

## Entmagnetisieren als Prozessvorbereitung in der Urformung von Metallpulver



Marek Rohner  
Head of Technology  
Maurer Magnetic AG  
8627 Grüningen  
Switzerland

Maurer Magnetic AG, Ihr Spezialist für:

- Industrielle Entmagnetisiermaschinen
- Magnetismus-Messtechnik
- Entmagnetisierung als Dienstleistung
- Troubleshooting in Magnetismus
- Magnete und Magnet-Systeme



## Zusammenfassung

Pulvermetallurgische Herstellungsverfahren werden hauptsächlich für die Massenfertigung von Spezialteilen in der Automobilindustrie verwendet. Kurze Fertigungszeiten, genau kontrollierbare Materialeigenschaften und die geringe Nacharbeit der Teile machen dieses Verfahren besonders interessant.

Kostentreibend wirken sich auf die Dauer die Werkzeugmatrizen und Stempel aus, welche in der Regel aus Hartmetall gefertigt und oft zusätzlich mit verschleissfesten Beschichtungen versehen werden. Diese Werkzeuge unterliegen einer hohen mechanischen Beanspruchung und haben deshalb nur eine begrenzte Standzeit.

Ferromagnetische Hartmetalle besitzen neben den herausragenden Eigenschaften wie Härte und Verschleissfestigkeit auch hartmagnetische Eigenschaften (hohe magnetische Koerzitivfeldstärken). Hartmetalle behalten nach Einwirkung von äusseren magnetischen Feldern Restmagnetismus-Werte von bis zu 100A/cm (~125 Gauss). Zum Vergleich ist ein Grenzwert für industriell gefertigte Stahlteile üblicherweise unter 4A/cm angesetzt.

Kontinuierliche Entwicklungen im Bereich der Pulvermetallurgie erlauben die Fertigung von Teilen mit zunehmend engeren Mass- und Gewichtstoleranzen bei gleichzeitig kürzeren Fertigungszeiten. Mit mehrstufigen Pressen-Adaptoren und Werkzeugen können heute komplexe Bauteile mit dünnen Wandstärken hergestellt werden. Die sich überproportional bei kleinen Luftspalten verstärkenden Magnetfelder werden sich zunehmend störend auf den Urform-Prozess auswirken.

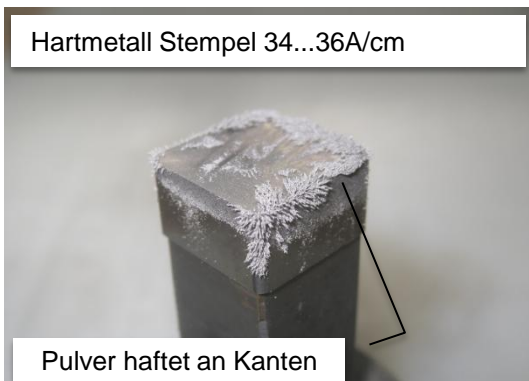
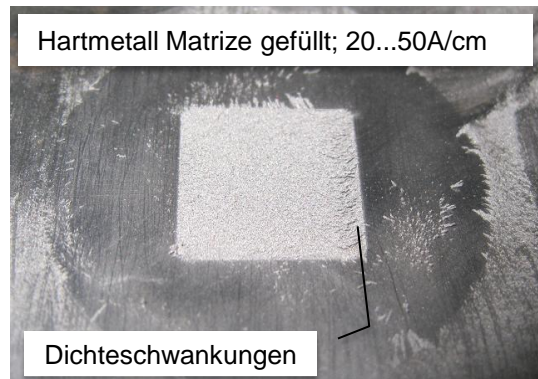
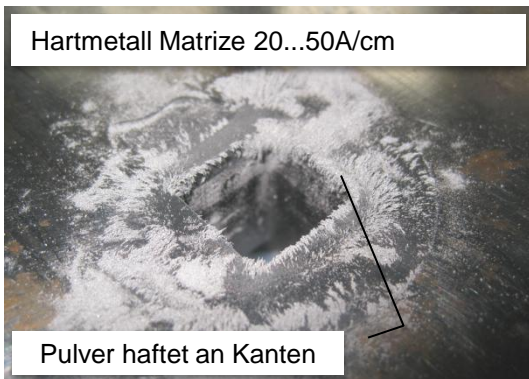
Magnetische Spann- und Hebesysteme bieten grosse Vorteile im Zeitaufwand zur Umrüstung bzw. zur Umladung von ferromagnetischen Werkstücken. Die manchmal vorhandene Entmagnetisierfunktion auf diesen Systemen ist in der Lage, die vorher eingeprägte Magnetisierung wieder in die Nähe der Ausgangswerte zu senken. Solche Systeme stossen jedoch in der Leistung an ihre Grenzen, sobald die technischen Ansprüche an tiefe Restmagnetismus-Werte, wie im Fall der Pulvermetallurgie, grösser werden.

Erhöhte Restmagnetismus-Werte an Hartmetall-Werkzeugen und Pulverpressen wurden bei Dienstleistungs-Entmagnetisierungen vor Ort eindeutig bestätigt. Entsprechende Entmagnetisiergeräte und Messinstrumente fehlen oft oder genügen den neuen Anforderungen nicht.

Die Vorteile von entmagnetisierten Werkzeugen und Pressenstrukturen liegen hauptsächlich in folgenden Bereichen:

- Verbessertes Rieselverhalten des Metallpulvers
- Kürzere Zykluszeiten bei der Urformung
- Verlängerte Standzeiten der Stempel und Matrizen
- Weniger Dichteschwankungen beim Grünling
- Geringere Pulververluste

Moderne Entmagnetisierverfahren ermöglichen heute die sichere und vollständige Entmagnetisierung von Hartmetall-Werkzeugen, Adaptoren und Pressenrahmen. Mit erhöhtem Aufwand ist auch die Entmagnetisierung von komplett montierten Pressen inklusive der Adaptoren möglich.



## Verhalten des Metallpulvers bei magnetischen Matrizen und Stempeln

Magnetische Feldlinien nehmen den Weg des geringsten Widerstandes. Mit einer relativen magnetischen Permeabilität von  $\mu_r \sim 1$  bildet Luft für magnetische Feldlinien einen hohen Widerstand. Ferromagnetische Stähle liegen mit Werten zwischen  $\mu_r = 200...1000$  in einem Bereich, der das Magnetfeld deutlich besser leitet. Die immer in sich geschlossenen Feldlinien verlaufen deshalb möglichst lange im Stahl und kehren erst gegen Ende des Teils über die Luft zurück. Bei ferromagnetischen Teilen führt dies zu verdichteten Feldlinien an Ecken, Kanten und Spalten.

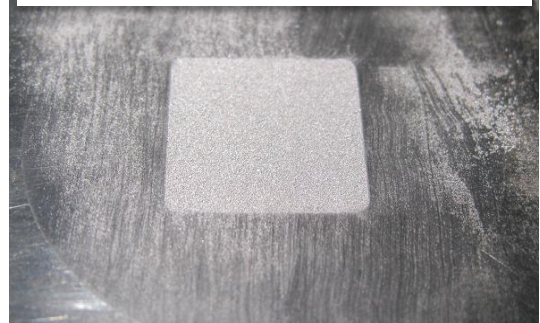
Matrizen und Stempel mit erhöhtem Restmagnetismus übertragen die Streufelder auf das magnetisch leitende, ferromagnetische Metallpulver. Das Metallpulver richtet sich entsprechend den magnetischen Feldlinien aus, und es kommt zu den typischen Ansammlungen an Kanten und Ecken. Die bei Hartmetallen beobachteten hohen Restmagnetismus-Werte bis zu 50A/cm führen zu den in den Abbildungen ersichtlichen Erscheinungen. Das Rieserverhalten des Eisenpulvers wird durch die magnetischen Felder deutlich beeinträchtigt. Die magnetische Anhaftung des Eisenpulvers verstärkt sich an den Stellen mit den erhöhten Felddichten. Dort treten nach einiger Einsatzzeit erhöhte Abnutzungserscheinungen, wie z.B. Riefenbildung an den Werkzeugflanken, auf. Bei stark abrasiven Metallpulvern, wie z.B. bei diamantbestücktem Pulver, ist der Verschleiss der Werkzeuge besonders ausgeprägt. Weitere Effekte treten bei der Füllung von magnetischen Matrizen mit Metallpulver in Erscheinung. Schwankungen in der Dichte, Wellenbildung des Füllgutes und erhöhte Pulververluste beeinflussen die Urformungsprozesse negativ. Beim Absenken des Stempels auf die gefüllte Matrize verkleinert sich der Luftspalt. Die erhöhte Felddichte führt zu den störenden Pulverbärten, welche wiederum schwankende Dichteverhältnisse und erhöhten Verschleiss an Kanten verursachen.

Matrize und der Stempel wurden für diese Versuche ausserhalb des Pressenadaptors aufgestellt.

Hartmetall Matrize unter 2A/cm



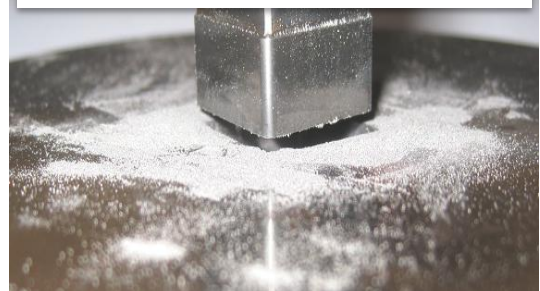
Hartmetall Matrize gefüllt; unter 2A/cm



Hartmetall Stempel unter 2A/cm



Matrize und Stempel, im Luftspalt unter 2A/cm



### Verhalten des Metallpulvers bei vollständig entmagnetisierten Matrizen und Stempeln

Die Entmagnetisierung der Hartmetall Matrizen und Stempel erfolgte mittels einer Pulsfolge hoher Leistungsdichte, gekennzeichnet durch sehr hohe Feldstärken und komplett einhüllendes Feldvolumen. Die hohe Feldstärke stellt sicher, dass alle magnetischen Momente des Hartmetalls umgepolt werden, und das einhüllende Feldvolumen garantiert eine gleichmässige Durchflutung über die gesamte Objektgrösse. Mit diesem Verfahren wurden an allen Stellen der Matrizen und Stempel Restmagnetismus-Werte von deutlich unter 2A/cm erreicht.

Das Rieserverhalten des Eisenpulvers wird bei den entmagnetisierten Werkzeugen praktisch nicht mehr beeinflusst. Das Pulver verteilt sich auf den Flächen gleichmässig und ohne zu haften. An Kanten und Ecken sind keine Pulveransammlungen mehr sichtbar. Die Bildung von Pulverbärten ist selbst bei kleinem Luftspalt zwischen Stempel und Matrize nicht zu erkennen, die vorherigen Dichteschwankungen bei der magnetisierten Matrize wurden eliminiert.

Aus Vergleichsversuchen und Erfahrungen von Kunden haben sich die nachfolgenden Vorteile beim Pressen von Eisenpulver mit entmagnetisierten Werkzeugen ergeben:

- Verlängerte Standzeit der Matrizen und Stempel um bis zu 20% (diamantbestücktes Eisenpulver)
- Reduzierte Gewichtsschwankungen und geringere Porosität beim Grünling
- Reduzierte Eisenpulververluste aufgrund optimalen Füllungsverhaltens
- Schnellere Produktionsraten dank kürzer Füllzeiten der Matrizen mit Metallpulver
- Geringerer Produktionsausschuss dank verbesserter Prozessbedingungen
- Kein Restmagnetismus der produzierten Grünlinge

## Feldlinien in einer magnetisierten Pulverpresse

Die Richtungen und die Flussdichten der Feldlinien in der Presse sind abhängig von der Magnetisierung der ferromagnetischen Strukturen und der Richtung und Stärke des Erdmagnetfeldes am Aufstellungsort.

Äussere statische Magnetfelder, wie z.B. das Erdmagnetfeld, induzieren in der Presse magnetische Flüsse.

Oberer und unterer Querbalken schliessen die magnetischen Kreise zwischen dem äusseren Pressenrahmen und den inneren Führungen.

Typischerweise liegt das Erdmagnetfeld in einer  $\sim 45^\circ$  Neigung zur Horizontalen.

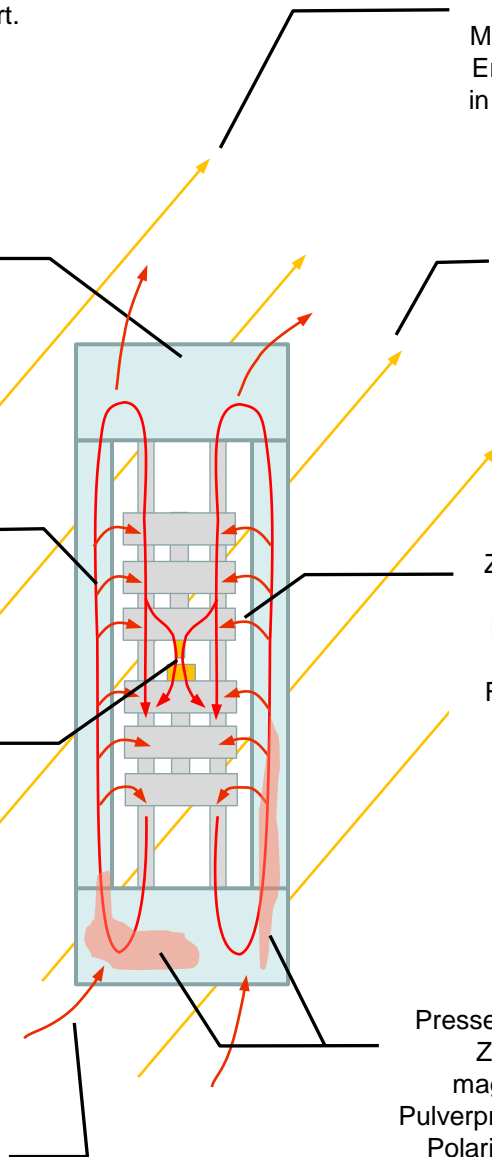
Der magnetische Fluss wird in den langen ferromagnetischen Pressensäulen gut geleitet.

Zwischen den Adaptoren-Platten und dem Pressenrahmen treten in der Regel erhöhte Feldstärken aufgrund des kleinen Luftspaltes auf.

**Funktionsrelevante Stelle:** Feldkonzentration durch den kleinen Luftspalt zwischen Matrize und Stempel. Die Polarität des Magnetfeldes spielt hier keine Rolle, nur der absolute Wert ist für die Anwendung entscheidend.

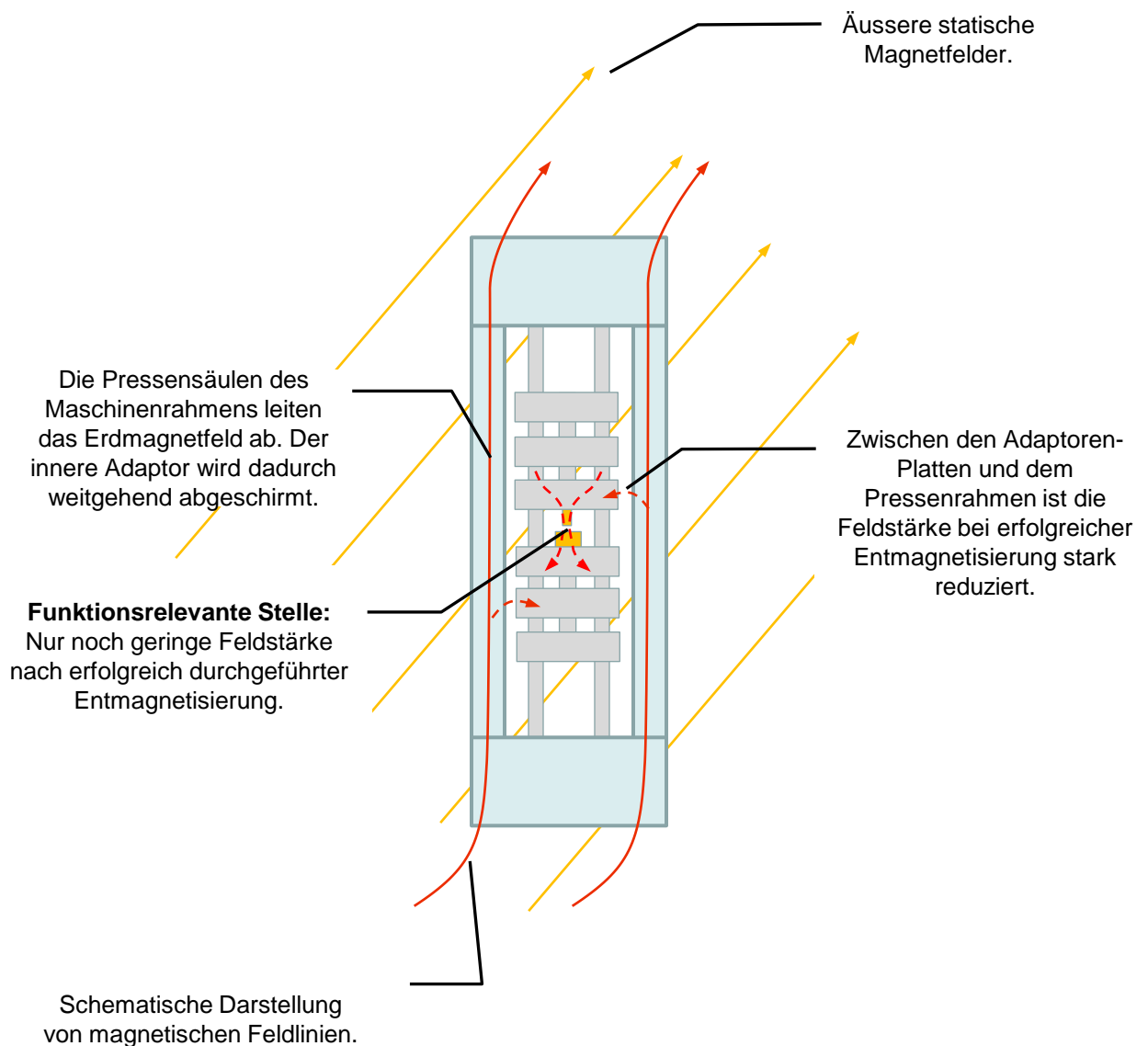
Pressenteile mit magnetisierten Zonen verstärken die magnetischen Flüsse der Pulverpresse in Abhängigkeit ihrer Polarität. Zusammen mit dem Erdmagnetfeld können dadurch sehr hohe Werte ( $> 100\text{A/cm}$ ) im Bereich der Matrizen und Stempel entstehen.

Schematische Darstellung von magnetischen Feldlinien.



## Feldlinien in einer entmagnetisierten Pulverpresse

Die Richtungen und die Flussdichten der Feldlinien in der Presse sind abhängig von der Magnetisierung der ferromagnetischen Strukturen und der Richtung und Stärke des Erdmagnetfeldes am Aufstellungsort.



## Entmagnetisierung von Pressen-Bauteilen und komplett montierten Pulverpressen

Die tragenden Strukturen von Pulverpressen bestehen hauptsächlich aus ferromagnetischen Stählen. Pulverpressen über 250 Tonnen Presskraft erfordern zur Aufnahme der auftretenden Kräfte bereits massive Materialquerschnitte, was zu schweren Stahlteilen führt. Das Handling und die erfolgreiche Entmagnetisierung solcher Teile ist nur mit leistungsfähigen Geräten zu bewerkstelligen. Die Pressenbauteile durchlaufen üblicherweise bei der Herstellung mehrere Teilprozesse bei Unterlieferanten und werden mehrmals transportiert. Ohne lückenlose Kontrolle kann nicht ausgeschlossen werden, dass solche Teile im Laufe der Herstellung magnetisch gespannt oder gehoben wurden, oder sogar das Ausgangsmaterial ab Stahlwerk bzw. Stahlhändler bereits eine erhöhte Magnetisierung aufwies. Damit erhöhte Restmagnetismus-Werte im Bereich des Presswerkzeuges vermieden werden können, ist eine prozesssichere Entmagnetisierung der Pressen-Einzelteile mit ausreichender Tiefenwirkung vor dem Zusammenbau der Presse notwendig.

Die Entmagnetisierung einer montierten Pulverpresse ist in jedem Fall schwieriger zu bewerkstelligen, als vorgängig die Einzelteile zu entmagnetisieren. Die insgesamt höhere Stahlmasse einer montierten Presse und die beschränkte Zugänglichkeit zu den Komponenten erschweren das Entmagnetisieren. Aufgrund der Grösse kann eine montierte Presse auch nicht mit einem komplett einhüllendem Feld beaufschlagt werden, was das manchmal auftretende Verschieben des Magnetismus in andere Bereiche der Presse verhindern würde.

Eine bereits deutlich einfachere Ausgangslage wird erreicht, indem der Pressenadaptor aus der Presse ausgebaut wird. Der äussere Pressenrahmen und der Pressenadaptor werden getrennt entmagnetisiert. Mit einem leistungsfähigen Wechselfeld-Entmagnetisierprozess mit frei wickelbaren Kabelspulen lassen sich gute Ergebnisse erzielen. Die Zielgrösse bezüglich Restmagnetismus liegt aufgrund der grossen Stahlmassen und der damit verbundenen Feldinduktion durch das Erdmagnetfeld, bei ca. 2...8A/cm.

Matrizen und Stempel aus hochlegierten Werkzeugstählen und Hartmetall müssen in jedem Fall in Folge der hohen benötigten Feldleistung separat entmagnetisiert werden. Bei diesen Teilen sind generell Werte unter 2A/cm anzustreben. Damit eine genügende Messgenauigkeit gewährleistet ist, muss der Restmagnetismus mit einem Hallsensor nahe an der Messoberfläche gemessen werden.

Nach der Entmagnetisierung der kritischen Pressenstrukturen wird der Restmagnetismus der ferromagnetischen Massen weitgehend beseitigt, und die noch vorhandenen Werte werden nur noch durch äussere magnetische Störfelder, wie z.B. das Erdmagnetfeld, verursacht. Nach anschliessender Montage der Presse ist das Auftreten von störendem Restmagnetismus im Bereich des Presswerkzeuges ausgeschlossen. Voraussetzung ist, dass keine weiteren magnetischen Hilfsmittel eingesetzt werden.

Die beschriebene Vorgehensweise verhindert die Leitung von magnetischen Feldern über den Stempel bzw. Matrize. Eine erneute Aufmagnetisierung der ferromagnetischen Pressenstrukturen kann nicht ausgeschlossen werden.

Entmagnetisierung eines ausgebauten Pressenadaptors mit frei wickelbaren Kabelspulen und Pulsverfahren.



## Wettbewerbsvorteile gewinnen durch eigenes Know-How

Die Prozesssicherheit in der Massenerstellung von ferromagnetischen Sinterteilen wird durch bestmöglich entmagnetisierte Pulverpressen und Werkzeuge einen grossen Schritt weiter gebracht. Firmen aus dem Segment der Pulvermetallurgie müssen jederzeit in der Lage sein, im eigenen Haus innert kurzer Zeit die erforderlichen Entmagnetisierungen durchzuführen. Nur so wird eine konstante hohe Produktions- und Qualität ohne längeren Unterbruch und ohne Abhängigkeit von externen Dienstleistern aufrecht erhalten. Für Massenersteller rechnen sich die Investitionskosten in das Entmagnetisierverfahren aufgrund der Erhöhung der Werkzeug-Standzeit und der Reduktion des produzierten Ausschusses innert kurzer Zeit.

## Modulare Entmagnetisiermaschinen zur ganzheitlichen Abdeckung der Aufgabenstellung

Die Entmagnetisierung von unterschiedlichsten Bauteilgrössen und hartmagnetischen Werkstoffen, sowie die Beherrschung der Prozesssicherheit und die Gewährleistung einer sicheren Bedienung bilden ein anspruchsvolles Anforderungsprofil an den Entmagnetisierprozess.

Mit einem modularen System bestehend aus flexiblen Kabelspulen, Hochleistungsspulen mit optionalen Schutzgehäusen und mobilen Leistungsmodulen sind die Voraussetzungen geschaffen, um die unterschiedlichen Entmagnetisierungen vor Ort effizient zu lösen.

Ein automatischer Entmagnetisierprozess wie das MaurerDegaussing Verfahren erzielt reproduzierbare Ergebnisse. Die Auslösung der Entmagnetisierungspulse per Knopfdruck ohne komplizierte Parametrierung garantiert die einfache und zuverlässige Bedienung.



Mobiles Leistungsmodul + flexible Kabelspulen zur Entmagnetisierung von:

- Pressen-Adaptoren
- Pressenrahmen
- Stahlteilen aller Art

Mobiles Leistungsmodul + Hochleistungsspule mit Schutzhaube zur Entmagnetisierung von:

- Hartmetall Matrizen
- Hartmetall Stempeln
- Anderen hartmagnetischen Werkstoffen



Das mobile Leistungsmodul MM DM erzeugt die Entmagnetisierungspulse in den unterschiedlichen Spulen

## Einsatz des Entmagnetisierverfahrens

Die drei Pulverpressen-Komponenten Werkzeug, Adaptor und Pressenrahmen werden gemäss unten dargestelltem Schema entmagnetisiert.

Folgende Prioritäten sind zu berücksichtigen:

1. Werkzeug
2. Adaptor
3. Pressenrahmen

