

Teile und Komponenten



Teile und Komponenten

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Vorwort	1
2. Teile und Komponenten	1
2.1 Begriffsbestimmungen	1
2.2 Kundennutzen	2
3. Werkstoffübersicht	4
3.1 Kriterien der Werkstoffauswahl	4
3.2 Beispiele zur Werkstoffauswahl für verschiedene Anwendungen	5
4. Fertigungsverfahren	6
4.1 Dreh- und Frästeile	6
4.2 Stanz- und Tiefziehteile	6
4.3 Stanzpaketieren / Kleben	8
4.4 Fließpressen	9
4.5 Mechanische Endbearbeitung, Beschichtung und Verpackung	10
5. Qualitätssicherung und Magnetqualitäten von Teilen	11
5.1 Qualitätssicherungssystem	11
5.2 Magnetqualitäten von weichmagnetischen Teilen	11
 Anhang	
A1. Übersicht über physikalische und mechanische Eigenschaften	12
A2. Geometrische Einflüsse auf die magnetischen Eigenschaften von weichmagnetischen Teilen	15
A3. Dynamische Eigenschaften weichmagnetischer Werkstoffe (Prinzip)	17
A4. Wärmebehandlung	17
A5. Korrosionsbeständigkeit	17

1. Vorwort

Die vorliegende Firmenschrift trägt der großen Bedeutung Rechnung, die die VACUUMSCHMELZE dem Sektor der Teile und Komponenten beimisst. Unsere Kunden, denen wir einen umfassenden Überblick über unsere Fertigungs- und Liefermöglichkeiten geben wollen, kommen vorwiegend aus den Branchen Automobil-Zulieferindustrie, Textil- und Spinnereimaschinen, Druckerindustrie, Elektro- und FI-Schutzschaltertechnik sowie aus der Uhrenindustrie.

2. Teile und Komponenten

2.1 Begriffsbestimmungen

Die VACUUMSCHMELZE ist ein bedeutender Hersteller von Teilen und Komponenten mit besonderen magnetischen und mechanischen Eigenschaften. Dem Stellenwert dieses Geschäftszweiges trägt die Schrift „Teile und Komponenten“ Rechnung, wobei der Schwerpunkt eindeutig bei Teilen aus weichmagnetischen und magnetisch halbharten Werkstoffen liegt. Bevor detailliert auf Dimensionierung, Herstellung und Werkstofftechnik eingegangen wird, werden die Begriffe „Teil“ und „Komponente“ unter Berücksichtigung ihrer gewünschten magnetischen Funktion erläutert.

Unter einem „Teil“ aus magnetisch weichem oder halbhartem Werkstoff ist das kleinste, nicht mehr weiter zerlegbare Funktional mit magnetischen Eigenschaften zu verstehen.

Die folgenden Abbildungen zeigen einige Beispiele von Teilen.



Die Auswahl verdeutlicht die Bandbreite in den Dimensionen. So fertigen wir Teile mit filigraner Struktur (Bild 3) und Abmessungen im mm-Bereich ebenso wie z.B. Magnetpole mit Abmessungen im Bereich einiger Dezimeter (Bild 5).

Aus der Definition des Teils ergibt sich, dass dieses für sich genommen keine eigenständige Funktion (aktorisch/sensorisch) ausüben kann.

Die kleinste Einheit, die eine Teilfunktion in einem komplexen System erfüllt, ist eine Komponente. Ganz allgemein besteht sie aus verschiedenen weichmagnetischen und/oder halbhartem Teilen, die zur Ansteuerung auch mit einer Kupfer-Wicklung versehen sein können. Die Montage erfolgt manuell, halb- oder vollautomatisch.

Als Montagebasis verarbeiten wir auch Teile aus nichtmagnetischen Werkstoffen. Beispielhaft steht dafür der sogenannte ZUS-Magnet, der als stanzpaketiertes Blechpaket aus CROVAC-Blechen, einer THERMOFLUX-Scheibe und

einem Aluminium-Träger ausgeführt ist (siehe Abb. 8). Die Montage erfolgt vollautomatisch, mit ebenfalls automatischer „GUT/SCHLECHT“-Selektion.

Voraussetzung für die Lieferung von Komponenten durch die VACUUMSCHMELZE ist, dass der Anteil der VAC-Werkstoffe deutlich überwiegt.

2.2 Kundennutzen

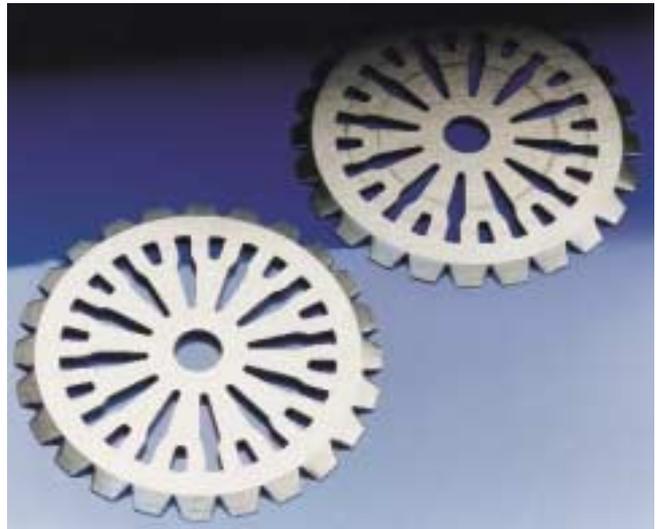
Von entscheidender Bedeutung ist für uns der Kontakt und die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem Kunden. Daraus ergeben sich für den Anwender folgende Vorteile:

- Nutzung unserer Kompetenz als einer der führenden Anbieter für Magnetwerkstoffe
- Anwendungsorientierte Laborunterstützung bei der Problemanalyse und Produktoptimierung
- Nutzung unserer fertigungstechnischen Erfahrungen
- Nutzung unserer Anlagen und Erfahrungen bei der Einstellung der magnetischen Eigenschaften.

1



2



3



Abb. 1: Stanz-Biegeteil für ein Einspritzventil im Automobil

Abb. 2: VACOFLUX-Teile für Nadeldrucker

Abb. 3: Teile eines Magneteinspritzventils

Abb. 4: Scheiben und Profilteile aus CROVAC

Abb. 5: Magnetpol aus VACOFLUX (Frästeil)

Abb. 6: Feinschneidteil aus MUMETALL

Abb. 7: Abschirmbecher für Anzeigenelemente

Abb. 8: ZUS-Magnet

Abb. 9: Montageautomat für ZUS-Magnete

4



5



6



7



8



9



3. Werkstoffübersicht

Unsere weichmagnetischen Materialien stellen die Werkstoffbasis für die Weiterverarbeitung zu Teilen und Komponenten dar. Die enge Zusammenarbeit mit unseren Kunden von Beginn einer Entwicklung an stellt sicher, dass kundengerechte, optimierte Problemlösungen auch bei neuen Anwendungen gefunden werden.

3.1 Kriterien der Werkstoffauswahl

Grundlegende Bedeutung im Zusammenhang mit der Anwendung unserer Werkstoffe kommt deren physikalischen und mechanischen Eigenschaften im Einsatz zu. Die wichtigsten Auswahlkriterien sind:

Weichmagnetische Werkstoffe

- niedrige H_C -Werte
- hohe Sättigungsmagnetisierung
- gute dynamische Eigenschaften

Verformbare Dauermagnetwerkstoffe

- H_C -Werte im Bereich von 250-550 A/cm
- Remanenz im Bereich von 0,9-1,3 Tesla

Beiden Werkstoffen gemeinsame Auswahlkriterien sind:

- Korrosionsbeständigkeit
- angemessenes Preis-/Leistungsverhältnis

Unser Angebot reicht hier von den hoch nickelhaltigen (Ni-Anteil 70-83 %) Legierungen, wie MUMETALL und VACOPERM, über MEGAPERM mit einem Ni-Anteil von 40 %, bis hin zu den PERMENORM-Legierungen mit einem Ni-Anteil ab 36 %. Für Anwendungen, die eine hohe Sättigungsmagnetisierung erfordern, stehen unsere Co-Fe-Legierungen VACOFLUX 17, VACOFLUX 48/50 bzw. VACODUR 50 zur Verfügung.

VACOFLUX 17 wurde neu in unser Lieferprogramm aufgenommen. Typische Anwendungen dieser Legierung, mit gegenüber VACOFLUX 50 reduziertem Kobalt-Anteil, sind in der Lieferform „**Teile**“:

- Polschuhe mit höchster Flussdichte
- Elektromagnete mit höchster Kraft
- Flussleitstücke mit hoher Induktion
- Aktoren für miniaturisierte Ventile und in der Lieferform „**Blechpakete**“:
- Hochleistungsmotoren
- Generatoren, z.B. Avionik
- Hochgeschwindigkeitsnadeldrucker

Unsere magnetisch halbharten CoCrFe-Legierungen, CROVAC und MAGNETOFLEX, komplettieren dieses Lieferprogramm.

Martensitaushärtender Federstahl

MARVAC 125 ist ein neu entwickelter Maraging-Stahl, der sich insbesondere durch optimale Federeigenschaften, Korrosionsbeständigkeit und leichte isotrope Formgebung im geglühten Zustand auszeichnet. Typische/potentielle Anwendungen sind:

- Elastische Haltefedern in Scheinwerfern etc.
- Temperaturbeständige elastische Befestigungselemente
- Trennmembranen, Rohrfedern und Dämpfungselemente für Einspritzsysteme
- Tiefziehteile und Rohre für druckfeste Behälter
- Komplexe Stanzbiegeteile für Armbanduhren etc.
- Federn für Nadeldrucker und Relais

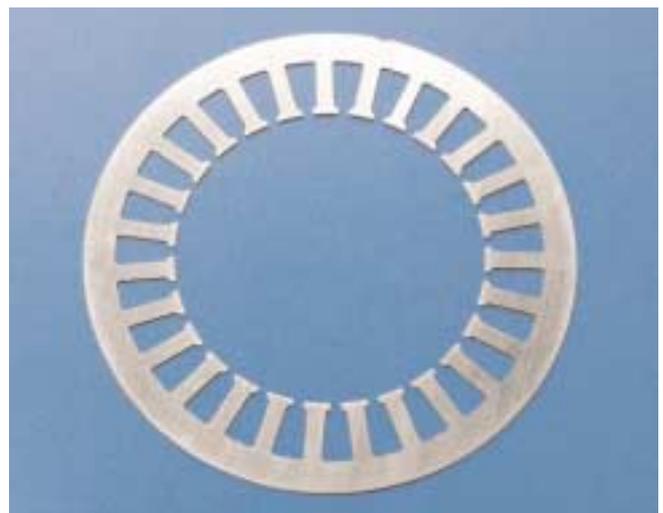


Abb. 10: Motorblech aus VACOFLUX 50

3.2 Beispiele zur Werkstoffauswahl für verschiedene Anwendungen

Relaisteile

VACOPERM 100, PERMENORM 5000 V5, RECOVAC 50, RECOVAC BS, CROVAC 12, CROVAC 16

Vorteile:

- gute Korrosionsbeständigkeit
- hohe Lebensdauer

Abschirmungen für Anzeigeeinstrumente

PERMENORM 3601, MEGAPERM 40L, MUMETALL

Vorteil:

- Höherer Schirmfaktor als Stahlabschirmungen

KFZ-Technik

PERMENORM 5000 V5, PERMENORM 5000 H2, THERMO-FLUX, MEGAPERM 40L, VACOFLUX 50, VACOFLUX 17, CROVAC 10, CROVAC 12

Vorteile:

- angepasstes H_C
- hohe Induktion
- hohe Kräfte

Webereimaschinen

RECOVAC

Hysteresekupplungen/Bremsen

CROVAC 10, MAGNETOFLEX 35H

Nadeldrucker

VACOFLUX 50, VACOFLUX 17

Vorteile:

- hohe Induktion
- hohe Kräfte
- gute Schaltdynamik durch Blechpakete

Luftfahrtindustrie

VACOFLUX 48, VACOFLUX 50, VACODUR 50

Vorteile:

- hohe Kräfte
- Gewichtseinsparung

4. Fertigungsverfahren

Teile oder Komponenten aus magnetisch weichen und halbharten Werkstoffen sind als Funktionsträger in der Technik weit verbreitet. Die Fertigungsverfahren unterscheiden sich prinzipiell nicht von denen aus anderen Eisenmetallen. Bei uns eingeführte Verfahren sind:

- Drehen, Fräsen und Bohren
- Stanzen und Tiefziehen
- Stanzpaketieren und Kleben, bzw. Laserschweißen
- Fließpressen
- Mechanische Endbearbeitung

Unterschiede zu anderen Legierungen, wie z.B. VA-Stählen, ergeben sich durch die zur Einstellung der magnetischen Eigenschaften notwendige Schlusswärmebehandlung und den Einfluss des Herstellverfahrens auf die magnetischen Eigenschaften.

4.1 Dreh- und Frästeile

Für die spanende Herstellung weichmagnetischer Teile bzw. deren Weiterbearbeitung stehen die Verfahren Drehen, Fräsen und Bohren zur Verfügung. Die Tabelle 1 zeigt die Zuordnung der jeweiligen Legierung zu Fertigungsmöglichkeiten sowie Abmessungs-, Stückzahl- und Toleranzbereichen.

4.2 Stanz- und Tiefziehteile

Die Strategie der VACUUMSCHMELZE auf dem wichtigen Segment der „Teile und Komponenten“ zeigt die folgende Darstellung:

Tab. 1 Übersicht über die Zuordnung spanender Fertigungsverfahren zu Legierungen und Abmessungsbereichen

Fertigungs-/ Bearbeitungsverfahren	Abmessungsbereich ³⁾	Legierung ²⁾	Stückzahlbereich
Drehen	$\varnothing \geq 1 \text{ mm}$	MUMETALL PERMENORM 5000 H2 PERMENORM 5000 V5 PERMENORM 3601 VACOFLEX 50 VACODIL 36	● Einzelstücke ● Klein- und Mittelserien, typ. bis ≈ 5000 Stück, je nach Teilegeometrie auch bis 100000 Stück
Fräsen	Spannvorrichtung bis max. 400 mm	MUMETALL PERMENORM 5000 H2 PERMENORM 5000 V5 PERMENORM 3601 VACOFLEX 50 VACODIL 36	● Einzelstücke ● Klein- und Mittelserien Standard: bis 5000 Stück, je nach Teilegeometrie auch größere Stückzahlen
Bohren	Spannvorrichtung für Werkstückgrößen ¹⁾ bis – 1000 mm (Schleifen) – 500 mm (Bohren)	MUMETALL PERMENORM 5000 H2 PERMENORM 5000 V5 PERMENORM 3601 VACOFLEX 50 VACODIL 36	● Einzelstücke ● Klein- und Mittelserien Standard: bis 5000 Stück, je nach Teilegeometrie auch größere Stückzahlen

¹⁾ Werkstückobergrenzen jeweils legierungsabhängig

²⁾ weitere Legierungen auf Anfrage

³⁾ Toleranz ISO 2768, engere Toleranzanforderungen auf Anfrage

Intelligente Werkzeugkonzepte



Moderne Maschinen und Anlagen



Optimale Leistungsfähigkeit
und hohe Leistungsbereitschaft
zum Nutzen unserer Kunden



Anerkannte Spezialisten

**Werkstoffe
(Auswahl)**

VACOPERM 100
PERMENORM 5000 V5
MEGAPERM 40 L
VACOFLUX 50
CROVAC

Optimierte Werkstoffe

Tab. 2 Übersicht über Fertigungseinrichtungen im Bereich Stanzen und Tiefziehen

Maschinen-/Anlagenbeschreibung	Haupteinsatz	Verarbeitbare Banddicken
Stufenpresse, 12 Stufen mit je 7,5 t Presskraft, Zick-Zack Vorschub, Hubzahl: bis 200 Hübe/Min	Herstellung von Tiefziehteilen	typisch 0,2 - 0,4 mm
Excenterpresse, mit je 50 t Presskraft, Hubzahl: 80 - 1200 Hübe/Min	Herstellung von Stanz- und Stanzbiegeteilen, Herstellung von Teilen mit Folgeverbundwerkzeugen, geknüpft Blechpakete	von 0,1 - 3 mm
Stanz-, Biege- und Montageautomat, 7 t Presskraft, 5 t Presskraft im Biegeaggregat Hubzahl: 350 Hübe/Min	Stanz- und Stanzbiegeteile, Ringe, Herstellung von Teilen mit Gewinde Montagearbeiten möglich	von 0,1 - 2 mm
Feinschneidemaschine, Presskraft: 100 t bzw. 160 t	weichmagnetische Teile, wie z.B. Magnetjoche, Polschuhe Anker usw.	werkstoffabhängig; Beispiele für gefertigte Blechdicken versch. Werkstoffe: PERMENORM 5000 H2 \approx 5,0 mm R FE 80 \approx 4,0 mm VACOFLUX 50 \approx 1,8 mm

4.3 Stanzpaketieren / Kleben

Bedingt durch die steigenden Arbeitsfrequenzen und die Probleme mit zu hohen Wirbelstromverlusten werden zunehmend massive Teile durch lamellierte Pakete ersetzt. Hauptanwendungsfelder sind u.a. KFZ, Drucker, Motoren.

Die Fertigung größerer Serien ist mit modernsten Hochleistungspressen und Folgeverbundwerkzeugen unter Verwendung der Knüpfttechnologie äußerst rationell möglich.

In Abhängigkeit von der Teilegeometrie sind z.B. Winkligkeits- und Ebenheitstoleranzen von deutlich $< 0,1$ mm sowie ein Lamellenversatz von $< 0,01$ mm bei geknüpften Paketen einhaltbar.

Es können Banddicken $> 0,1$ mm sicher verknüpft und Durchbrüche quer zur Stapelrichtung erzeugt werden.

Durch die Schlusswärmebehandlung wird eine zusätzliche Verfestigung erreicht.

Für besonders hohe dynamische Anforderungen werden isolierte Bänder verarbeitet.

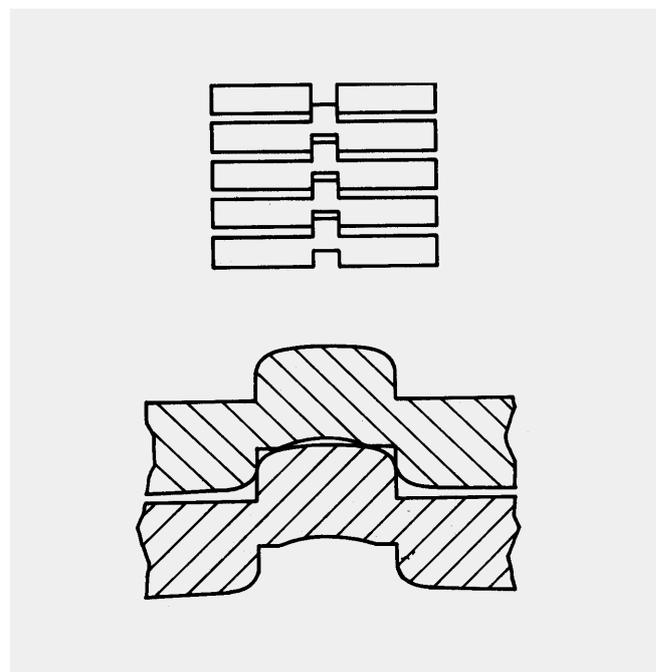


Abb. 11: Schemazeichnung Stanzpaketieren

Auch die Herstellung von Dauermagneten aus CROVAC als Ersatz für AlNiCo-Werkstoffe ist mit der Stanzpaketier-technik in engeren Toleranzen möglich, ohne dass eine Nachbearbeitung erforderlich ist.

Für Anwendungen mit kleineren Serien oder spezifische Anforderungen werden geklebte Pakete hergestellt.

Eingesetzt werden isolierende Klebstoffe, deren Verwendung bis zu ca. 200 °C möglich ist.



Abb. 12: Blechpakete für verschiedene Anwendungen

4.4 Fließpressen

Austenitische Fe-Ni bzw. ferritische Fe-Co-Legierungen für weichmagnetische Anwendungen sind durchweg schlecht spanbar, d. h. die Werkzeuge bei Dreh-, Fräs- oder Bohrbe-arbeitung unterliegen einem hohen Verschleiß, und die Späne lassen sich schlecht abführen. Der Grund liegt in der hohen Zähigkeit dieser Legierungen. Im Falle des VACOFLUX 50 kommt noch die hohe Härte selbst im magnetisch weichen Zustand hinzu. Beachtet man noch den Aspekt des relativ teuren Materialwertes dieser Legierungen, so ist in vielen Fällen der Einsatz eines nichtspanenden Formgebungs-verfahrens, wie z. B. das Fließpressen, günstiger. Es eignet sich hervorragend für die Herstellung radialsymmetrischer Teile mit hohen Genauigkeitsanforderungen.

Unsere Legierungen zeigen den in Abb. 13 dargestellten prinzipiellen Verlauf der Festigkeit über der Temperatur. Hinzu kommt eine Verfestigung durch den Prozess der Kaltverformung, so dass eine Formgebung bei erhöhten Temperaturen zu bevorzugen ist (Halbwarmfließpressen).

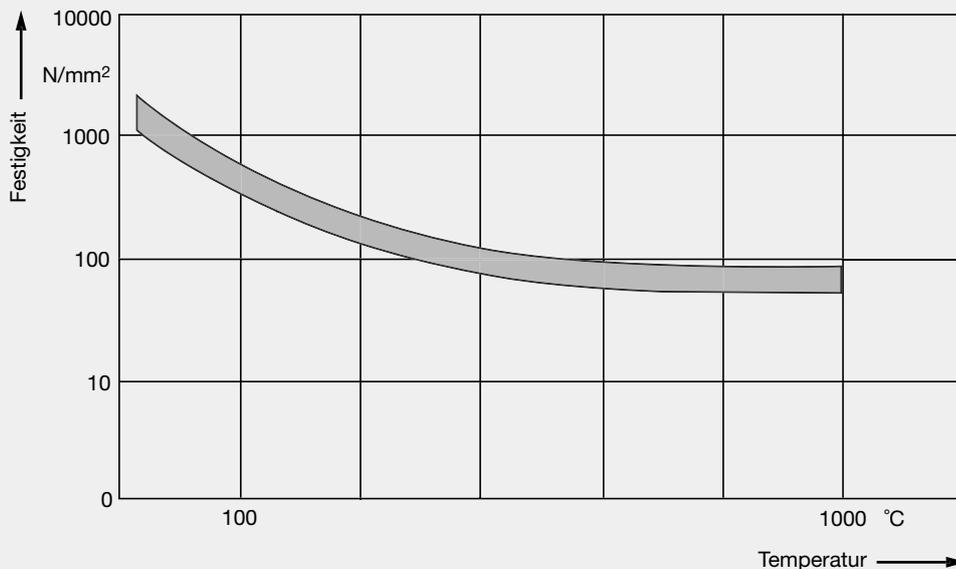


Abb. 13: Prinzipdarstellung des Verhaltens der Festigkeit als Funktion der Temperatur von weichmagnetischen Legierungen

4.5 Mechanische Endbearbeitung, Beschichtung und Verpackung

Unsere wichtigsten Verfahren der Endbearbeitung von Dreh-, Fräs-, Stanz- und Tiefziehteilen sind:

Entgratung

- Manuelle und halbmanuelle Verfahren, wie Handentgratung und Bürsten. Diese Verfahren werden angewandt, wenn eine lokale Entgratung erforderlich ist.
- Chemisches und elektrochemisches Entgraten
- Gleitschleifen
Verschiedene Verfahren wie Trowalisieren mit Rundvibratoren, mit Glocke oder Fliehkraftanlagen stehen zur Verfügung. Bei dieser Entgratung tritt eine Kantenverrundung auf.

Fallweise wird das geeignete Verfahren in Zusammenarbeit mit dem Kunden ausgewählt.

Schleifen

Anlagenseitig stehen zur Verfügung: 2-Scheibenschleifmaschinen, Durchlauf- und Pendelschleifmaschinen.

Waschen von Teilen

Zur Reinigung der Teile von Schleifrückständen verwenden wir eine moderne Waschanlage mit FCKW- und CKW-freiem Waschmittel.

Beschichtung

Wir beschichten Teile galvanisch mit Gold, Silber oder Nickel-Palladium. Unsere Spezialität ist eine sehr dünne und gleichmäßige Beschichtung in der Größenordnung von $0,8 \mu\text{m} \pm 50\%$.

Chemisch Vernickeln ist ebenfalls möglich.

Verpackung

Die geeignete Verpackung wählen wir gemeinsam mit unserem Kunden aus.

Beispiele:

- Schüttgut in Karton- oder Kunststoffbehältnissen, z.B. bei Abschirmbechern für die Automobilindustrie
- lageorientierte Verpackung, z.B. bei Relaisteilen für FI-Schutzschalter
- Tiefziehformlinge in verschiedenen Varianten, z.B. mit Einzelnestern zur räumlichen Trennung weichmagnetischer Teile
- Blisterverpackung, z.B. für automatengerechte Zuführung

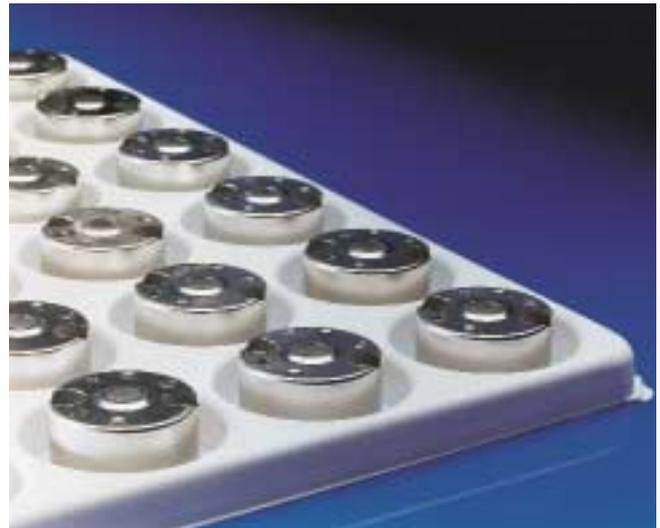


Abb. 14: Lageorientiert verpackte Teile

5. Qualitätssicherung und Magnetqualitäten von Teilen

5.1 Qualitätssicherungssystem

Das Qualitätssicherungssystem der VACUUMSCHMELZE ist nach DIN EN ISO 9001:2000 und den Forderungen der Automobilindustrie ISO TS 16949 zertifiziert. Für jedes Teil werden die zu prüfenden Merkmale gemeinsam mit dem Kunden festgelegt.

Im Bereich der Stanzzentren und der Schleiferei ist die Fertigungsprüfung DV-unterstützt (SPC).

5.2 Magnetqualitäten von weichmagnetischen Teilen

Die standardmäßigen Magnetqualitäten sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Für spezielle Anwendungen können Sondervereinbarungen getroffen werden.

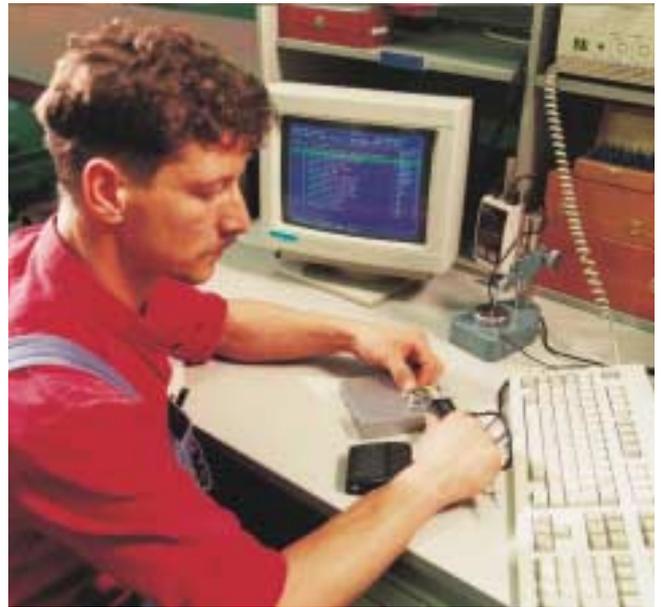


Abb. 15: DV-Messplatz

Tab. 3 Magnetqualitäten weichmagnetischer Werkstoffe für Teile

Werkstoff	Werkstoffsorte nach DIN 17405 (1979)	Magnetqualität	Koerzitivfeldstärke A/cm	Sorte nach DIN-IEC 404-8-6	Magnetische Prüfwerte ¹⁾ Mindestwerte für die Induktion in T für Feldstärke in A/cm							
					0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10	40
MUMETALL	R Ni 5	A-090	$H_C \leq 0,04$	E11/60	0,5	0,65	0,70	-	-	0,73	-	0,74
	-	A-091	$H_C \leq 0,03$	-								
VACOPERM 100	R Ni 2	B-090	$H_C \leq 0,025$	-	0,5	0,65	0,70	-	-	0,73	-	0,74
	-	B-091	$H_C \leq 0,015$	E11-100								
PERMENORM 5000 H2	R Ni 12	H3-090	$H_C \leq 0,12^2)$	-	0,5	0,9	1,1	-	1,25	1,35	-	1,45
PERMENORM 5000 V5	R Ni 8	H3-091	$H_C \leq 0,08^2)$	E31-06								
PERMENORM 5000 S4	-	V5-090	$H_C \leq 0,06$	E31-10								
PERMENORM 3601 K5	-	S4-090	$H_C \leq 0,045$	-								
PERMENORM 3601 K5	R Ni 24	K5-090	$H_C \leq 0,24$	E41-03	0,2	0,45	0,70	-	0,9	1,0	-	1,18
THERMOFLUX	-	T-001	Soll-Curiepunkt $\pm 5^\circ\text{C}^3)$	-	Fallweise Vereinbarungen über Steilheit und Geradlinigkeit der B(T)-Kurve							
VACOFLEX 50 ⁵⁾	-	V-050	$H_C \leq 0,8$	F11	-	-	-	-	1,7	-	2,05	-
VACOFLEX 48 ⁵⁾	-	V-055	$H_C \leq 0,4$	F11-60	-	-	-	-	1,8	-	2,15	-
VACOFLEX 17	-	-	$H_C \leq 2$	-	-	-	$B \geq 2T$ bei 160 A/cm					
VACODUR 50 ⁶⁾	-	-	$H_C \leq 2$	F1	-	-	$R_{p0,2} \geq 400$ MPa					

¹⁾ Werte nach DIN 17405 und DIN-IEC 404-8-6 (außer VACOFLEX)

²⁾ Für geschliffene Kleinteile: $H_C \leq 0,14$ bzw. $0,10$ A/cm

³⁾ Bei Curiepunkten über 100°C : $\pm 7,5^\circ\text{C}$

⁴⁾ Für Teile mit Dicken unter 2 mm bei ungünstigen Formen $H_C \leq 0,15$ A/cm

⁵⁾ Teile aus Bandmaterial, Banddicke $\leq 0,8$ mm

⁶⁾ nicht für Anwendungen mit $R_{p0,2} > 550$ MPa vorgesehen

Anhang A: Werkstoffe für Teile und Komponenten

A1. Übersicht über physikalische und mechanische Eigenschaften

A1.1 Weichmagnetische Werkstoffe

Tab. 4 Physikalische Eigenschaften gebräuchlicher weichmagnetischer Werkstoffe für Teile, Garantiewerte¹⁾ für magnetisch optimiertes schlusswärmebehandeltes Massivmaterial (typische Werte in Klammern)

Werkstoff	Hauptbestandteile neben Eisen	Dichte g/cm ³	Statische Koerzitivfeldstärke A/cm	Sättigungspolarisation T	Curietemperatur °C	Spez. el. Widerstand Ω · mm ² /m	Wärmeleitfähigkeit W/K · m	Ausdehnungskoeffizient bei 20-100 °C 10 ⁻⁶ /K
MUMETALL	72-83 % Ni	8,7	0,03 (0,02)	0,8	400	0,55	17-19	13,5
VACOPERM 100	Zusätze von Cu		0,015 (0,01)	0,74	360	0,6	17-19	13,5
VACOPERM BS	Mo u. a.		(0,025)	0,97	500	0,6	17-19	13,5
RECOVAC BS	Ni			0,8	440	0,48	17-19	12,0
(CRYOPERM 10)	Zusätze von Cu, Mo u. a.			0,74	430	0,35 bei T = 77,3 und 4,2 K	17-19	13,5
PERMENORM 5000 H2/V5	45-50 % Ni	8,25	0,06 (0,05)	1,55	440	0,45	13-14	10,0
PERMENORM 5000 S4			0,045 (0,02)	1,6	500	0,4	13-14	
PERMENORM 3601 K5	35-40 % Ni	8,15	0,24 (0,2)	1,3	250	0,75	13-14	2,0
MEGAPERM 40L		8,2		1,48	310	0,6	13-14	4,0
THERMOFLUX	ca. 30 % Ni	8,15	0,4 bei 20 °C	0,22-0,35 bei 20 °C	30-120	0,8	11-12	2,0
VACOFLUX 48 ²⁾	47-50 % Co	8,12	0,4 (0,3)	2,35	950	0,44	30	9,5
VACOFLUX 50 ²⁾	47-50 %	8,12	0,8 (0,5)	2,35	950	0,44	30	9,5
VACODUR 50 ²⁾	47-50 %	8,12	2,0	2,3	950	0,43	≈30	10,2
VACOFLUX 17	15-20 % Co	7,94	2,0 (1,2)	≈2,28	920	0,39	–	10,8

¹⁾ Bei Vereinbarung der Magnetwerte bei komplexen Geometrien sind diese an einer Referenzprobe zu ermitteln.

²⁾ Teile aus Bandmaterial, Banddicke ≤ 0,8 mm

A1.2 Verformbare Dauermagnetwerkstoffe

Tab. 5 Physikalische und magnetische Eigenschaften von verformbaren Dauermagnetstoffen.

Werkstoffsorte	Hauptbestandteile	Lieferform Weitere Lieferformen auf Anfrage		Remanenz	Koerzitivfeldstärke	Energiedichte	Max. Anwendungstemperatur	Rev. Temperaturkoeffizient der Remanenz zwischen -25 °C und 250 °C	Vickershärte
		Durchmesser von Teilen aus Draht	Dicke von Teilen aus Band						
		mm	mm	T	kA/m	kJ/m ³	°C	%/K	
CROVAC 12/160	FeCrCoMo	0,2-6	0,25-2,5	0,85-0,95	36-42	13	480	-0,03	480
CROVAC 16/160	FeCrCoMo		0,25-2,5	0,80-0,90	39-45	15	480	-0,03	480
CROVAC 12/500	FeCrCoMo	0,2-6	0,25-2,5	1,15-1,25	47-55	35	480	-0,03	480
CROVAC 16/550	FeCrCoMo		0,25-2,5	1,10-1,20	53-61	37	480	-0,03	480
MAGNETOFLEX 35	CoFeV	–	0,05-0,6	0,80-0,90	25-28	12	500	-0,01	950
MAGNETOFLEX 93	CoFeVCr	0,3-4,0	–	1,00-1,10	30-32	20	500	-0,01	950
VACUZET 258	CoFeNiAlTi	0,3-7,0	0,05-0,6	>1,30	2,0-3,2	2,5	400	–	600
VACUZET 655	CoFeNiAlTi	0,3-7,0	0,05-0,6	<1,20	2,5-4,8	4	400	–	650
SEMIVAC 90	FeCrCoNiMo	0,3-3,0	0,045-0,3	0,90-1,20	4-10	5	450	–	ca. 700
SENSORVAC	FeNiAlTi	0,3-6,0	0,045-0,1	1,30-1,60	1,5-2,6	3	300	–	ca. 600

A1.3 Martensitahärtender Federstahl

Tab. 6 Mechanische Eigenschaften

Werkstoffsorte	MARVAC 125	
Hauptbestandteile	Fe-13Cr-8Ni-1Mo-Be, Ti	
	weich	nach Wärmebehandlung 2h 470 °C
Zugfestigkeit (MPa)	1100	2100
Streckgrenze (MPa)	800	1900
Dehnung	4 %	3 %
Vickershärte (HV)	330	> 600
Federbiegungsgrenze (MPa)	570	1650
Biegewechselfestigkeit (MPa) (1% Bruchwahrscheinlichkeit 10 ⁷ Lsp)		ca. 900
Temperaturbeständigkeit		ca. 450 °C
Schwund beim Aushärten		isotrop <0,05 %

Tab. 7 Magnetische Eigenschaften

Werkstoffsorte	MARVAC 125	
Hauptbestandteile	Fe-13Cr-8Ni-1Mo-Be, Ti	
	weich	nach Aushärtung
Statische Koerzitivfeldstärke (A/cm)	15-18	10-19*
Sättigungspolarisation (T)	1,6	1,65
Remanenz (T)	0,75	0,25-0,65*

*abhängig von der Dicke

Tab. 8 Physikalische Eigenschaften

Werkstoffsorte	MARVAC 125					
Hauptbestandteile	Fe-13Cr-8Ni-1Mo-Be, Ti					
Dichte (g/cm ³)	7,8					
Spezifischer elektrischer Widerstand (μΩm)	0,9					
Wärmeleitfähigkeit (W/mk)	14					
Mittlere lineare Ausdehnung (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	RT	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
		10,3	10,6	11,0	11,4	11,6

Tab. 9 Mechanische Eigenschaften weichmagnetischer Werkstoffe für Teile und Komponenten

Werkstoff	Vickershärte HV nach DIN EN ISO 6507			Tiefung nach DIN 50101 mm	E-Modul N/mm ²	Streckgrenze nach DIN EN 10002 N/mm ²
	kaltverformt	weich vorgeglüht	magnetisch schlusswärmebehandelt			
MUMETALL	270-400	120-180	100-120	> 8	200	140
VACOPERM 100					170	150
VACOPERM BS					170	150
RECOVAC BS	300-350	120-160	150			
CRYOPERM 10	270-400	120-180	100-120			
PERMENORM 5000 H2	220-300	120-160	90-120	> 8	130-150	140
PERMENORM 5000 V5	220-280	120-160				
PERMENORM 5000 S4	220-280	120-160			≈160	≈200
PERMENORM 3601 K5	220-280	110-150	90-120	> 8	135	250
MEGAPERM 40L	220-280	110-150	90-120	> 8	100	200
THERMOFLUX	210-250		90-150	> 8	80-190	160-210
VACOFLUX 48	300		180	nicht tiefziehfähig	200	200
VACOFLUX 50	300-350		180-210		210	250
VACODUR 50			210-230		250	390-450
VACOFLUX 17	220-350	145	130	6-8	200	250

A2. Geometrische Einflüsse auf die magnetischen Eigenschaften von weichmagnetischen Teilen

Die in Werkstofftabellen und Diagrammen wiedergegebenen Daten und Werkstoffkurven sind immer an magnetischen Kreisen gemessen, in denen sich die Flusslinien im Werkstoff schließen. Bei der praktischen Anwendung von Teilen ist es typisch, dass der Fluss sich nur über mehr oder weniger große Luftspalte schließen kann. Neben den Werkstoffgrößen haben dann auch die Probenform und geometrische Daten wie Luftspatlänge und Querschnitt Einfluss auf die magnetischen Daten des Kreises.

Stand der Technik für die Analyse bzw. Modellierung von Magnetkreisen ist der Einsatz von numerischen Methoden, wie beispielsweise FEM-Berechnungen. Die VACUUMSCHMELZE bietet ihren Kunden solche Berechnungen an. Grundlage hierfür ist das gemeinsam erarbeitete Pflichtenheft.

Für das Grundverständnis und erste Abschätzungen sind die im Folgenden erläuterten Zusammenhänge und Formeln hilfreich.

Die Ursache für den starken Einfluss auf die Kennlinien, wenn man in den magnetischen Kreis einen Luftspalt einfügt, oder wenn man offene Probenformen wie Streifen oder Stäbe betrachtet, liegt darin, dass an den Übergängen vom Material zur Luft die Magnetisierung endet und das von den freien Polen ausgehende Feld als entmagnetisierendes Feld H_N das von außen angelegte Feld H_a mindert (s. Abb. 16).

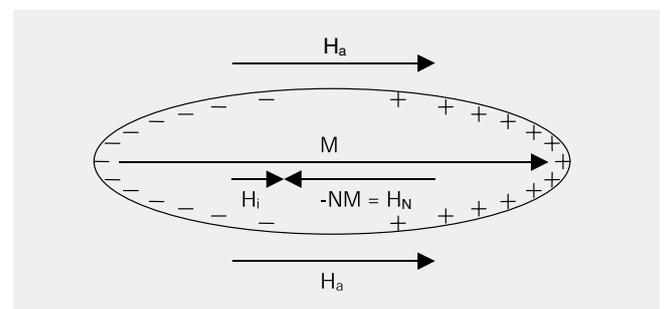


Abb. 16: Entstehung des entmagnetisierenden Feldes an einer Probe im äußeren Feld

Bei einfachen Problemen wie kurzer Luftspalt oder einfache Probenform ist der Zusammenhang zwischen der Magnetisierung im Kreis und H_N durch einen Proportionalitätsfaktor N , den Entmagnetisierungsfaktor, darstellbar. Dass H_N der Magnetisierung entgegen gerichtet ist, wird durch das negative Vorzeichen berücksichtigt:

$$H_N = -N M = -N J / \mu_0$$

Der Entmagnetisierungsfaktor N kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Die Extremwerte entsprechen dem geschlossenen Magnetkreis oder auch einem sehr langen dünnen Draht im Längsfeld ($N=0$) bzw. einer dünnen Platte im senkrecht dazu gerichteten Feld ($N=1$). Für einen ellipsoidförmigen Probenkörper gilt für die Entmagnetisierungsfaktoren in Richtung der drei Hauptachsen x, y, z :

$$N_x + N_y + N_z = 1$$

Das im Werkstoff wirkende innere Feld H_i ist eine Überlagerung des von außen durch Spulen angelegten Feldes H_a und des Feldes H_N :

$$H_i = H_a + H_N = H_a - N M$$

Bei linearem Zusammenhang zwischen H_i und M im Werkstoff gilt:

$$M = (\mu_r - 1) H_i \text{ und damit: } H_i = H_a - N (\mu_r - 1) H_i$$

Damit folgt:

$$H_i = \frac{H_a}{1 + N (\mu_r - 1)}$$

Nur im Falle $\mu_r = 1$ oder $N = 0$ ist das innere Feld gleich dem äußeren. Bei $\mu_r \gg 1$ kann, in Abhängigkeit von N , H_i sehr viel kleiner sein als H_a .

Für die Induktion B im Werkstoff gilt bei linearen Werkstoffgleichungen und obiger Gleichung für H_i :

$$B = \mu_0 \mu_r H_i = \mu_0 \frac{\mu_r}{1 + N (\mu_r - 1)} H_a = \mu_0 \mu^* H_a$$

mit $\mu^* = \frac{\mu_r}{1 + N (\mu_r - 1)}$ als der gescherten Permeabilität

Nur für $N = 0$, also im geschlossenen magnetischen Kreis gilt $H_i = H_a$ und $\mu^* = \mu_r$.

Nur für spezielle einfache Anordnungen läßt sich N aus den geometrischen Daten herleiten.

1. Die Probe ist ein Rotationsellipsoid mit Länge L und Durchmesser D . Für N_z in Rotationsrichtung gilt:

- für $p = L/D > 1$:

$$N_z = \frac{1}{p^2 - 1} \left\{ \frac{p}{\sqrt{p^2 - 1}} \ln (p + \sqrt{p^2 - 1}) - 1 \right\}$$

- für $p = L/D = 1$:

$$N_z = 1 / 3$$

- für $p = L/D < 1$:

$$N_z = \frac{1}{1 - p^2} \left\{ 1 - \frac{\arccos(p)}{\sqrt{1 - p^2}} \right\}$$

Die Entmagnetisierungsfaktoren $N_x = N_y$ senkrecht dazu lassen sich mit $N_{x,y} = (1 - N_z) / 2$ aus N_z errechnen.

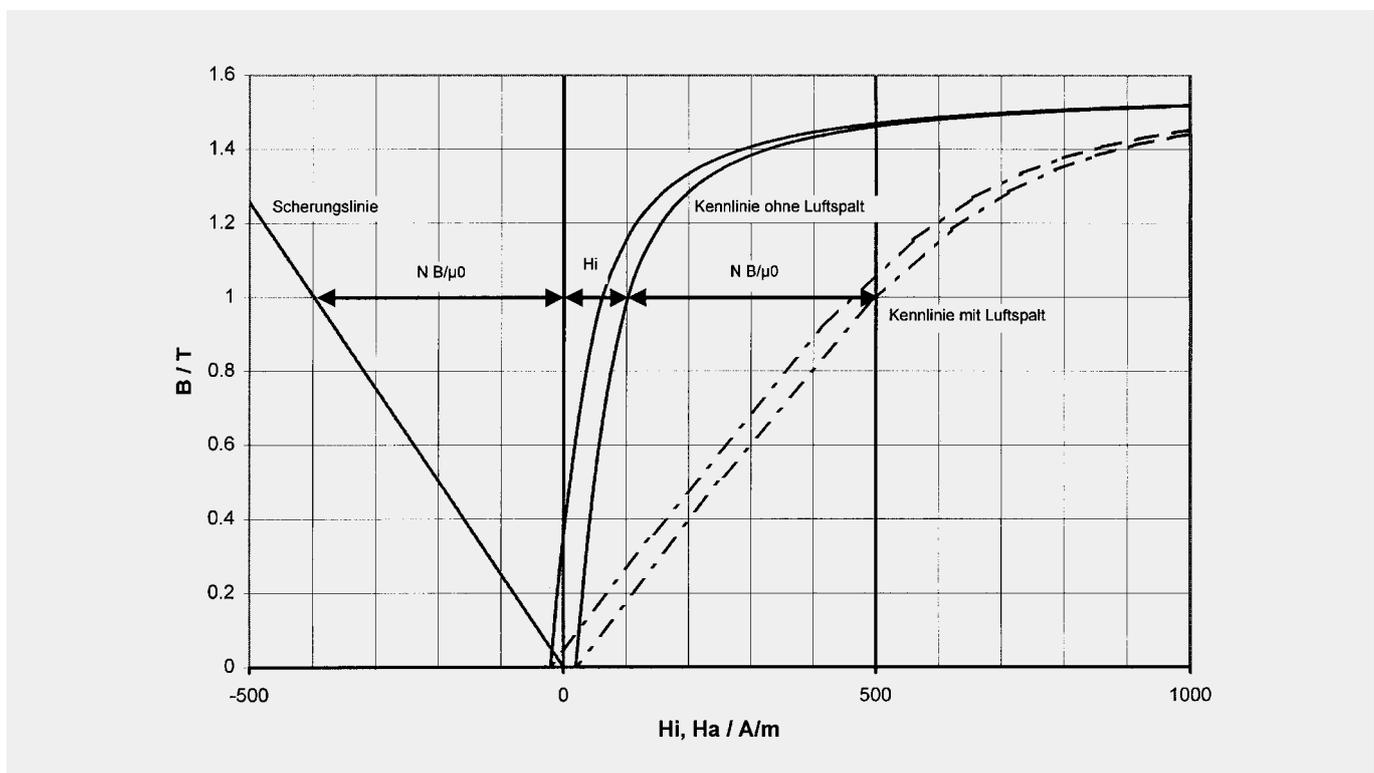


Abb. 17: Einfluss des Luftspalts auf die Hystereseschleife eines weichmagnetischen Werkstoffes

2. Magnetkreis der Gesamtlänge l mit kurzem Luftspalt der Länge l_L ($l_L \ll l$):

$$\bullet N = \frac{l_L}{l}$$

Die Kennlinien der Werkstoffe, die man an geschlossenen magnetischen Kreisen ermittelt, lassen sich durch „Scherung“ in Kennlinien überführen, die sich bei einem Luftspalt im Kreis einstellen. Die „Scherungslinie“ gibt dabei an, wieviel äußere Feldstärke man zusätzlich anlegen muss, um das entmagnetisierende Feld auszugleichen, das sich bei einer Magnetisierung (Polarisierung) im Werkstoff einstellt. Bei weichmagnetischen Werkstoffen und nicht zu starker Scherung gilt $H_N = -N J/\mu_0 \approx -N B/\mu_0$. Die Wirkung auf die Hystereseschleife ist in Abb. 17 dargestellt.

A3. Dynamische Eigenschaften weichmagnetischer Werkstoffe (Prinzip)

Günstige weichmagnetische Eigenschaften bedeuten kleine Koerzitivfeldstärken H_c , meist bei relativ hoher Remanenz B_r . Da kleine Koerzitivfeldstärken gleichzusetzen sind mit geringen Ummagnetisierungsverlusten, kann man in den meisten Anwendungsfällen diese als Maß für die Güte des weichmagnetischen Materials ansehen. Die Ummagnetisierungsverluste p_{Fe} setzen sich dabei im Wesentlichen aus den Hystereseverlusten p_h und den Wirbelstromverlusten p_w zusammen:

$$p_{Fe} = p_h + p_w = c_1 \cdot \hat{B}^p \cdot f + C_2 \cdot f^2 \cdot \hat{B}^q$$

- c_1, c_2 : Verlustbeiwerte
 p, q : Exponenten zwischen 1 und 3 (meist in der Nähe von 2)
 \hat{B} : Induktionswert
 f : Frequenz

Deutlich wird aus dieser Gleichung, dass der Anteil der Hystereseverluste Aufschluss über die magnetische Güte des Werkstoffes im rein statischen Fall ($f \rightarrow 0$) gibt. Im dynamischen Fall berechnet sich der Anteil der Wirbelstromverluste für Bleche zu:

$$P_w = \frac{\pi^2 \cdot d^2 \cdot B^2 \cdot f^2}{6 \cdot \rho \cdot \gamma \cdot \pi}$$

- d : Dicke des Bleches
 B : Induktion
 f : Frequenz
 ρ : spez. elektrischer Widerstand
 γ : Dichte

Das heißt, die Wirbelstromverluste wachsen mit dem Quadrat der Erregerfrequenz an. Diese Tatsache hat einen entscheidenden Einfluss auf die anwendungsbezogene Auswahl eines Werkstoffes. Während bei rein statischen Anwendungen hoch permeable Legierungen zu bevorzugen sind, eignen sich bei dynamischen Anwendungen solche mit höheren spezifischen elektrischen Widerständen besser.

A4. Wärmebehandlung

Die „richtige“ Wärmebehandlung stellt neben der Legierung das zweite entscheidende Kriterium für eine anwendungsbezogene Werkstoffwahl dar. Tabelle 6 zeigt die relevanten Wärmebehandlungsparameter zur Einstellung der optimalen magnetischen Eigenschaften. Eine Variation dieser Parameter ändert gleichzeitig auch die mechanischen Eigenschaften.

Die abschließende Schlussglühung dient schließlich der endgültigen Einstellung der gewünschten magnetischen und mechanischen Eigenschaften. In Tabelle 6 sind die wesentlichen Parameter der Schlussglühung angegeben, die zu optimierten magnetischen Eigenschaften führt. Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang darauf, dass Gewährleistungen bezüglich der Eigenschaften unserer Teile und Komponenten nur im Falle einer Wärmebehandlung in unserem Hause gemacht werden können. Externe Lohnglühungen können nur in unkritischen Fällen empfohlen werden.

A5. Korrosionsbeständigkeit

Der Begriff „Korrosionsbeständigkeit“ ist bei jeder Anwendung neu zu definieren. So kann in den überwiegenden Fällen eine Korrosionsbeständigkeit entsprechend einer Überprüfung nach dem in DIN IEC 68, Teil 2-30, geschilderten Verfahren als hinreichend angesehen werden. Diese Norm beinhaltet allgemeine Feuchtigkeitseinflüsse, die bei zyklischem Temperaturgang im Bereich bis zu 55 °C über längere Zeiten überprüft werden. Unterschieden wird hier zusätzlich in verschiedene Schärfegrade, die sich in unterschiedlichen Haltezeiten und -temperaturen ausdrücken. Eine diesen Umwelteinflüssen entsprechende Korrosionsbeständigkeit kann bei unseren Nickel-Eisen-Werkstoffen ohne eine zusätzliche Beschichtung eingestellt werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass der Schärfegrad der Prüfung bei Legierungen mit geringeren Ni-Gehalten geringer ist als bei den Materialien mit mehr als 45 % Nickel. Die Vorteile dieser Methode liegen zum einen auf der Kostenseite, zum anderen erlaubt die Korrosionsbeständigkeit ohne ein Beschichtungsverfahren eine einfachere Weiterverarbeitbarkeit*. Eine Korrosionsfestigkeit per Sprühnebelprüfung entsprechend DIN 50021 oder per Schwitzwasserprüfung nach DIN 50018 kann hingegen nur mittels einer zusätzlichen Beschichtung erreicht werden. In Tabelle 8 sind einige Möglichkeiten für Beschichtungsverfahren gegenübergestellt.

Prinzipiell sind natürlich auch Duplexbeschichtungen z.B. nach dem DELTA-MAGNI oder DACROMET-Verfahren aufzubringen.

Allgemein ist bei der Beschichtung eine Beeinflussung der magnetischen Eigenschaften im Teil oder in der Komponente nicht auszuschließen. Daher muss bei diesen Anforderungen das optimierte Verfahren spezifisch an die Anwendungen angepasst werden.

*Abgesehen von den korrosionshemmenden Beschichtungsverfahren ist beispielsweise bei Relais-Teilen die Möglichkeit vorhanden, die Kontaktflächen mit Pd-Ni-Legierungen, Hartgold oder Silber zu beschichten.

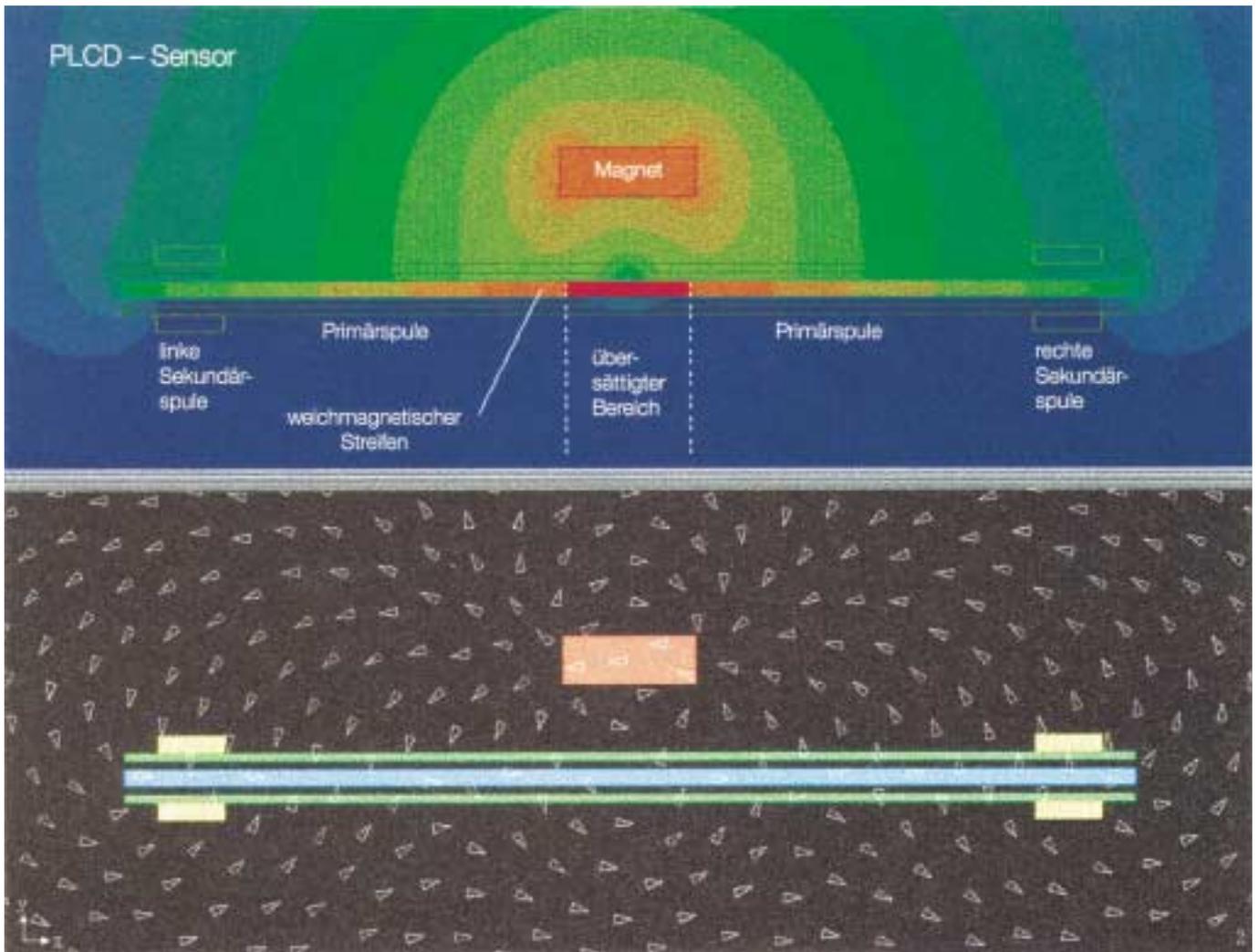
Tab. 10 Parameter der Schlussglühung zur Einstellung optimaler Magnetwerte weichmagnetischer Werkstoffe

Werkstoff	Zeit h	Temperatur °C	Ofenkühlung bis °C
MUMETALL VACOPERM 100 VACOPERM BS	2-5	1000-1100 1150 1150	200
RECOVAC BS	2-5	1000	200*
CRYOPERM 10 PERMENORM 5000 H2/V5 PERMENORM 5000 S4 PERMENORM 3601 K5 MEGAPERM 40L THERMOFLUX	2-5	1150 1100 650-700	200
VACOFLEX 48	10	880	200
VACOFLEX 50	4-10	820	200
VACOFLEX 17	10	850	200
VACODUR 50	2-5	750-820	200

Tab. 11 Oberflächenbeschichtungen zur Einstellung von Korrosionsbeständigkeit nach Prüfungen gemäß DIN 50018 und 50021

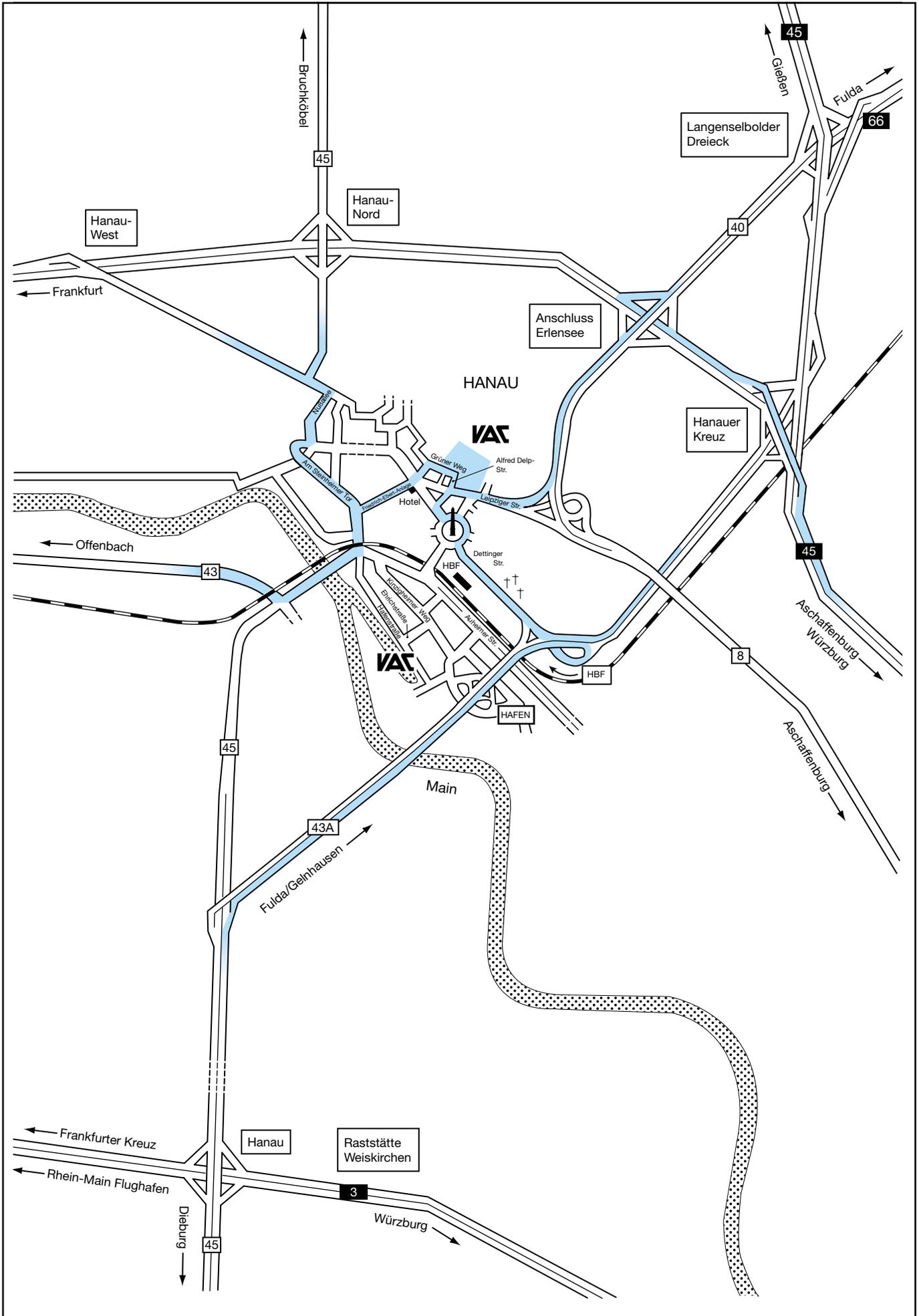
Oberfläche	Farbe	Härte (Richtwerte)	Lösemittel- beständigkeit	Temperatur- einsatz bis ca.	Korrosions- beständigkeit
Zinn	silber glänzend	HV 20	sehr gut	< 160 °C	sehr gut im Feuchtklima
Nickel	silber glänzend	HV 350	sehr gut	< 350 °C	sehr gut im Feuchtklima*
Zink + Gelbchromatierung	gelb glänzend	HV 120	sehr gut	< 80 °C	sehr gut gegen Salz-Besprühung
Elektrotauchlacke	schwarz	bis 4H (Bleistifthärte)	sehr gut	< 130 °C	gut im Klima und gegen Salz-Besprühung

* bei chemischer Aufbringung bester Korrosionsschutz sehr gleichmäßiger Schichtdicke



Die VACUUMSCHMELZE bietet ihren Kunden Hilfe bei der optimalen Auslegung von magnetischen Kreisen mittels FEM-Berechnungen an. Grundlage hierfür ist das in Zusammenarbeit mit unserem Kunden erarbeitete Pflichtenheft.

So finden Sie uns:



Produktübersicht

Halbzeuge und Teile

Halbzeuge

Weichmagnetisches Halbzeug
Verformbare Dauermagnete
Bimetalle
Federlegierungen
Einschmelzlegierungen

Teile

Stanz-/Biegeteile
Magnetische Abschirmungen

Blechpakete

Kerne und Bauelemente

Magnetkerne

Bandkerne aus kristallinen, amorphen und nanokristallinen Legierungen

Induktive Bauelemente

für ISDN, xDSL und Schaltnetzteile,
zur Stromerfassung und
zur Ansteuerung von Leistungshalbleitern

Selten-Erd-Dauermagnete

Magnete auf Basis SmCo und Nd-Fe-B
Kunststoffgebundene Magnete
Magnetsysteme

VACUUMSCHMELZE GMBH & CO. KG



Der Fortschritt beginnt beim Werkstoff

Postfach 22 53
D-63412 Hanau
☎ (**49) 61 81/38-0
☒ (**49) 61 81/38-20 18
Internet: <http://www.vacuumschmelze.com>
E-Mail: Info@vacuumschmelze.com

Herausgegeben von VACUUMSCHMELZE GMBH & CO. KG, Hanau
© VACUUMSCHMELZE GMBH & CO. KG 2003. Alle Rechte vorbehalten.

Gewähr für die Freiheit von Rechten Dritter leisten wir nur für die Produkte selbst, nicht für Anwendungen, Verfahren und für die mit den Erzeugnissen realisierten Schaltungen. Mit den Angaben werden die Produkte spezifiziert, nicht Eigenschaften zugesichert. Liefermöglichkeiten und technische Änderungen vorbehalten.

Gedruckt auf chlorfrei hergestelltem Papier.