

# Möglichkeiten und Grenzen der Abschirmung von Gebäuden gegen elektromagnetische Wellen - Abhängigkeiten und Auswirkungen auf das Raumklima

Dipl.-Ing. Maike Lindenmann, Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer, Dr.-Ing. Carsten Rusteberg  
HAWK Hildesheim

## 1 Zusammenfassung

Das Thema der Auswirkungen des Mobilfunks und der dazugehörigen Mobilfunkbasisstationen ist in den letzten Jahren sehr häufig diskutiert worden und ist derzeit, da die Anzahl der Sendestationen mit der Einführung der neuen „UMTS-Technologie“ ansteigt, noch ein Thema, welches sowohl in den Medien, als auch in Fachgremien diskutiert wird. Dies gab Anlass dazu die Exposition der Sendestationen (Frequenzbereich 890 MHz bis 2.100 MHz) von außen auf ein Gebäude zu untersuchen.

Entscheidend sind bei diesen Betrachtungen die biologischen Auswirkungen auf den Menschen. Die thermischen Effekte durch Mobilfunkstrahlung sind durch Wissenschaftler bewiesen und dienen als Grundlage für die existierenden, geltenden Grenzwerte in Deutschland und Europa. Viel umstritten sind jedoch die „nicht thermischen“ oder „athermischen“ Effekte, wie die Erhöhung des Krebsrisikos, der Einfluss auf die Sinnesrezeptoren und andere Effekte. Es existieren bereits viele Studien in diesem Bereich, die aber kein eindeutiges Bild ergeben.

Bei der Abschirmung eines Gebäudes hängt die Wahl der Abschirmungsmaterialien einerseits von dem Charakter der Störgröße und andererseits von dem vorliegenden Frequenzbereich ab. Abhängig vom Frequenzbereich unterscheidet man in elektrische Felder, magnetische Felder und elektromagnetische Wellen.

Eine elektromagnetische Welle erfährt beim Durchgang durch die Wand sowohl eine Reflexionsdämpfung, als auch eine Absorptionsdämpfung. Um die tatsächliche Schirmdämpfung eines Gebäudes mit Öffnungen und Schlitzfenstern darzustellen ist die Untersuchungsgrundlage ein „ideales Abschirmgehäuse“, bestehend aus einem Metallkorpus, in dem unterschiedliche Spaltbreiten und Löcher erzeugt werden.

Zusammengefasst zeigten die Ergebnisse von Pauli und Moldan [1], dass Spalten, die klein gegenüber der halben Wellenlänge sind eine bessere Schirmdämpfung erreichen als große Spalten. Weiterhin zeigte sich, dass eine Anzahl kleiner Löcher gegenüber einem großen Loch, mit gleichem Öffnungsquerschnitt, die Schirmdämpfung verbessern. Diese gewonnenen Ergebnisse dienen als Grundlage für die Betrachtung des komplexen Systems „Haus“.

Um die Möglichkeiten der Abschirmung darzustellen, werden die unterschiedlichen Bauteile und Problembereiche eines Hauses aufgelistet, um ihnen anschließend verschiedene Abschirmmaterialien zuzuordnen. Das Ergebnis der Recherche ergab, dass der Markt sehr viele Produkte zur Abschirmung von Teilbereichen eines Gebäudes vor elektromagnetischen Wellen hergibt, dass das Haus mit seinen Öffnungen selten in seiner Gesamtheit betrachtet wird. Neben der Abschirmung der „Hauptbauteile“, wie Wände, Dach und Decken, reduzieren verschiedene Bereiche eines Hauses die Schirmdämpfung. Zu nennen sind Fenster- und Türöffnungen, Kamine, Dachausstiege, Leitungsdurchführungen, Lüftungsöffnungen und Rollläden. An jedem Gebäude gibt es

unterschiedliche Bereiche, die eine besondere Betrachtung benötigen, damit die Schirmdämpfung der „Hauptbauteile“ nicht unnötig vermindert wird.

Der Bereich der Kosten wird in dieser Zusammenfassung nur erwähnt. Es wird jedoch ausgesagt, dass Abschirmprodukte gegenüber herkömmlichen Baustoffen teurer sind. Dies hängt unter anderem mit den derzeit schwankenden Materialpreisen des Metalls zusammen.

## 2 Abstract

The interest in the effects of the growing mobile radio market has increased recently, especially in special committees but also in the press in general. The main focus of this study is the exposition of transmitting stations with a frequency band of 890 MHz to 2.100 MHz and their impact on a building.

Crucial with these contemplations are the biological consequences for humans. The termic effects caused by the mobile radiation are scientifically proved and set the frame for the german and other european limiting values. On the contrary the “non termic” effects are very controversial. Although there are already a lot of studies, concerning for example the increased risk of cancer or the influence on the senses, the research on this field does not give satisfying answers.

The parameters for choosing the electromagnetic shield of a building depends on one hand on the magnitude of the interfering factors and on the other hand on the existent frequency band.

In order to portray the real absorbing shield of a building, an illustrated “ideal shield case” is used for the research in this study. The material of the corpus of this ideal shield in high frequency ranges, which is perforated in different sizes of cracks and holes, is mumetal. This metal consists of nickel and iron and has a high permeability rate of  $\mu_r > 30.000$ , which is necessary for the grounding of the currents that are generated in electromagnetic fields.

The conclusion of the results from Pauli and Moldan is that little cracks and holes are more effective than bigger ones and that they can provide a safer shield. Furthermore these results serve as a basis for the scientific study of the complex system “house”.

The possibilities to protect humans from electromagnetic waves can be divided in shields for the inner and the outer surface of a building. Each way has its advantages and disadvantages and are thoroughly discussed in the study. The market, as research has shown, offers a vast selection of material for the different constructions of a house and its problematic areas. Many parts of the house can disturb the shielding, such as windows, doorways, chimneys, hatches, ventilation openings and roller shutters.

Even though it is made clear in the synopsis that the shielding materials are more expensive than customary construction materials, the cost and extra expenses are only mentioned.

## 3 Einleitung

Immer häufiger wird das Thema „Gesundes Wohnen“ auf Kongressen oder Tagungen behandelt. Der Mensch steht im Mittelpunkt der Diskussionen und soll durch bestimmte Maßnahmen möglichst vor den Umwelteinflüssen geschützt werden. So ist auch, oder besser gesagt gerade in der

Baubranche dieses Thema ganz entscheidend, denn ein wichtiger Ort, an dem sich der Mensch vor Umwelteinflüssen schützen kann, ist das Gebäude, in dem er sich aufhält.

Im Zyklus des menschlichen Bauens betrachtet, reichte bis vor wenigen Jahrzehnten die bisherige Bauweise aus, um den Menschen Schutz vor äußeren Einflüssen wie Wind und Wetter zu geben. Die immer weiterentwickelnde Modernisierung der heutigen Technologie trägt jedoch dazu bei, dass die Belastung auf den Menschen stetig zunimmt.

Für die Belastung von innen ist der Bewohner selbst verantwortlich, während er einer Belastung von außen, z.B. durch die jährlich steigende die Anzahl der Sendestationen, in der näheren oft schutzlos ausgeliefert ist. So entsteht der Wunsch die zeitliche Belastung zu reduzieren und so einen Schutz im innern von Gebäuden zu erreichen.

Um den großen Bereich der elektromagnetischen Wellen einzugrenzen, werden in dieser Veröffentlichung einige Schwerpunkte gesetzt:

- In der Betrachtung wird der Aktualität wegen der Frequenzbereich von 890 MHz (D-Netz) bis 2.170 MHz (UMTS) zugrunde gelegt.
- Der Mensch kann sich selbst nur bedingt vor der Strahlung von außen schützen. Aus diesem Grund werden die Belastungen infolge elektromagnetischer Wellen von außen auf ein Gebäude betrachtet.
- Im Bereich der biologischen Wirkungen wird sowohl auf die thermischen als auch auf die nicht thermischen Wirkungen elektromagnetischer Felder eingegangen.
- Am Beispiel des komplexen Systems „Haus“ werden sowohl Anschlussdetails als auch Ausführungsmängel, die zu Fehlern im Bereich der Abschirmung führen können, betrachtet.

#### 4 **Biologische Wirkungen**

Bei den biologischen Wirkungen wird grundsätzlich zwischen zwei verschiedenen Wirkweisen auf den menschlichen Körper unterschieden:

##### 1. **Thermische Wirkungen**

Seit Jahrzehnten ist bekannt, dass die Exposition hochfrequenten elektromagnetischer Felder zu einem Anstieg der Körpertemperatur führt. Der menschliche Körper ist ein verlustbehaftetes Dielektrikum. Wenn elektromagnetische Wellen in das Gewebe eindringen und sich dort fortpflanzen, findet eine Übertragung der Energie statt. Es erfolgt eine Erhöhung der kinetischen Energie der Moleküle, die sich durch eine Temperaturerhöhung bemerkbar macht. [4]

##### 2. **Nicht thermische Wirkungen**

Die thermischen Wirkungen, also die Wärmewirkungen, auf den menschlichen Organismus gelten in der Literatur als belegte Wirkmechanismen. In der Forschung wird immer mehr der Blick auf die nicht thermischen oder athermischen Wirkungen hochfrequenter Strahlung gerichtet. Vereinzelte Forschungsergebnisse deuteten auf Verhaltensänderungen, neurologische Effekte, Erhöhung des Krebsrisikos, Einfluss auf den menschlichen Schlaf, Einfluss auf die Hormone Melatonin und Serotonin, Beeinflussung des Stoffwech-

sels, Veränderung der Funktion der Blut-Hirn-Schranke, Stressreaktionen, Effekte auf das Erbgut (DNA), Einfluss auf die Sinnesrezeptoren und die Geschlechtsorgane hin [8]. Da die Ergebnisse bisher kein eindeutiges Bild zeigen, besteht hier noch Forschungsbedarf.

### Grenzwertbetrachtung in Europa

Grenzwerte dienen dazu, die Gesundheit der Menschen vor den Auswirkungen elektromagnetischer Felder zu schützen. Hier hat die Internationale Strahlenschutzkommission ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) auf der Basis des aktuellen Forschungsstandes Grenzwertempfehlungen erarbeitet. Diese Werte basieren auf der Grundlage der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Umweltorganisation der Vereinten Nationen (UNEP) durchgeführten Bewertung der aktuellen, wissenschaftlichen Befunde.

International existieren mehr als 25.000 wissenschaftliche Arbeiten zur Wirkung nichtionisierender Strahlung, sei es in Form von in vitro-Untersuchungen (Reagenzglas) von Zellkulturen, Tierexperimente, Experimente an Probanden oder epidemiologische Untersuchungen. [2, 3]

Das folgende Diagramm gibt einen Gesamtüberblick über die geltenden Grenzwerte wieder:

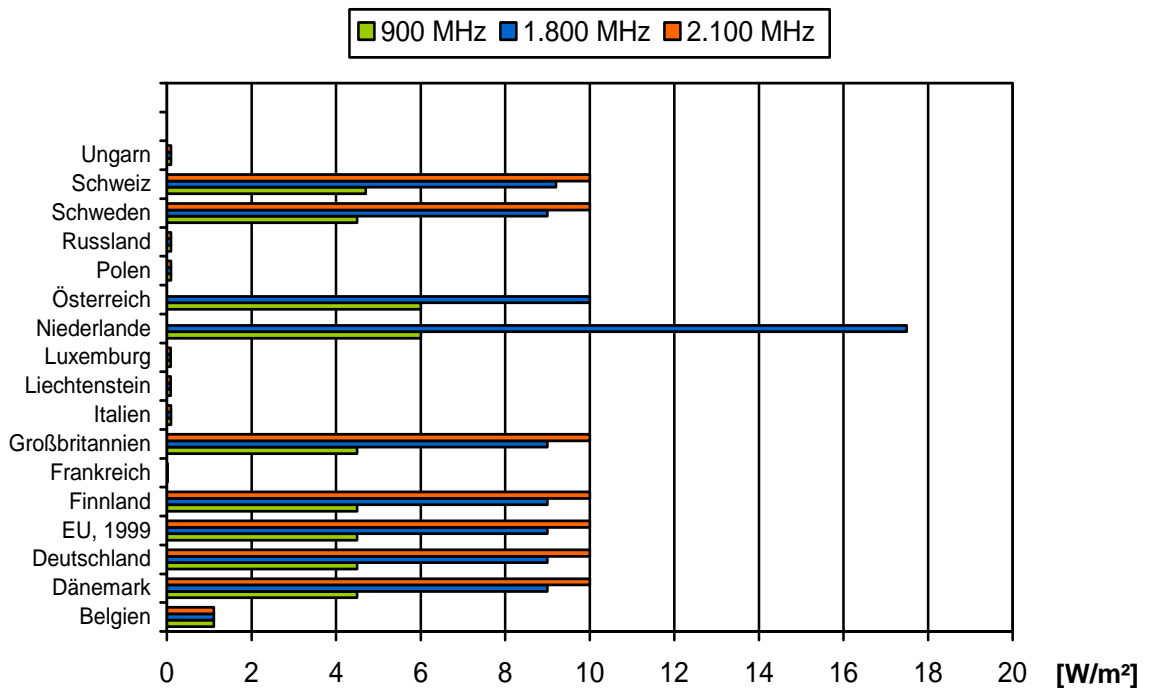


Diagramm 4-1: Grenzwerte Europa 900 MHz, 1.800 MHz, 2.100 MHz

Es wird unterschieden in **Grenzwerte**, **Empfehlungen** und **Vorsorgewerte**, die jedoch in dieser Zusammenfassung keine nähere Betrachtung finden.

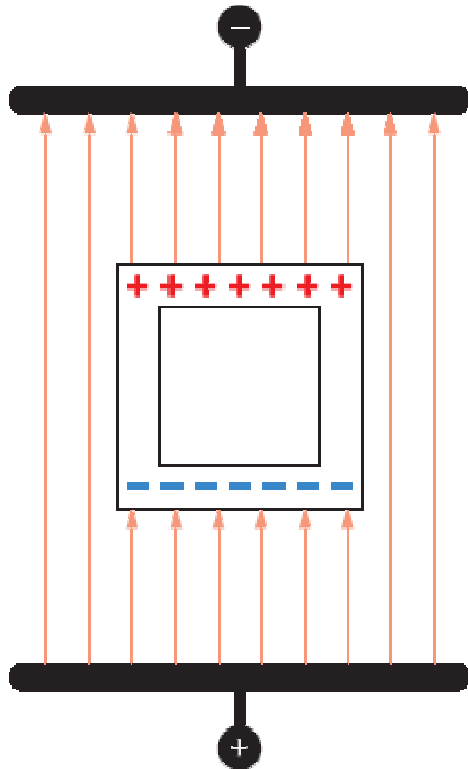
## 5 Prinzipien der Abschirmung elektromagnetischer Felder

Die Wahl der Abschirmungsmaterialien und die Dimensionierung hängt von der Erscheinungsform der Störgröße (elektrisches Feld, magnetisches Feld oder elektromagnetische Welle) und damit

von der Frequenz der Störgröße ab. Im Folgenden werden kurz die wesentlichen Grundlagen zusammengefasst.

### 5.1 Abschirmung elektrischer Felder

Die Abschirmung elektrischer Felder ist normalerweise recht unproblematisch und kann am Prinzip des Faraday'schen Käfigs verdeutlicht werden.



**Abbildung 5-1: Vollständige Abschirmung durch einen Faraday'schen Käfig** (Quelle: [37])

Elektrische Feldlinien entstehen und enden auf elektrischen Ladungen, wie sie in jedem Gebäude vorhanden sind. Hierzu zählen unter anderem innenverlegte elektrische Leitungen. Sie werden auch als so genannte Quellenfelder bezeichnet, die es ermöglichen einen umschlossenen Raum mithilfe von einem rundum geschlossenen metallischen Behälter oder metallisierten Kunststoff mit genügend großer Metallschichtdicke (bereits bei einigen  $\mu\text{m}$ ) sowohl für elektrische Gleichfelder als auch für nieder- und hochfrequente Wechselfelder feldfrei zu machen.

Wichtig ist dabei, dass die Materialien bzw. in diesem Fall die Umhüllung ausreichend gut elektrisch leitend ist. Im niederfrequenten Bereich ist es unerlässlich eine niederohmige Verbindung des Metallgehäuses oder der Metallflächen zur Hauserde eines Gebäudes zu realisieren. Ist dies nicht gewährleistet nimmt die ungeerdete Metallfläche ein an der Stelle gerade vorhandenes elektrisches Potential an und eine elektrische Feldfreiheit ist nicht mehr gewährleistet. [36]

## 5.2 Abschirmung magnetischer Felder

Neben den elektrischen Feldern existieren noch die magnetischen Felder, deren Abschirmung wesentlich schwieriger durchzuführen ist.

Die magnetische Schirmwirkung von magnetischen Gleichfelder und niederfrequenten Wechselfeldern (Frequenz < 5 kHz) hängt im wesentlichen von der Materialstärke, der geometrischen Anordnung und im besonderen von der Permeabilitätszahl  $\mu_r$  des Abschirmmaterials ab.

Anders als die elektrischen Feldlinien werden die magnetischen Feldlinien als Wirbelfeld bezeichnet und lassen keine Unterbrechung zu. Es ist deshalb notwendig, sie um den zu schützenden Bereich herumzulenken. Der Grad der Abschirmung wird dabei durch den Unterschied des magnetischen Widerstandes zwischen der kürzesten Verbindung in der Luft und der längeren Verbindung durch die Wand bestimmt.

Als Abschirmmaterial ist ein Material zu verwenden, welches eine möglichst große relative Permeabilitätszahl  $\mu_r$  besitzt. Diese Materialien nehmen den magnetischen Fluss besonders gut auf und leiten ihn weiter.

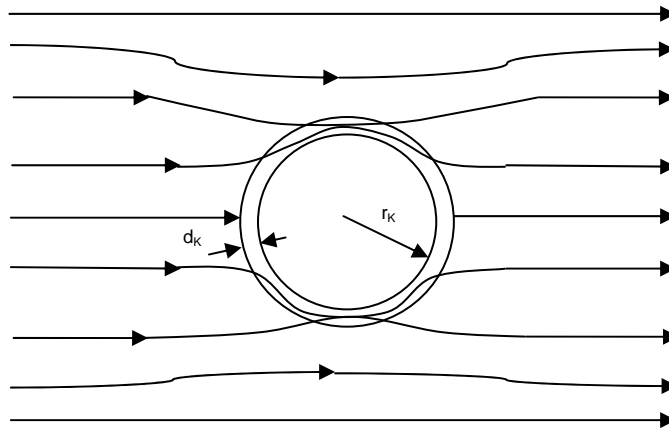


Abbildung 5-2: Magnetfeldlinien in einer Wand einer Kugel

Die Schirmdämpfung einer dünnwandigen Kugel für magnetische Gleichfelder wird berechnet durch:

**Gleichung 5-1 (Quellenangaben fehlen)**

$$a_{Kugel} = 20 \cdot \log \left[ 1 + 0,66 \cdot \frac{\mu_r \cdot d_{Kugel}}{r_{Kugel}} \right] \quad [\text{dB}]$$

Diese Gleichung sagt aus, dass für eine gute Abschirmung von Magnetfeldern das Schirmwandmaterial eine möglichst große Permeabilität besitzen muss und es möglichst dickwandig sein sollte. Weiterhin sind kleine Volumina besser abschirmbar, d.h., dass  $r_{Kugel}$  möglichst klein gehalten werden sollte, damit die Abschirmung entsprechend größer ist.

Niederfrequente Magnetfelder können nur durch Materialien mit  $\mu_r > 1$  abgeschirmt werden, was zur Folge hat, dass alle herkömmlichen Baustoffe sowie Metallbleche (Aluminium, Kupfer oder Messing ( $\mu_r = 1$ )) für diese Art Abschirmung wegfallen.

Eine Schwächung des niederfrequenten Magnetfeldes würde durch folgende Baustoffe bzw. Materialien gewährleistet werden:

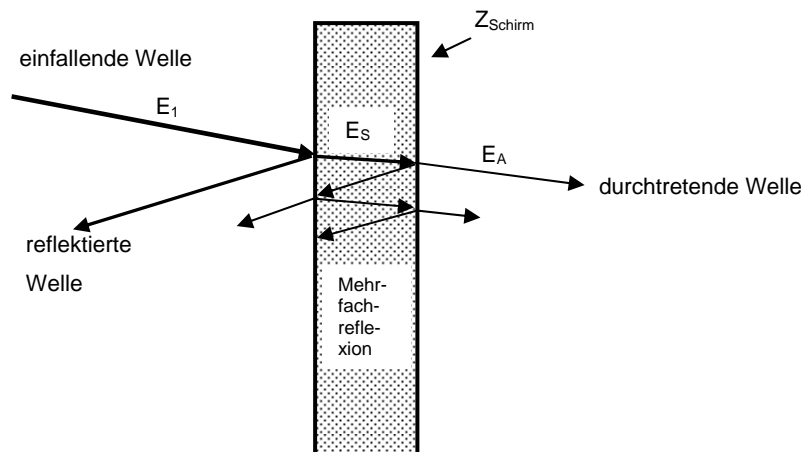
- Hochkonzentriertes Magnetitpulver vermengt mit dem Außenputz (auch in Wärmedämmverbundsystem möglich); das eisenhaltige Magnetit besitzt eine  $\mu_r > 1$ ;
- Eisenblech-Platten mit  $\mu_r$  von ca. 100 als Fassadenverkleidung;
- Magnetisch sehr gut leitende Metall-Legierung wie zum Beispiel Mumetall mit  $\mu_r > 30.000$ ;

Magnetische Wechselfelder von höheren Frequenzen, ab 10 kHz aufwärts können durch alle elektrisch gut leitenden Metalle, auch Aluminium, Kupfer und Messing, abgeschirmt werden. Der Grund dafür ist der Skin-Effekt der zur Aussperrung der Magnetfelder beiträgt. [36]

### 5.3 Abschirmung elektromagnetischer Wellen

Bis zu diesem Zeitpunkt sind die elektrischen und magnetischen Felder getrennt betrachtet worden, bei den elektromagnetischen Wellen ist dies nicht mehr der Fall. Es ist bekannt, dass das Fernfeld E und H in einem festen Verhältnis zueinander stehen, welches in Luft oder im Vakuum durch den Feldwellenwiderstand des freien Raumes durch  $Z_{F0} = 377\Omega$  bestimmt wird. Mit eben diesem Verhältnis treffen E und H auf die Wand eines Gebäudes.

Elektromagnetische Wellen erfahren an geschlossenen metallischen Gehäusen oder gut leitenden metallischen Blechen eine Totalreflexion. Erfüllen die Materialien nicht diesen Eigenschaften muss der Schirmvorgang etwas genauer betrachtet und analysiert werden.



**Abbildung 5-3: Vorgänge bei der Schirmung einer elektromagnetischen Welle**

Wie an der Abbildung zu erkennen finden zwei Prozesse statt, die im Folgenden näher erläutert werden. [36]

#### 5.3.1 Reflexionsdämpfung

An der Schirmvorderseite existiert ein Anteil an Reflexion, der sich mithilfe einer Gleichung aus der Leitungstheorie berechnen lässt:

### Gleichung 5-2

$$r = \frac{Z_S - Z_{F0}}{Z_S + Z_{F0}}$$

Dabei bedeuten:

$$Z_{F0} = 377\Omega \quad (\text{Freiraumwellenwiderstand})$$

$$Z_S = (1 + j) \cdot \sqrt{\pi \cdot \rho \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot f} \quad (\text{Schirmwellenwiderstand})$$

mit:

$\rho =$  spez. Widerstand des Schirmmaterials

$\mu_r =$  relative Permeabilitätszahl

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \quad [\text{H/m}]$$

$f =$  Frequenz in Hz

Da nicht der gesamte Anteil der elektromagnetischen Welle reflektiert wird, befindet sich auf der Hinterseite der Wand ebenfalls eine Komponente, die erfasst werden muss.

Das Verhältnis der auf den Schirm auftreffenden elektrischen Feldstärke  $E_1$  zu der in das Schirmmedium eingetretenen Amplitude  $E_S$  wird als Schirmfaktor  $S_E$  bezeichnet:

### Gleichung 5-3

$$S_E = \frac{E_1}{E_S} = \frac{2 \cdot Z_S}{Z_S + Z_{F0}}$$

Tritt die Feldstärkenkomponente  $E_S$  aus dem Schirm aus, wird sie durch die Reflexion an der Wandinnenseite erneut reduziert und als austretende Feldstärke  $E_A$  bezeichnet. Somit ergibt sich der Austrittsfaktor  $S_A$  zu:

### Gleichung 5-4

$$S_A = \frac{E_S}{E_A} = \frac{2 \cdot Z_{F0}}{Z_S + Z_{F0}}$$

Bei einem homogenen Schirm errechnet sich der vollständige Schirmfaktor  $S_{gesamt}$  mit der folgenden Gleichung:

### Gleichung 5-5

$$S_{gesamt} = S_E \cdot S_A = \frac{4 \cdot Z_S \cdot Z_{F0}}{(Z_S + Z_{F0})^2}$$

Den Anteil der Reflexion im Dämpfungsverhalten kann mit folgender Gleichung vereinfacht in dB ausgerechnet werden:



### Gleichung 5-6

$$a_R = 108\text{dB} + 10 \cdot \log \frac{\sigma_s}{\sigma_{Cu} \cdot \mu_r \cdot f} \quad [\text{dB}]$$

Die Reflexionsdämpfung wird in dB angegeben, wenn die Frequenz  $f$  in MHz eingesetzt wird.

Dabei ist  $\sigma$  die spezifische Leitfähigkeit.

#### 5.3.2 Absorptionsdämpfung

In Kapitel 5.3.1 wurde die Schirmdämpfung mittels der Reflexion behandelt. Eine elektromagnetische Welle erfährt jedoch beim Durchgang durch die Wand nicht nur eine Reflexion, sondern ebenfalls eine Absorption.

Es existieren vier Möglichkeiten, die zur Dämpfung einer Welle durch Absorption ihrer Energie im Wandmaterial beitragen:

- Sind genügend große elektrische Feldstärken vorhanden, „erwärmt“ sich das Material und es entstehen dielektrische Verluste, die durch den Wert  $\tan \delta_\epsilon$  beschrieben werden.
- Besitzt das Material ein  $\mu_r > 1$  entstehen neben den „elektrischen“ Verlusten auch „magnetische“ Verluste, die durch den Wert  $\tan \delta_\mu$  beschrieben werden.
- Ist in einem Material ein Anteil von Ruß- oder Graphit, ist das Material nur bedingt leitfähig und es werden E- und H-Feldstärken Ströme induziert. Eine „Verlustleistung“ in Form von Wärme, mit der Gleichung  $P_{\text{Verlust}} = I^2 \cdot R$ , wird erzeugt.
- Dämpfung der Welle durch den Wasseranteil im Material. Die Wassermoleküle bewegen sich im elektromagnetischen Wechselfeld im Rhythmus der Hochfrequenz hin und her, da sie sich an der elektrischen Feldstärke der Welle ausrichten. Es entsteht durch die Bewegung eine Art „Reibungswärme“ im Material. Die hierfür aufgewendete Energie stammt aus den elektrischen Feldern, was zu einer Dämpfung der elektromagnetischen Welle führt. [36]

Um diese Möglichkeiten auf die Praxis zu beziehen, sei das einfache Beispiel einer Wand zu nennen. Messungen haben ergeben, dass die Dämpfung eines feuchten Mauerwerks höher ist als die der gleichen Wand im trockenen Zustand.

Die Absorptionsdämpfung  $a_A$  eines Materials ist abhängig von seinen Materialeigenschaften und der Frequenz. Mit folgender Gleichung kann sie abgeschätzt werden:

### Gleichung 5-7

$$a_A = 0,1314 \cdot d \cdot \sqrt{\mu_r \cdot \sigma_r \cdot f} \quad [\text{dB}]$$

Dabei ist:

$d$  in Millimetern  
 $f$  in Hertz (Hz)

$\sigma_r$  = rel. spez. elektrische Leitfähigkeit des Schirmmaterials bezogen auf die elektrische Leitfähigkeit von Kupfer

$\mu_r$  = rel. Permeabilität, die bei etwa 0,5 MHz auf „1“ zurückgeht

Generell gilt, dass die Absorptionsdämpfung für alle Feldtypen gleich ist, wohingegen die Reflexionsdämpfung vom Feldtyp bzw. im Nahfeld auch vom Abstand  $r$  des Schirms von der Störquelle abhängig ist.

Grundsätzlich besteht die gesamte Schirmdämpfung aus der Summe der Reflexionsdämpfung „außen“, der Absorptionsdämpfung und der Reflexionsdämpfung „innen“.

#### 5.4 Erdung

Im Hochfrequenzbereich hängt die Wirkungsweise der Abschirmmaterialien nicht zwingend von der Erdung des Materials ab. Jedoch bringt dies einen entscheidenden Vorteil mit sich, da die Entstehung einer Resonanzfrequenz verhindert wird und die Schirmdämpfung nicht auf 0 dB absinken kann. [6]

### 6 Abschirmung des „idealen Systems“

Um die Prinzipien der Schirmdämpfung zu erkennen wird ausgehend von einem „idealen System“ die Problematik der Reduzierung der Schirmdämpfung durch verschiedene Öffnungen und Leitungsschlitze auf das „komplexe System Haus“ übertragen.

#### 6.1 Darstellung des „idealen Systems“

Das „ideale System“ der Abschirmung ist ein „dichtes“, rechteckiges Gehäuse mit einem Deckel oder einer Tür. Für den in dieser Arbeit vorliegenden Frequenzbereich von 890 MHz bis 2.170 MHz (Hochfrequenz), ist der Idealfall ein Metallkorpus aus Mumetall. Mumetall hat die Hauptbestandteile Nickel und Eisen, sowie Teile von Kupfer und Chrom mit einer Permeabilitätszahl  $> 30.000$ .

#### 6.2 Messmethoden

Eine standardisierte Schirmdämpfungs-Messmethode im Hochfrequenzbereich ist MILSTD 285, die schon deutlich auf die unterschiedlichen Messungen der verschiedenen Felder eingeht. In Deutschland wird ein ähnliches Messverfahren VG-Norm 95 370, Part 15, Methode KS 03 S angewendet.

Eine Messmethode, bei dem die Entfernung der Sendeantenne zum Prüfobjekt größer ist als bei MILSTD 285, ansonsten jedoch eine ähnliche Vorgehensweisen hat, ist der Standard IEEE 299 (1997).

Die Wahl der Antennen richtet sich in allen Verfahren nach dem zu untersuchenden Frequenzbereich und der Polarisationsanforderung bei der Messung.

Um eine präzise Bestimmung der Schirmdämpfung vorzunehmen sollte ein vektorieller Netzwerkanalysator (NWA) mit geeigneten Messantennen eingesetzt werden. [1, 5]

### 6.3 Untersuchungen am „idealen System“

Die Schirmdämpfung eines Gehäuses wird durch den Einfluss vieler Einzelfaktoren festgelegt und folglich ist der Grad der elektromagnetischen Entkopplung durch die Materialauswahl oder die Art der Abdichtungen an Schlitzen immer begrenzt.

Pauli und Moldan haben in [1 und 5] unterschiedliche Messungen u.a. nach dem IEEE 299 (1997) Standard durchgeführt, um den Einfluss von Schlitzen auf die Schirmdämpfung zu quantifizieren. Die Ergebnisse zeigten, dass dünne Spalten im Gegensatz zu großen Spalten i.A. vernachlässigt werden können. Hier zeigt sich, dass ein Fensterrahmen in jedem Fall geschirmt werden muss, da die halbe Wellenlänge im Mobilfunkbereich so klein ist, dass sie ungehindert in das Gebäudeinnere einfließen kann. Ein Spalt von 0,5 cm weist sowohl bei einer vertikal als auch bei einer horizontal polarisierten Welle noch Dämpfungen von über 25 dB auf. In diesem Fall spielt auch die Polarisation keine entscheidende Rolle. Der Grund für die recht große Schirmdämpfung ist, dass die Spaltbreite klein gegenüber der halben Wellenlänge ist.

Zusammenfassend ist bezüglich Spalten zu sagen, dass die Schirmdämpfung von:

- der Spaltbreite,
- der Polarisation der Welle (vertikal, horizontal oder diagonal polarisiert),
- der Längenausdehnung des Spaltes,
- der Frequenz und somit der Wellenlänge

abhängig ist.

Weiterhin ist zu sagen, dass:

- Spalten, die klein gegenüber der halben Wellenlänge sind, eine bessere Schirmdämpfung erreichen als große Spalten.

An der Gebäudehülle entstehen durch Außenlampen, Solaranlagen oder etwa Be- und Entlüftungsquerschnitte Löcher mit unterschiedlichen Durchmesser. Diese sind oftmals nicht zu vermeiden. Durch diese Undichtigkeiten dringen elektromagnetische Felder unmittelbar in das Gebäudeinnere ein und verringern die Schirmdämpfung der Gebäudehülle.

Zusammenfassend ist bezüglich Löcher zu sagen, dass:

- viele kleine Löcher gegenüber einem großen Loch mit gleichem Öffnungsquerschnitt die Schirmdämpfung verbessern.

## 7 Abschirmung des „komplexen Systems Haus“

### 7.1 Darstellung der Möglichkeiten und Grenzen der Abschirmung von Personen in einem Gebäude

Es gibt verschiedene auf dem Markt befindliche Produkte, die vor elektromagnetischer Strahlung schützen. Hierbei gibt es zum einen Materialien, die durch ihre natürlichen Eigenschaften, wie beispielsweise Lehm oder Aluminium, einen Schutz bieten und zum anderen Produkte, die speziell für die Abschirmung elektromagnetischer Felder entwickelt wurden.

#### 7.1.1 Außenwand

Die Außenwände bilden einen Großteil der Gebäudehülle und sind somit ein entscheidender Faktor bei der Abschirmung eines Gebäudes. Sowohl für die Außenseite der Wand, sprich die Fassade, als auch für die Rauminnenseite werden auf dem Markt verschiedene Produkte angeboten.

Im Bereich der äußeren Bauteilschichten können feinmaschiges Kupfergewebe, verschiedene Aluminium-Fassadenverkleidungen oder ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit Abschirmgewebe eingesetzt werden. Im Bereich des Wandaufbaus sind Aufbauten aus Lehm sowie das massive *Holz100 System* möglich. Im Bereich der inneren Bauteilschichten können Abschirmungen mittels kupferbeschichteten Tapeten, Tapeten aus graphitbeschichtetem elektrisch leitendem Faservlies, Abschirmputz aus Lehm, Spezial-Gipsdünnputz, Gipskarton *Schutzplatte La Vita*, Dampfsperren, Polyestervliese mit Kupferbeschichtung und Korrosionsschutz oder papierkaschierete Aluminiumfolien sowie hochleitfähige Dispersionsfarben eingesetzt werden.

#### 7.1.2 Innenwand

Die Abschirmfunktion der Innenwand ist nur mit der Funktion der Außenwand zu vergleichen, da nicht die Strahlung von außen, also von Mobilfunksendeanlagen, entscheidend ist, sondern die Strahlung im Gebäude selbst. Eine entscheidende Rolle spielt dies in einem Mehrfamilien- oder Wohn- und Geschäftshäusern, in dem sich die Bewohner vor den elektromagnetischen Strahlen eines Nachbarn schützen wollen. Hier können bestimmte Räume, wie z.B. das Schlafzimmer abgeschirmt werden, um eine Nutzung z.B. von w-lan oder Mobilfunk im übrigen Haus zu ermöglichen

Die Abschirmmaterialien für den Einsatz im Innenwandbereich entsprechen den Materialien der Außenwand.

#### 7.1.3 Decke

Die Decken in einem Gebäude stellen eine Problemebene dar. Nicht nur der Schutz vor Fremdeinwirkung der Nachbarn sondern auch die Lagerung der Decke führt, bedingt durch die Unterbrechung der Außenabschirmung in diesem Bereich, zu einem Abschirmungsverlust.

Im Bereich der Decke kann zwischen zwei Möglichkeiten unterschieden werden:

1. **Integrierung von Abschirmmaterialien während der Herstellung**, wie beispielsweise Abschirmanstriche aus Graphit oder Abschirmlacke, Lösungsmittelfreie Anstriche oder eine dämpfende Schutzplatten;
2. **nachträglicher Einsatz von Abschirmmaterialien**, wie zum Beispiel ein leitfähiger Teppichboden aus Kohlefasern oder Kohlenetzen;

#### 7.1.4 Dach

In der Regel befinden sich Mobilfunkbasisstationen an erhöhten Standpunkten, durch den eine gute Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen erzielt wird. In Folge dessen bestehen Abschirmungsprobleme im Bereich von flach- aber auch von geneigten Dächern.

Im Dach kann die Abschirmung gegen elektromagnetische Felder erreicht werden durch:

- die Integrierung der Abschirmung in die Dachdichtung. Z.B. Aufsparrendämmsysteme aus Polyiso-Hartschaum, Beschichtete dachabdichtungsbahnen, diffusionsoffene Unterdeckbahnen, Abschirmfolien und Dampfsperren sowie Dachbedeckungen aus Aluminium.
- die Abschirmung auf der Innenseite und somit zugehörig zum Dachausbau. Hier werden die gleichen Produkte wie bei der Innenbeschichtung der Außenwand eingesetzt.

#### 7.2 Reduzierung der Schirmdämpfung

Die Gebäudehülle besteht nicht nur aus Wänden, Decken und Dach, sondern auch aus Gebäudeöffnungen wie Fenstern oder Türen. Diese Öffnungen bilden in der Außenwand vorerst eine große Schwachstelle, da die hochfrequente Strahlung ungehindert in das Gebäudeinnere eindringen kann.

Hier sind zum einen „geschlossene“ und zum anderen „geöffnete Fenster“ zu betrachten, die jedoch durch geeignete Materialien abschirmungstechnisch verbessert werden können.

Für geschlossene Fenster können folgende Produkte eingesetzt werden:

- Abschirm-Klarsichtfolien
- Wärmeschutzverglasung mit Edelmetallbedampfung.

Für geöffnete Fenster sind folgende Systeme möglich:

- Aluminium Rollläden
- handelsüblicher metallischer Hasendraht
- *Elektrosmog-Schutz-Gitter* (Insektenschutzgitter)
- Fliegenschutzgitter aus Metall, Kupfer oder Aluminium
- textile Vorhangstoffe aus feinem Baumwollgewebe mit Metallfäden.

Da Holz oder Kunststoff durch seine Materialeigenschaften alleine keine große Schirmdämpfung besitzt, müssen die Glasrahmen besonders betrachtet werden, da ansonsten elektromagnetische Wellen durch dies Schlitze ungehindert ins Gebäudeinnere dringen können. Eine Möglichkeit zur Schirmdämpfung bieten hier entweder Fensterrahmen mit Stahlarmierung oder mit Metallzwischenlage.

Weitere Schlitze entstehen beim Fenstereinbau, da an Gebäudeecken bzw. Bauteilstößen, Öffnungen des Rollladenkastens, Lüftungsöffnungen, Leitungsdurchführungen, Fußpunkt Schwelle – Fundament, aufsteigenden Bauteilen, Dachausstiegen und Geschossausstiegen Leckagen entstehen. Diese sind mittels geeigneter Materialien zu überdecken oder auszustopfen.

### 7.3 Grenzen der Abschirmung

Bei der Betrachtung den „komplexen Systems Haus“ sind so nicht nur die Abschirmmaterialien und ihre Wirksamkeit, sondern auch die Ausführung sowie die Anschlusskonstruktionen, für die Gesamtschirmdämpfung eines Gebäudes entscheidend.

Die exakten Relationen der Einflussfaktoren können nicht ohne Weiteres abgeschätzt werden, da auf diesem Gebiet bis dato nur wenige Forschungen und Messungen durchgeführt wurden.

Um dennoch zu verdeutlichen, welche tatsächlichen Einflussfaktoren bei einem Gebäude wirken, wird empfohlen für Gebäude eine so genannte „Schirmbilanz“ qualitativ aufzustellen.

<b>Einflussfaktoren:</b>	<b>vorher</b>	<b>nachher</b>
Dämpfung der Wellen durch Reflexion beim Eintritt in den Schirm	+	+
Absorptionsdämpfung der Wellen durch das Material des Schirms	+	+
Dämpfung der Wellen durch Reflexion vor dem Austritt aus dem Schirm	+	+
Dämpfung der Wellen durch die Möbel vor den Wänden	+	+
Schirmdämpfung an Fenster- und Türrahmen	-	+
Schirmdämpfung an Rollladenschlitze	-	+
Schirmdämpfung an Leitungsdurchführung	-	+
Schirmdämpfung an Schwachstelle „Auflagerpunkt Decke- Außenwand“	-	+
Schirmdämpfung an Öffnungen zwischen Dachgeschoss-Spitzboden	-	+
Schirmdämpfung durch Mehrfachreflexionen im Schirm	-	-

**Tabelle 7-1: Gesamtschirmdämpfung des Gebäudes**

Auch wenn in eine solche Betrachtung keine konkreten Zahlen eingesetzt werden können, wird deutlich, dass eine Reihe von Faktoren die Dämpfung beeinflusst. Deutlich wird, dass die Summe der geplanten Maßnahmen die Gesamtschirmdämpfung jedoch erheblich verbessern kann.

## 8 Fazit

Die Eingrenzung zum Thema war die Exposition von Mobilfunksendeanlagen auf ein Gebäude und demzufolge auf den Bewohner in einem Gebäude. Der Mobilfunk arbeitet im hochfrequenten Bereich und eine entscheidende Aussage ist, dass an einem fachmännisch abgeschirmten Gebäude die Abschirmung primär durch Reflexion an den Abschirmmaterialien erfolgt und eine Erdung „grundsätzlich“ nicht notwendig ist. Um eventuell entstehende Resonanzfrequenzen zu verhindern wird jedoch eine Erdung der Materialien empfohlen, da der Mehraufwand sehr gering ist. Die thermischen und „nicht thermischen“ Auswirkungen auf den menschlichen Körper, wobei die „nicht thermischen“ bisher nicht wissenschaftlich nachgewiesen sind, geben jedoch Anlass dazu, Vorsorge gegenüber der Exposition von Sendeanlagen zu betreiben. Dies wird durch einige eindeutige Hinweise, die die Wirkung der elektromagnetischen Wellen auf den menschlichen Körper,

wie das erhöhte Krebsrisiko, der Einfluss auf das Zentralnervensystem und der Einfluss auf die Verhaltensänderungen zeigen, bestätigt.

Deutlich wird ebenfalls, dass ein enormer Forschungsbedarf auf diesem Gebiet besteht und dies voraussichtlich in den nächsten Jahren so bleibt, da bei der digitalen Technologie (GSM) nur bedingt auf Langzeiteffekte zurückgegriffen werden kann.

Die Untersuchungen am „idealen System“ haben ergeben, dass im Gegenteil zu kleinen, große Spalten und Löcher die Schirmdämpfung deutlich reduzieren. Dies sollte bei der Planung eines Gebäudes berücksichtigt werden und in dem Fall, dass sich solche Ausführungen nicht vermeiden lassen, ist es notwendig eines der zahlreichen aufgeführten Abschirmmaterialien zu verwenden. Diese können auf die unterschiedlichsten Weisen ihren Einsatz finden.

Das Ergebnis der Schirmungsbilanz zeigte, dass ein Großteil der vorgestellten Abschirmungs-lösungen die Schirmdämpfung eines Gebäudes verbessern kann. Dies ist nicht zuletzt auf die relativ große Vielfalt der im Markt verfügbaren Abschirmmaterialien zurückzuführen.

Nicht außer Acht gelassen werden sollte jedoch, dass die Kosten der vorgestellten Abschirmmaterialien z.Zt. höher sind als die für den Zweck üblicherweise eingesetzten Baustoffe.

Somit ist es notwendig, dass jeder Bauherr für sich die Anforderungen der geplanten Abschirmung genauestens festlegt.

## 9 Quellenverzeichnis

- [1] Pauli, Moldan: *Reduzierung hochfrequenter Strahlung, Baustoffe und Abschirmmaterialien*, 2.komplett überarbeitete und deutlich erweiterte Auflage 2003
- [2] Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU): *Elektromagnetische Felder – Einwirkungen auf den Menschen*, Fachinformation Umwelt und Entwicklung Bayern (1/2002)
- [3] Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU): *Stichwort Mobilfunk*, Fachinformation Umwelt und Entwicklung Bayern (1/2003)
- [4] Kundi, M: *Umwelthygienische Fragen im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber radiofrequenten Wellen und Mikrowellen*. Juni 2000 (Internationale Konferenz Situierung von Mobilfunksendern Land Salzburg)
- [5] Pauli, Moldan: *Materialien, Maßnahmen an Gebäuden zur Abschirmung elektromagnetischer Wellen im privaten Bereich*, Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), Fachinformation Umwelt und Entwicklung Bayern
- [6] Stoll, Dieter: *Schirmung in der Elektronik* (Der Elektroniker 8-1984)
- [7] Lindenmann: *Elektrosmog - Abhängigkeiten und Auswirkungen auf das Raumklima*. Diplomarbeit WS 2004/2005 HAWK Hildesheim
- [8] Silny, J.: *Mobilfunk und Gesundheit, Aktuelle Forschungsergebnisse im Überblick*, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) Juni 2004