

**Sicherer Umgang mit elektrischen
Sprengzündern im Bereich hochfrequenter
elektrischer Felder**

Autoren:

**Dipl.-Ing. Vargek-Ipša Julia
Univ.Prof.Dipl.-Ing. Dr.mont. Peter Moser**

Leoben, März 2008

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Ziel der Untersuchung.....	1
3.	Zusammenfassung.....	2
3.1.	Literaturrecherche.....	2
3.2.	Ergebnis der Versuche.....	4
3.3.	Zusammenfassende Empfehlungen.....	4
4.	Überblick über die Literaturrecherche.....	5
4.1.	Allgemeines.....	5
4.2.	Sprengarbeitenverordnung Österreich.....	5
4.3.	Leitfaden zur Verhinderung des unbeabsichtigten Auslösens einer Zündeinrichtung mit Brückendraht durch hochfrequente Strahlung.....	6
4.4.	Unfallverhütungsvorschrift „Sprengarbeiten“, Einlegeblatt zu den Durchführungsanweisungen zur UVV in Deutschland.....	8
4.5.	Verknüpfung Technical Report und UVV Deutschland.....	9
5.	Versuche mit elektrischen Zündern in hochfrequenten Feldern.....	14
6.	Anleitung zur Ermittlung der Sicherheitsabstände.....	17
6.1.	Allgemeine Ermittlung.....	17
6.2.	Berechnung des Mindestabstandes für Frequenzen < 30 MHz.....	18
6.3.	Berechnung des Mindestabstandes r_M für Frequenzen > 30 MHz.....	19
6.4.	Ermittlung der Mindestabstände über die Feldstärke.....	20
7.	Literaturverzeichnis.....	21

1. Einleitung

Weltweit werden bei Sprengarbeiten im überwiegenden Fall nicht elektrische Zünder und im zunehmenden Ausmaß auch elektronische Zünder verwendet werden. In Österreich werden aber nach wie vor im überwiegenden Ausmaß elektrische Zünder eingesetzt.

Eine Gefahr, welche bei der Verwendung von elektrischen Zündern auftreten kann, ist deren Beeinflussung durch hochfrequente elektromagnetische Wellen. Hochfrequente elektromagnetische Wellen treten in vielen Bereichen auf, unter anderem bei der Verwendung von Mobiltelefonen, Funkgeräten und in der Nähe von Sendestationen.

Aus Berichten über Sprengunfälle ist zu entnehmen, dass es immer wieder zu ungeklärten Umsetzungen (Frühzündungen) von elektrischen Zündern kommt. Ob diese Frühzündungen mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen in Verbindung standen ist offen.

2. Ziel der Untersuchung

Die Ziele und Aufgabenstellungen der Untersuchungen im Rahmen der gegenständlichen Studie waren wie folgt:

- *Recherchieren in der technischen Fachliteratur im Hinblick auf Berichte und Publikationen zum Thema ungeplante Umsetzung bzw. Frühzündung von elektrischen Zündern*
- *Zusammenstellung der Berichte über das Umsetzen von elektrischen Zündern in hochfrequenten Feldern*
- *Zusammenstellung von bereits vorhandenen gesetzlichen Regelungen, welche das Verwenden von elektrischen Zündern in hochfrequenten Feldern regeln*
- *Zusammenfassender Bericht auf Basis der ausgewerteten Literatur im Hinblick auf das Risiko des Umsetzens von elektrischen Zündern in hochfrequenten Feldern*
- *Planung von Experimenten zur Zündung von elektrischen Zündern in hochfrequenten Feldern, auf der Basis der ausgearbeiteten Literatur*
- *Durchführen von einzelnen Experimenten mit Sprengzündern zur gezielten und planmäßigen Umsetzung von elektrischen Zündern durch hochfrequente Felder*
- *Zusammenfassender Bericht über die Ergebnisse der Experimente, insbesondere im Hinblick auf die mögliche Zündung von elektrischen Zündern durch hochfrequente Felder*
- *Vergleich der in den Experimenten verwendeten Energie der hochfrequenten elektrischen Felder mit den Energien hochfrequenter Felder, welche durch Mobiltelefone bzw. Funkanlagen aufgebaut werden*
- *Zusammenfassender und abschließender Bericht aufbauend auf der analysierten Literatur und den durchgeführten Experimenten im Hinblick auf das Zünden von elektrischen Zündern durch hochfrequente Felder.*

Als Ergebnis soll eine Dokumentation vorgelegt werden, in welcher jene Umstände festgehalten sind, bei denen eine Umsetzung elektrischer Zünder durch hochfrequente Strahlung ausgeschlossen werden kann. Des Weiteren sollen Verhaltensregeln ausgearbeitet werden, die die sichere Anwendung elektrischer Zünder im Bereich hochfrequenter Felder regeln sollen.

Für die Untersuchung wurde zum einen eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Zum anderen wurden Versuche zur Zündung elektrischer Zünder in hochfrequenten Feldern durchgeführt.

3. Zusammenfassung

3.1. Literaturrecherche

Im Rahmen der Literaturrecherche wurde kein einziger direkter Hinweis auf Unfälle mit elektrischen Zündern verursacht durch hochfrequente elektromagnetische Wellen gefunden. Mündlich kolportierte Berichte über das Auslösen von elektrischen Zündern durch Mobiltelefone konnten nicht verifiziert werden.

Im Zuge der Literaturrecherche wurde als wesentlichster Bericht ein Technischer Report (im weiteren Text als TR abgekürzt) von CENELEC (CLC/TR 50426:2004) [8] gefunden, der sich ausführlich mit dem Thema elektrischer Zünder in hochfrequenten Feldern befasst. Aufgrund der Ausführlichkeit dieses Berichtes und der Komplexität der darin enthaltenen Berechnungen kann dieser TR nicht direkt für eine einfache und schnelle Abschätzung von Sicherheitsabständen elektrischer Zünder zu hochfrequenten Strahlungsquellen herangezogen werden.

In Deutschland befasst sich die Unfallverhütungsvorschrift „Sprengarbeiten“ [3] ergänzt durch ein Einlegeblatt mit Durchführungsanweisungen in der Fassung vom 1. Jänner 1997 – Fassung April 2007 [6] (im weiteren Text mit UVV abgekürzt), im § 28 mit dem Einfluss von Hochfrequenzenergien auf Sprengzünder. Dieser Anweisung ist zu entnehmen, wie Sicherheitsabstände für elektrische Zünder von hochfrequenten Strahlungsquellen auf eine schnelle und einfache Art berechnet werden können. Die in der UVV dargestellten Formeln stammen dem Ursprung nach aus dem TR.

Demnach gelten als generelle Formeln für die Berechnung des erforderlichen Sicherheitsabstandes von elektrischen Zündern zu hochfrequenten Feldern folgende Formeln:

$$r = 3 * \sqrt{EIRP}$$

Gleichung 1: Ermittlung des Sicherheitsabstandes r bei Frequenzen < 30 MHz

$$r = \frac{90}{f} * \sqrt{EIRP}$$

Gleichung 2: Ermittlung des Sicherheitsabstandes bei Frequenzen > 30 MHz

- r Sicherheitsabstand in m
- EIRP wirksame Strahlungsleistung in Watt
- f Frequenz in MHz

Danach gelten in Abhängigkeit von Frequenzen und Sendeleistung folgende Mindestabstände:

EIRP	f						
	[MHz]						
	> 0,1 - 1,5	> 1,5 - 10	> 10 - 30	> 30 - 100	> 100 - 500	> 500 - 1000	> 1,5 GHz
> 0,1 - 0,5 W	2	2	3	2	1	1	1
> 0,5 - 1 W	3	3	4	3	1	1	1
> 1 - 5 W	6	3	8	5	2	1	1
> 5 - 20 W	15	6	15	10	4	1	1
> 20 - 100 W	30	15	35	25	8	2	1
> 100 W - 1 kW	85	40	100	70	30	6	3
> 1 - 10 kW	270	120	330	210	80	20	10
> 10 - 100 kW	850	400	1000	660	260	60	30
> 100 - 400 kW	1700	750	2000	1320	510	120	60
> 400 kW - 1 MW	2600	1200	3200	2100	800	180	95
> 1 MW - 3 MW	4500	2000	5500	3610	1400	310	160

Tabelle 1: Sicherheitsabstände r in Meter aus der UVV bei der Verwendung von U Zündern

Faustformeln stellen eine Möglichkeit dar, Sicherheitsabstände einfach und schnell abzuschätzen. Es ist dazu anzumerken, dass es sich dabei um eine einfache Art handelt, Sicherheitsabstände zu ermitteln. Kommt es aber zu Unsicherheiten bei der Bestimmung der Mindestabstände, wie z.B. durch Fehlen von Senderdaten oder wenn sich mehrere Sender im Nahbereich befinden, dann ist ein Fachmann für hochfrequente Strahlung hinzuzuziehen und die Sicherheit elektrischer Zünder ist dann durch eine genaue Berechnung über die Feldstärken zu ermitteln. Des Weiteren ist anzumerken, dass alle ermittelten Werte für das Fernfeld gelten. Nach Expertenmeinung ist es sehr schwierig die Grenze zwischen Nahfeld und Fernfeld zu ziehen, da das Nahfeld von den aufgestellten Antennen (Höhe, Form oder Frequenz) abhängt. Die Berechnungen der Sicherheitsabstände sind nur für den Tagebau anzuwenden. Im untertägigen Bereich sind die Feldstärken schwer abzuschätzen. Deshalb sind die Sicherheitsabstände unter Tage nur bedingt anwendbar [7].

3.2. Ergebnis der Versuche

Experimente mit in Österreich am Markt erhältlichen elektrischen Zündern, durchgeführt im Rahmen der gegenständlichen Arbeit in einem Versuchslabor der FH Kapfenberg, bestätigten das Ausreichen der in der UVV angeführten Sicherheitsabstände.

Wie im Messbericht der FH Kapfenberg [10] im Detail beschrieben, zeigte sich folgendes: *„Bei allen 15 Messungen konnte kein Sprengzünder zum Umsetzen gebracht werden. Die Feldstärken lagen bei den ersten Messungen im Bereich der von einem Mobiltelefon maximal produzierbaren Feldstärke. Ab der Messung neun wurden die Feldstärken deutlich erhöht. Bei keinem Versuch kam es zu einer Umsetzung der Zünder.“*

3.3. Zusammenfassende Empfehlungen

Auf Grund der Ergebnisse der Versuche und nach den in der UVV und TR angeführten Faustformeln bzw. Berechnungen wird empfohlen, mit zurzeit am Markt befindlichen Mobiltelefonen einen Abstand von 1 m zu elektrischen Sprengzündern einzuhalten und sich an die Sicherheitsabstände nach Tabelle 1 zu halten. Das heißt in praktischer Hinsicht, dass Personen, die mit elektrischen Zündern hantieren bzw. einen Zündkreis fertig stellen, kein eingeschaltetes Mobiltelefon mitführen sollten.

Dies ist als reine Vorsichtsmaßnahme zu werten und ist nicht aus den Ergebnissen der Versuche abzuleiten.

Im Übrigen ist es auch nicht sinnvoll mit einem Mobiltelefon zu hantieren bzw. Gespräche entgegen zu nehmen während mit elektrischen Zündern hantiert wird. Mit Sprengzündern und Mobiltelefonen gleichzeitig zu hantieren ist auch ebenso auch wegen der prinzipiellen Gefahr eines elektrischen Kontaktes zwischen Mobiltelefon und Zünder zu unterlassen.

Für die an der Sprengstelle anwesenden Personen, die nicht direkt mit der Ausführung der Sprengarbeiten befasst sind, muss kein Mobiltelefonverbot ausgesprochen werden.

4. Überblick über die Literaturrecherche

4.1. Allgemeines

Im Rahmen der gegenständlichen Untersuchungen wurden Literaturrecherchen zum einen in den an der Montanuniversität zugänglichen technischen Datenbanken durchgeführt und zum anderen in den Internetseiten folgender Institutionen, die sich mit Sicherheitsfragen und Unfällen beschäftigen:

- NIOSH – The National Institute for Occupational Safety and Health, US;
- MSHA: Mine Safety and Health Administration, US Department of Labour
- Steinbruchberufsgenossenschaft STBG

Alle im Literaturverzeichnis angeführten Stellen sind diesem Bericht in Anhängen beigelegt.

Im Einzelnen haben sich jene relevanten Literaturstellen zu dem gegenständlichen Thema gefunden, die im Folgenden näher vorgestellt werden. Darüber hinaus gehende Berichte zu Unfällen konnten nicht erhoben werden.

Insgesamt konnte kein einziger Bericht gefunden werden, der einen direkten Hinweis auf Unfälle mit elektrischen Sprengzündern - ausgelöst durch elektromagnetische Wellen in der jüngeren Vergangenheit, beinhaltet hat.

Dem entspricht auch der Umstand, dass in der Unfallverhütungsvorschrift „Sprengarbeiten“ [3], mit Einlegeblatt zu den Durchführungsanweisungen zur UVV [6] aus dem Jahre 2007, nur jene Sicherheitsabstände zwischen Zündern und Mobiltelefonen vorgeschrieben sind, die schon vor geraumer Zeit im Technical Report CLC/TR 50426:2004 [8] „Leitfaden zur Verhinderung des unbeabsichtigten Auslösens einer Zündeinrichtung mit Brückendraht durch hochfrequente Strahlung“ empfohlen wurden.

4.2. Sprengarbeitenverordnung Österreich

In der Sprengarbeitenverordnung [1] in Österreich finden sich folgende Regelungen im Hinblick auf die Gefährdung elektrischer Zünder durch die Einwirkung hochfrequenter Felder:

„§ 5. (1) Es ist dafür zu sorgen, dass vor Durchführung von Sprengarbeiten die für die Arbeitnehmer/innen bestehenden Gefahren ermittelt und beurteilt werden.

(2) Dabei sind insbesondere nachstehend angeführte Gefahren zu berücksichtigen:

.....

8. Einwirkungen aus dem Umfeld wie Steinfall, Lawinen, Wassereinträge, Auftreten von

Schlagwettern, Blitzschlag, Hochfrequenzenergien, elektrische Spannungsquellen, hohe und tiefe Temperaturen, offenes Feuer und Licht,“.

„§ 12. (1) Bei elektrischer Zündung ist für folgende Vorkehrungen zu sorgen:

1. Bei elektrischer Zündung an Orten, an denen Streuströme, induktive oder elektrostatische Einwirkungen auftreten können, wie im Bereich von Hochspannungsanlagen, Sendeanlagen, beim Einsatz von Mobilfunksystemen oder im Hochgebirge, dürfen nur solche Zünder und Zündsysteme verwendet werden, bei denen eine ungewollte Zündung ausgeschlossen ist.“

Spezifische Regelungen im Hinblick auf das Einhalten von Mindestabständen zwischen elektrischen Zündern und Geräten, die hochfrequente Felder erzeugen finden sich in der Österreichischen Sprengarbeitenverordnung nicht.

4.3. Leitfaden zur Verhinderung des unbeabsichtigten Auslösens einer Zündeinrichtung mit Brückendraht durch hochfrequente Strahlung

Dieser Bericht „Technical Report CLC/TR 50426:2004“ [8], im weiteren TR genannt, wurde Anfang der 90er Jahre von einem CENELEC–Arbeitskreis (Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung) erarbeitet. Ursprünglich stammen die Grundlagen für diesen TR aus Großbritannien. Diese sind in der Norm BS 6657:1986 enthalten und beruhen auf den Arbeiten von Bishop und Knight [2]. Da diese Norm nur für elektrische Zünder aus Großbritannien erarbeitet wurde, wurde dieser CENELEC Arbeitskreis ins Leben gerufen. Dieser sollte anfänglich eine EN-Norm erstellen, die für in Europa gebräuchliche Zündertypen angewendet werden kann. Diese Vorschrift sollte für alle EU–Staaten verbindlich sein. Aufgrund des Umfangs dieser Arbeit wurde dann jedoch beschlossen diesen Bericht als Technischen Report einzustufen. D.h. er spiegelt den Stand der Technik wieder, ist aber für einen EU-Staat nicht verpflichtend. Der TR, welcher hier für die Recherchen verwendet wurde, stammt aus dem Jahr 2004.

Der Bericht ist eine Anleitung für den sicheren Umgang mit elektrischen Zündern im hochfrequenten Strahlungsbereich. Der TR ist nur für elektrische Zünder anzuwenden, für spezielle Zünder, wie z.B. elektronische Zünder ist er nicht gültig. Des Weiteren werden elektromagnetische Felder, welche durch elektrische Stürme, durch Elektrizitätskraftwerke oder durch Hochspannungsleitungen induziert werden, nicht berücksichtigt. Der TR deckt einen Frequenzbereich von 9 kHz – 60 GHz ab, wobei der Bereich von 9 GHz – 60 GHz auf der Extrapolation der Daten unter 9 GHz beruht.

Im TR werden sieben verschiedene Zündertypen betrachtet. Für Österreich kommen die Typen IV und VI in Frage: es handelt sich dabei um U- und HU–Zünder mit einer Nichtansprechstromstärke von 0,45 A (U–Zünder) und 4 A (HU–Zünder).

Im TR sind Tabellen für Anleitungen zur Bestimmung von Sicherheitsabständen für folgende Situationen zu finden

- für existierenden Tagebau und Sender
- für existierenden Tagebau und geplanten Sender
- für existierende Sender, welche modifiziert werden

In der Anleitung werden zuerst die Senderdaten und der Zündertyp ermittelt. Diese Daten werden mit einer Tabelle im TR verglichen und so kann der Mindestabstand aus diesem Datenblatt bestimmt werden. Ist der Zünder nicht bekannt, so wird der größte Sicherheitsabstand (worst case) herangezogen. In den Tabellen sind ca. 100 Sender eingetragen und die Sicherheitsabstände wurden zu jedem Sender und für jeden der sieben Zündertypen berechnet.

Hat sich herausgestellt, dass sich ein Sender innerhalb des Sicherheitsabstandes befindet, so ist eine Berechnung nach der Anleitung 9.4 im TR durchzuführen.

Mit diesen Berechnungen werden die Feldstärken ermittelt, von denen eine mögliche Gefahr ausgehen könnte. Es werden die effektive und die sichere Feldstärke berechnet und miteinander verglichen. Bei der Ermittlung der effektiven Feldstärke wird zwischen Frequenzen bis 30 MHz und Frequenzen über 30 MHz unterschieden. Grundlagen für die sichere Feldstärke (safe field strength) sind die Arbeiten von Bishop und Knight [2]. Hier wurden durch Berechnungen, welche durch Messungen bekräftigt wurden, frequenzabhängige Feldstärkenwerte festgelegt, bei denen keine Zündung zu erwarten ist. Die Feldstärken wurden in der überarbeiteten Version des TR [8] für alle angeführten Zündertypen ermittelt und in Diagrammen dargestellt. Befinden sich mehrere Sender innerhalb des ermittelten Mindestabstandes, so wird nach Kapitel 9.6 im TR verfahren.

Aufgrund der komplexen Formeln und der aufwendigen Berechnungen, sollten die Sicherheitsberechnungen nach dem TR nur von einem Fachmann für hochfrequente Strahlung erfolgen. Eine Vereinfachung der komplexen Formeln zur Abschätzung der Feldstärke ist im Bericht wie folgt angeführt:

$$E = c * \frac{\sqrt{P}}{r} = 173 * \frac{\sqrt{P_a * G}}{r}$$

Gleichung 3: Feldstärke

E Feldstärke in V/m

P effektive Sendeleistung, welche aus der Ausgangsleistung P_a und dem Antennengewinnfaktor G berechnet wird

r Abstand in m

$$P = P_a * G$$

Gleichung 4: effektive Sendeleistung

- P_a Ausgangsleistung in Watt
- G Antennengewinnfaktor = $10^{0,1 * g}$
- g Antennengewinn in Dezibel (dB)
- c Konstante, abhängig von der Umgebung des Senders (Bodenleitfähigkeit, Höhe der Sendeantenne usw.), im TR wurde für c ein Wert von 173 festgelegt

4.4. Unfallverhütungsvorschrift „Sprengarbeiten“, Einlegeblatt zu den Durchführungsanweisungen zur UVV in Deutschland

In Deutschland sind die Sicherheitsabstände für Arbeiten mit elektrischen Zündern unter Einfluss von hochfrequenter Strahlung in der Unfallverhütungsvorschrift „Sprengarbeiten“ [3], [5], [6] festgelegt. Die Sicherheitsabstände wurden zunächst aufgrund von Veröffentlichungen aus den sechziger und siebziger Jahren [4] festgelegt.

Da sich in den Jahren viel bezüglich der Sender geändert hat, wie z.B. höhere Sendeleistungen, sind diese Abstände nun teilweise zu gering. Deshalb wurde zusätzlich zu dieser Unfallverhütungsvorschrift Einlegeblätter [5] & [6] ausgearbeitet, welche auf schnelle und einfache Art eine Abschätzung des Sicherheitsabstandes ermöglichen. Die Tabelle 2 zeigt die Sicherheitsabstände aus diesen Einlegeblättern bei der Verwendung von U Zündern.

	f						
	[MHz]						
EIRP	> 0,1 - 1,5	> 1,5 - 10	> 10 - 30	> 30 - 100	> 100 - 500	> 500 - 1000	> 1,5 GHz
> 0,1 - 0,5 W	2	2	3	2	1	1	1
> 0,5 - 1 W	3	3	4	3	1	1	1
> 1 - 5 W	6	3	8	5	2	1	1
> 5 - 20 W	15	6	15	10	4	1	1
> 20 - 100 W	30	15	35	25	8	2	1
> 100 W - 1 kW	85	40	100	70	30	6	3
> 1 - 10 kW	270	120	330	210	80	20	10
> 10 - 100 kW	850	400	1000	660	260	60	30
> 100 - 400 kW	1700	750	2000	1320	510	120	60
> 400 kW - 1 MW	2600	1200	3200	2100	800	180	95
> 1 MW - 3 MW	4500	2000	5500	3610	1400	310	160

Tabelle 2: Sicherheitsabstände r in Meter aus der UVV

Die im Einlegeblatt [6] verwendeten Formeln zur Ermittlung der Abstände beruhen auf einer Vereinfachung der komplexen Formeln aus dem TR. Mit diesem Thema haben sich in Deutschland die Herren P.Röh und R.Hauke befasst. Von Röh gibt es einen ausführlichen Artikel [7] im Nobel Heft 68

(2002). Dieser Artikel befasst sich mit dem TR von CENELEC und beschreibt, wie die Vereinfachung der Formeln zustande kommt. Mit dieser Vereinfachung kann man schnell eine Abschätzung des Sicherheitsabstandes zum jeweiligen Sender, wenn die Daten des Senders vorhanden sind, durchführen.

4.5. Verknüpfung Technical Report und UVV Deutschland

Wie schon im vorangegangenen Kapitel angesprochen, beruhen die Gleichungen im Einlegeblatt der UVV auf der Vereinfachung der Formeln aus dem TR, welche von Röh [7] durchgeführt wurden. Nach Röh [7] bietet diese Abschätzung eine genügende Genauigkeit und ist von der Anwendung her wesentlich einfacher als die komplexen Angaben im TR.

$$E = 173 * \frac{\sqrt{P_a * G}}{r} \quad \rightarrow \quad r = 173 * \frac{\sqrt{P_a * G}}{E}$$

Gleichung 5: Sicherheitsabstand

P_a Ausgangsleistung in kW

G Antennengewinnfaktor, $G = 10^{0,1 * g}$ wobei g der Antennengewinn in dB ist

$P_a * G$ wirksame Strahlungsleistung EIRP in W

E Feldstärke in V/m

r Sicherheitsabstand in m

Den Ausgang für die Berechnungen bildet die Gleichung 3. Diese Formel findet man im TR, sie stellt, wie bereits erwähnt, eine Vereinfachung der Formeln für die Ermittlung der Feldstärken dar.

In den Abbildungen 1 und 2 sind die Feldstärken in Abhängigkeit der Frequenzen aufgetragen [8]. Diese Abbildungen dienen zur Ermittlung der sicheren Feldstärken.

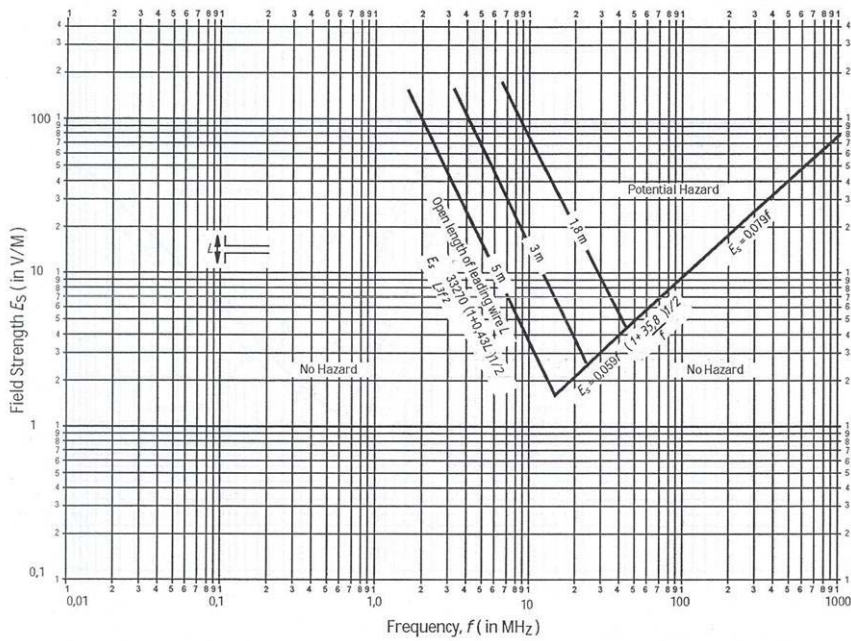


Abbildung 1: „Safe field strengths“ für U-Zünder und Zünderdrahtlängen aus dem TR [8]

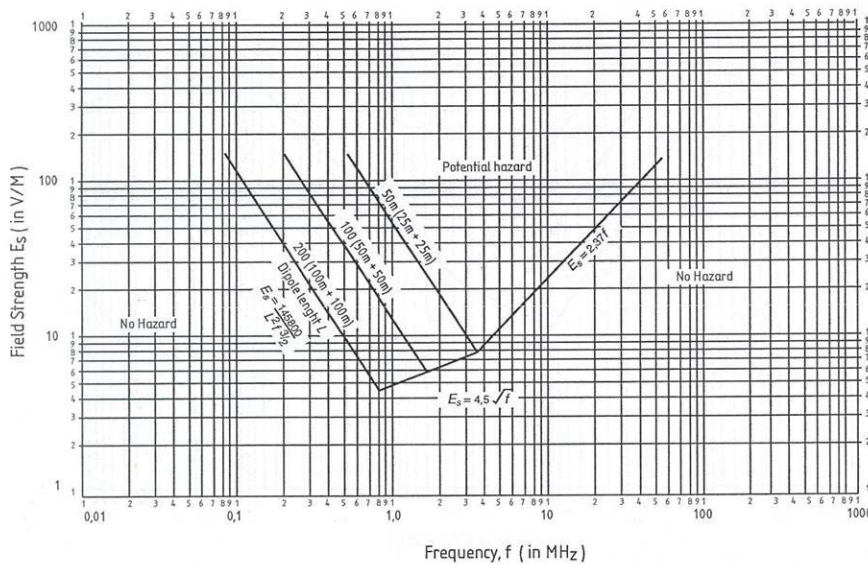


Abbildung 2: „ Safe field strengths“ für U-Zünder und Zündkreisumfang [8]

Mit Werten für die sichere Feldstärke (safe field strength) aus den Abbildungen 1 und 2 werden mit Gleichung 3 die Sicherheitsabstände berechnet.

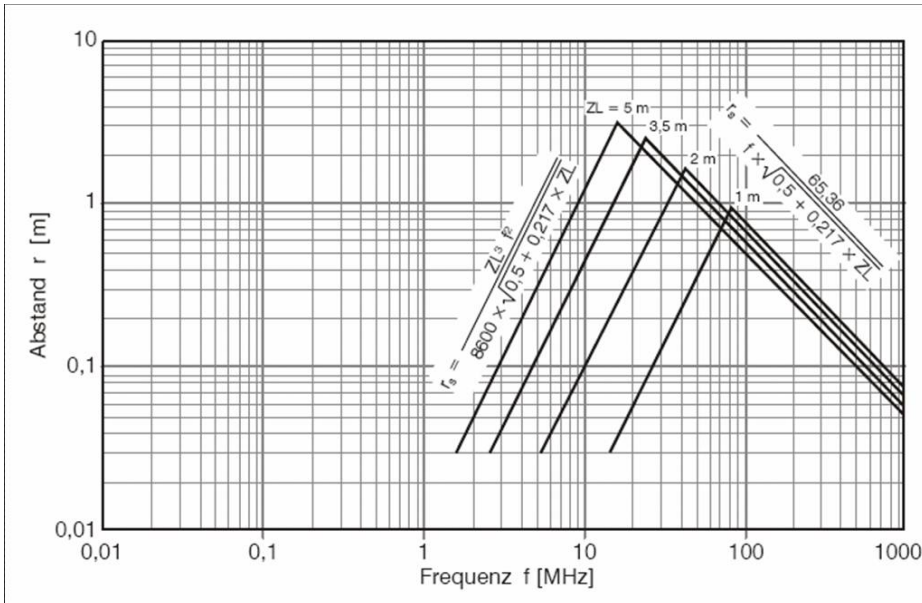


Abbildung 3: Sicherheitsabstand r_s für 1 W – Sender, U – Zünder und deren Zünderdrahtlängen [7]

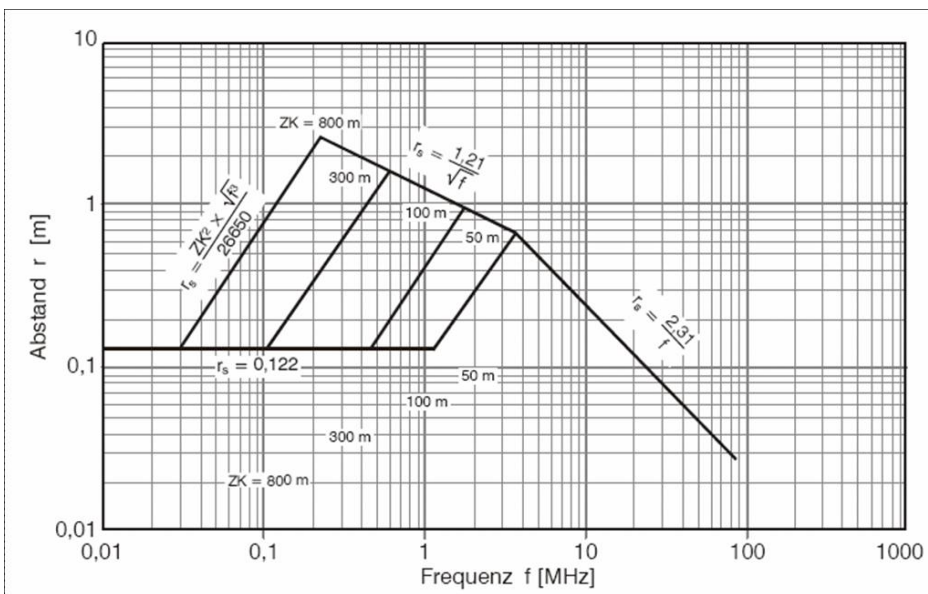


Abbildung 4: Sicherheitsabstand r_s für 1 W – Sender, U – Zünder und dem Zündkreisumfang [7]

Wie auch schon bei den Abbildungen aus dem TR ist festzustellen, dass bei niederen Frequenzen der Zündkreis der Gefahr einer verfrühten Zündung ausgesetzt ist. Während der einzelne Zünder bei höheren Frequenzen empfindlich auf hochfrequente Strahlung reagieren kann. Im TR [8] ist die Grenze zwischen hoher und niederer Frequenz mit 7 MHz festgelegt, unter 7 MHz reagiert der Zündkreis sensibel auf hochfrequente Strahlung, über 7 MHz der einzelne Zünder.

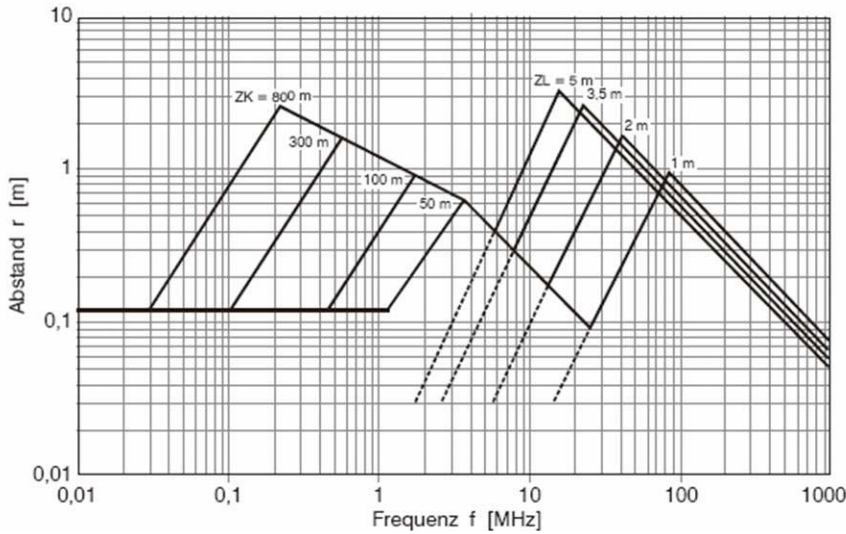


Abbildung 5: Abbildung 3 und 4 zusammengefasst in einem Diagramm [7]

Als nächster Schritt wurden die beiden Abbildungen zu einem Schaubild zusammengefasst. Da für eine einfache Berechnung diese Kurven noch zu kompliziert wären, wurde die Abbildung 5 auf die ungünstigsten Fälle reduziert. Dies wäre der maximale Zündkreisumfang von 800 m und bei einzelnen Zündern eine Zünderdrahtlänge von 5 m [7].

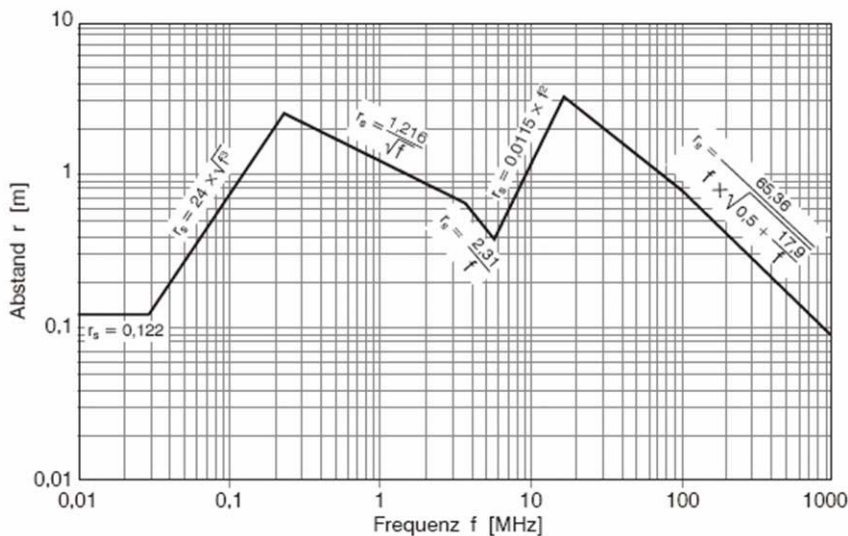


Abbildung 6: Sicherheitsabstand r mit dem maximalen Zündkreisumfang und der maximalen Zünderdrahtlänge [6]

Diese Berechnungen und Abbildungen wurden für einen Einwatt-Sender durchgeführt. Um den Sicherheitsabstand für einen beliebigen Sender zu berechnen, wird der in Abbildung 6 ermittelte Mindestabstand mit dem Ausdruck $\sqrt{\text{EIRP}}$ (vgl. Gleichung 4) multipliziert [9].

Die Abbildung 6 ist eine erhebliche Vereinfachung der Abbildungen aus dem TR. Darauf aufbauend wurde eine Faustformel entwickelt, welche eine schnelle Abschätzung des Sicherheitsabstandes ohne Diagramme erlaubt.

$$r = 3 * \sqrt{EIRP}$$

Gleichung 6: Sicherheitsabstand für Frequenzen < 30 MHz

Wobei EIRP die wirksame Strahlungsleistung ist, welche sich aus der Ausgangsleistung P_a und dem Antennengewinnfaktor G zusammensetzt.

$$EIRP = P_a * G$$

Gleichung 7: wirksame Strahlungsleistung

$$E = 5,74 * \frac{\sqrt{EIRP}}{r}$$

$$E = 5,74 * \frac{\sqrt{1}}{3}$$

Gleichung 8: Feldstärke

Aus Gleichung 6 ergibt sich eine Feldstärke in der Umgebung eines Zünders oder Zündkreises von 1,8 V/m. Dieser Wert sollte nicht überschritten werden. Wird der Wert überschritten, so ist ein Sachverständiger hinzuzuziehen, welcher eine genaue Berechnung durchführen sollte.

Diese einfache Berechnung führt im Bereich von höheren Frequenzen zu wesentlich höheren Sicherheitsabständen als bei exakter Berechnung. Deshalb reicht nach [7] die Ermittlung des Sicherheitsabstandes für Frequenzen über 30 MHz mit folgender Formel aus:

$$r = \frac{90}{f} * \sqrt{EIRP}$$

Gleichung 9: Sicherheitsabstand für Frequenzen > 30 MHz

EIRP wirksame Strahlungsleistung in Watt

f Frequenz in MHz

r Sicherheitsabstand in m

P_a Ausgangsleistung des Senders

G Antennengewinnfaktor

Sind mehrere Sender vorhanden, gefährdet die hochfrequente Strahlung den Zündkreis und nicht die einzelnen Zünder. Der Grund dafür ist, dass der Zündkreis gleichzeitig auf mehrere Frequenzen und Strahlungsrichtungen reagieren kann, während ein einzelner Zünder optimal ausgerichtet sein muss, um auf Frequenzen und Strahlung unterschiedlicher Sender anzusprechen [7]. Die Berechnung für mehrere Sender erfolgt dann mit den Gleichungen 10 und 11.

$$\sum_1^n \left(\frac{E_n}{E_{Sn}} \right)^2 < 1$$

Gleichung 10: Feldstärken

$$\sum_1^n \left(\frac{r_{sn}}{r_n} \right)^2 < 1$$

Gleichung 11: Sicherheitsabstand

E_n	gemessene oder berechnete Feldstärke
E_{Sn}	maximal zulässige Feldstärke
r_{sn}	Sicherheitsabstand aus Tabelle der UVV
A_n	gemessener Abstand zum Sender

5. Versuche mit elektrischen Zündern in hochfrequenten Feldern

Ziel von Versuchen mit in Österreich am Markt erhältlichen elektrischen Zündern, durchgeführt im Rahmen der gegenständlichen Arbeit in einem Versuchslabor der FH Kapfenberg, war es festzustellen, ob es durch Einstrahlung von HF – Feldern auf den Mobiltelefonbändern von 900 MHz und 1800 MHz zu einer Umsetzung elektrischer Sprengzünder kommen kann.

Die Messungen fanden am 12.04.2007 in der Schirm- und Absorberkammer der FH JOANNEUM in Kapfenberg, Studiengang Elektronik & Technologiemanagement (ETM), unter Aufsicht und Mitarbeit der Montanuniversität Leoben (MUL) Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft statt. Die Details der Messungen finden sich im Bericht von Stocksreiter [10], der im Anhang beigefügt ist.

Der Messablauf bzw. der Prüfplan war wie folgt:

- Über einen Signalgenerator und einem dahinter geschalteten Verstärker, wurde das Signal zur Erzeugung der gewünschten Feldstärke, mit entsprechender Frequenz und Amplitude mittels einer breitbandigen Hornantenne abgestrahlt.
- Beim Störsignal handelte es sich um ein unmoduliertes kontinuierliches sinus-förmiges Signal.
- Im Abstand von einem Meter befand sich das Messobjekt (DUT) und eine E – Feld Messsonde.
- Der Zünder befand sich in einem Plastikkübel, eingebettet in trockenem, feinen Quarzsand, einen Meter bzw. einen halben Meter von der Antenne entfernt.

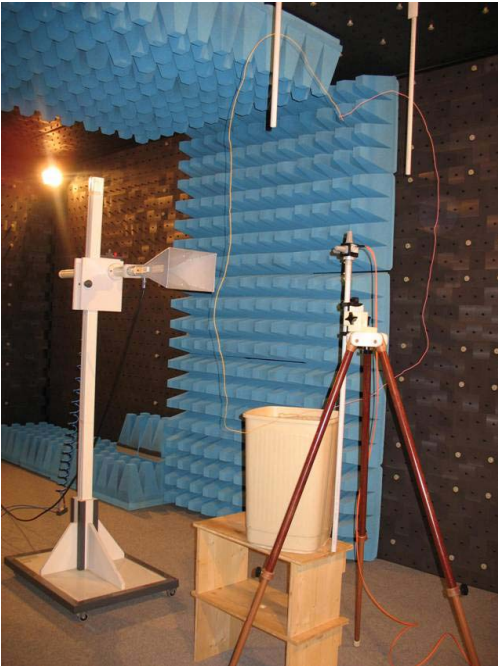


Abbildung 7: Aufbau der Versuchsanlage

Der Aufbau des Zündkreises wurde auf drei verschiedene Arten durchgeführt:

- Offener Zündkreis
- Geschlossener Zündkreis
- Geschlossener Zündkreis mit Zündmaschine

Insgesamt wurden 13 Versuche durchgeführt, elf davon mit U-Zündern und zwei mit Zündern von RocKrackern.

Die Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Versuche. Die Abbildung 7 zeigt die Anordnung der Versuchsanlage.

Mobilfunktelefone haben eine Sendeleistung von 1-2 Watt und arbeiten bei Frequenzen von 900 MHz und 1800 MHz. Daher wurden die ersten Versuche in diesem Bereich angelegt. Die niedrigste Leistung, welche mit der Hornantenne und für den gewünschten Frequenzbereich, einzustellen war, lag bei 10,5 Watt. Ein vielfaches der Sendeleistung von Mobiltelefonen.

Nach den ersten Einstellungen, Versuche Eins bis Sechs, wurde die Leistung auf die maximal mögliche Kammerleistung erhöht und mit denselben Frequenzen wurden weitere Versuche durchgeführt.

Versuche FH Kapfenberg								
		Frequenz	Leistung	Feldstärke	Einwirkzeit	Antennen- abstand	Zündkreis	Ergebnis
		[MHz]	[W]	[V/m]	[s]	[m]		
U - Zünder ZZST 14 25 ms	Versuch 1	900	10,5	29,24	30	1	offen	keine Zündung
	Versuch 2	900	10,5	26,43	30	1	geschlossen	keine Zündung
	Versuch 3	900	10,5	33,9	30	1	Zündkreis mit Zündmaschine	keine Zündung
	Versuch 4	1800	11,25	24,25	30	1	Zündkreis mit Zündmaschine	keine Zündung
	Versuch 5	1800	11,25	19,96	30	1	geschlossen	keine Zündung
	Versuch 6	1800	11,25	19,3	30	1	offen	keine Zündung
RocCracker	Versuch 7	1800	11,25	13,71	30	1	gebündelt, wie bei Auslieferung	keine Zündung
U - Zünder ZZST 24 50 ms	Versuch 8	1800	178	97,9	60	0,5	offen	keine Zündung
	Versuch 9	1800	178	96,02	30	0,5	geschlossen	keine Zündung
	Versuch 10	900	120	110,4	30	1	offen	keine Zündung
	Versuch 11	900	120	117,32	30	1	geschlossen	keine Zündung
	Versuch 12	900	120	106,8	30	1	Zündkreis mit Zündmaschine	keine Zündung
RocCracker	Versuch 13	900	120	71,16	30	1	gebündelt, wie bei Auslieferung	keine Zündung

Tabelle 3: Überblick über die Versuche

Bei allen Messungen konnte kein Sprengzünder zum Umsetzen gebracht werden.

Die Feldstärken lagen bei den ersten Messungen im Bereich der von einem Mobiltelefon maximal produzierbaren Feldstärke. Ab der Messung neun wurden die Feldstärken deutlich erhöht. Trotzdem kam es bei keinem Versuch zu einer Umsetzung der elektrischen Sprengzünder bzw. der RocCracker.

6. Anleitung zur Ermittlung der Sicherheitsabstände

Wie aus Kapitel 4.5 hervorgeht stammt die verwendete Faustformel (UVV) aus der Vereinfachung der im TR angeführten Diagramme, in welchen die Feldstärke in Abhängigkeit von der Frequenz eingetragen ist. Für eine schnelle Berechnung der Sicherheitsabstände sind die Faustformeln aus der UVV geeignet, da sich immer ein höherer Sicherheitsabstand ergibt als bei einer genauen Berechnung, ermittelt wird.

Dadurch, dass Mobiltelefone und Handfunkgeräten in einem höheren Frequenzbereich arbeiten, stellen diese eher für den einzelnen Zünder (bei der Herstellung des Zündkreises) eine Gefahr dar, als für den Zündkreis. Dies geht sowohl aus dem TR [8] als auch aus dem Artikel von Röh [7] hervor.

6.1. Allgemeine Ermittlung

Diese Anweisung ist nur für elektrische U- und HU-Zünder zu verwenden. Des Weiteren betrifft sie nur Zündkreise und Zünder, die in einer Bodenhöhe von 1 m verlegt werden, da davon ausgegangen wird, dass sich Dipole bis in eine Höhe von 1 m bilden können [7]. Die Tabelle 4 zeigt typische Einrichtungen von denen hochfrequente Signale abgestrahlt werden.

Sender	Leistung
Fernsehsender	800 kW - 1600 kW
UKW-(Radio)Sender	100 kW
GSM - Basisstation (Mobiltelefonmasten)	10 - 50 W
GSM 1800 (DCS) Handy	1 W
GSM 900 Handy	2 W

Tabelle 4: Typische Sendeleistungen in Österreich

Bei der Feststellung, ob von einem Sender eine potentielle Gefahr ausgeht ist wie folgt vorzugehen:

- Eine Ermittlung des Mindestabstandes ist nicht notwendig, wenn ein Abstand von 5500 m nicht unterschritten wird.
- Wird der Abstand von 5500 m unterschritten so soll in Abhängigkeit der wirksamen Strahlleistung bei U-Zündern ein Sicherheitsabstand zur Sprenganlage nach Tabelle 5 eingehalten werden.
- Ein Mindestabstand von einem Meter sollte nicht unterschritten werden, da nicht ausreichend bekannt ist, wie sich die Strahlung des Mobiltelefons verhält, wenn man Mobiltelefon und elektrischen Zünder gleichzeitig in den Händen hält.

EIRP	f						
	[MHz]						
	> 0,1 - 1,5	> 1,5 - 10	> 10 - 30	> 30 - 100	> 100 - 500	> 500 - 1000	> 1,5 GHz
> 0,1 - 0,5 W	2	2	3	2	1	1	1
> 0,5 - 1 W	3	3	4	3	1	1	1
> 1 - 5 W	6	3	8	5	2	1	1
> 5 - 20 W	15	6	15	10	4	1	1
> 20 - 100 W	30	15	35	25	8	2	1
> 100 W - 1 kW	85	40	100	70	30	6	3
> 1 - 10 kW	270	120	330	210	80	20	10
> 10 - 100 kW	850	400	1000	660	260	60	30
> 100 - 400 kW	1700	750	2000	1320	510	120	60
> 400 kW - 1 MW	2600	1200	3200	2100	800	180	95
> 1 MW - 3 MW	4500	2000	5500	3610	1400	310	160

Tabelle 5: Tabelle für Sicherheitsabstände in Meter bei Verwendung von U-Zündern [6]

- Bei der Verwendung von HU-Zündern beträgt der Mindestabstand $r_{M/HU}$ 1/3 des Wertes der U-Zünder.

$$r_{M/HU} = 1/3 * r_{M/U}$$

Alternativ können Mindestabstände r_M nach 6.1.2 getrennt für Frequenzen über und unter 30 MHz zu berechnet werden.

6.2. Berechnung des Mindestabstandes für Frequenzen < 30 MHz

$$r_M = 3 * \sqrt{EIRP}$$

Gleichung 12: Mindestabstand für Frequenzen < 30 MHz

Dabei ist EIRP die wirksame Strahlungsleistung ist, die sich aus der Senderausgangsleistung und dem Antennengewinnfaktor zusammensetzt.

$$EIRP = P_a * G$$

Gleichung 13: wirksame Strahlungsleistung

EIRP	wirksame Strahlungsleistung in Watt
P_a	Ausgangsleistung in Watt
G	Antennengewinnfaktor, $G = 10^{0,1 * g}$
g	Antennengewinn in dB

Beispiel **Amateurfunksender**

Frequenz f	20 MHz
Ausgangsleistung P _a	750 W
Antennengewinn g	4 dBi
Antennengewinnfaktor G	2,5

$$\text{EIRP} = P_a * G = 750 * 2,5 = \mathbf{1875 \text{ W}}$$

$$r_M = 3 * \sqrt{\text{EIRP}} = 3 * \sqrt{1875} = \mathbf{130 \text{ m}}$$

Beispiel **Handfunkgerät**

Frequenz f	150 MHz
Ausgangsleistung P _a	3 W
Antennengewinn g	0 dBi
Antennengewinnfaktor G	1

$$\text{EIRP} = P_a * G = 3 * 1 = \mathbf{3 \text{ Watt}}$$

$$r_M = 3 * \sqrt{\text{EIRP}} = 3 * \sqrt{3} = \mathbf{5,2 \text{ m}}$$

6.3. Berechnung des Mindestabstandes r_M für Frequenzen > 30 MHz

Beträgt die Frequenz für einen Sender mehr als 30 MHz, so kann folgende Gleichung für die Ermittlung des Sicherheitsabstandes verwendet werden

$$r_M = \frac{90}{f} * \sqrt{\text{EIRP}}$$

Gleichung 14: Mindestabstand für Frequenzen > 30 MHz

EIRP wirksame Strahlungsleistung in Watt

f Frequenz in MHz

Der Vergleichswert wird durch Tabelle 5 bestimmt. Liegt der berechnete Wert unter dem Tabellenwert, so wird der kalkulierte Mindestabstand verwendet. Ist der Abstand höher als der Wert aus der Zahlentafel, so wird der Tabellenwert als Mindestabstand herangezogen.

Beispiel GSM-Basisstation (Mobiltelefonmasten)

Frequenz f	950 MHz
Ausgangsleistung P _a	15 W
Antennengewinn g	18 dBi
Antennengewinnfaktor G	63

$$\text{EIRP} = P_a * G = 15 * 63 = \mathbf{945 \text{ W}}$$

$$r_M = \frac{90}{f} * \sqrt{\text{EIRP}} = \frac{90}{950} * \sqrt{945} = \mathbf{3 \text{ m}}$$

Beispiel GSM 900 Mobiltelefon

Frequenz f	945 MHz
Ausgangsleistung P _a	2 W
Antennengewinn g	0 dBi
Antennengewinnfaktor G	1

$$\text{EIRP} = P_a * G = 2 * 1 = \mathbf{2 \text{ W}}$$

$$r_M = \frac{90}{f} * \sqrt{\text{EIRP}} = \frac{90}{945} * \sqrt{2} = \mathbf{0,13 \text{ m}}$$

Wird der Sicherheitsabstand für ein Mobiltelefon berechnet, so liegt das Ergebnis unter einem Meter Mindestabstand. Der Sicherheitsabstand von einem Meter sollte aber prinzipiell nicht unterschritten werden, unter anderem auch da darüber noch keine verlässlichen Untersuchungen darüber vorliegen. Des Weiteren ist auch eine prinzipielle Gefährdung daraus abzuleiten, wenn die elektrischen Kontakte des Mobiltelefonakkus freiliegen und mit den Zünderdrähten in Berührung kommen.

6.4. Ermittlung der Mindestabstände über die Feldstärke

Ist es nicht möglich den Mindestabstand zu berechnen, so erfolgt die Ermittlung des Sicherheitsabstandes über die zulässige Feldstärke. Dieser Fall kann aufgrund fehlender oder unvollständiger Daten eintreten oder auch z.B. wenn sich mehrere Sender im Gefahrengebiet befinden. Diese Berechnung sollte dann von einem Fachmann für hochfrequente Strahlung durchgeführt werden

7. Literaturverzeichnis

- [1] „Sprengarbeitenverordnung“, BGBl II, Nr. 358/2004
- [2] Bishop A.E. und P.Knight: The safe use of electro-explosive devices in electromagnetic fields. Radio and Electronic Engineer 54, Nr. 7/8, Seite 321-335.1984
- [3] BGV C24, Unfallverhütungsvorschrift “Sprengarbeiten”.1985
- [4] Bittner G., Rehbock E. und P.Röh: Untersuchungen über die Einwirkung elektro-magnetischer Wellen über 1 GHz (Radar) auf elektrische Brückenzünder. Nobel Hefte 38, Heft 2, Seite 56-66. 1972
- [5] BGV C24, Einlegeblatt zu den Druchführungsanweisungen vom Okt. 1994 zur Unfallverhütungsvorschrift Sprengarbeiten (BGV C24) vom 1.April 1985 in der Fassung vom 1.Jänner 1997, Stand: 2005
- [6] BGV C24 , Einlegeblatt zu den Druchführungsanweisungen vom Okt. 1994 zur Unfallverhütungsvorschrift Sprengarbeiten (BGV C24) vom 1.April 1985 in der Fassung vom 1.Jänner 1997, Stand: 2007
- [7] Röh P.: Beeinflussung elektrischem Zündanlagen durch mobile und stationäre Funkeinrichtungen. Nobel Hefte 68, Seite 5-14. 2002
- [8] CENELEC, Technical Report CLC/TR 50 426:2004, “Assessment of inadvertent initiation of bridge wire electro-explosive devices by radio-frequency radiation – Guide”
- [9] Gehm, K.H., Bittner G. und R.Wotschke: Ungewollte Auslösung von elektrischen Zündern durch Hochfrequenzenergie. Nobel Hefte 35, Heft 1, Seite 1-8. 1969.
- [10] Stocksreiter W.: Messbericht zum Thema „Sicherer Umgang mit elektrischen Zündern im Bereich hochfrequenter elektrischer Felder“; FH Joanneum Kapfenberg. Juli 2007.
- [11] Vargek Ipsa Julia: Versuche in der FH Kapfenberg mit elektrischen Zündern unter hochfrequenter Strahlung am 12.04.2007. Bericht Lehrstuhl für Bergbaukunde. Montanuniversität Leoben.
- [12] Hauke R.: und P. Röh: Beeinflussung von elektrischen Zündsystemen durch Hochfrequenzeinstrahlung. Tiefbau 1/2001, 38-42.

ANLAGEN