



# **Werkstoffbroschüre**

**Ferrotron® und Fluxtrol®**



---

**POLYTRON**  
KUNSTSTOFFTECHNIK

## Einleitung

Die **POLYTRON Kunststofftechnik GmbH & Co. KG** ist einer der führenden europäischen Anbieter von sogenannten Sonder- und Hochleistungskunststoffen. Unser Produktprogramm umfasst verschiedene hoch temperaturbeständige Kunststoffe und Kunststoffcompounds, die in den unterschiedlichsten Anwendungen zum Einsatz kommen. Darüber hinaus beraten wir Sie bei der Auswahl der geeigneten Materialien und fertigen daraus Bauteile nach Ihren Anforderungen.

Die vorliegende Broschüre beschreibt unsere magneto-dielektrischen Materialien (MDM) **FERROTRON®** und **FLUXTROL®**, die insbesondere in Induktionsanwendungen zum Einsatz kommen. Ein wesentlicher Anwendungsbereich für die Induktionstechnologie ist die Wärmebehandlung von metallischen Bauteilen. Aus diesem Grunde bietet die Broschüre auch einen kurzen Überblick über weitere, in der Induktionserwärmung anwendbare Kunststoffe.

## INHALT

- 2 Einleitung
- 2 Magneto-Dielektrische Materialien
- 3 Wirkungsweise
- 4 Ferromagnetische Werkstoffe im Vergleich
- 4 **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** – Typen
- 5 Einsatz von **FERROTRON®** und **FLUXTROL®**
- 5 Anwendung von **FERROTRON®** und **FLUXTROL®**
- 6 Kunststoffe für Isolation und Konstruktion

### Magneto-Dielektrische Materialien (MDM)

MDMs sind Werkstoffe, die sowohl über ferromagnetische als auch über dielektrische Eigenschaften verfügen. Die von uns angebotenen Materialien bestehen aus Weicheisenpartikeln, die gleichmäßig in einen thermoplastischen Hochleistungskunststoff eingebettet sind. Durch den Anteil, die Form und die Verteilung der Weicheisenpartikel im Kunststoff lassen sich die Eigenschaften der MDMs gezielt beeinflussen. Wir bieten zwei unterschiedliche Produktreihen an.

**FERROTRON®** ist ein MDM, das bereits in den 50er Jahren des vergangenen Jahrhunderts entwickelt worden ist. Beim Experimentieren mit Verstärkungstoffen für Kunststoffe stellten die Ingenieure unserer damaligen Muttergesellschaft POLYMER Corp. fest, dass die gewählten Verstärkungstoffe dem Kunststoff ferromagnetische Eigenschaften verleihen, ohne dass die grundsätzlichen Eigenschaften des Kunststoffs verloren gehen. **FERROTRON®** wurde daher zunächst in der allgemeinen Elektrotechnik, insbesondere beim Antennenbau, eingesetzt. Heute ist es ein universell nutzbares Material mit verhältnismäßig geringen magnetischen Eigenschaften, das im Mittel- und Hochfrequenzbereich verwendet werden kann.

**FLUXTROL®** dagegen wurde erst in den 80er Jahren von Robert S. Ruffini erfunden. Ruffini entwickelte verschiedene Materialtypen speziell für die Induktionserwärmung und benannte auch sein neu gegründetes Unternehmen nach diesen Materialien. Die Fluxtrol Manufacturing, Inc. kaufte 1996 das Produkt **FERROTRON®** und die dazugehörigen Fertigungseinrichtungen von der POLYMER Corp. und ist seitdem der führende Hersteller von magneto-dielektrischen Materialien für Induktions-Erwärmungsanwendungen. **FLUXTROL®** bezeichnet heute eine Gruppe von Materialien mit definierten magnetischen Eigenschaften, die besonders auf die Anforderungen der Induktionserwärmungstechnik abgestimmt sind.

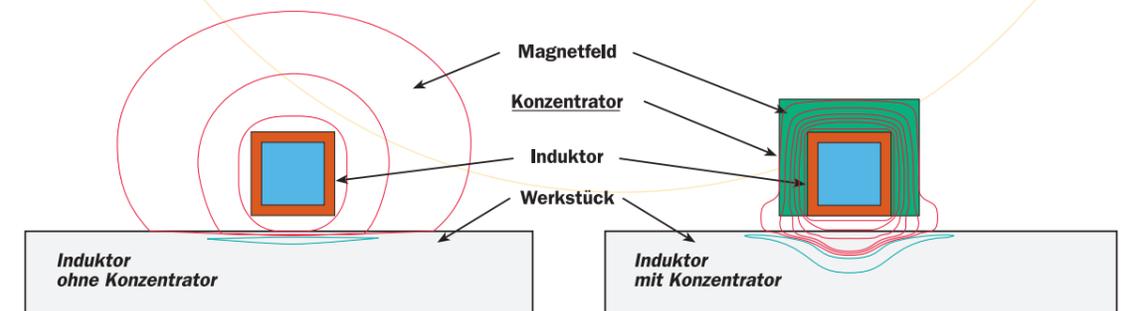
## Wirkungsweise

Bei der Induktionserwärmung erzeugt ein Wechselstrom durchflossener Leiter (Induktor) ein alternierendes Magnetfeld. Bringt man einen Leiter (das zu behandelnde Werkstück) in das Magnetfeld ein, so werden durch die wechselnde Magnetisierung Wirbelströme induziert, die zur Erwärmung des Leiters führen. Dieses Prinzip macht man sich hauptsächlich zu Nutze, um Werkstücke berührungslos zu erwärmen, z.B. zum Härten, Löten oder Vorwärmen von Bauteilen.

Nachteil des Prinzips ist der Verlauf des Magnetfelds um den Induktor herum. Damit tritt das Magnetfeld auch außerhalb des zu bearbeitenden

Werkstücks auf und kann zu unerwünschten Nebeneffekten führen. Darüber hinaus kann das Magnetfeld nur dann auch gleichmäßig im Bauteil wirken, wenn der Induktor der Geometrie des Bauteils bzw. der zu behandelnden Stelle exakt folgt. Dies ist insbesondere bei komplexen Geometrien nicht immer möglich, was letztlich bei solchen Bauteilen zu einer ungleichmäßigen Erwärmung führt. Ferromagnetische Werkstoffe können hier hilfreich sein und aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften entweder zur Abschirmung und/oder zur Konzentration des Magnetfelds eingesetzt werden.

### Wirkungsweise von Magnetfeldkonzentratoren – Magnetfeldverteilung



Der Einsatz von ferromagnetischen Werkstoffen zur Konzentration bzw. Abschirmung von Magnetfeldern bietet folglich deutliche Vorteile bei der Induktionserwärmung. Das Magnetfeld lässt sich mit „Konzentratoren“ gezielt beeinflussen und ermöglicht damit eine deutliche Optimierung des Härtebilds. Dies ist insbesondere mit Hinblick auf steigende Toleranzanforderungen und auf die Verbesserung der Wiederholgenauigkeit ein ent-

scheidender Vorteil. Darüber hinaus bieten Werkstoffe zur Magnetfeldkonzentration die Möglichkeit, die Leistung des Induktors zu erhöhen bzw. die Leistungseffizienz der gesamten Induktionsanlage zu optimieren. In abschirmender Funktion können ferromagnetische Werkstoffe die unerwünschte Erwärmung von Bauteilbereichen oder ganzen Anlagenteilen verhindern und die Arbeitssicherheit erhöhen.

### Wirkungsweise von Magnetfeldkonzentratoren – Temperaturverteilung

Anmerkung: Die Grafik zeigt den simulierten Temperaturverlauf bei der Wärmebehandlung einer Welle mit 30 mm Durchmesser. Mit **FLUXTROL®** kann das Werkstück in 6 Sekunden auf 935°C aufgeheizt werden, während in der gleichen Zeit ohne Konzentrator nur ein indifferentes Wärmebild mit Temperaturen von knapp 200°C erzielt wird.



## Ferromagnetische Werkstoffe im Vergleich

Es gibt natürlich eine Vielzahl ferromagnetischer Werkstoffe. Bei der Magnetfeldkonzentration oder Abschirmung in Induktionserwärmungsanlagen kommen drei unterschiedliche Werkstoffgruppen zum Einsatz: Weicheisenbleche (Lamine, Trafobleche), Ferrite und eben **FERROTRON®** oder **FLUXTROL®**.

### Vor- und Nachteile ferromagnetischer Werkstoffe zur Magnetfeldbeeinflussung

Lamine	Ferrite	FERROTRON® + FLUXTROL®
– Höchste Permeabilität	– Hohe Permeabilität in schwachen Magnetfeldern	– Auf Frequenzbereiche abgestimmte Typen verfügbar
– Höchste Magnetisierung	– Relativ hoher Wirkungsgrad	– Relativ gute mechanische Eigenschaften (zerspanbar)
– Hoher Wirkungsgrad im Niederfrequenzbereich	– Geringe Wärmeleitfähigkeit	– Relativ hohe Magnetisierung
– Sehr hohe Temperaturbeständigkeit	– Niedrige maximale Magnetisierung	– Typen mit verschiedenen magnetischen Eigenschaften verfügbar
– Begrenzter Frequenzeinsatzbereich	– Niedriger Curie-Punkt	– Gute Wirkung in 3-dimensionalen Magnetfeldern
– Keine Wirkung in 3-dimensionalen Magnetfeldern	– Schlechte mechanische Eigenschaften	– Relative hohe Schlagfestigkeit
– Hoher Montageaufwand	– Anfällig für Zerstörung durch thermischen Schock	– Vielzahl von Abmessungen erhältlich
– Nur begrenzte Geometrien darstellbar		– Verhältnismäßig geringe Temperaturbeständigkeit

## FERROTRON® und FLUXTROL® – Typen

Der große Vorteil von **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** gegenüber den anderen ferromagnetischen Werkstoffen ist die einfache Bearbeitbarkeit und die Variierbarkeit der magnetischen Eigenschaften. Wir bieten, wie bereits oben erwähnt, zwei Produktreihen mit unterschiedlichen Typen an. Darüber hinaus können bei ausreichender Nachfrage Sondereinstellungen

entwickelt und produziert werden. Standardmäßig umfasst das Produktprogramm folgende Typen:

- **FLUXTROL® 25 (früher FLUXTROL® B)**
- **FLUXTROL® 50**
- **FLUXTROL® A**
- **FERROTRON® 559**
- **FERROTRON® 119**

### Physikalische Eigenschaften der MDM

	Einheit	FLUXTROL® 25	FLUXTROL® 50	FLUXTROL® A	FERROTRON® 559	FERROTRON® 119
Dichte (± 2%)	g/cm <sup>3</sup>	5,5	6,1	6,6	5,9	4,8
Permeabilitätszahl	$\mu_r$	23	36	63	16	7
	$\mu_{max}$	30	55	120	19	8
magnetische Induktion B	T	1,3	1,5	1,6	1,0	0,8
Frequenz-Einsatzbereich	KHz	10 – 3000	10 – 1000	1 – 50	10 – 3000	10 – 5000
Curie-Punkt	°C	Anm.: liegt weit oberhalb der Temperaturbeständigkeit und ist daher nicht messbar				
Temperaturbeständigkeit	°C	250 – 300	250 – 300	200 – 250	250 – 300	250 – 300
Wärmeleitfähigkeit	W (m K) <sup>-1</sup>	3,0	3,0	3,0	2,4	-
Durchgangswiderstand	Ω·cm	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>2</sup>	> 10 <sup>2</sup>	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>3</sup>
Ausdehnungskoeffizient	K <sup>-1</sup> x 10 <sup>-6</sup>	17 – 52	12 – 24	40 – 80	8 – 23	-

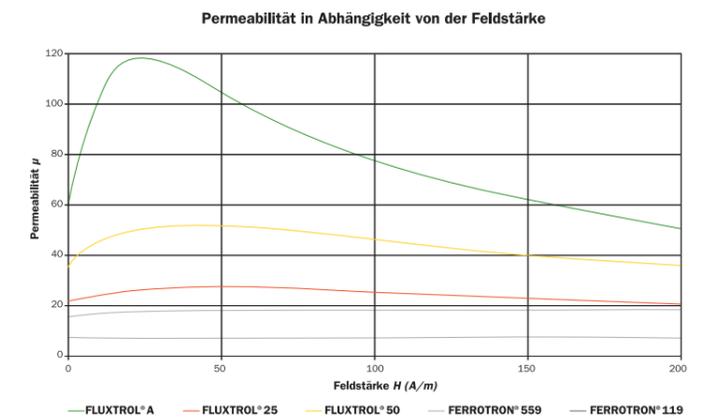
## Einsatz von FERROTRON® und FLUXTROL®

Der Einsatz von **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** in Induktionsanwendungen bietet entscheidende Vorteile. Unabhängige Untersuchungen von Kunden haben beim Einsatz dieser MDMs Kostenvorteile von über 30 % ergeben, in Einzelfällen sogar von über 50 %. Durch die steigenden Anforderungen in der Konstruktion und der Qualitätssicherung sind insbesondere bei komplexen Geometrien die geforderten Härtebilder heute schon nicht mehr ohne **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** zu erreichen.

In anderen Einsatzfeldern wie der induktiven Plasmaerzeugung (ICP), beim Rohrschweißen, bei der Kristallzüchtung oder der medizinischen Magnetfeldtherapie und bei der induktiven Verpackungsversiegelung bieten Konzentrationselemente aus **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** den entscheidenden technologischen Vorteil und machen in einigen Fällen die effiziente Nutzung der Technologie erst möglich.

Entscheidend für optimale Nutzung von **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** ist die Auswahl der geeigneten

Type. Der Frequenzbereich, in dem die MDMs eingesetzt werden sollen, ist dabei nur ein Auswahlkriterium. Die unterschiedlichen Typen weisen zwar in bestimmten Frequenzbereichen optimale Eigenschaften auf, jedoch sind bei den heutigen Anforderungen die unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften der wahre Vorteil. Beispielsweise kann eine Kombination verschiedener **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** Typen ein komplexes Härtebild erst ermöglichen!



## Anwendung von FERROTRON® und FLUXTROL®

Aufgrund der verhältnismäßig geringen Temperaturbeständigkeit von **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** ist beim Induktionshärten auf eine ausreichende Kühlung der MDMs zu achten. Das Thema Temperaturbeständigkeit wird häufig überbewertet, da kurze Zykluszeiten eine intensive Wärmestrahlung verhindern und der Induktor selbst üblicherweise gekühlt ist. Dennoch kann die Wärmestrahlung insbesondere bei längeren Zykluszeiten und bei nicht sachgerechter Montage zu Problemen bei der Standfestigkeit von **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** führen.

Konzentrations- oder Abschirmelemente aus **FERROTRON®** oder **FLUXTROL®** können entweder mechanisch befestigt (geschraubt oder geklemmt)

oder aufgeklebt werden. In beiden Fällen sollte auf einen guten Temperaturübergang zwischen wassergekühltem Induktor und dem **FERROTRON®** oder **FLUXTROL®** Bauteil geachtet werden. Geringe Spaltmaße, eine gleichmäßige Auflagefläche sowie der Einsatz von Wärme leitenden Klebern oder Fetten sind bei der Anwendung notwendig.

Das Verhältnis von Induktor - Querschnitt zur Wandstärke des **FERROTRON®** oder **FLUXTROL®** Elements sollte bei ca. 2:1 liegen. Der Induktor kann dabei 1 bis 1,5 mm aus dem Konzentrations- oder Abschirmelement hervorstehen, was die Standfestigkeit von **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** ebenso erhöht wie das Anfasen der Bauteile.

## Kunststoffe für Isolation und Konstruktion

Neben **FERROTRON®** und **FLUXTROL®** kommen immer häufiger auch andere Kunststoffe, allerdings ohne magnetische Eigenschaften, bei induktiven Anwendungen zum Einsatz. Diese Materialien bieten einige Vorteile gegenüber anderen Werkstoffen. Insbesondere die dielektrischen bzw. elektrisch isolierenden Eigenschaften der Kunststoffe sind vorteilhaft. Darüber hinaus verfügen Kunststoffe meist über eine hohe Medienbeständigkeit, ein geringes Gewicht und eine einfache Bearbeitbarkeit.

Kunststoffe werden als elektrisch- und Wärme isolierende Bauteile in Induktionsanlagen verbaut. Weiter sind Konstruktionshilfen und Aufnahmen sowie Wasserdüsen und Abschreckduschen häufig aus Kunststoff gefertigt. Normteile wie Schrauben und Unter-

legscheiben aus Kunststoff sind ebenfalls im Einsatz. Entscheidend für den Einsatz von Kunststoffen ist häufig die Temperaturbeständigkeit der Materialien, da nicht selten Temperaturen von über 150 °C in den Anlagen erreicht werden. **POLYTRON** bietet Ihnen ein umfangreiches Angebot von temperaturbeständigen und isolierenden Kunststoffen in Form von Halbzeugen und Bauteilen daraus an. Nachfolgend stellen wir einige Materialien dar, die sich beim Einsatz in Induktionsanlagen bewährt haben. Unser Angebot ist natürlich deutlich umfangreicher als hier wiedergegeben. Sollten Sie weitere Informationen zu unseren Kunststoffen im Allgemeinen wünschen, so fordern Sie unsere Lieferübersicht an oder besuchen uns im Internet unter [www.polytron-gmbh.de](http://www.polytron-gmbh.de).

### ACETRON® (POM)

Polyacetale (POM) sind teilkristalline Thermoplaste mit einer guten Steifigkeit und Biegegeschwindigkeit. Sie nehmen so gut wie keine Feuchtigkeit auf und eignen sich besonders für die mechanische Bearbeitung. **ACETRON®** zeichnet sich durch eine hohe Rückstellfähigkeit aus und ist widerstandsfähig gegen Hydrolyse, thermisch-oxidativen Abbau und chemische Laugen. Aus diesen Gründen bietet sich **ACETRON®** als allgemeiner Konstruktionswerkstoff für Isolations- und Funktionsbauteile an. Für besondere Einsatzfälle ist das Material auch mit Glasfaserverstärkung (25 %) lieferbar.

– **Hydrolysebeständig bis 80 °C**

– **Dauergebrauchstemperatur bis 115 °C**

### POLYTRON PTFE 1000 (PTFE)

Polytetrafluorethylen (PTFE) ist ein ungefüllter teilkristalliner Fluorkunststoff mit nahezu universeller Chemikalienbeständigkeit. Das Material verfügt über einen Temperatureinsatzbereich von -200 °C bis +260 °C, einen niedrigen Reibwert, gute Antiadhäsionseigenschaften und ausgezeichnete Isolationseigenschaften. Es ist jedoch ohne Füllstoffe relativ weich und verformt sich unter Belastung.

**POLYTRON PTFE** ist der elektrische Isolationswerkstoff schlechthin und wird in Form von dünnen Isolationsplatten in fast allen Induktionsspulen verbaut. Für besondere Einsatzfälle sind verschiedene Typen mit Verstärkungsstoffen (Glas, Kohle, Graphit, Glimmer, Bronze etc.) lieferbar.

– **Hervorragende Isolationseigenschaften**

– **Dauergebrauchstemperatur bis 260 °C**

### POLYTRON Hartpapier (PFCC / HP)

Hartpapier besteht aus mit Phenolharz verpressten Papierbahnen. Aufgrund der Eigenschaften bietet sich das Material insbesondere für isolierende Bauteile in der Elektrotechnik an, wird aber auch als Verschleißschutz eingesetzt. Aufgrund seiner hohen Feuchtigkeitsaufnahme sollte der Kontakt von Hartpapier mit Feuchtigkeit vermieden werden. Standardmäßig liefern wir die genormte Qualität PF CP 201 (HP 2061), andere Qualitäten sind auf Anfrage lieferbar.

– **Gute dielektrische Eigenschaften**

– **Für statische Bauteile**

### POLYTRON Hartgewebe (PFCC/HGW)

Hartgewebe besteht aus mit Phenolharz verpresstem Baumwollgewebe. Standardmäßig wird die Qualität PF CC 201 (HGW 2082) mit feinem, aus mehr als 18 Fäden pro cm bestehendem Baumwollgewebe verwendet. Aufgrund seiner ausgewogenen mechanischen und dielektrischen Eigenschaften und der durch das Gewebe erzielten Zähigkeit wird das Material sowohl für Isolationsbauteile als auch für die allgemeine Konstruktion verwendet. Neben der Standardqualität sind auf Anfrage weitere Qualitäten lieferbar.

– **Gute mechanische Eigenschaften**

– **Hohe Schlagzähigkeit**

### POLYTRON Glashartgewebe (EPGC, SIGC/GHW)

Die Glashartgewebe – Standardqualitäten bestehen meist aus mit Epoxid (EP GC 201 / GHGW 2372) oder Silikon (SI GC 202 / GHGW 2572) verpresstem Glasseidengewebe. Glashartgewebe zeichnet sich durch gute mechanische und hervorragende elektrische Eigenschaften sowie eine relativ hohe Temperaturbeständigkeit aus. Die Feuchtigkeitsaufnahme dieses Materials ist wesentlich geringer als die von Hartpapier oder Hartgewebe. Sonderqualitäten sind auf Anfrage lieferbar.

– **Geringe Feuchtigkeitsaufnahme**

– **Dauergebrauchstemperatur bis 150 °C**

### TECHTRON® HPV (PPS)

**TECHTRON® HPV** ist ein mit Glasfasern verstärktes und durch einen thermoplastischen Festschmierstoff modifiziertes Polyphenylsulfid (PPS). Durch die Verstärkung weist das Material eine gute Kombination von Verschleißfestigkeit, mechanischer Belastbarkeit und Dimensionsstabilität auf. Aufgrund seiner äußerst geringen Feuchtigkeitsaufnahme, seines niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten und seiner guten Isolationseigenschaften ist **TECHTRON® HPV** den oben beschriebenen Schichtpressstoffen weit überlegen und eignet sich besonders für Bauteile unter permanenter Temperaturbelastung.

– **Dauergebrauchstemperatur 220 °C**

– **Hohe Dimensionsstabilität**

### KETRON® 1000 (PEEK)

**KETRON® 1000** ist ein ungefülltes Polyetheretherketon (PEEK) mit einer Dauergebrauchstemperatur von 250 °C, kurzzeitig sogar 310 °C. Neben der hohen Temperaturbeständigkeit weist das Material eine einzigartige Kombination von sehr guten mechanischen Eigenschaften und einer ausgezeichneten Chemikalien- und Strahlenbeständigkeit auf. Es ist hydrolysebeständig und verfügt über hervorragende Isolationseigenschaften. Aufgrund seiner besonderen Eigenschaftskombination ist PEEK dem in etwa gleich temperaturbeständigen PTFE insbesondere in mechanisch belasteten Anwendungen weit überlegen.

– **Dauergebrauchstemperatur 250 °C**

– **Hohe mechanische Festigkeit und Steifigkeit**

#### Physikalische Eigenschaften

	Einheit	ACETRON® C	POLYTRON PTFE 1000	Schichtpressstoffe			TECHTRON® HPV	KETRON® 1000
				HP	HPV	HPV		
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	1,41	2,15–2,18	1,3–1,4	1,3–1,4	1,7–1,8	1,43	1,31
Wasseraufnahme	%	20–37	< 4	> 80	> 162	22	1–2	5–10
Schmelztemperatur	°C	165	320–340	-	-	-	280	340
Temperaturbeständigkeit	°C	100–115	260–300	80–120	95–110	120–155	220–260	250–310
Wärmeleitfähigkeit	W/mK	0,31	0,25	0,2	0,2	0,3	0,30	0,25
Wärmeleitbeständigkeit	°C	105	50	-	-	-	115	160
Zugfestigkeit	MPa	68	> 20	70–120	50–100	90–220	75	110
Zugdehnung	%	35	> 250	-	-	-	5	20
Zug-E-Modul	MPa	3100	> 700	7000	7000	18000	3700	4400
Durchgangsfestigkeit	V/1mm	20	> 20	8–15	1–7	9–15	24	24
Ausdehnungskoeffizient	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	110–125	160–250	20–40	20–40	10–20	50–80	50–110

Anm.: Die angegebenen physikalischen Eigenschaften dienen nur dem Vergleich, da die Werte der Schichtpressstoffe anders als die der Thermoplaste ermittelt werden.

Alle von der oder im Namen der POLYTRON Kunststofftechnik abgegebenen Empfehlungen, Informationen und Daten können als zuverlässig betrachtet werden. Für die Anwendung, Verwendung, Verarbeitung oder den sonstigen Gebrauch der Produkte und der damit verbundenen Empfehlungen, Informationen sowie für die sich daraus ergebenden Folgen übernimmt die POLYTRON Kunststofftechnik keinerlei Haftung.

Der Anwender und Käufer ist verpflichtet, Qualität und Eigenschaften der Empfehlungen, Informationen und Daten sowie der Produkte selbstständig zu kontrollieren. Er übernimmt die volle Verantwortung für die Anwendung, Verwendung und Verarbeitung oder den sonstigen Gebrauch der Produkte sowie der sich daraus ergebenden Folgen.

Die POLYTRON Kunststofftechnik übernimmt keinerlei Haftung für irgendwelche Verletzungen von im Besitz oder unter Verwaltung Dritter befindlicher Patent-, Urheber- oder sonstiger Rechte durch Anwendung, Verwendung, Verarbeitung oder sonstigen Gebrauch ihrer Empfehlungen, Informationen, Daten oder Produkte.

ACETRON®, TECHTRON®, KETRON® sind eingetragene Warenzeichen der Quadrant AG.

PEEK™ ist ein Warenzeichen der Victrex, plc.

FERROTRON® und FLUXTROL® sind eingetragene Warenzeichen der Fluxtrol, Inc.

POLYTRON ist ein Warenzeichen der POLYTRON Kunststofftechnik GmbH & Co. KG.

## **POLYTRON KUNSTSTOFFTECHNIK GmbH & CO. KG**

An der Zinkhütte 17 · 51469 Bergisch Gladbach

fon: +49 2202 1009-0 · fax: +49 2202 1009-33

**Internet: [www.polytron-gmbh.de](http://www.polytron-gmbh.de) · E-Mail: [info@polytron-gmbh.de](mailto:info@polytron-gmbh.de)**