

**Einleitung:**

In jüngster Zeit werden wieder vermehrt AGW-Sanierungsvorschläge gegen niederfrequente elektromagnetische Felder (EMF) unter Verwendung von Aluminiumplatten abgegeben. In den folgenden Betrachtungen wollen wir einmal mehr aufzeigen, dass dieses Vorhaben nur in den wenigsten Fällen gelingen kann. Zunächst wollen wir die Funktionsweise verschiedener Abschirmungsmethoden kurz beschreiben.

**1. Magnetische Abschirmungen**

Für magnetische Abschirmungen verwendet man Materialien mit einer hohen magnetischen Leitfähigkeit (Permeabilität  $\mu$ ). Mit dieser Technik versucht man den magnetischen Störfluss kurzzuschliessen, bzw. über das Abschirmmaterial umzuleiten. Dazu eignen sich vorzugsweise Materialien und Legierungen aus Eisen, Nickel und/oder Cobalt.

Der maximale Schirmfaktor lässt sich näherungsweise aus folgender Beziehung berechnen:

$$S_{\max} = e^{D/\kappa}$$

D = Materialdicke in mm

$\kappa$  = Eindringtiefe in mm == >>

$$\kappa \text{ in mm} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \mu_r \gamma f}}$$

Mit f = Betriebsfrequenz in Hz

$\gamma$  = elektrische Leitfähigkeit

$\mu_r$  = magnetische Leitfähigkeit

**2. Elektrische Abschirmungen**

Magnetfelder lassen sich unter bestimmten Voraussetzungen auch mit elektrisch gut leitenden Materialien abschirmen. Mit dieser Technik wird der sogenannte Wirbelstromeffekt ausgenutzt. Treffen magnetische Flusslinien auf ein elektrisch gut leitendes Material (z.B. Aluminium) so werden in diesem „Wirbelströme“ induziert. Das durch die Wirbelströme aufgebaute Magnetfeld ist demjenigen des Störfeldes entgegengesetzt, was physikalisch zu einer Abschwächung des Störfeldes führt.

Der maximale Schirmfaktor lässt sich näherungsweise aus folgender Beziehung berechnen:

$$S_{\max} = e^{D/\kappa}$$

D = Materialdicke in mm

$\kappa$  = Eindringtiefe in mm == >>

$$\kappa \text{ in mm} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \gamma f}}$$

Mit f = Betriebsfrequenz in Hz

$\gamma$  = elektrische Leitfähigkeit

$\mu_0 = 1.25 \times 10^{-6}$  (magnetische Feldkonstante)

Bei niederen Störfeldfrequenzen ( $f \leq 100\text{Hz}$ ) ist  $S_{\max}$  von magnetisch leitenden Materialien >> als diejenige von elektrisch leitenden.

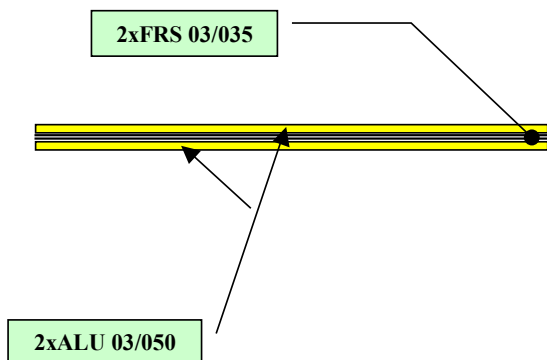
<b>CFW EMV-Consulting AG</b>		
	<b>Bearbeiter:</b>	Chr. Fischbacher
	<b>Datum:</b>	19.10.2006
	<b>Aenderung:</b>	Seite 1

### 3. Kombinationen aus elektrisch und magnetisch leitenden Materialien (CFW-Systeme)

Nachfolgend sind die CFW Systemplatten schematisch dargestellt:

#### 3.1. System IGW

##### Aufbau

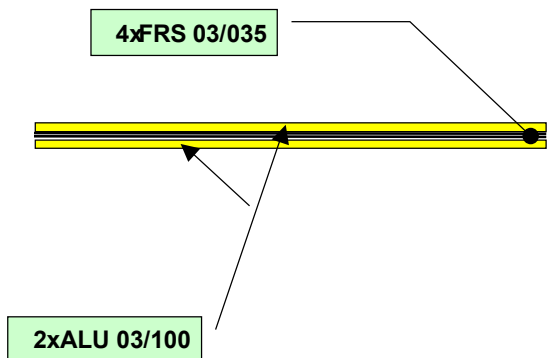


Berechneter Schirmfaktor  $S_{\max}$ :

$$S_{\max} = S_{\text{FRS}} \times S_{\text{Alu}} = 13.7 \times 1.5 = \underline{\underline{20.5}}$$

#### 3.2. System AGW

##### Aufbau



Berechneter Schirmfaktor  $S_{\max}$ :

$$S_{\max} = S_{\text{FRS}} \times S_{\text{Alu}} = 50.8 \times 1.7 = \underline{\underline{86.4}}$$

Die CFW Systemplatten „AGW“ und „IGW“ bestehen, wie schematisch dargestellt, aus elektrisch und magnetisch leitenden Materialien. Mit dieser Kombination erreicht man sehr hohe Schirmfaktoren. Dabei werden die Vorteile beider Abschirmmethoden voll ausgenutzt.

Die zu erzielende Schirmwirkung hängt beim AGW-System im wesentlichen nur noch von der Randfeldstärke ab, d.h. der am voraussichtlichen Abschirmungsrand gemessenen Feldstärke vor dem Einbau der Abschirmplatten.

Noch effektiver ist der patentierte Aufbau unserer Teilgehäuse Abschirmungen „**TrafoMan**®“ und „**PowerMan**™“. Diese Produkte werden heute standardmässig als Abschirmung von Transformatoren und Stromverteilungen eingesetzt.

In unserem Labor in Reute haben wir deshalb nochmals umfangreiche Vergleichsmessungen durchgeführt um die Unterschiede der verschiedenen Abschirmungsmethoden aufzuzeigen.

<b>CFW EMV-Consulting AG</b>	<b>Bearbeiter:</b>	Chr. Fischbacher
	<b>Datum:</b>	19.10.2006
	<b>Aenderung:</b>	Seite 2

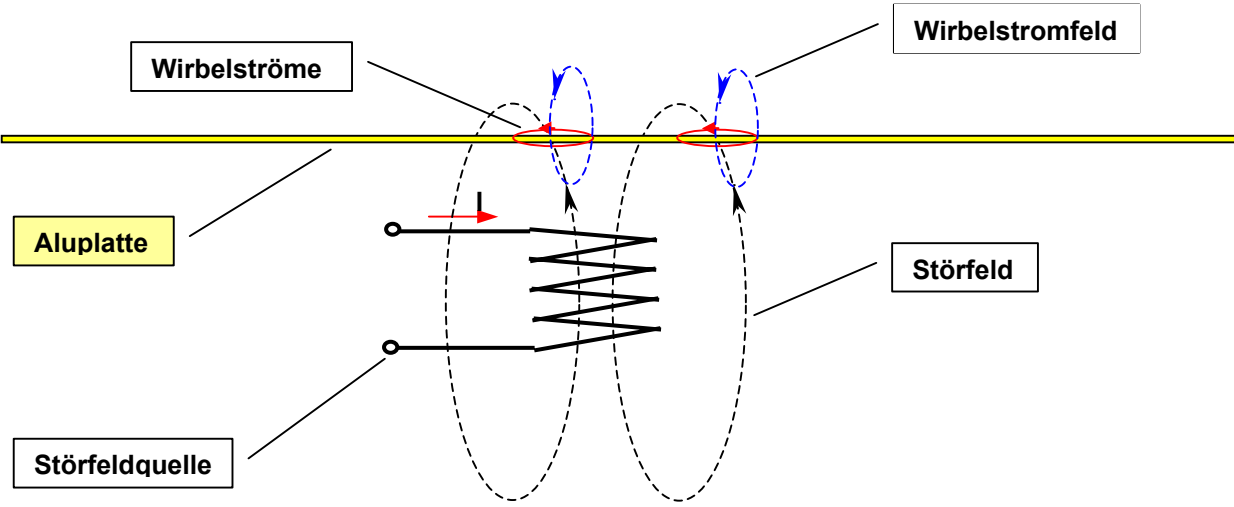
Die nachfolgende Tabelle zeigt den gemessenen maximale Schirmfaktor  $S_{max}$  verschiedener Materialien und Wandstärken.

Tabelle 1

Produkt	Aufbau	Prüffrequenz, f = 50Hz			Prüffrequenz, f = 100Hz			Prüffrequenz, f = 150Hz		
		B <sub>ohne</sub>	B <sub>mit</sub>	[S]	B <sub>ohne</sub>	B <sub>mit</sub>	[S]	B <sub>ohne</sub>	B <sub>mit</sub>	[S]
<b>elektrisch leitende Materialien</b>										
Al	2.0mm	66.5	34.0	2.0	66.5	20.2	3.3	66.5	14.2	4.7
	4.0mm	66.5	22.3	3.0	66.5	12.0	5.5	66.5	8.2	8.1
	6.0mm	66.5	16.6	4.0	66.5	8.6	7.7	66.5	5.8	11.5
	8.0mm	66.5	12.8	5.2	66.5	6.5	10.2	66.5	4.4	15.1
	10.0mm	66.5	12.3	5.4	66.5	6.2	10.7	66.5	3.9	17.1
Fe/Zn	2.0mm	66.5	24.1	2.8	66.5	16.9	3.9	66.5	12.0	5.5
CrSt	2.0mm	66.5	66.5	1.0	66.5	65.1	1.0	66.5	63.6	1.0
Cu	2.0mm	66.5	28.7	2.3	66.5	16.4	4.1	66.5	11.4	5.8
<b>magnetisch leitende Materialien</b>										
FRS	0.7mm	66.5	6.4	10.4	66.5	5.7	11.7	66.5	5.4	12.3
	1.4mm	66.5	5.0	13.3	66.5	4.1	16.2	66.5	3.6	18.5
	2.1mm	66.5	4.5	14.8	66.5	3.7	18.0	66.5	3.3	20.2
<b>CFW Systemplatten</b>										
IGW	1.7mm	66.5	3.1	21.5	66.5	1.3	51.2	66.5	0.7	95.0
AGW	3.4mm	66.5	1.0	66.5	66.5	0.5	133.0	66.5	0.4	166.3

Versucht man beispielsweise magnetische 50Hz-Störfelder mit Aluminium abzuschirmen stellt man fest, dass es Fälle gibt in denen die Abschirmwirkung deutlich erkennbar ist und Fälle in denen keine oder nur eine geringe Wirkung festzustellen ist.

In den folgenden Erläuterungen wollen wir die Gründe dieser Eigenarten aufzeigen. Zunächst nochmals schematisch die Wirkungsweise:



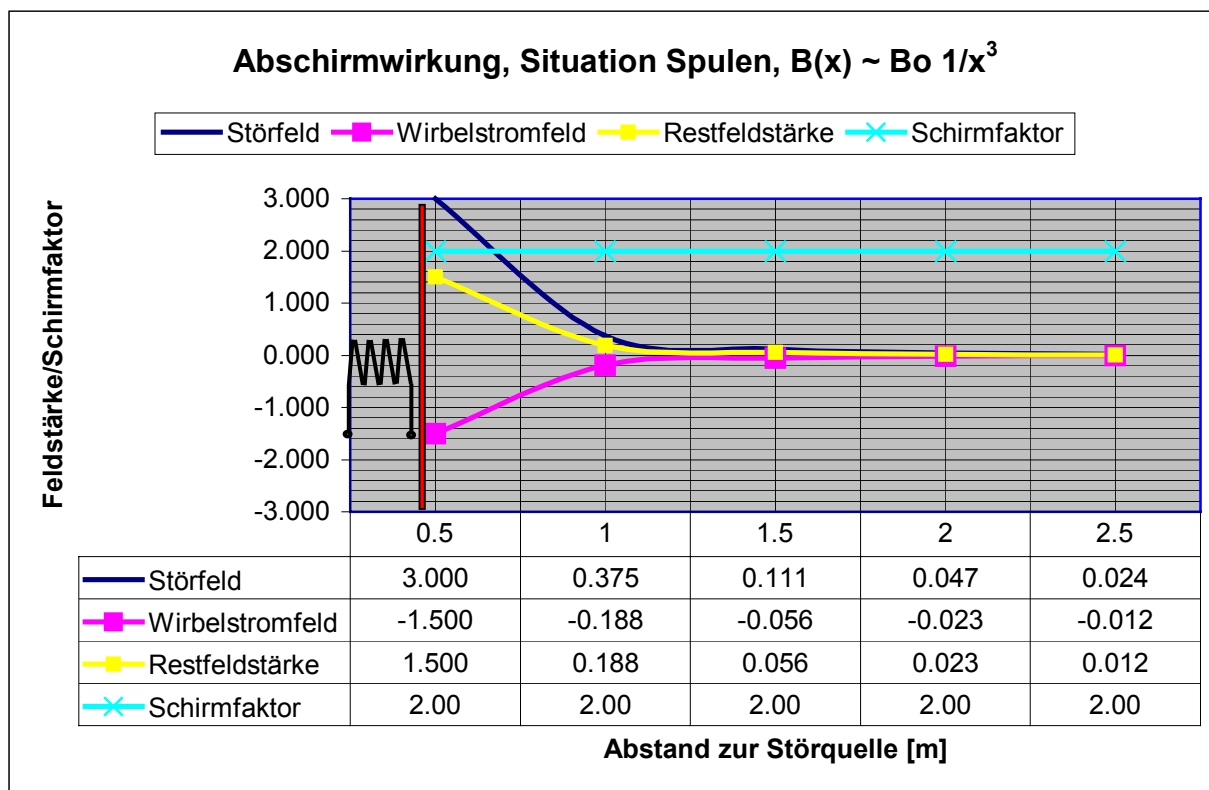
Wie schon eingangs erwähnt ist das von den Wirbelströmen erzeugte Magnetfeld dem Störfeld entgegengesetzt, was grundsätzlich beidseitig der Aluplatte zu einer Abschwächung des Störfeldes führt.

**Das von den Wirbelströmen im Aluminium erzeugte Gegenfeld hat die Charakteristik eines von Spulen erzeugten Magnetfeldes, d.h. das Wirbelstromfeld nimmt mit ca. der 3. Potenz zum Plattenabstand ab!**

Mit dieser Erkenntnis lassen sich die Schirmfaktoren von elektrisch leitenden Materialien, in Abhängigkeit der Distanz zur Abschirmung, bzw. zur Charakteristik des Störfeldes, nun berechnen. Diese Aussage gilt nicht nur für Platten sondern im wesentlichen auch für Teilabschirmungen und Gehäuse.

Die folgenden Untersuchungen beziehen sich auf Aluminium mit einer Wandstärke von **2mm** und wurden messtechnisch überprüft.

#### Fall 1

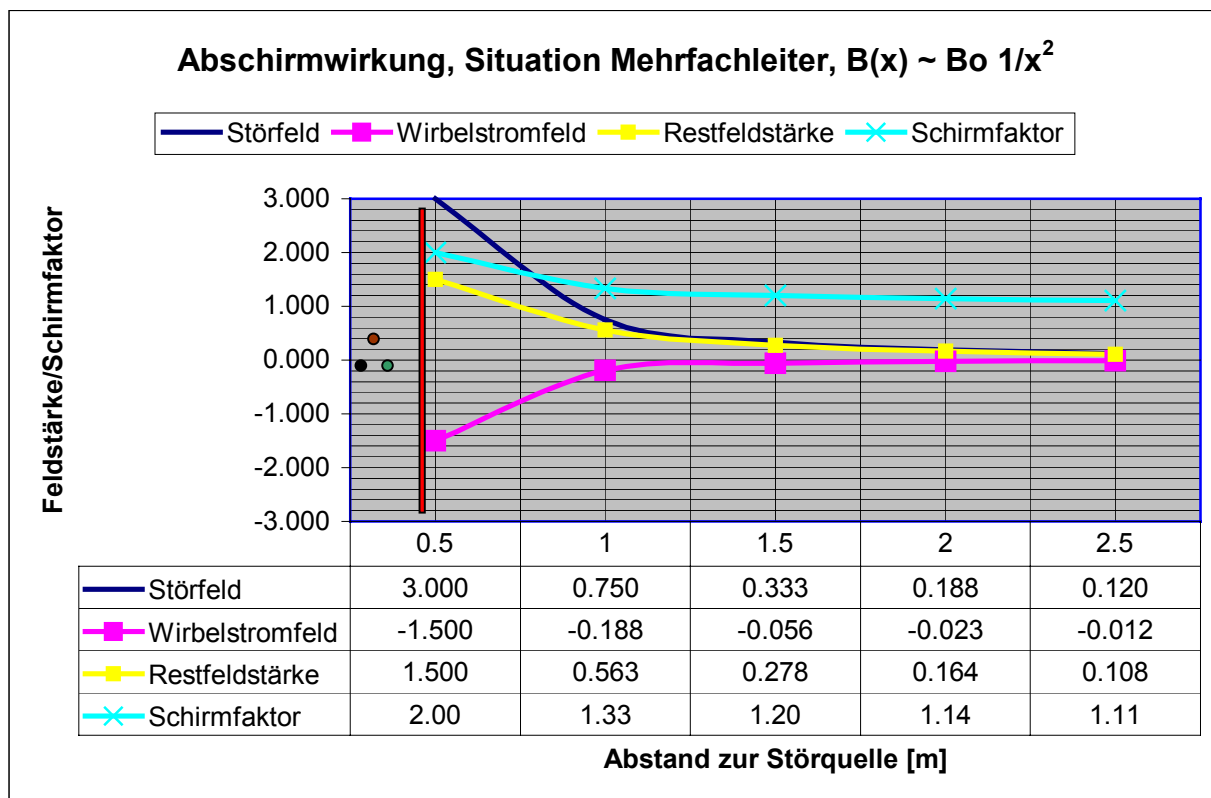


Deutlich ist zu erkennen, dass der Schirmfaktor im Fall von Störfelder mit Spulencharakteristik (z.B. Drosseln, Transformatoren) konstant bleibt, d.h. das Störfeld reduziert sich ausserhalb der Abschirmung wenn auch gering, so doch unabhängig von der Distanz zur Abschirmung um den Faktor 2. Die Abschirmung muss aber möglichst nahe zur Störquelle montiert sein.

Die Restfeldstärke ergibt sich aus der Summe von Störfeld und Wirbelstromfeld.

<b>CFW EMV-Consulting AG</b>	<b>Bearbeiter:</b>	Chr. Fischbacher
	<b>Datum:</b>	19.10.2006
	<b>Aenderung:</b>	
		Seite 4

## Fall 2

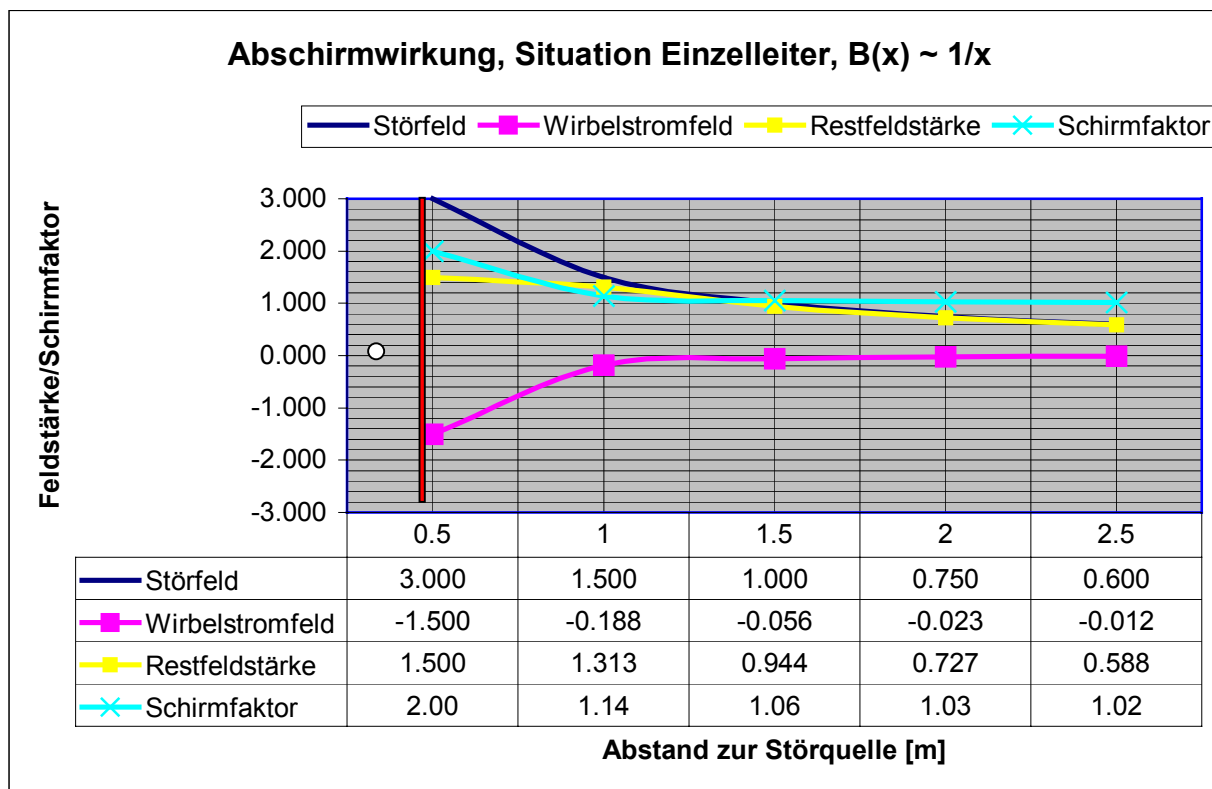


In diesem Beispiel ist zu erkennen, dass der Schirmfaktor im Fall von Störfelder mit Leitungscharakteristik (z.B. NS-Verbindungen, NS-Verteilungen, Erdkabel, etc.) ausserhalb der Aluminiumplatte nicht mehr konstant bleibt, d.h. der Schirmfaktor reduziert sich mit zunehmender Distanz.

Die Restfeldstärke ergibt sich aus der Summe von Störfeld und Wirbelstromfeld.

<b>CFW EMV-Consulting AG</b>	<b>Bearbeiter:</b>	Chr. Fischbacher
	<b>Datum:</b>	19.10.2006
	<b>Aenderung:</b>	
		Seite 5

## Fall 3

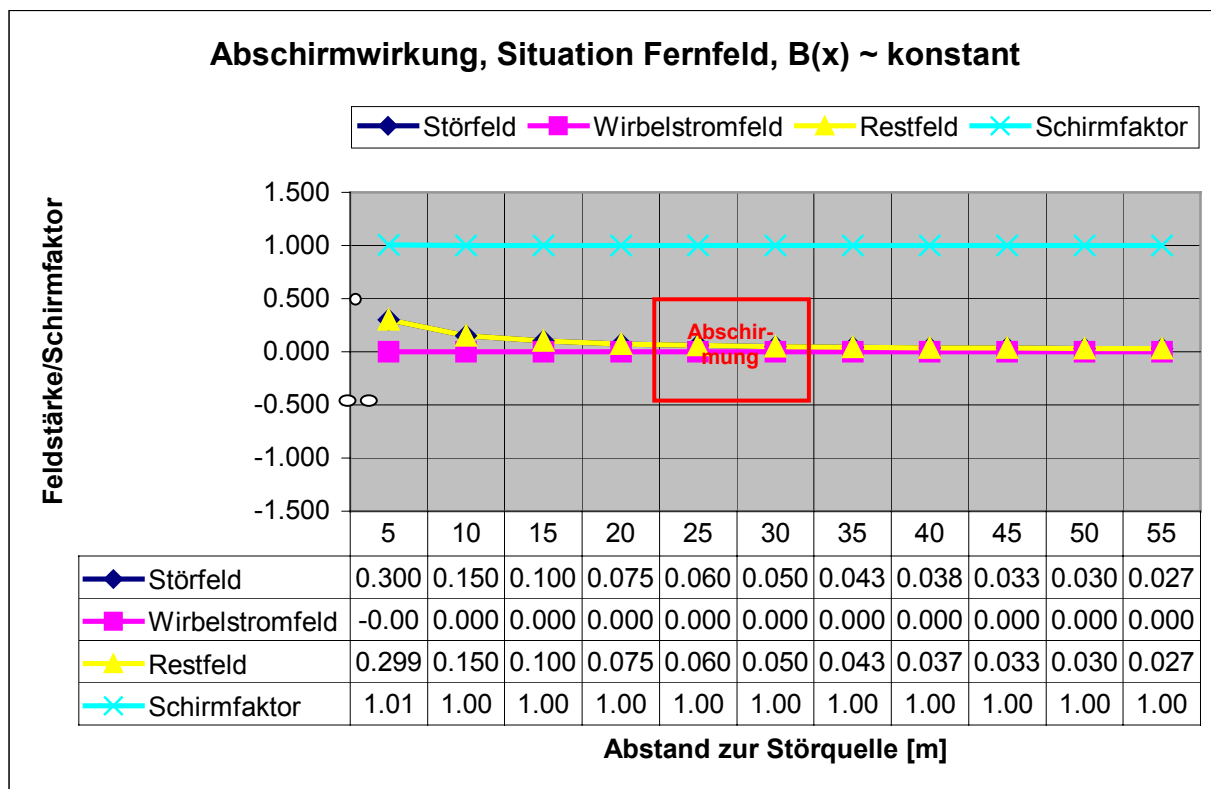


In diesem Beispiel ist zu erkennen, dass der Schirmfaktor im Fall von Störfelder mit Einzelleitercharakteristik (z.B. Erdströme, Summenströme, etc.) sehr rasch abfällt, d.h. der Schirmfaktor reduziert sich noch deutlicher in bezug auf die Distanz zur Aluminium Abschirmplatte und ist bereits nach 0.5m praktisch nicht mehr relevant.

Die Restfeldstärke ergibt sich aus der Summe von Störfeld und Wirbelstromfeld.

<b>CFW EMV-Consulting AG</b>	<b>Bearbeiter:</b>	Chr. Fischbacher
	<b>Datum:</b>	19.10.2006
	<b>Aenderung:</b>	
		Seite 6

## Fall 4



In diesem Beispiel wird klar, dass der Schirmfaktor im Fall von Störfelder mit Fernfeldcharakteristik (z.B. Bahnleitungen, Hochspannungsleitungen, etc.) auch innerhalb von einem Aluminiumabschirmgehäuse nicht mehr erkennbar ist, d.h. das Störfeld bleibt innerhalb der Abschirmung praktisch unverändert. Nur in unmittelbarer Nähe zu den Abschirmplatten würde sich das Störfeld theoretisch noch etwas reduzieren.

Die Restfeldstärke ergibt sich aus der Summe von Störfeld und Wirbelstromfeld.

**Fazit:**

*Abschirmungen aus Aluminium mit technisch vernünftigen Wandstärken (max. 5mm) sind im Umfeld der Energieversorgung nur gegen Störfelder mit Spulencharakteristik (Feldabfall mit der 3. Potenz zum Abstand) einigermaßen sinnvoll einsetzbar. Allerdings kann der NISV-Anlagegrenzwert (AGW) nur in Ausnahmefällen erreicht werden. In den allermeisten Fällen lohnt sich der Aufwand nicht!*

*Demgegenüber sind die Erfolgs-Chancen mit CFW Systemplatten bedeutend grösser (siehe Tabelle 1). Noch höhere Abschirmfaktoren werden mit den patentierten Teilabschirmungen, **TrafoMan**® und **PowerMan**™ erreicht.*

*Zu diesem Thema werden wir zu einem späteren Zeitpunkt noch ausführlich berichten.*

Heiden, 17. Okt. 2006

Christian Fischbacher

<b>CFW EMV-Consulting AG</b>	<b>Bearbeiter:</b>	Chr. Fischbacher
	<b>Datum:</b>	19.10.2006
	<b>Aenderung:</b>	Seite 7

Nebst der von uns verwendeten Standardsimulation haben wir mit einem 630kVA Netztransformator zusätzlich eine praxisgerechte Simulation aufgebaut. Die Ergebnisse sind in den Folgeblätter zusammengefasst.

*Prüfaufbau für flächenhafte Abschirmungen:*



Flächenabschirmung  
unter Test

Störquelle  
(Trafo 630kVA)

*Prüfaufbau für TrafoMan®:*

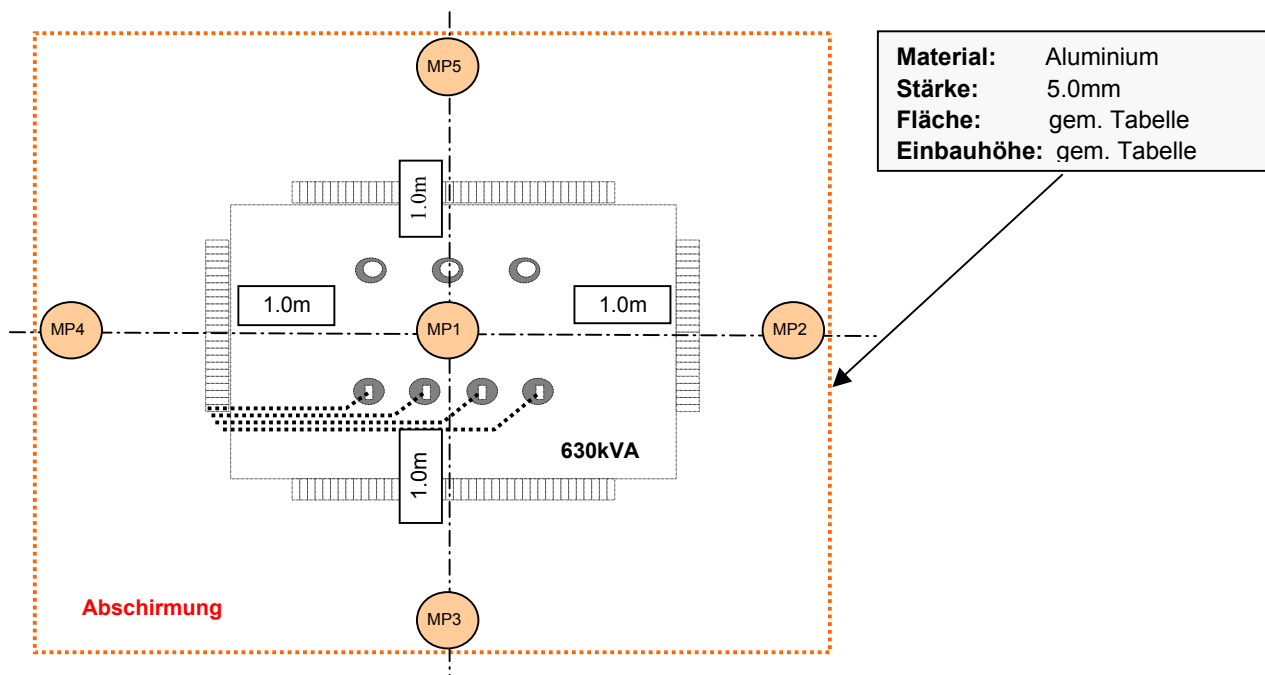


TrafoMan®  
unter Test

Die Messungen wurden oberhalb der Abschirmungssysteme, jeweils auf den in den Tabellen angegebenen Höhen, vorgenommen.



## Prüfaufbau



## Tabelle

Trafobelastung: ca. 50%

Abschirmung	Messhöhe [m]	Einbauhöhe [m]	MP1 [ $\mu$ T]	MP2 [ $\mu$ T]	MP3 [ $\mu$ T]	MP4 [ $\mu$ T]	MP5 [ $\mu$ T]
ohne	2.00		32.59	4.43	11.96	9.34	7.51
ohne	2.50		4.95	2.07	3.84	3.5	3.09
ohne	3.00		2.04	1.23	1.74	1.65	1.69
Abschirmfläche: 2m x 2m							
Alu 5.0mm	2.00	2.00	16.96	3.32	10.85	11.95	7.4
$S_{5mm}$			1.92	1.33	1.10	0.78	1.01
Alu 5.0mm	2.50		1.98	1.45	2.74	2.22	2.01
$S_{5mm}$			2.50	1.43	1.40	1.58	1.54
Alu 5.0mm	3.00		1.14	0.88	1.28	1.18	1.11
$S_{5mm}$			1.79	1.40	1.36	1.40	1.52
Abschirmfläche: 2m x 2m							
Alu 5.0mm	3.00	2.50	1.26	1.06	1.64	1.60	1.60
$S_{5mm}$			1.62	1.16	1.06	1.03	1.06

**Messhöhe:** Bezieht sich auf die gemessene Feldstärke im Abstand zum Boden (Trafostandort)

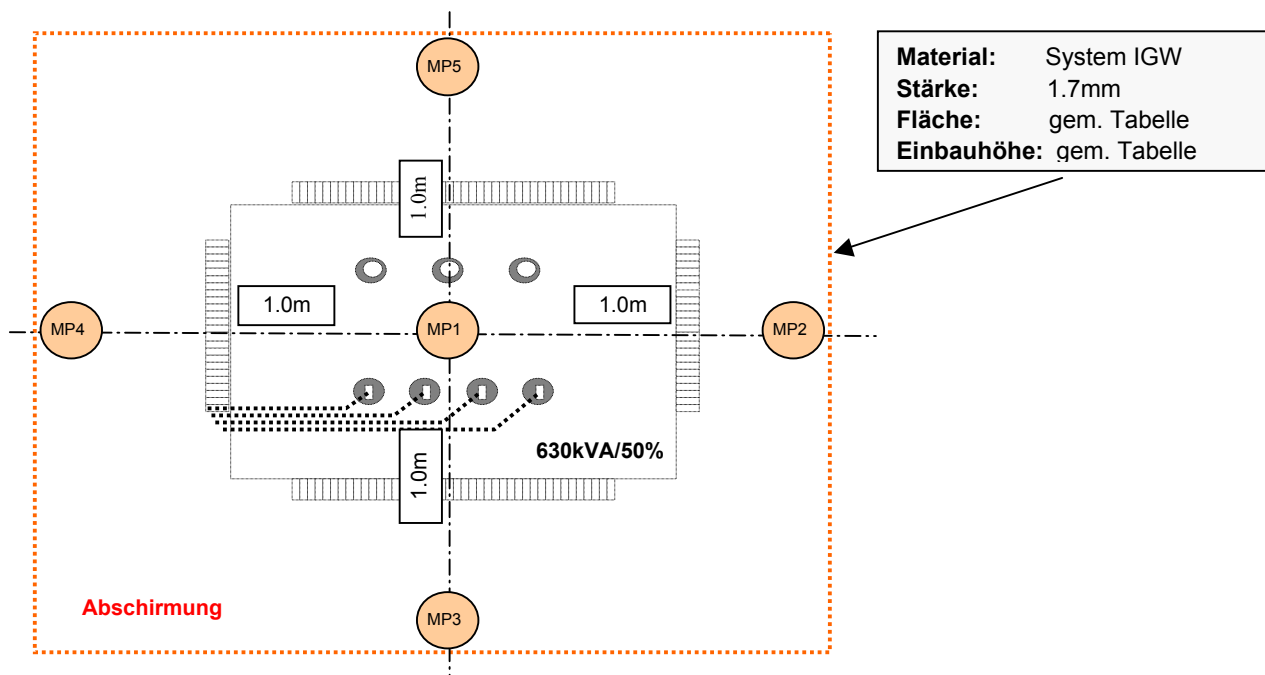
**Einbauhöhe:** Definiert die Position der Abschirmfläche im Abstand zum Boden (Trafostandort)

**Schirmfaktor:** Der Schirmfaktor ( $S_{5mm}$ ) ist der Quotient zwischen der Feldstärke am Messpunkt (MPx) ohne Abschirmung geteilt durch die Feldstärke am Messpunkt (MPx) mit Abschirmung.

**Kommentar:** Die Abschirmwirkung ist relativ bescheiden und liegt bei einer Materialstärke von 5mm zwischen Faktor 2 - 3. Der Schirmfaktor ( $S_{5mm}$ ) ist in der Mitte der Abschirmfläche am grössten und fällt gegen die Randzonen kontinuierlich gegen Faktor 1 ab. Andererseits bleibt der Schirmfaktor in bezug auf die Distanz zur Abschirmfläche relativ konstant. Die Montage der Abschirmplatten sollte möglichst nahe zur Störquelle erfolgen. An den Randzonen reduziert sich das Feld nur unwesentlich.

**Als AGW-Abschirmung kann Aluminium nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden!**

## Prüfaufbau



## Tabelle

Trafobelastung: ca. 50%

Abschirmung	Messhöhe [m]	Einbauhöhe [m]	MP1 [ $\mu$ T]	MP2 [ $\mu$ T]	MP3 [ $\mu$ T]	MP4 [ $\mu$ T]	MP5 [ $\mu$ T]
ohne	2.00		32.59	4.43	11.96	9.34	7.51
ohne	2.50		4.95	2.07	3.84	3.50	3.09
ohne	3.00		2.04	1.23	1.74	1.65	1.69
<b>Abschirmfläche: 2m x 2m</b>							
IGW 1.7mm	2.00	2.00	3.34	3.01	6.51	5.10	3.82
$S_{IGW}$			9.76	1.47	1.84	1.83	1.97
IGW 1.7mm	2.50		1.31	1.01	1.46	1.44	1.40
$S_{IGW}$			3.78	2.05	2.63	2.43	2.21
IGW 1.7mm	3.00		0.80	0.61	0.75	0.81	0.82
$S_{IGW}$			2.55	2.02	2.32	2.04	2.06
<b>Abschirmfläche: 3m x 3m</b>							
IGW 1.7mm	2.50	2.50	0.98	0.69	1.08	0.70	0.95
$S_{IGW}$			5.05	3.00	3.56	5.00	3.25
IGW 1.7mm	3.00		0.68				
$S_{IGW}$			3.00				

**Messhöhe:** Bezieht sich auf die gemessene Feldstärke im Abstand zum Boden (Trafostandort)

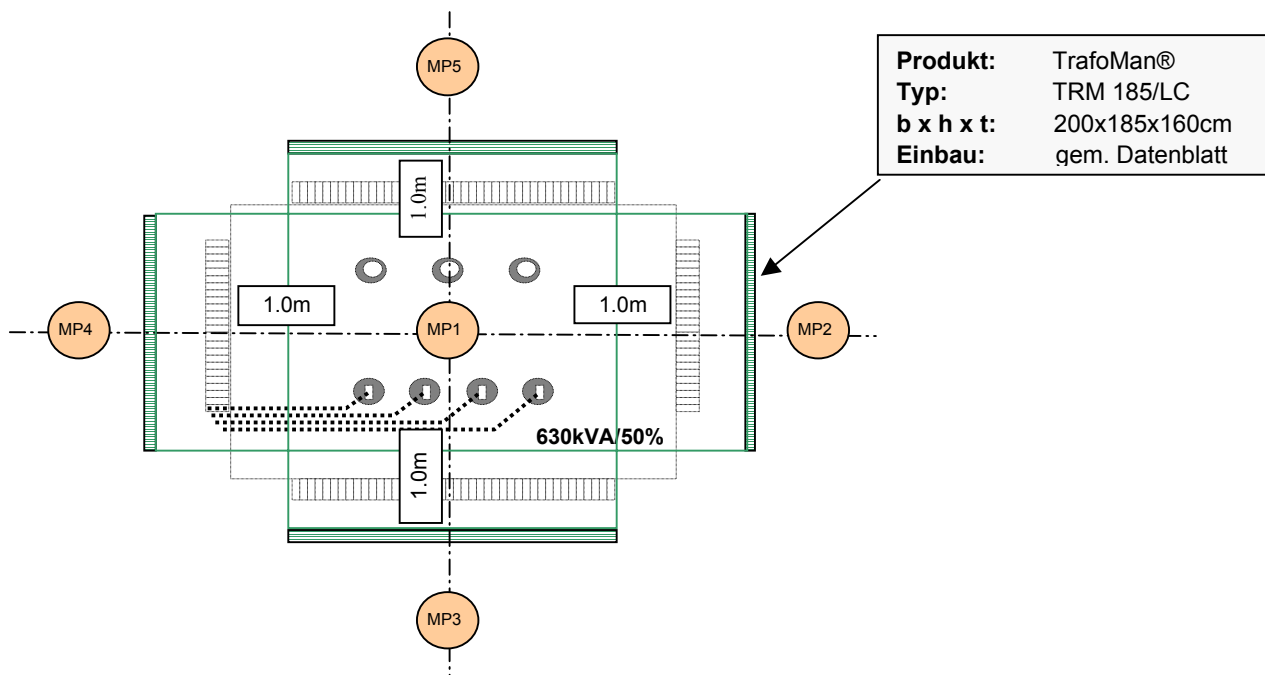
**Einbauhöhe:** Definiert die Position der Abschirmfläche im Abstand zum Boden (Trafostandort)

**Schirmfaktor:** Der Schirmfaktor ( $S_{IGW}$ ) ist der Quotient zwischen der Feldstärke am Messpunkt (MPx) ohne Abschirmung geteilt durch die Feldstärke am Messpunkt (MPx) mit Abschirmung.

**Kommentar:** Die Abschirmwirkung ist deutlich höher als bei Aluminium und liegt bei einer Materialstärke von 1.7mm zwischen Faktor 20 - 30. Der Schirmfaktor ( $S_{IGW}$ ) ist in der Mitte der Abschirmfläche am grössten und fällt gegen die Randzonen kontinuierlich ab (gegen Faktor 2). Betrachtet man das Verhalten des Schirmfaktors am MP 1 erkennt man, dass dieser bezüglich der Distanz zur Abschirmfläche kontinuierlich abfällt (ca. mit  $1/x^2$ ). Des weitern stellt man fest, dass sich die Randzonenfeldstärke etwa halbiert.

**IGW-Platte werden vorzugsweise gegen IGW-Probleme eingesetzt!**

## Prüfaufbau



## Tabelle:

Abschirmung	Messhöhe [m]	Einbauhöhe [m]	MP1 [ $\mu\text{T}$ ]	MP2 [ $\mu\text{T}$ ]	MP3 [ $\mu\text{T}$ ]	MP4 [ $\mu\text{T}$ ]	MP5 [ $\mu\text{T}$ ]
ohne	2.00	gem. Abb.	32.59	4.43	11.96	9.34	7.51
ohne	2.50		4.95	2.07	3.84	3.5	3.09
ohne	3.00		2.04	1.23	1.74	1.65	1.69
TRM-LC	2.00		0.72	0.81	1.26	0.86	0.85
$S_{\text{TRM-LC}}$			45.26	5.47	9.49	10.86	8.84
TRM-LC	2.50		0.35	0.34	0.45	0.45	0.41
$S_{\text{TRM-LC}}$			14.14	6.09	8.53	7.78	7.54
TRM-LC	3.00		0.24	0.20	0.25	0.25	0.24
$S_{\text{TRM-LC}}$			8.50	6.15	6.96	6.60	7.04

**Messhöhe:** Bezieht sich auf die gemessene Feldstärke im Abstand zum Boden (Trafostandort)

**Einbauhöhe:** Definiert die Position der Abschirmfläche im Abstand zum Boden (Trafostandort)

**Schirmfaktor:** Der Schirmfaktor ( $S_{\text{TRM-LC}}$ ) ist der Quotient zwischen der Feldstärke am Messpunkt (MPx) ohne Abschirmung geteilt durch die Feldstärke am Messpunkt (MPx) mit Abschirmung.

**Kommentar:** Aus den Messresultaten sind die Vorteile der patentierten **TrafoMan®** Konstruktion gegenüber flächenartigen Abschirmungen sofort zu erkennen. Der maximale Schirmfaktor liegt zwischen 80 -120. Im weiteren fällt auf, dass bereits nach kurzer Distanz zum **TrafoMan®** eine Homogenisierung der Störfeldstärke stattfindet. Betrachtet man das Verhalten des Schirmfaktors am MP 1 erkennt man auch hier, dass dieser bezüglich der Distanz zur Abschirmung ebenfalls abfällt (ca. mit  $1/x^2$ ).

*Teilabschirmgehäuse aus magnetisch leitenden Materialien wirken um so besser, je näher diese zur Störquelle hin platziert werden können.*

**TrafoMan® ist und bleibt die beste und wirtschaftlichste Lösung bei AGW-Problemen rund um Transformatoren!**