

Störfeldstärkeuntersuchungen an Zweidrahtleitungen und Netzen bis 30 MHz

1 Einleitung

Die vorliegenden Ergebnisse präsentieren eine Reihe numerischer Störfeldstärkeuntersuchungen an verschiedenen Netzstrukturmodellen, bei denen die Störfeldstärke ($\vec{E}; \vec{H}$) jeweils im Abstand von 3 m für die Frequenzen 1 MHz, 3 MHz, 10 MHz, 20 MHz und 30 MHz berechnet wurde. Ziel der Untersuchungen war, Aussagen über das Abstrahlungsverhalten der Netzstrukturen in Abhängigkeit ihrer verschiedenen geometrischen Strukturen sowie der Art der verschiedenen Netzabschlüsse zu erhalten.

2 Netzstruktur und Modellvarianten

Die untersuchten Netzstrukturen bestehen entweder aus nur einer Netzleitung (Hautleitung) oder aus der Netzleitung, an die wahlweise Licht- oder Stichleitungen angeschlossen sind. Die Netzstrukturen sind in 1 m Höhe über idealem ground positioniert. Die Netzleitung hat immer eine Länge von 16 m, mit einer Verdrillung von ca. 4 Schlägen je Meter. Die Licht- bzw. Stichleitung hat jeweils insgesamt eine Länge von 8 m, jeweils 4 m links und rechts quer zur Netzleitung bei gleicher Verdrillung wie die Netzleitung. Die Licht- bzw. Stichleitungen wurden immer 12 m nach der Einspeisung an der Netzleitung angeschlossen. Die Feldstärken wurden 3 m über der Netzstruktur, also 4 m über ground, ermittelt

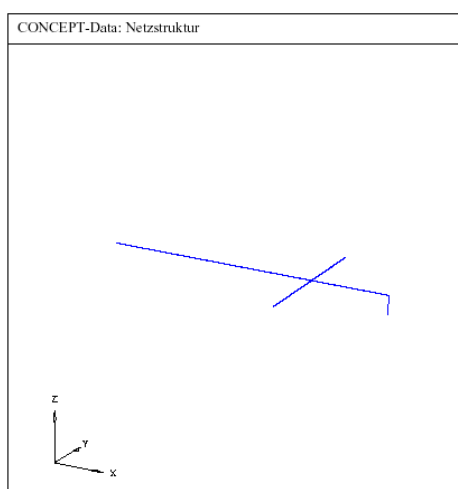


Bild 1 Netzstruktur bestehend aus 1 Netz- und 2 Stichleitungen

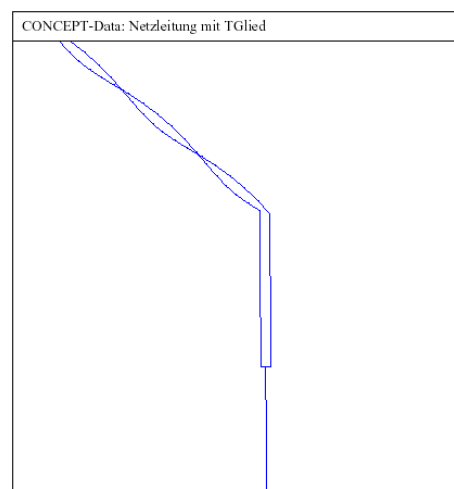


Bild 2 Netzleitung mit T- Glied als Abschluss

2.1 Einspeisung und Abschlüsse

Einspeisung und Abschluss der Netzleitung

Die Einspeisung erfolgte grundsätzlich symmetrisch an der Netzleitung. Abgeschlossen wurde die Netzleitung nach 16 m mit einem T-Glied nach ground, gemäß Bild 2 und Bild 3. Hierin bilden R_A und R_B die Impedanzen, mit denen wahlweise ein symmetrischer ($R_A=R_B=150 \Omega$) bzw., unsymmetrischer Abschluss ($R_A=100 \Omega$ und $R_B=200 \Omega$) zwischen den Adern **A** und **B** gebildet werden kann. R_C dient zum wellenwiderstandsgerechten Abschluss der common mode impedance der Netzleitung und betrug in allen Rechnungen 455Ω .

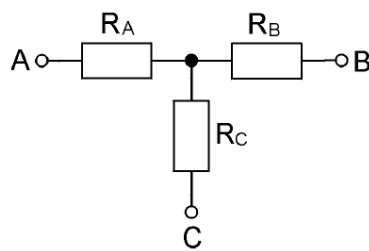


Bild 3 T-Glied als Abschluß der Netzleitung

Für den Fall des unsymmetrischen Abschlusses ($R_A=100 \Omega$; $R_B=200 \Omega$; $Z=300 \Omega$; $R_C=455 \Omega$) ergibt sich gemäß der nachfolgenden Formel ein LCL Wert von 24 dB.

$$LCL_T = 20 \log_{10} \left| \frac{2Z + 4R_C}{|R_B - R_A|} - \frac{|R_B - R_A|}{2Z} \right|$$

Abschlüsse der Licht- und Stichleitungen

Bei einigen Variante wurde eine Lichtleitung parallel an die Netzleitung angeschlossen, wobei sich an einem Ende der Lichtleitung ein Schalter ($0,1 \Omega$ für geschlossen; $0,1 \text{ pF}$ für offen) befindet und am anderen Ende ist in Reihe zum Schalter ein 60 W Verbraucher (800Ω) angeschlossen. Sind die Querleitungen Stichleitungen, werden beide parallel an die Netzleitung angeschlossen. Hier bleibt eine Stichleitung quasi als „Steckdose“ offen. Die gegenüberliegende Stichleitung wird an ihrem Ende mit einem 60 W Verbraucher (800Ω) belastet.

2.2 Modellvarianten

Einfache Zweidrahtleitung (TK-Netz)

- (A) symmetrisch belastete, wellenwiderstandsgerecht abgeschlossene Zweidrahtleitung ohne Licht- oder Stichleitung, wie sie im Niederspannungsnetz oder TK-Netz Verwendung findet
- (B) wie (A), jedoch unsymmetrisch belastet

Netze mit Lichtleitung

- (C) Erweiterung von (A) zu einem Netz, bestehend aus einer Netz- und Lichtleitung, wobei in der Lichtleitung eine 60 W Lampe und ein offener Schalter in Reihe geschaltet sind
- (D) wie (C), jedoch mit geschlossenem Schalter
- (E) wie (C), jedoch mit unsymmetrisch belasteter Netzleitung
- (F) wie (D), jedoch mit unsymmetrisch belasteter Netzleitung

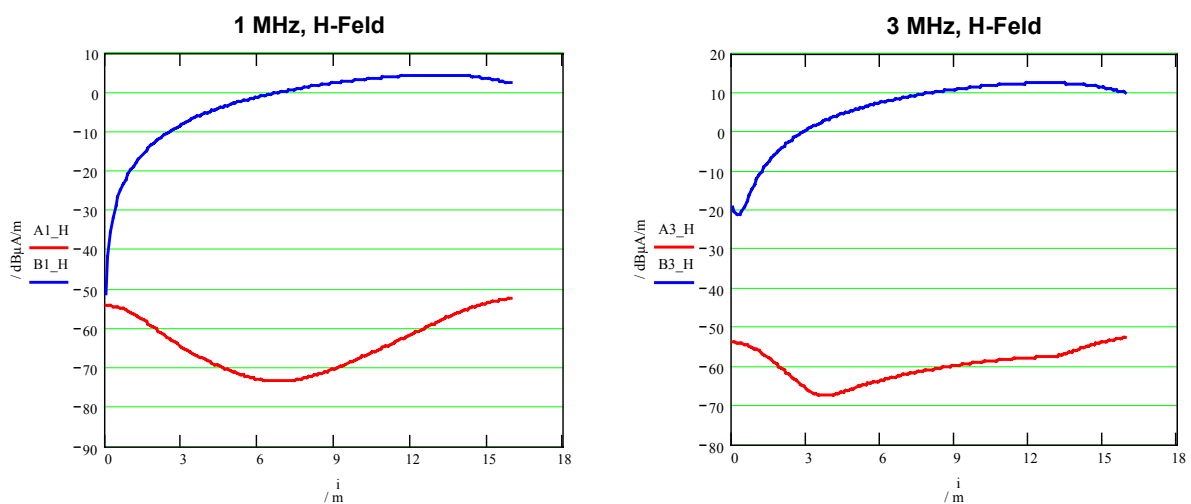
Netze mit Stichleitung

- (G) symmetrisch belastete Netzleitung mit 2 parallel geschalteten Stichleitungen belastet mit einer Steckdose (offen, 0,1 pF) und einer 60 W Last (800 Ohm)
- (H) symmetrisch belastete Netzleitung mit 2 parallel geschalteten, symmetrisch belasteten Stichleitungen (TK-Netz)

3 Ergebnisse

3.1 Zweidrahtleitung (TK-Netz)

Die Ergebnisse der magnetischen Feldstärkeberechnungen für die Varianten (A), und (B), sind in den nachfolgenden Diagrammen dargestellt. Die Berechnung (B) zeigt das Verhalten einer einfachen Zweidrahtleitung, die mit einem 24 dB-LCL–T-Glied belastet ist. Beim Vergleich der Varianten (A) und (B) wird deutlich, dass ein unsymmetrisch belastetes Netz, um ca. 50-70 dB höhere Feldstärken als eine nahezu ideale, symmetrisch belastete Zweidrahtleitung generiert.



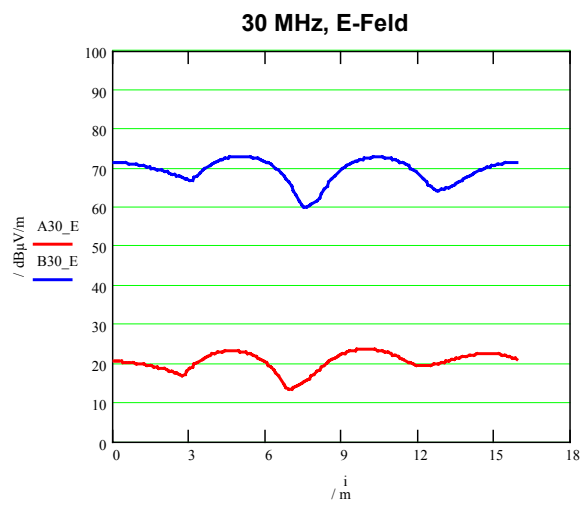
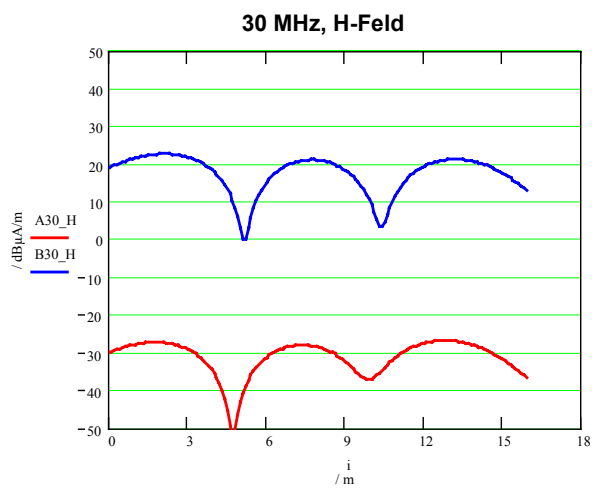
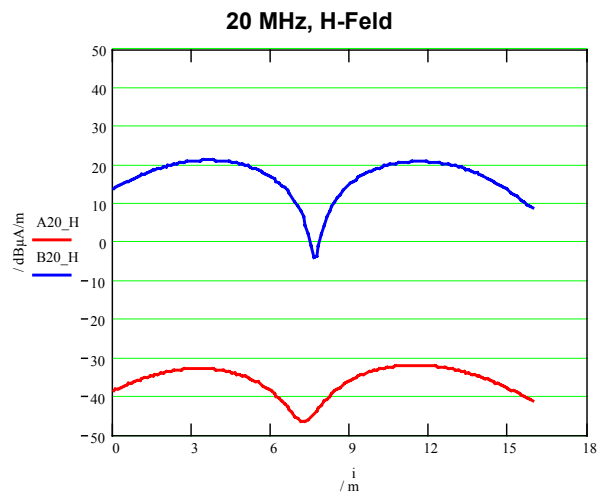
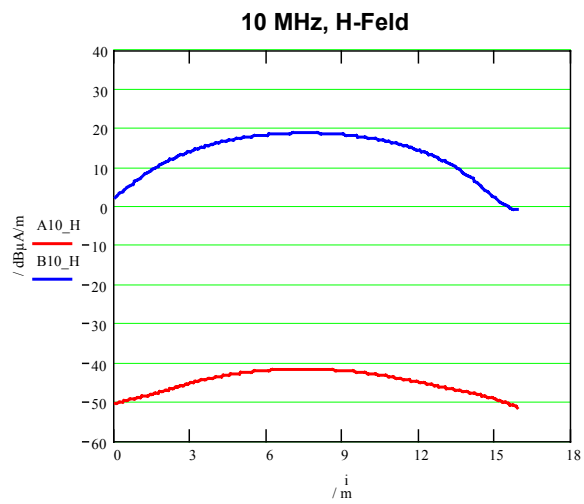


Bild 4 magnetische Störfeldstärke einer Zweidrahtleitung in Abhängigkeit ihrer Abschlußimpedanz bei verschiedenen Frequenzen, elektrische Störfeldstärke liefert vergleichbare Ergebnisse wie das Bsp. bei 30 MHz zeigt

3.2 Netz mit Lichtleitung

Die Berechnungen (C) bis (F) zeigen, dass bei einem Netz, nahezu unabhängig von seiner Belastung, Störfeldstärke erzeugt wird, die gleich und bei höheren Frequenzen größer der, durch die Leitung (B) erzeugten ist.

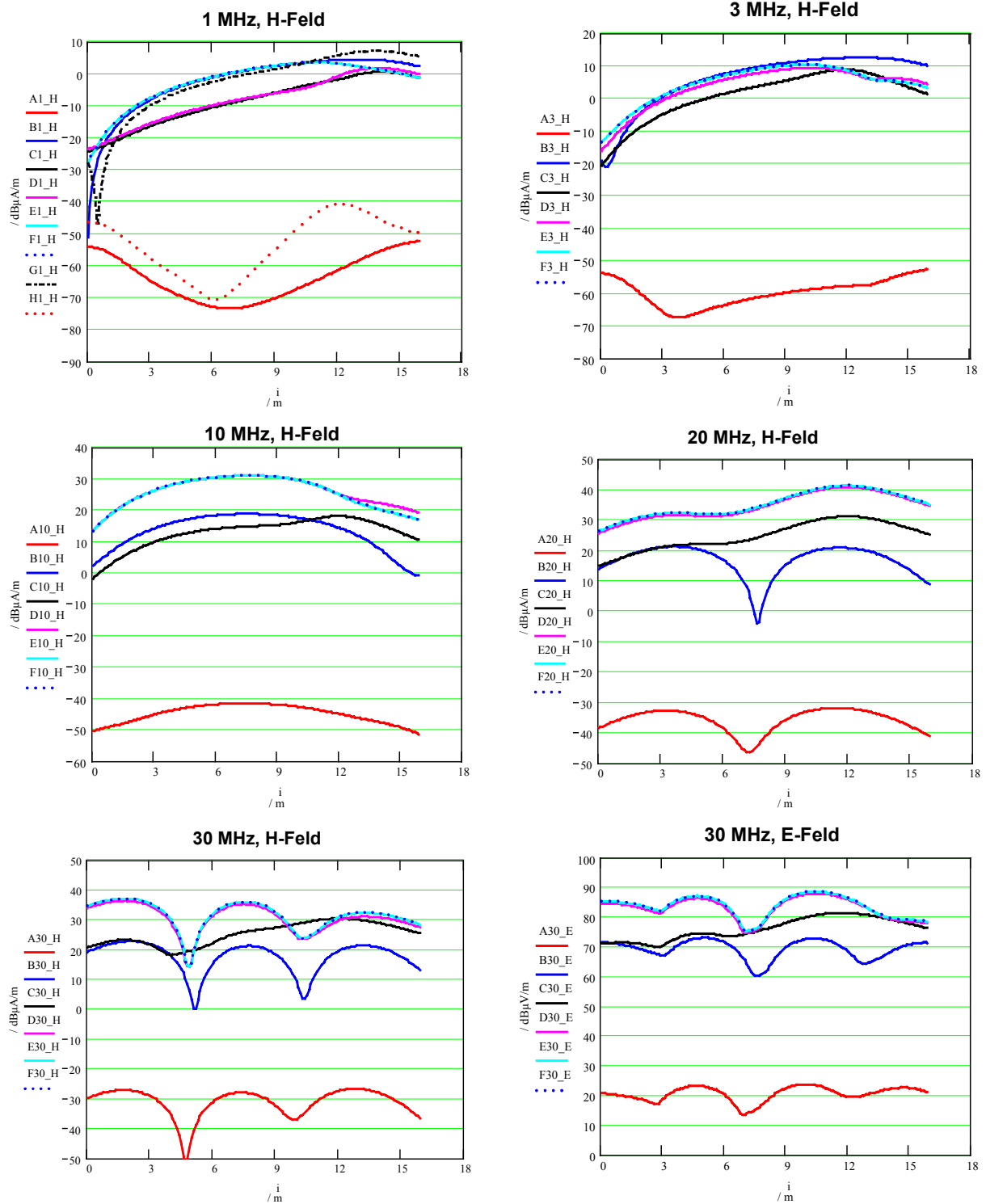


Bild 5 magnetische Störfeldstärke einer einfachen Zweidrahtleitung sowie einer Netzstruktur mit einer Lichtleitung in Abhängigkeit ihrer Abschlußimpedanz bei verschiedenen Frequenzen, elektrische Störfeldstärke liefert vergleichbare Ergebnisse wie das Bsp. bei 30 MHz zeigt

3.3 Netze mit Stichleitungen

Ebenso wie die Lampenschaltung beeinflussen die Stichleitungen mit Verteilerdosen bzw. mit ohmscher Last als Belastung der Stichleitung die Störstrahlung des Netzes, jedoch mit geringerer Wirkung als bei der Lichtleitung.

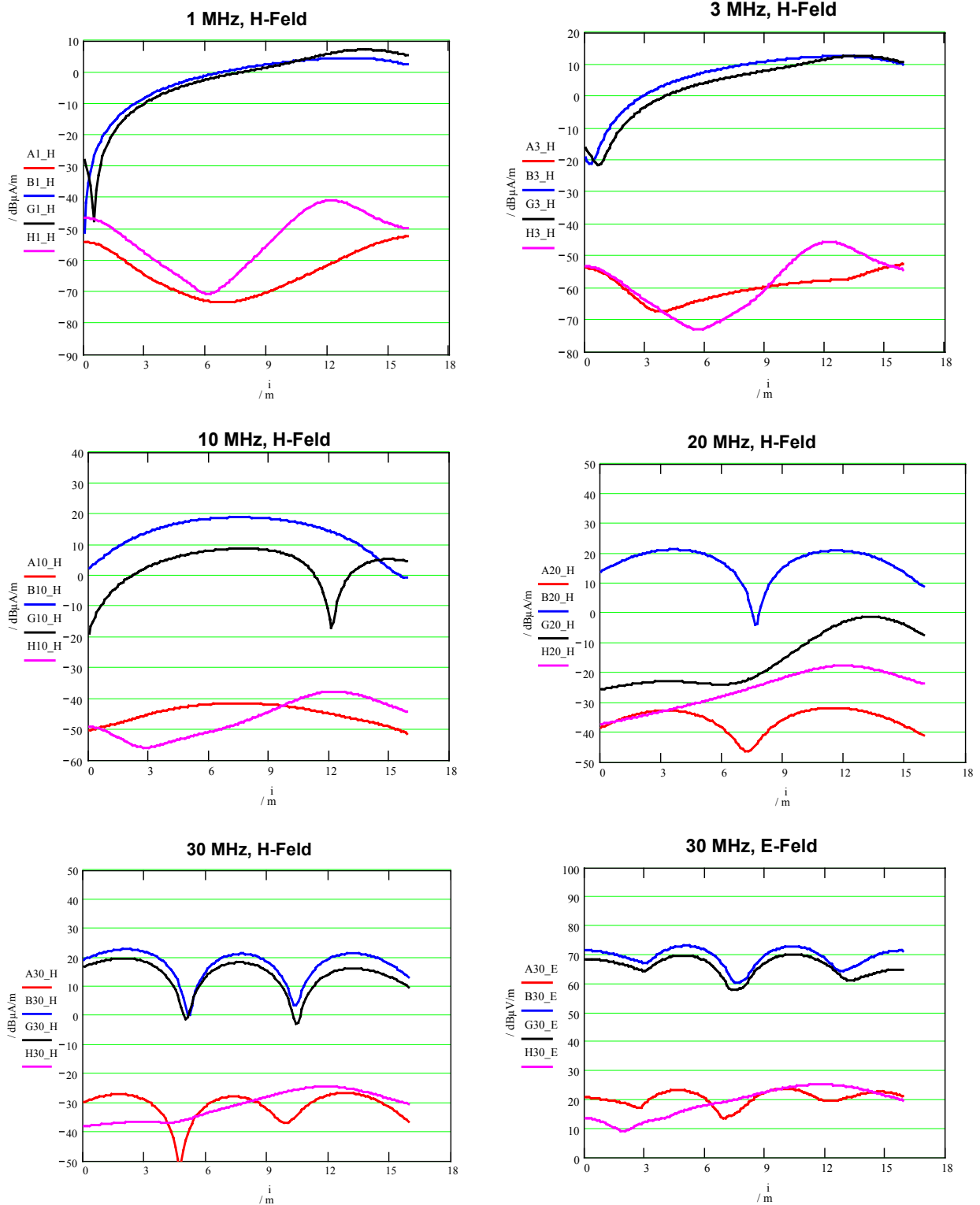


Bild 6 magnetische Störfeldstärke einer einfachen Zweidrahtleitung sowie einer Netzstruktur mit Stichleitungen in Abhängigkeit ihrer Abschlußimpedanz bei verschiedenen Frequenzen, elektrische Störfeldstärke liefert vergleichbare Ergebnisse wie das Bsp. bei 30 MHz zeigt

4 Schlussfolgerung

Der Vergleich der Ergebnisse der Varianten (A) und (B) sowie (G) und (H) zeigt sehr deutlich, dass sobald die Symmetrie der Leitungsabschlüsse gestört ist, wie sie in der Praxis wohl am häufigsten vorzufinden ist, die Netzstruktur erhebliche höhere Störstrahlung generiert. In diesem Fall wird die Größe der Störstrahlung durch die geometrische Netzstruktur (die Länge der strahlenden Leitung bezogen auf die Frequenz) bestimmt, wie aus den Rechnungen (E) bis (F) hervorgeht.

Demzufolge ist bei einem Niederspannungsnetz aufgrund der vorhandenen „Lampenschaltungen“ mit einer höheren Störfeldstärke zu rechnen, als bei TK-Netzen, da in diesen Fällen die Symmetrie der Netzstruktur naturbedingt gestört ist.

Die Analyse der Ergebnisse aus der Berechnung der elektrischen Feldstärke führt zu gleichen Erkenntnissen.