützt gegen feste Fremdkörper (Durchmesser ab 12,5 mm)
3	3	Geschützt gegen den Zugang mit einem Werkzeug	Geschützt gegen feste Fremdkörper (Durchmesser ab 2,5 mm)
4	4	Geschützt gegen den Zugang mit einem Draht	Geschützt gegen feste Fremdkörper (Durchmesser ab 1,0 mm)
5K	5	Geschützt gegen den Zugang mit einem Draht	Staubgeschützt
6K	6	Geschützt gegen den Zugang mit einem Draht	Staubdicht

**Schutzart Wasserschutz (2. Kennziffer)**

DIN 40 050 Teil 9 Ziffer	DIN EN 60529 Ziffer	Schutz gegen Wasser
0	0	kein Schutz
1	1	Schutz gegen senkrecht fallendes Tropfwasser
2	2	Schutz gegen fallendes Tropfwasser, wenn das Gehäuse bis zu 15° geneigt ist
3	3	Schutz gegen fallendes Sprühwasser bis 60° gegen die Senkrechte
4	4	Schutz gegen allseitiges Spritzwasser
5	5	Schutz gegen Strahlwasser (Düse) aus beliebigem Winkel
6	6	Schutz gegen starkes Strahlwasser
6K		Schutz gegen starkes Strahlwasser unter erhöhtem Druck, spezifisch für Straßenfahrzeuge
7	7	Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen
8	8	Schutz gegen dauerndes Untertauchen
9K		Schutz gegen Wasser bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung, spezifisch für Straßenfahrzeuge

## Quellen

- 1 DIN VDE 0580
- 2 Fachliteratur
- 3 Internet