

Gesamtstörung aus vielen verteilten Störquellen

Heinrich Häberlin HB9AZO, Mitglied der CH-Normenkommission TK77/CISPR (*heinrich.haerberlin@bluewin.ch*)

1. Einführung

In den letzten Jahren hat der generelle Störpegel im HF, VHF und UHF-Bereich stark zugenommen und beeinträchtigt zunehmend den Empfang schwächerer Signale. Dies ist nicht nur eine Folge der zunehmenden eigentlichen Funkanwendungen sondern auch der zunehmenden, eigentlich drahtgebundenen Anwendungen mit dauernd vorhandenen, breitbandigen Signalen, die auf dafür nicht geeignete Leitungen übertragen werden. Solche Dauerstörer sind z.B. PLC(Power-Line-Communication)-Geräte oder VDSL-, VDSL2- und G.fast-Geräte für schnelles Internet in der Nachbarschaft. Auch unter der zunehmenden Zahl von schaltenden Speisegeräten für alle elektronischen Geräte, PV-Anlagen und LED-Beleuchtungen gibt es etliche Dauerstörer. Am Horizont zeichnen sich auch weitere mögliche Langzeitstörer ab (z.B. Elektromobile im Lademodus sowohl beim Laden über Kabel als auch mit WPT).

In den Normen und Richtlinien zum Schutz von Funkdiensten wird meist nur die maximal zulässige Störung betrachtet, die von einem einzelnen Störer ausgehen darf damit gerade noch keine unzumutbaren längeren Beeinträchtigungen von Funkdiensten auftreten. In den durchgeführten EMV-Tests wird praktisch immer nur ein Einzelgerät im Labor getestet. Bei der Festlegung der zulässigen Grenzwerte wird auch die Wahrscheinlichkeit der zeitlichen, örtlichen und frequenzmässigen Koinzidenz mit gewissen Annahmen berücksichtigt. Diese „bewährten“ Grenzwerte werden aber angesichts der geschilderten Entwicklung für die Praxis immer unrealistischer.

In diesem Beitrag soll versucht werden die gegenüber der Testsituation auftretende Erhöhung der wirksamen Störung zu simulieren. Daraus kann geschlossen werden, ob und um wieviel die Grenzwerte bei Einzelgeräte-Tests gesenkt werden müssen, um den gleichen Schutz empfindlicher Funkdienste wie früher zu gewährleisten.

2. Für Simulationen verwendetes Modell

Für Simulationen braucht es ein Modell, das die wichtigsten Eigenschaften des zu untersuchenden Vorgangs richtig abbildet und noch mit vernünftigem Aufwand berechenbar ist.

2.1 Annahmen und Berechnungen für den zweidimensionalen (ebenen) Fall

- Störquellen und Störpfer in xy-Ebene, Störpfer (Dipol auf y-Achse) im Ursprung (0; 0).
- In jedem ganzzahligen Gitterpunkt in xy-Ebene eine identische, isotrope Störquelle.

Die Störquellen sind rauschartig, also nicht korreliert und verteilen sich auf alle Frequenzen innerhalb der Bandbreite B des am Dipol angeschlossenen Empfängers. Anstelle der Feldstärken werden deshalb die *Störleistungen der einzelnen Störquellen* überlagert (addiert). Angesichts der zunehmenden Anzahl breitbandiger Übertragungsverfahren dürfte diese Annahme ziemlich realistisch sein.

Die von einer einzelnen Störquelle am Ort des Störpfers erzeugte Störleistungsdichte (in W/m^2) wird mit der wirksamen Antennenfläche (ca. $A_0 = \lambda^2/8$) des Dipols (im Ursprung auf y-Achse) in eine entsprechende Störleistung P (in W) umgewandelt. Die Störleistungsdichte ist umgekehrt proportional zum Abstand d^2 der Störquelle zum Störpfer, also proportional $1/d^2$. Für die bei schiefem Strahlungseinfall wirksame Antennenfläche gilt $A = A_0 \cos(\alpha)$. Dabei ist α = Winkel zwischen der Distanz d zwischen Störquelle und Störpfer und x-Achse, siehe **Fig. 1**.

Da hier nur die Erhöhung der von allen Quellen stammenden gesamten Störleistung P_{tot} gegenüber der nur von einer einzigen Störquelle im Abstand $D = 1$ stammenden Störleistung P_1 interessiert kann die von dieser einzigen Störquelle stammende Störleistung $P_1 = 1$ gesetzt werden. Im Vergleich zu P_1 beträgt die von der jeweiligen Störquelle im Punkt (x, y) stammende Störleistungsleistung im allgemeinen Fall somit $P_{xy} = \cos(\alpha)/d^2$ (*siehe Fig. 1*).

$$\text{Mit } \frac{1}{d^2} = \frac{1}{x^2 + y^2} \text{ und } \cos(\alpha) = \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + y^2}} \text{ wird } P_{xy} = \frac{1}{x^2 + y^2} \cdot \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (1)$$

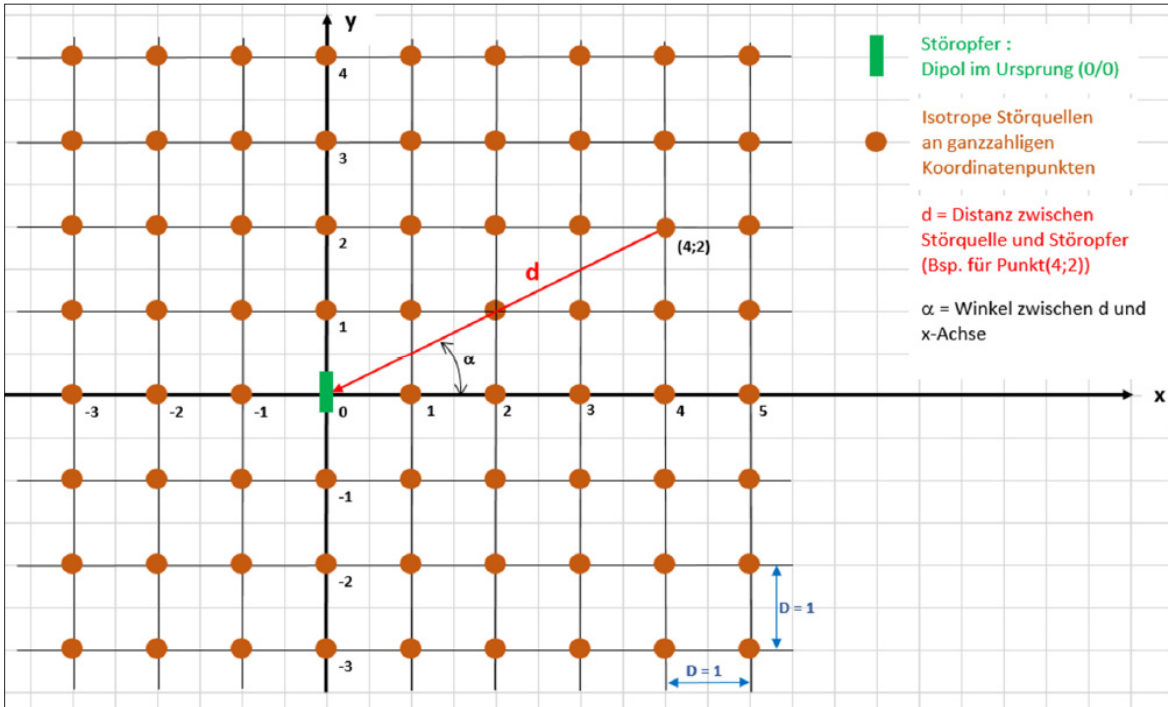


Fig. 1: Situation zur Berechnung der auf einen Dipol (auf y-Achse) einwirkenden Gesamtstörung P_{tot} bei $(2n+1)^2-1$ verteilten identischen unkorrelierten isotropen Störquellen (ebener Fall)

Für die Berechnung der gesamten Störleistung P_{tot} von allen Störquellen wird diese Berechnung nun für alle $(2n+1)^2 - 1$ Punkte im Bereich von $x = -n$ bis $x = n$ und für $y = -n$ bis $y = n$ durchgeführt (ohne Punkt (0; 0)) und die einzelnen Leistungsbeiträge addiert:

$$P_{tot} = \sum_{x=-n}^{x=+n} \sum_{y=-n}^{y=+n} P_{xy} = \sum_{x=-n}^{x=+n} \sum_{y=-n}^{y=+n} \frac{1}{x^2 + y^2} \cdot \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2)$$

Mit P_{tot} kann nun die gegenüber der nur von einer einzigen Störquelle stammenden Leistung P_1 auftretende Störungsanhebung G_n definiert werden:

$$\text{Störungsanhebung} \quad G_n = \frac{P_{tot}}{P_1} \quad \text{oder} \quad G_n \text{ (in dB)} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{tot}}{P_1} \right) \quad (3)$$

G_n kann als Faktor oder in dB angegeben werden. Mit den getroffenen Annahmen ($P_1 = 1$) ist die Störungsanhebung G_n infolge der vielen nahen Störquellen numerisch gleich wie P_{tot} .

Quadrat mit Störquellen (Abstand D = 1) von x = - n bis n und y = -n bis n				
n	Grundfläche	Anzahl Störquellen	Gn	Gn in dB
1	2 x 2 = 4	(3 x 3) - 1 = 8	3.41	5.3
2	4 x 4 = 16	(5 x 5) - 1 = 24	5.34	7.3
3	6 x 6 = 36	(7 x 7) - 1 = 48	6.65	8.2
4	8 x 8 = 64	(9 x 9) - 1 = 80	7.64	8.8
5	10 x 10 = 100	(11 x 11) - 1 = 120	8.44	9.3
6	12 x 12 = 144	(13 x 13) - 1 = 168	9.10	9.6
7	14 x 14 = 196	(15 x 15) - 1 = 224	9.67	9.9
8	16 x 16 = 256	(17 x 17) - 1 = 288	10.17	10.1
9	18 x 18 = 324	(19 x 19) - 1 = 360	10.62	10.3
10	20 x 20 = 400	(21 x 21) - 1 = 440	11.02	10.4
15	30 x 30 = 900	(31 x 31) - 1 = 960	12.57	11.0
20	40 x 40 = 1600	(41 x 41) - 1 = 1680	13.69	11.4
30	60 x 60 = 3600	(61 x 61) - 1 = 3720	15.28	11.8
60	120 x 120 = 14400	(121 x 121) - 1 = 14640	18.02	12.6

Tab. 1: Störungsanhebung bei Dipol wegen nahen unkorrelierten isotropen Störquellen

Tabelle 1 zeigt diese Störungsanhebung (oder „Multiquellen-Gewinn“) in Funktion von n. Je größer die Anzahl benachbarter Störquellen ist desto höher ist dieser Wert. Mit zunehmendem n nimmt G_n in dB zunächst relativ rasch und dann immer langsamer zu. Mit drei solcher parallelen und nahe beieinander liegenden Schichten (z.B. mit dem vertikalen Abstand 0.3 D) sind G_n -Werte bis über 17 dB möglich.

In vielen EMV-Normen werden Feldstärke-Grenzwerte für die von einer einzelnen Störquelle stammenden Störungen im Abstand von 3 m oder 10 m angegeben. Sind viele derartige Quellen vorhanden, welche gerade noch zulässige Störungen gemäss diesen Grenzwerten emittieren, kann mit dieser Störungsanhebung G_n die beim Störpfer maximal auftretende Gesamtstörung berechnet werden.

Beispiel

In CISPR 11 Ed.6 beträgt für einen Messabstand von 10 m die zulässige Feldstärke für Klasse B Geräte bei 30 MHz 30 dB μ V/m. Sind im Umkreis von 300 m um das Störpfer in einem Raster von 10 m viele derartige Geräte vorhanden, welche die Grenzwerte voll ausnützen, so wird $n = 30$ und G_n 12 dB (gemäss Tab. 1). Damit resultiert statt den gerade noch zulässigen 30 dB μ V/m von einem Einzelgerät eine Gesamtstörung von 42 dB μ V/m!

Bei vielen verteilten Störquellen wäre es sinnvoll eine **Reduktion der Grenzwerte von mindestens 10 dB** zu fordern, um den gleichen Funkschutz wie bei nur einer einzigen Quelle zu erreichen!

2.2 Annahmen und Erweiterungen für den dreidimensionalen Fall

Die Berechnungsmethode kann mit den unten angegebenen Erweiterungen der Annahmen auch für den dreidimensionalen Fall angewendet werden. Sie eignet sich besonders auch zur Abschätzung der resultierenden Gesamtstörung bei und in Gebäuden.

- Störquellen und Störpfer im xyz-Raum im dreidimensionalen Fall, Störpfer Dipol im Ursprung (0; 0; 0) auf y-Achse.
- Im dreidimensionalen Fall in vielen ganzzahligen Gitterpunkten in parallelen xy-Ebenen eine identische unkorrelierte isotrope Störquelle.
- Die Störquellen sind dabei in mehreren parallelen xy-Ebenen verteilt, die voneinander jeweils den Abstand H haben.
- H kann = 1 sein, für die Modellierung der Situation in Gebäuden können aber auch kleinere H-Werte (z.B. 0.3, 0.4 oder 0.5) sinnvoll sein.

Die Störquellen sind rauschartig, also nicht korreliert und verteilen sich auf alle Frequenzen innerhalb der Bandbreite B des am Dipol angeschlossenen Empfängers. Anstelle der Feldstärken werden deshalb die *Störleistungen der einzelnen Störquellen* überlagert (addiert). Angesichts der zunehmenden Anzahl breitbandiger Übertragungsverfahren dürfte diese Annahme ziemlich realistisch sein.

Mit obigen Annahmen ergeben sich für den dreidimensionalen Fall (ausserhalb Ursprung!):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{x^2 + y^2 + z^2} \quad \text{und} \quad \cos(\alpha) = \frac{\sqrt{x^2 + z^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$\text{Störleistung (von Punkt xyz)} \quad P_{xyz} = \frac{1}{d^2} \cos(\alpha) = \frac{1}{x^2 + y^2 + z^2} \cdot \frac{\sqrt{x^2 + z^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \quad (4)$$

α ist hier der Winkel zwischen der Distanz d zwischen Störquelle und Störpfer und der xz-Ebene. Für die Berechnung der gesamten Störleistung P_{tot} von allen Störquellen werden nun die Beiträge von allen m parallelen xy-Ebenen, auf denen sich Störquellen befinden (unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen z-Koordinaten), addiert, d.h.

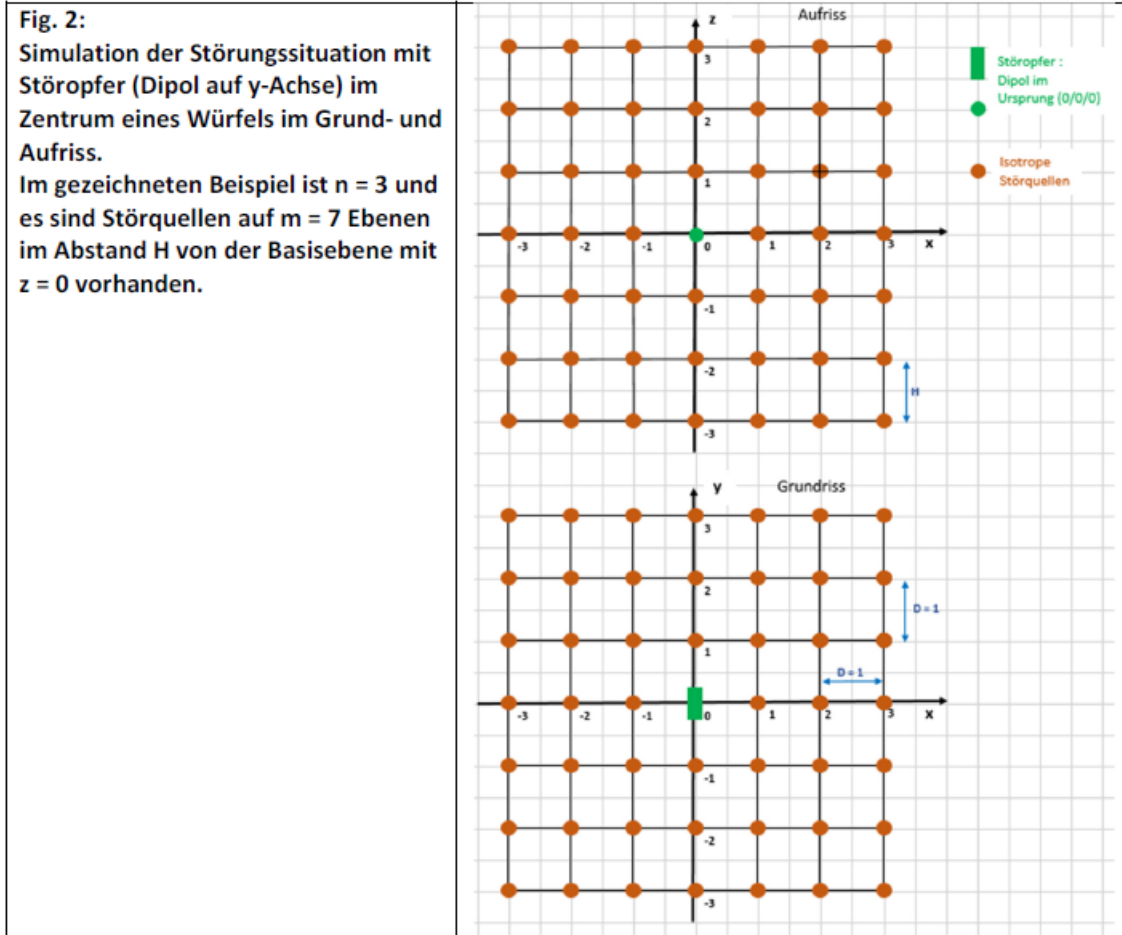
$$P_{\text{tot}} = \sum_z \sum_{x=-n}^{x=+n} \sum_{y=-n}^{y=+n} P_{xyz} \quad (5)$$

Die Anzahl m der in (5) zu berücksichtigenden xy-Parallelebenen mit ihren entsprechenden z-Koordinaten („z-Schichten“) ist dabei unabhängig von den n-Werten für die Beschreibung der Verhältnisse in den xy-Ebenen. Die Berechnung der Störungsanhebung G_n erfolgt dann wieder mit Gleichung (3).

3. Einige Beispiele für dreidimensionale Störsituationen

3.1 Gesamtstörung im Gebäudeinnern (Beispiel: Im Zentrum eines Würfels)

Als Näherung zur Situation im Innern eines Gebäudes mit sehr vielen Störquellen auf vielen (m) parallelen Ebenen soll hier exemplarisch die Störungsanhebung im Zentrum eines Würfels oder Quaders untersucht werden.



Bei einem Würfel mit $D = H = 1$ ist die Schichtzahl $m = 2n+1$. Für die Simulation der Verhältnisse in Gebäuden kann es aber zweckmässig sein H kleiner als D zu wählen. Deshalb werden hier beide Fälle untersucht.

Gesamtstörung im Zentrum eines Würfels ($D = 1$, Höheneinheit $H = 1$)					
n	Grundfläche	Störquellen / Schicht	Schichtzahl	G_n	G_n in dB
1	$2 \times 2 = 4$	$3 \times 3 = 9$	3	11.01	10.4
2	$4 \times 4 = 16$	$5 \times 5 = 25$	5	22.87	13.6
3	$6 \times 6 = 36$	$7 \times 7 = 49$	7	34.88	15.4
4	$8 \times 8 = 64$	$9 \times 9 = 81$	9	46.93	16.7
5	$10 \times 10 = 100$	$11 \times 11 = 121$	11	59.00	17.7
6	$12 \times 12 = 144$	$13 \times 13 = 169$	13	71.07	18.5
7	$14 \times 14 = 196$	$15 \times 15 = 225$	15	83.16	19.2
8	$16 \times 16 = 256$	$17 \times 17 = 289$	17	95.25	19.8
9	$18 \times 18 = 324$	$19 \times 19 = 361$	19	107.34	20.3

Tab. 2: Störungsanhebung G_n im Zentrum eines Würfels mit vielen verteilten Störquellen

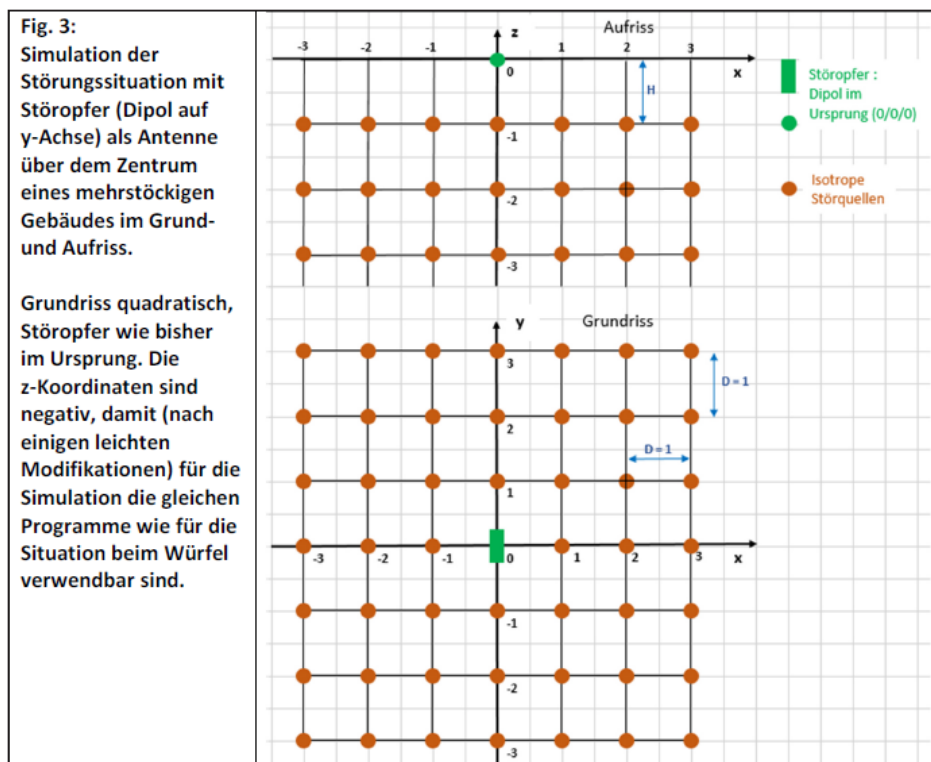
Gesamtstörung in Quader mit Quadrat-Grundriss ($D = 1$, Höheneinheit $H = 0.3$)					
n	Grundfläche	Störquellen / Schicht	Schichtzahl	G _n	G _n in dB
1	2 x 2 = 4	3 x 3 = 9	3	33.12	15.2
2	4 x 4 = 16	5 x 5 = 25	5	55.57	17.4
3	6 x 6 = 36	7 x 7 = 49	7	77.20	18.9
4	8 x 8 = 64	9 x 9 = 81	9	98.76	19.9
5	10 x 10 = 100	11 x 11 = 121	11	120.34	20.8
6	12x12 = 144	13 x 13 = 169	13	141.92	21.5
7	14x14 = 196	15 x 15 = 225	15	163.51	22.1
8	16x16 = 256	17 x 17 = 289	17	185.10	22.7
9	18x18 = 324	19 x 19 = 361	19	206.71	23.2

Tab. 3: Störungsanhebung G_n im Zentrum eines Quaders mit quadratischem Grundriss und $H = 0.3$ mit vielen verteilten Störquellen.

Mit $H = 0.3$ ist bei Gebäuden mit nicht allzu dicht verteilten Störquellen manchmal eine bessere Modellierung möglich. Wenn z.B. der Abstand der Störquellen in der xy -Ebene ($D = 1$) in Wirklichkeit 10 m beträgt entspricht $H = 0.3$ einer Geschosshöhe von 3 m, was in der Praxis näherungsweise oft vorkommen dürfte. Die in den **Tab. 2** und **Tab. 3** gezeigten Werte dürften typisch für die Situation in Gebäuden mit vielen verteilten Störquellen sein.

Es fällt auf, dass die Störungsanhebung G_n schon für $H = 1$ recht gross ist. Schon für geringe Schicht- oder Geschosshöhen m werden rasch Werte von 15 dB und mehr erreicht. Für $H = 0.3$ steigt G_n wegen der grösseren Störquellendichte für $m > 8$ sogar auf Werte von etwa 20 dB und mehr (*siehe Tab. 3*).

3.2 Gesamtstörung bei Antennen auf dem Dach eines Gebäudes



Die Situation in **Fig. 3** mit einer Antenne über einem Gebäude ist typisch für feste Funkdienste oder Amateurfunkstationen. Die darin gezeichnete Geschosshöhe $m = 3$ und der in **Kap. 3.2.1** behandelte Fall dürfte typisch für Antennen auf dem Dach von Einfamilienhäusern sein, wenn $H = 0.3$ gewählt wird. Es wird danach aber auch der Fall mit $m = 6$ untersucht, der für Mehrfamilienhäuser repräsentativ sein dürfte.

3.2.1 Antenne auf dem Dach eines Gebäudes mit 3 Stockwerken

Gebäude mit 3 Geschossen, in der Mitte Antenne mit 1 Höheneinheit (H=1) über Dach				
n	Grundfläche	Störquellen / Stockwerk	G _n	G _n in dB
1	2 x 2 = 4	3 x 3 = 9	6.26	8.0
2	4 x 4 = 16	5 x 5 = 25	10.62	10.3
3	6 x 6 = 36	7 x 7 = 49	14.11	11.5
4	8 x 8 = 64	9 x 9 = 81	16.94	12.3
5	10 x 10 = 100	11 x 11 = 121	19.28	12.9

Gebäude mit 3 Geschossen, in der Mitte Antenne mit 2 Höheneinheiten (H=1) über Dach				
n	Grundfläche	Störquellen / Stockwerk	G _n	G _n in dB
1	2 x 2 = 4	3 x 3 = 9	2.97	4.7
2	4 x 4 = 16	5 x 5 = 25	6.13	7.9
3	6 x 6 = 36	7 x 7 = 49	9.05	9.6
4	8 x 8 = 64	9 x 9 = 81	11.60	10.6
5	10 x 10 = 100	11 x 11 = 121	13.80	11.4

Tab. 4: Störungsanhebung G_n bei einer Antenne mit einer und zwei Höheneinheiten (mit je $H=1$) über dem Dach eines Gebäudes mit $m = 3$ Stockwerken mit vielen verteilten Störquellen

Gebäude mit 3 Geschossen, in der Mitte Antenne mit 1 Höheneinheit (H=0.3) über Dach				
n	Grundfläche	Störquellen / Stockwerk	G _n	G _n in dB
1	2 x 2 = 4	3 x 3 = 9	25.37	14.0
2	4 x 4 = 16	5 x 5 = 25	31.26	15.0
3	6 x 6 = 36	7 x 7 = 49	35.27	15.5
4	8 x 8 = 64	9 x 9 = 81	38.29	15.8
5	10 x 10 = 100	11 x 11 = 121	40.70	16.1

Gebäude mit 3 Geschossen, in der Mitte Antenne mit 2 Höheneinheiten (H=0.3) über Dach				
n	Grundfläche	Störquellen / Stockwerk	G _n	G _n in dB
1	2 x 2 = 4	3 x 3 = 9	13.64	11.3
2	4 x 4 = 16	5 x 5 = 25	19.39	12.9
3	6 x 6 = 36	7 x 7 = 49	23.37	13.7
4	8 x 8 = 64	9 x 9 = 81	26.39	14.2
5	10 x 10 = 100	11 x 11 = 121	28.81	14.6

Tab.5: Störungsanhebung G_n bei einer Antenne mit einer und zwei Höheneinheiten (mit je $H=0.3$) über dem Dach eines Gebäudes mit $m = 3$ Stockwerken mit vielen verteilten Störquellen

Bei einem Gebäude mit 3 Geschossen und $H = 1$ liegen die G_n -Werte bei einer Antennenhöhe von einer Höheneinheit zwischen etwa 8 dB und 13 dB (siehe Tab. 4). Wenn die Antennenhöhe bei $H = 1$ dagegen zwei Höheneinheiten beträgt sind die G_n -Werte wegen der grösseren Distanz zu den Störquellen etwas tiefer und liegen zwischen ungefähr 5 dB und 11 dB.

Wenn bei einem Gebäude mit 3 Geschossen dagegen $H = 0.3$ beträgt ist der Abstand zu den meisten Störquellen deutlich geringer, d.h. die Auswirkungen der Störungen und damit G_n sind deutlich höher.

Bei einer Antennenhöhe von einer Höheneinheit liegt G_n zwischen etwa 14 dB und 16 dB, bei einer Antennenhöhe von 2 Höheneinheiten immerhin noch zwischen etwa 11 dB und 14 dB (siehe Tab. 5).

3.2.2 Antenne auf dem Dach eines Gebäudes mit 6 Stockwerken

Bei einem Gebäude mit 6 Geschossen sind die Störungen bei sonst gleichen Dimensionen und gleicher Antennenhöhe etwas höher als bei dreistöckigen Gebäuden weil mehr Störquellen wirksam sind.

Gebäude mit 6 Geschossen, in der Mitte Antenne mit 1 Höheneinheit (H=1) über Dach				
n	Grundfläche	Störquellen / Stockwerk	G _n	G _n in dB
1	2 x 2 = 4	3 x 3 = 9	7.3467	8.7
2	4 x 4 = 16	5 x 5 = 25	13.2778	11.2
3	6 x 6 = 36	7 x 7 = 49	18.5975	12.7
4	8 x 8 = 64	9 x 9 = 81	23.2708	13.7
5	10 x 10 = 100	11 x 11 = 121	27.3703	14.4

Gebäude mit 6 Geschossen, in der Mitte Antenne mit 2 Höheneinheiten (H=1) über Dach				
n	Grundfläche	Störquellen / Stockwerk	G _n	G _n in dB
1	2 x 2 = 4	3 x 3 = 9	3.72865	5.7
2	4 x 4 = 16	5 x 5 = 25	8.042418	9.1
3	6 x 6 = 36	7 x 7 = 49	12.4057	10.9
4	8 x 8 = 64	9 x 9 = 81	16.4917	12.2
5	10 x 10 = 100	11 x 11 = 121	20.2203	13.1

Tab. 6: Störungsanhebung G_n bei einer Antenne mit einer und zwei Höheneinheiten (mit je H=1) über dem Dach eines Gebäudes mit m = 6 Stockwerken mit vielen verteilten Störquellen

Gebäude mit 6 Geschossen, in der Mitte Antenne mit 1 Höheneinheit (H=0.3) über Dach				
n	Grundfläche	Störquellen / Stockwerk	G _n	G _n in dB
1	2 x 2 = 4	3 x 3 = 9	32.77	15.2
2	4 x 4 = 16	5 x 5 = 25	43.74	16.4
3	6 x 6 = 36	7 x 7 = 49	51.57	17.1
4	8 x 8 = 64	9 x 9 = 81	57.56	17.6
5	10 x 10 = 100	11 x 11 = 121	62.38	18.0

Gebäude mit 6 Geschossen, in der Mitte Antenne mit 2 Höheneinheiten (H=0.3) über Dach				
n	Grundfläche	Störquellen / Stockwerk	G _n	G _n in dB
1	2 x 2 = 4	3 x 3 = 9	19.41	12.9
2	4 x 4 = 16	5 x 5 = 25	29.81	14.7
3	6 x 6 = 36	7 x 7 = 49	37.48	15.7
4	8 x 8 = 64	9 x 9 = 81	43.42	16.4
5	10 x 10 = 100	11 x 11 = 121	48.23	16.8

Tab. 7: Störungsanhebung G_n bei einer Antenne mit einer und zwei Höheneinheiten (mit je H = 0.3) über dem Dach eines Gebäudes mit m = 6 Stockwerken mit vielen verteilten Störquellen

Bei Gebäuden mit 6 Geschossen sind die G_n-Werte wegen der grösseren Anzahl Störquellen bei sonst gleichen Bedingungen um etwa 1 dB bis 3 dB höher als in einem Gebäude mit 3 Geschossen.

Bei einem Gebäude mit 6 Geschossen und H = 1 liegen die G_n-Werte bei einer Antennenhöhe von einer Höheneinheit zwischen etwa 9 dB und 14 dB (siehe **Tab. 6**). Wenn die Antennenhöhe bei H = 1 dagegen zwei Höheneinheiten beträgt, sind die G_n-Werte wegen der grösseren Distanz zu den Störquellen etwas tiefer und liegen zwischen etwa 6 dB bis 13 dB.

Wenn bei einem Gebäude mit 6 Geschossen dagegen H = 0.3 beträgt ist der Abstand zu den Störquellen deutlich geringer, d.h. die Auswirkungen der Störungen und damit G_n sind deutlich höher. Bei einer Antennenhöhe von einer Höheneinheit liegt G_n zwischen etwa 15 dB und 18 dB, bei einer Antennenhöhe von 2 Höheneinheiten immerhin noch zwischen etwa 13 dB und 17 dB (siehe **Tab.7**).

4. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde auf Grund der durchgeführten Simulationen sowohl im zweidimensionalen als auch im dreidimensionalen Fall gezeigt, dass beim Auftreten von vielen verteilten, nahen Störquellen eine wesentliche Anhebung des generellen Störniveaus erfolgt. Schon bei relativ wenigen benachbarten Störern können Störungsanhebungen von 6 dB bis 10 dB auftreten, in und um Gebäuden mit vielen Störquellen sogar bis 20 dB und mehr. Dies wird heute auch bei Messungen im Feld und im realen Funkbetrieb in der Praxis immer wieder festgestellt.

Die heute verwendeten EMV-Emissionsnormen basieren meist auf veralteten Annahmen (ein Störopfer [AM-Rundfunkempfänger] mit einer einzigen benachbarten Störquelle, keine breitbandigen Störungen). Zudem handelt es sich bei den heutigen Störern oft nicht mehr um sporadische Störer mit Störungen auf einzelnen Harmonischen, die nur zeitweise im Betrieb sind sondern um Dauerstörer (z.B. xDSL, PLC), die breitbandig stören und dauernd, mindestens aber den ganzen Tag (PV-Anlagen), die ganze Nacht (Beleuchtungen) oder oft unregelmässig viele Stunden lang (Ladegeräte) im Betrieb sind.

Die in heutigen verwendeten EMV-Normen („seit vielen Jahren bewährt“) berücksichtigen diese Tatsachen kaum. Sie sind primär auf sporadische Einzelstörungen fokussiert und berücksichtigen bei ihren Grenzwerten nicht die mögliche Worst-Case Situation sondern geben oft massive Erleichterungen auf Grund von Wahrscheinlichkeitsüberlegungen (Unwahrscheinlichkeit grosser Störquellendichte, Unwahrscheinlichkeit, dass Störer und Störopfer gleichzeitig in Betrieb sind und zudem zufällig auf gleicher Frequenz arbeiten). Die Störquellendichte ist inzwischen aber stark gestiegen, denn ein heutiger Haushalt verfügt typisch über >10 dauernd im Betrieb stehende, dauernd am Netz (und oft auch an anderen Leitungen) angeschlossene Geräte mit intern schaltender Elektronik, die zudem häufig mit breitbandigen Signalen arbeiten. Die in vielen Normen auf Grund von Wahrscheinlichkeitsüberlegungen enthaltenen Erleichterungen bei den Grenzwerten tragen der heutigen Realität nicht mehr genügend Rechnung. Viele heutige „seit vielen Jahren bewährte“ EMV-Emissionsnormen sind deshalb in Wahrheit überholt und die darin enthaltenen Grenzwerte müssten zur Gewährleistung eines gleichen Funkenschutzes wie früher deutlich reduziert werden. Dies gilt nicht nur für Grenzwerte von Feldstärken sondern auch für geleitete Störungen in allen Frequenzbereichen > 150 kHz, mindestens aber für > 3 MHz, wo bereits relativ kurze angeschlossene Kabel oder Leitungen als Antennen wirken können. ■

Konsequenz

Bei der heutigen Situation mit oft kumulierten Störungen aus vielen verteilten Störquellen nahe bei Störopfern sollten die Grenzwerte um mindestens 10 dB (oder besser um 12 dB) reduziert werden, um den gleichen Funkenschutz für empfindliche Verbindungen via Radio wie früher zu erreichen.