
Steiermarkleitung

Umweltverträglichkeitserklärung

Fachbereich: H – Elektromagnetische Felder

Verfasser: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. N. Leitgeb



Inhalt

1	EINLEITUNG	5
1.1	Aufgabenstellung.....	6
1.2	Technische Daten und Begriffsdefinitionen.....	6
2	BESCHREIBUNG DES IST-ZUSTANDES.....	10
2.1	Elektrische Felder	10
2.2	Magnetische Felder	10
3	MÖGLICHE POSITIVE UND NEGATIVE AUSWIRKUNGEN	15
3.1	Elektrisches Feld	17
3.2	Magnetisches Feld.....	20
3.3	Höherfrequente elektromagnetische Felder.....	25
3.4	Störfallbetrachtung.....	27
3.5	Grenzwerte	30
3.5.1	Allgemeines.....	30
3.5.2	Grundlagen der Grenzwertregelung	32
3.5.3	Schutzstrategien	34
3.5.4	Expositionsgrenzwerte.....	37
3.6	Überprüfung auf Einhaltung der Grenzwerte	51
3.6.1	Im Freien	52
3.6.2	In Gebäuden	54
4	VERMEIDUNG BZW. VERMINDERUNG DER AUSWIRKUNGEN.....	57
4.1	Elektrische Felder	57
4.2	Magnetische Felder	58
4.3	Verminderung der Feldemissionen	59
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	60

1 Einleitung

Die VERBUND-Austria Power Grid AG (APG) und die STEWEAG-STEAG GmbH (STEWEAG-STEAG) planen den Lückenschluss des österreichischen Höchstspannungsnetzes zwischen Zwaring (Bezirk Graz-Umgebung/Steiermark) und Rotenturm a. d. Pinka (Bezirk Oberwart/Burgenland). Diese 380-kV-Leitung wird in der UVE als „Steiermarkleitung“ bezeichnet.

Die Leitungstrasse hat eine Gesamtlänge von 97,778 Kilometer wobei 81,106 Kilometer der geplanten Trasse in der Steiermark und 16,672 Kilometer im Burgenland geführt werden.

Das Vorhaben der APG und der STEWEAG-STEAG umfasst:

- die Errichtung der Steiermarkleitung vom Umspannwerk Kainachtal/Zwaring über das Umspannwerk Oststeiermark/Wünschendorf zum Umspannwerk Südburgenland/Rotenturm,
- die Mitführung der 110-kV-Leitung Zwaring-Werndorf und ihre Einbindungen in die Umspannwerke Kainachtal/Zwaring und Neudorf/Werndorf,
- die Mitführung der 110-kV-Leitung Wünschendorf-Feldbach im Abschnitt Wünschendorf-St.Margarethen und ihre Einbindung in das Umspannwerk Oststeiermark/Wünschendorf sowie in den bestehenden Leitungszug in der Gemeinde St. Margarethen,
- die Mitführung der 110-kV-Leitung Wünschendorf-Hartberg und ihre Einbindungen in die Umspannwerke Oststeiermark/Wünschendorf und Hartberg,
- die Einbindung einschließlich Adaptierung der 110-kV-Abzweigleitung Unterrettenbach/AWP in Prebensdorf, Gemeinde Ilztal in die mitgeführte 110-kV-Leitung Wünschendorf-Hartberg,
- die Einbindung der 110-kV-Leitung Grambach-Wünschendorf in das Umspannwerk Oststeiermark/Wünschendorf und
- die Einbindung der 110-kV-Leitung Wünschendorf-Gleisdorf in das Umspannwerk Oststeiermark/Wünschendorf,
- die Errichtung des 380/110-kV-Umspannwerkes Oststeiermark/Wünschendorf,
- die Erweiterung des 380/110-kV-Umspannwerkes Kainachtal/Zwaring,
- die Erweiterung des 380-kV-Umspannwerkes Südburgenland,

- die Erweiterung des 110-kV-Umspannwerkes Neudorf/Werndorf und
- die Erweiterung des 110-kV-Umspannwerkes Hartberg,
- die Demontage der 110-kV-Leitung Gleisdorf-Feldbach im Abschnitt Gleisdorf-St. Margarethen,
- die Demontage der 110-kV-Leitung Gleisdorf-Hartberg in den Abschnitten Gleisdorf-Prebendorf und Oberrettenbach-Dombachtal,
- die Demontage der 110-kV-Leitung Rotenturm-Oberpullendorf im Abschnitt Rotenturm-Unterwart.
- die Demontage der 20-kV-Doppelleitung UW Werndorf – Schaltstelle Kalsdorf im Einbindungsbereich des UW Werndorf,
- die Tieferlegung der 110-kV Leitung Zwaring – Grambach im Kreuzungsbereich mit der Steiermarkleitung,
- die Tieferlegung der 110-kV Leitung Rotenturm – Oberwart im Kreuzungsbereich mit der Steiermarkleitung.

1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des vorliegenden Fachbereiches sind die durch die Errichtung der 380kV- Freileitung (Steiermarkleitung) zu erwartenden elektromagnetischen Emissionen abzuschätzen und in Hinblick auf die Einhaltung bestehender Grenzwerte zu bewerten.

1.2 Technische Daten und Begriffsdefinitionen

Für die 380-kV-Systeme der Steiermarkleitung und die abschnittsweise auf dem Gestänge mitgeführten 110-kV-Systeme wird ein einheitlicher Leiterseiltyp mit dem gleichen Leiterquerschnitt verwendet, doch unterscheidet sich die Anzahl der Leiterseile pro Phase (die sog. Bündelanzahl; Bild 1)

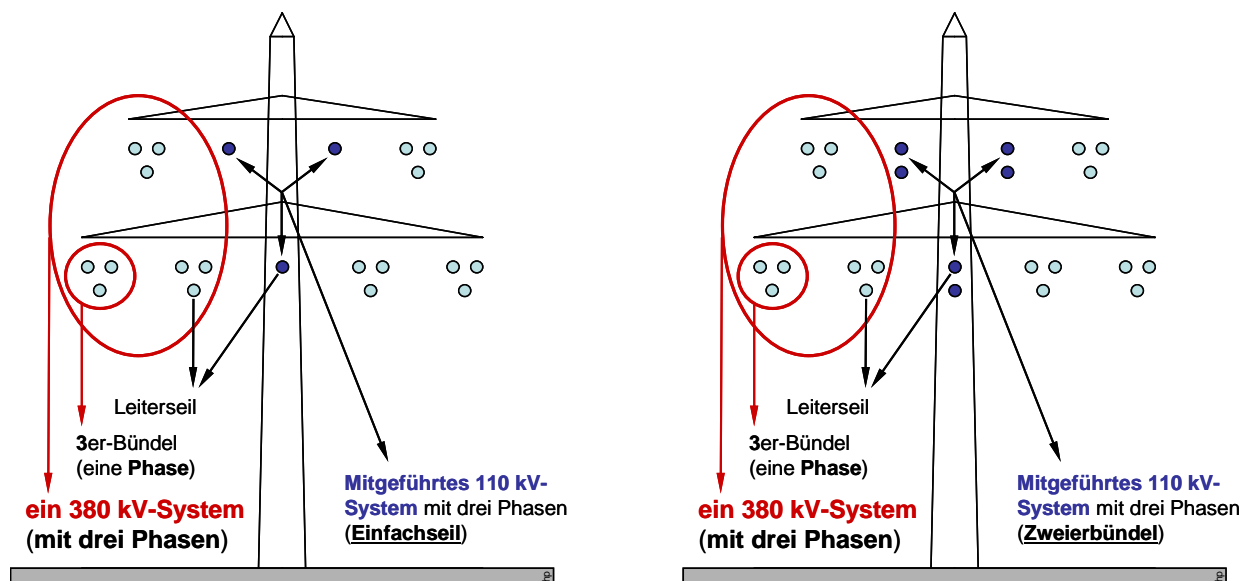


Abbildung 1: Leitenseil und Leiterbündel, Phasen und Systeme der Steiermarkleitung und der mitgeführten 110 kV-Systeme als Einfachseil und Zweierbündel. Die beiden 380 kV-Systeme werden als Dreierbündel ausgeführt.

Sowohl auf den 380-kV-Abschnitten als auch auf den 380/110-kV-Abschnitten der Steiermarkleitung wird ein Erdseil montiert. Es kommt die Erdseiltype Al/Stalum 240/80 oder E-AlMgSi/Stalum 240/80 zur Anwendung. Für den (betrieblichen) Datenaustausch werden die Erdseile mit integriertem LWL ausgerüstet.

Die technischen Daten der Systeme der Steiermarkleitung sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Technische Leitungsdaten

Leitungsdaten	380-kV-Systeme	110-kV-Systeme
Regelspannweite	330 m	330 m
Erdseil	Al/Stalum 240/80 AlMgSi/Stalum 240/80	Al/Stalum 240/80 AlMgSi/Stalum 240/80
Systemanzahl	2	1
Leiterseile pro Phase (Bündelleiter)	3	1 bzw. 2
Leiterseiltyp	Al/St 635/117	Al/St 635/117
Stromart: Drehstrom	50 Hz	50 Hz
thermischer Grenzstrom / System	3.477 A	1.159 bzw. 2.318 A
maximaler Dauerstrom	2.086 A	695 bzw. 1.390 A
Spannung zwischen den Phasen	380 kV	110 kV
höchste zulässige Betriebsspannung	420 kV	123 kV
Spannung gegen Erde:	220 kV	64 kV

Begriffdefinitionen

Alle Aussagen und Bewertungen im vorliegenden Fachbeitrag hinsichtlich des elektrischen und insbesondere des magnetischen Feldes der Steiermarkleitung beziehen sich auf die geplante Ausführung mit zwei 380 kV-Systemen mit der Seilbelegung als Dreierbündel.

Thermischer Grenzstrom

Der „**thermische Grenzstrom (I_{th})**“ ist die höchste (aus mechanischen Gründen) technisch zulässige Strombelastung eines einzelnen Leiterseiles bzw. eines Leiterseilbündels einer Phase. Gemäß den Angaben des Seilherstellers beträgt sie bei der Steiermarkleitung pro einzeltem Leiterseil 1159 A. Daraus ergibt sich der thermische Grenzstrom des 380 kV-Dreierbündels zu 3477 A.

Maximaler Dauerstrom

Unter „**maximalem Dauerstrom (I_{Dmax})**“ wird im Folgenden der höchste Betriebsstrom verstanden, mit dem eine Leitung im Normalbetrieb belastet werden kann, ohne die Versorgungssicherheit zu gefährden. Entsprechend den gesetzlichen Vorgaben ergibt er sich zu $0,6 \times I_{th}$ und beträgt somit pro Dreierbündel des 380kV-Systems 2086 A. Für das mitgeführte 110 kV-System erhält man für das Einfachseil 695 A und für das Zweierbündel den doppelten Wert, also 1390 A.

Anmerkung: Die Netzbetreiber müssen gemäß den gesetzlichen Vorgaben nach EIWOG und TOR¹ sowie den Regeln für den koordinierten internationalen UCTE-Verbundnetzbetrieb im Betrieb der Übertragungsnetze Kapazitätsreserven vor- bzw. freihalten. Diese Vorhaltung von Kapazitätsreserven ist dafür notwendig, damit im Normalbetrieb bei einem Einfachausfall (z.B. eines Systems einer Freileitung) die anderen Betriebsmittel den Stromfluss übernehmen können und es zu keinem weiteren Ausfall kommt. Diese Bedingung wird als „(n-1)- Sicherheitskriterium“ bezeichnet.

¹ EIWOG Elektrizitätswirtschaft- und organisationsgesetz (Bundesgesetz), TOR ... Technische und Organisatorische Regeln

2 Beschreibung des Ist-Zustandes

Grundsätzlich wird im Alltag die Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern im Niederfrequenzbereich (vorwiegend 50 Hz) von den Komponenten der elektrischen Energieversorgung einschließlich der Hausinstallation und den elektrischen Geräten verursacht.

2.1 Elektrische Felder

Da elektrische Felder von der elektrischen Spannung verursacht werden, deren Wert ja konstant gehalten ist, kommen Änderungen der Feldstärke primär durch die Zuschaltung von Elektrogeräten und Feldverzerrungen bei Bewegung von Personen zustande. Angesichts der vergleichsweise geringen Ist- Werte und der vernachlässigbaren zusätzlichen Feldeinträge durch die Steiermarkleitung (Kapitel 3.6.2.1) wurde auf eine Istzustandserhebung der elektrischen Felder im Hausinneren und im Außenbereich verzichtet.

Die Feldstärke elektrischer Felder wird durch die Einheit V/m bzw. **kV/m** angegeben.

2.2 Magnetische Felder

Jeder von elektrischem Strom durchflossene Leiter erzeugt ein Magnetfeld, dessen Stärke vom Momentanwert des Stromes abhängt. Für die Beurteilung der Wechselwirkung eines Magnetfeldes mit Materie wird statt der „magnetischen Feldstärke“ die „magnetische Induktion“ verwendet. Während die magnetische Feldstärke die Einheit A/m besitzt, wird die magnetische Induktion in der Einheit Tesla angegeben. Da diese Einheit relativ groß ist, werden in unserer Umwelt auftretende Magnetfelder meist durch den Millionsten Teil mit der Vorsilbe „Mikro“ also in **µT („Mikro-Tesla“)** angegeben.

Die relativ höchsten Werte für magnetische Felder ergeben sich bei **Elektrogeräten**. Diese sind jedoch dadurch charakterisiert, dass sie räumlich sehr inhomogen sind und nur Teile des Körpers stärker exponieren. Magnetische Induktionen können dabei lokal hohe Werte bis nahe an die zulässigen Grenzwerte erreichen. Hinzu

kommt noch, dass die Expositionsdauern pro Tag vergleichsweise nur kurz sind, mit wenigen Ausnahmen wie z. B. bei Heizdecken, Fußbodenheizung etc..

*Anmerkung: Die magnetischen Felder von **Hochspannungsleitungen** sind im Wohnungsbereich weitgehend homogen und schwanken mit der momentanen Stromführung der Leiterseile.*

Anmerkung: Statistisch abgesicherte Untersuchungen über die Magnetfeldexposition in Wohnbereichen liegen aus Deutschland vor (Schütz 2002)². Die im Rahmen von epidemiologischen Studien durchgeführten Messungen ergaben für 2.405 in Deutschland untersuchten Wohnungen, dass in den Wohnungen für relativ höhere Expositionen verschiedene Feldquellen verantwortlich waren. Es waren dies in Abhängigkeit der Prozentanteile der Wohnungen, in:

- 21% die eigene Elektroinstallation,*
- 32% Niederspannungsleitungen (Energieversorgung, Straßenbeleuchtung),*
- 14% Niederspannungs- Erdkabel und nur in*
- 29% Hochspannungsleitungen.***

Zur Erhebung des Istzustandes wurde in den der Steiermarkleitung am nächsten gelegenen Wohnobjekten der vorherrschende Magnetfeldpegel und die zusätzlichen Magnetfeldanteile bei der Verwendung von Elektrogeräten gemessen. Da in einigen Fällen der Zutritt verwehrt wurde, konnte die Erhebung jedoch nicht in allen in Frage kommenden Objekten durchgeführt werden.

- Die Messungen wurden mit einem Messgerät³ durchgeführt, das den Magnetfeldvektor in allen drei Raumrichtungen erfasst und den Betrag des Vektors (Ersatz- Induktion) und die Frequenz anzeigt. Die Messfläche entsprach den Angaben in der ÖNORM S 1119 und betrug 100cm². Bei Elektrogeräten wurden die Messwerte an der Oberfläche erhoben.

² Schütz, J. (2002): Leukämie im Kindesalter und die Rolle von Umwelteinflüssen bei deren Entstehung. Umweltmed. Forsch. Prax. 7, 309 - 320

³ Magnetfeldmessgerät COMBINOVA MFM 10

- Die Messungen zeigen in den untersuchten Objekten allgemein einen niedrigen Hintergrund- Magnetfeldpegel mit Werten, die zwischen 8nT und 180nT liegen⁴. Sie sind damit deutlich niedriger als die Werte, die in städtischen Bereichen üblich sind.
- Bezüglich der zusätzlichen Magnetfelder, die von Elektrogeräten erzeugt werden, sind vor allem Mikrowellenherde mit gemessenen Induktionen bis 117µT, Küchenmaschinen (bis 118µT) und E-Herde (bis 14µT) zu nennen (siehe Tabelle 2).
- Naturgemäß wurden bei den leistungsstärkeren Werkzeugmaschinen im Bereich der Autobahnmeisterei deutlich höhere Werte ermittelt. Die größten Werte ergaben sich wie erwartet bei dem Elektroschweißgenerator, bei dem unter Last sogar die Messbereichsgrenze überschritten wurde. Hohe Werte ergaben sich auch bei der Schleifmaschine in der Halle (bis 598µT), bei der Ständerbohrmaschine (bis 140µT) und der Kreissäge (bis 57µT)

Anmerkung: Aufgrund der räumlich stark inhomogenen Magnetfelder ist ein direkter Vergleich dieser Werte mit den Expositionsgrenzwerten nicht möglich. Eine Bewertung würde die Umrechnung auf äquivalente Ganzkörper-Expositionen gegenüber homogenen Feldern erfordern.

Anmerkung: Die bestehenden Grenzwertregelungen enthalten derzeit noch keine Vorgaben, wie eine derartige Umrechnung zu erfolgen hat.

⁴ 1 nT („ein Nano-Tesla“) ist der Tausendste Teil von 1 µT

Tabelle 2: Im Zuge der Istzustandserhebung gemessene Werte der magnetischen Induktion in jenen Wohnobjekten, die der geplanten Steiermarkleitung am nächsten liegen. Zusätzlich ist die Istzustandserhebung in den Betriebsräumen der Autobahnmeisterei Markt Allhau angegeben.

d_{Leitg} m	Wohnobjekt	$B_{\text{Hintergrund}}$ μT	$B_{\text{Gerät}}$ μT	Dat. 2003
0	Werkswohnung der Autobahnmeisterei Markt Allhau 263	Küche: 0,011	E-Herd, oben 14,1 vorne 2,7 μW -Herd, seitl. 95,1 vorne 32,4 Küchenmasch,seitl. 118,5 vorne 52,0	8.10.
		Wohnz.: 0,018	Sitzbank (Verteiler) 1,0 TV, vorne 1,8	
70	Techt Wutschdorf	Wohnr.: 0,017 Veranda: 0,030	(kein E-Anschluss)	24.9.
67	Sundl St. Ulrich/ Waasen	Küche: 0,008	E-Herd, oben 6,7 vorne 3,4 Radio, vorne 0,7 TV, vorne 4,8 seitlich 5,2	15.9.
71	Schmer Weitendorf	Küche: 0,120	E-Herd, oben 4,7 vorne 3,4 Backrohr, vorne 2,6 μW -Herd, seitlich 26,5 vorne 3,0 TV, vorne 1,7 Radio, hinten 10,9 Haarfön 3,3 Nähmaschine, seitl. 40,6	15.9.
			TV, seitlich 1,7 PC-Monitor, seitlich 2,2	
71	Hödl Weitendorf	Küche:	E-Herd, oben 3,7 vorne 1,2 μW -Herd, seitlich 17,0 vorne 5,6 Kaffeemaschine,seitl. 2,4	15.9.
93	Menapace Kroisbach 46	Küche: 0,016	E-Herd, oben 7,9 vorne 3,5 μW -Herd, seitlich 116,8 vorne 27,7 Schneidemaschine 8,8 Radio, seitlich 0,4	17.9.
		Wohnz.: 0,022	TV, vorne 1,4 seitlich 2,0	
89	Tschernko Stocking/ Greith 47	Küche: 0,006	E-Herd, oben 10,2 vorne 1,2 Backofen, seitlich 1,1 vorne. 2,1	15.9.
		Wohnz.: 0,026	TV, vorne 3,8	
124	Dienstl Arnwiesen 17	Küche: 0,030	E-Herd, oben 11,8 vorne 3,0 Radio, vorne links 1,1	24.9.

Tabelle 2: Fortsetzung

d_{Leitg} m	Objekt	$B_{\text{hintergrund}}$ μT	$B_{\text{Gerät}}$ μT	Dat. 2003	
145	Taschner Wolfau 466	Küche: 0,008	E-Herd, oben 16,8 vorne 1,3 μW -Herd, vorne 21,4	8.10.	
		Wohnz.: 0,010	TV, vorne 2,0		
147	Lukits Markt Allhau 263	Wohnr.: 0,031	Lampe <i>(keine sonst. E-Geräte)</i> 0,1	8.10.	
160	Mühl Markt Allhau 236	Küche: 0,006	Kochplatte, oben 7,4 μW -Herd, vorne 27,7 seitlich 14,6	8.10.	
			Radio, seitlich 5,0 Kühltruhe 0,6 TV, vorne 2,3		
			Häckselmotor 90,7 (Schalterseite) 151,7 Schleifmaschine 136,1		
106	Adler Krumegg 81	Küche: 0,078 0,180	E-Herd, oben 10,0 vorne 1,6 Kaffeemaschine 1,0 Radio, vorne links 7,6	24.9.	
		Wohnz.: 0,011	TV, vorne 1,0		
106	Frühwirth Empersdorf 59	Küche: 0,008	E-Herd, oben 11,0 vorne 2,9 Schneidemaschine 81,3 Radio, vorne links 1,3 TV vorne 2,5 seitlich 7,5	17.9.	
89	Adler Krumegg 43	Küche: 0,057	E-Herd, oben 10,6 vorne 1,3 μW -Herd, seitlich 61,1 vorne 20,35 Radio, seitlich 1,2	17.9.	
			Wohnz.: 0,088		TV vorne 1,1
			Wohnz.: 0,072		Ventilator, seitlich 18,4

d_{Leitg} m	Betriebsobjekt	$B_{\text{hintergrund}}$ μT	$B_{\text{Gerät}}$ μT	Dat. 2003	
35	Autobahnmeisterei Markt Allhau	Werkstätte: 0,006	Schleifmaschine 597,6 Ständerbohrmaschine 139,7 Schweißgen., Leerlauf 10,3 Last overflow Metallkreissäge 53,5 Holzkreissäge 57,4 Absaugmotor 8,3	8.10.	
			Halle		Schleifmaschine 238,4 Kettenschleifmaschine 155,3 Hebebühnenmotor 10,8
			Telefonzentrale		Arbeitsplatz, Tisch 0,1 Bildschirm, vorne 2,7 hinten 1,8

3 Mögliche positive und negative Auswirkungen

Durch Hochspannungsleitungen können grundsätzlich folgende elektromagnetische Emissionen hervorgerufen werden:

1. die elektrische Spannung erzeugt ein netzfrequentes (50Hz-) **elektrisches Feld**;
2. die in den Leiterseilen fließenden elektrischen Ströme erzeugen ein **magnetisches Feld** mit der dominierenden Frequenz 50 Hz und zusätzliche niederfrequente Magnetfeldanteile durch Strom- Oberschwingungen, die von den Belastungsverhältnissen abhängen;

Anmerkung: Niederfrequente elektrische und magnetische Felder werden nicht „abgestrahlt“. Sie bleiben an den Entstehungsort gebunden. Die für eine Löslösung, also Aussendung, erforderlichen Frequenzen werden erst durch höherfrequente elektromagnetische Felder erreicht.

3. die an der Oberfläche der Leiterseile z.B. durch Feuchtigkeit entstehenden Funkenentladungen (Korona) erzeugen **höherfrequente elektromagnetische Felder**.

Allen diesen elektromagnetischen Emissionen ist eines gemeinsam: Ihre Stärke nimmt mit zunehmender Entfernung rasch ab. Dies hat zwei Konsequenzen:

- Da die Leiterseile zwischen den Freileitungsmasten durchhängen, ist im Bereich des größten Durchhanges, also bei der kleinsten Bodenentfernung, mit den relativ größten Expositionen zu rechnen, während diese in der Nähe der Maste entsprechend geringer sind.

- Mit zunehmender seitlicher Entfernung zur Leitungstrasse erfolgt die Abnahme ab etwa dem 1 bis 1,5-fachen der Seilhöhe sehr rasch, nämlich mit dem Quadrat der Entfernung.

*Anmerkung: Zur Abschätzung der auftretenden elektrischen und magnetischen Felder werden im Rahmen der UVE jeweils **die ungünstigsten Annahmen** getroffen. Daher werden die Felder für den Trassenbereich in Spannfeldmitte, also an der Stelle des größten Durchhanges bzw. der geringsten Bodenentfernung, zur Bewertung herangezogen.*

Bei den niederen Frequenzen der elektrischen Energieversorgung **sind elektrische und magnetische Felder getrennt zu betrachten**. Dies ist keine bloße physikalische Spitzfindigkeit. Beide Feldarten unterscheiden sich nämlich erheblich, sowohl hinsichtlich ihrer Entstehungsursache als auch in Hinblick auf ihre biologischen Auswirkungen und auch bezüglich der Möglichkeit ihrer Vermeidung bzw. Verminderung.

3.1 Elektrisches Feld

Das elektrische Feld wird von der **elektrischen Spannung** verursacht, kann jedoch durch Personen (und Tiere), Gegenstände und Objekte erheblich verzerrt werden.

Anmerkung: Diese Feld verzerrende Wirkung wird z.B. beim Blitzableiter gezielt ausgenützt.

Elektrische Felder im Hausinneren

Im Inneren von Häusern sind die elektrischen Felder der Steiermarkleitung wegen der elektrischen Leitfähigkeit des Bauwerkes sehr gut, **um** mehr als das ca. **100-fache, abgeschirmt**. Dies ist der Grund, weshalb im Hausinneren das elektrische Feld auch im Nahbereich von Hochspannungsleitungen meist nicht erhöht ist. Die von außen hereinreichenden elektrischen Feldstärken würden selbst im unmittelbaren Nahbereich der Leitung lediglich in der Größenordnung jener elektrischen Felder liegen, die von der eigenen Hausinstallation verursacht werden. In dem der zur Steiermarkleitung am nächsten gelegenen Wohnobjekt (im Abstand von 67 m) beträgt die elektrische Feldstärke bereits außen nur mehr ca. 0,13 kV/m und würde durch die Schirmwirkung im Hausinneren auf den Bereich von ca. 0,001 kV/m⁵ absinken.

Anmerkung: Aus diesem Grund konnte im Rahmen der UVE auf die messtechnische Untersuchung der elektrischen Feldverhältnisse im Wohnbereich verzichtet werden (keine Istzustandserhebung).

Anmerkung: Wegen der Feldverzerrung durch das elektrisch leitfähige Mobiliar (und die Personen selbst) sind auch elektrische Felder im Hausinneren räumlich i.a. inhomogen.

⁵ 0,001 kV/m = 1 V/m

Elektrische Felder im Freien

Der Verlauf der elektrischen Feldstärke quer zur Leitungstrasse wurde von Verbund-APG berechnet vom Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik der TU-Wien überprüft (Bild 2,3). Im ungünstigsten Fall, nämlich an der Stelle des geringsten Bodenabstandes (10,5 m) der Seile, direkt unter den Seilen und ohne abschirmende Objekte, wie z.B. Bäume, ist in 1 m Bodenabstand direkt unter der Leitung bei Nennspannung mit folgenden maximalen elektrischen Feldstärken zu rechnen:

380 kV-Doppelleitung (Dreierbündel)	4,57 kV/m
380 kV-Doppelleitung + 110 kV-System, Einfachseil	4,64 kV/m
380 kV-Doppelleitung + 110 kV-System, Zweierbündel	4,71 kV/m

Anmerkung: Die elektrische Feldstärke nimmt mit zunehmender Entfernung von den Leiterseilen ab und variiert daher grundsätzlich auch über die Körperhöhe. Selbst bei dem Mindestabstand der Leiterseile kann das Feld in Bodennähe jedoch noch mit guter Näherung als homogen angesehen werden. Dadurch sind die angegebenen Feldstärkewerte direkt mit den Grenzwerten der ÖNORM und der ICNIRP vergleichbar.

Da sich elektrische Felder einfach abschirmen lassen, kann jedoch z.B. bereits ein einziger Baum viel bewirken, unabhängig davon, ob er Blätter trägt oder nicht: Seine Krone schirmt elektrische Felder nahezu völlig ab, und auch in einer Entfernung bis zu einigen 10 m lässt sich durch ihn das elektrische Feld noch deutlich reduzieren.

Anmerkung: Im Wald befindet man sich daher praktisch in einer elektrisch feldfreien Umgebung.

Die Schirmwirkung eines Hauses beschränkt sich nicht nur auf das Hausinnere, sondern erstreckt sich, ähnlich wie bei Bäumen, auch noch auf seine nähere Umgebung, sodass auch im Bereich von Terrassen oder Balkonen mit deutlichen Feldreduzierungen gerechnet werden kann.

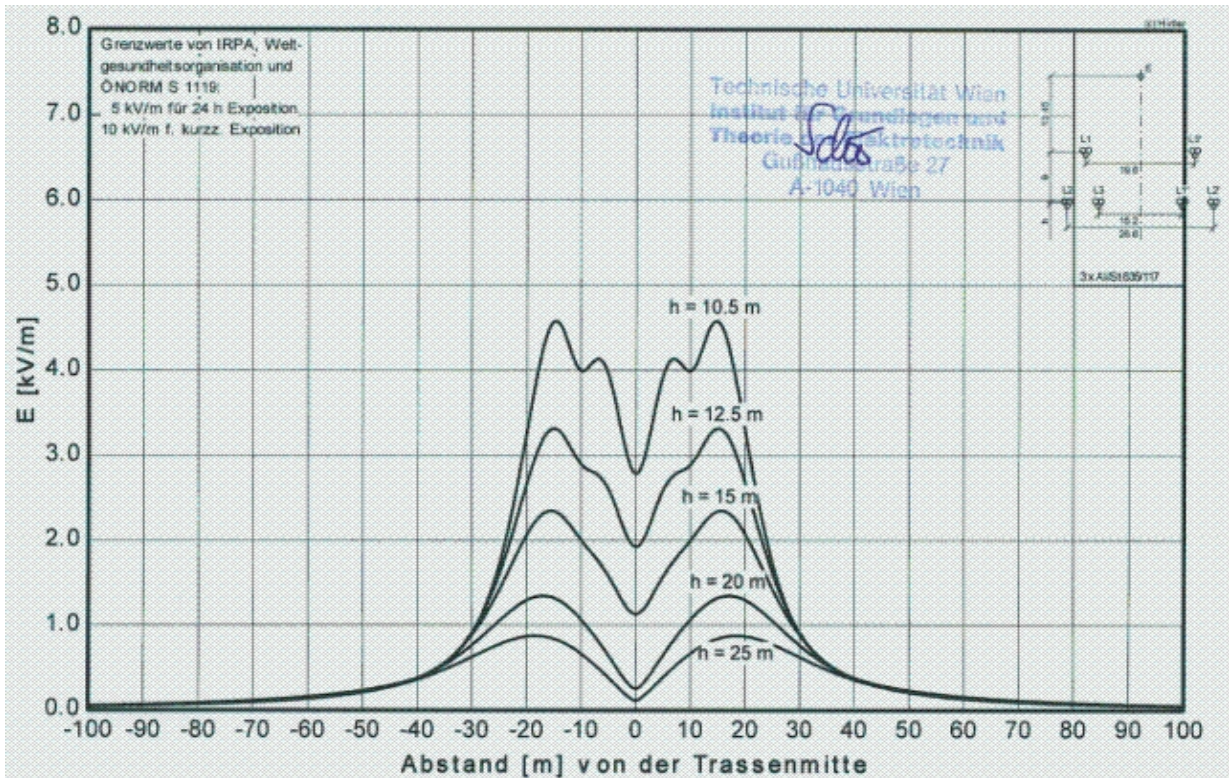


Bild 2: Elektrische Feldstärke der Steiermarkleitung in 1m Bodenabstand (zwei 380 kV-Systeme mit Dreierbündell)

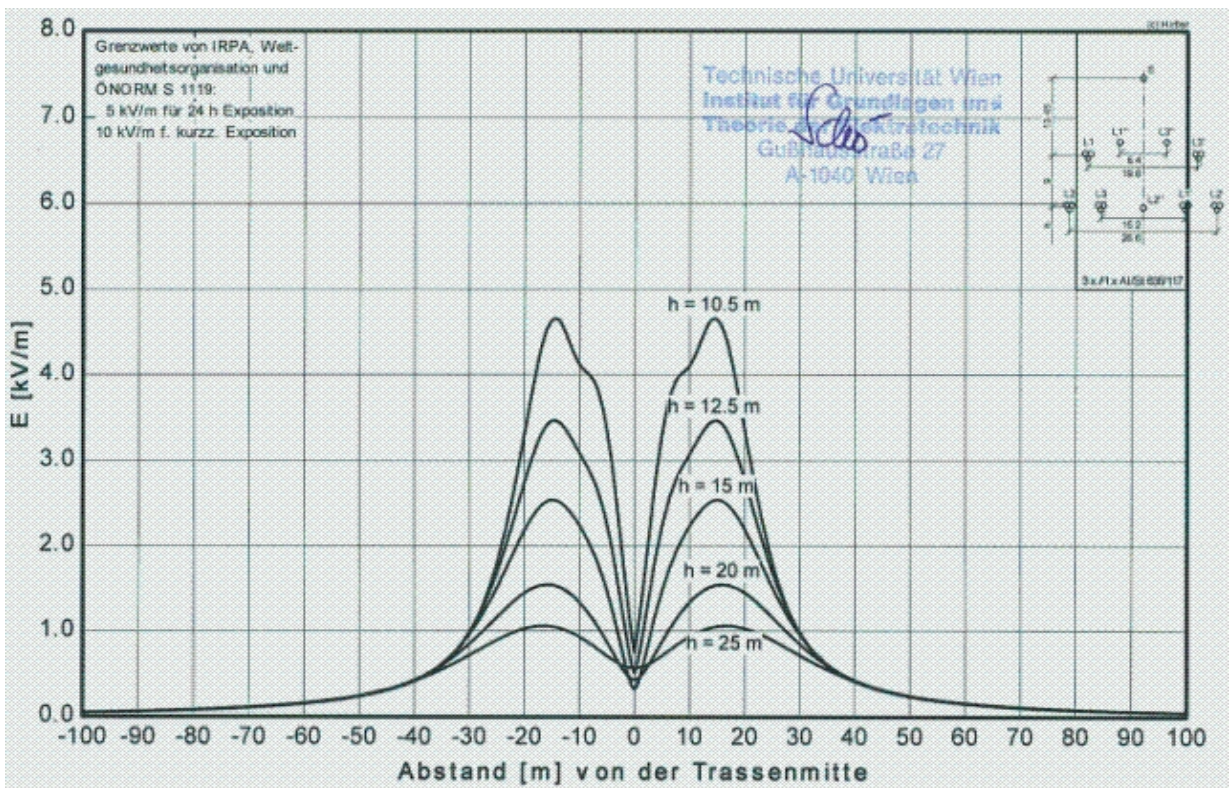


Bild 3: Elektrische Feldstärke der Steiermarkleitung in 1m Bodenabstand (zwei 380 kV-Systeme mit Dreierbündel und ein mitgeführtes 110 kV-System)

3.2 Magnetisches Feld

Magnetfelder werden von den **elektrischen Strömen** verursacht, die in den Leiterseilen fließen. Dies hat zwei wichtige Konsequenzen:

- Die Magnetfelder hängen vom jeweiligen momentanen Leiterstrom ab und ändern damit wie dieser ihre Stärke.

Da Strom Wärme verursacht (z. B. Elektroherd), dürfen Hochspannungsleitungen nicht zu stark belastet werden. In jeder Leitung, auch in jener der Elektroinstallation, darf der Strom nur bis zu einem Maximalwert, dem thermischen Grenzstrom, ansteigen. Um jedoch Stromschwankungen zulassen zu können, muss daher der dauernd fließende Betriebsstrom kleiner sein als der maximal zulässige thermische Grenzstrom, für den eine Leitung dimensioniert ist. Dies trifft auch auf die Stromleitungen einer Hochspannungsleitung zu. Bei der Steiermarkleitung ist als maximaler Dauerstrom im Normalbetrieb das 0,6-fache des thermischen Grenzstromes vorgesehen.

Anmerkung: Aus Gründen der Vorsorgeüberlegungen wird zur Abschätzung der Magnetfeld-Immissionen dennoch nicht das Magnetfeld im Normalbetrieb, sondern der denkbar ungünstigste Fall – also das vom thermischen Grenzstrom erzeugte Magnetfeld – zu Grunde gelegt.

Magnetfelder im Hausinneren

Magnetfelder der Hochspannungsleitung unterscheiden sich physikalisch in einem wesentlichen Punkt von den elektrischen Feldern: Ihre Wirkung auf Materie, also auch auf Bäume oder Häuser, ist meist vernachlässigbar gering. Sie lassen sich daher (bei 50 Hz) mit vertretbarem Aufwand nicht abschirmen. Dies ist der Grund, weshalb Magnetfelder im Hausinneren praktisch gleich stark sind wie außen.

Die Expositionsverhältnisse in Häusern gegenüber magnetischen Feldern von der Steiermarkleitung hängen daher entscheidend von deren Entfernung zur Leitung

bzw. zu den Leiterseilen ab. Es ist daher ein wesentliches Kriterium, die Leitungstrasse so festzulegen, dass zu große Annäherungen an Wohnobjekte vermieden werden.

Im Verlauf der Steiermarkleitung beträgt der Abstand von Wohngebäuden zur Leitung im allgemeinen mehr als 86m, sodass selbst im ungünstigsten Fall des thermischen Grenzstromes die magnetische Induktion **unter 1 μT** bleibt.

Lediglich 4 Wohnobjekte liegen näher (Tabelle 3). Der Abstand des am nächsten gelegenen Wohnobjektes beträgt 67m.

Anmerkung: Eine Ausnahme bildet die Werkswohnung der Straßenmeisterei Markt Allhau, die von der Leitung direkt überspannt werden würde.

Tabelle 3: Zusammenstellung der zu erwartenden magnetischen Induktionen in den Wohnobjekten mit einem Abstand bis zu 100m Entfernung von der Steiermarkleitung beim thermischen Strom ($B_{L_{th}}$) und beim maximalen Dauerstrom ($B_{D_{max}}$)

Anmerkung: Während Tabelle 2 nur Objekte enthält, bei denen für die Istzustandserhebung die Einwilligung der Bewohner bestand, sind hier alle zutreffenden Wohnobjekte aufgenommen worden.

Gst.	Ort	Entfernung	$B_{L_{th}}$ μT	$B_{D_{max}}$ μT	B_{JMW} μT
237/3	Wutschdorf	67	1,67	1	0,29
240/2	Wutschdorf	70	1,52	0,91	0,26
10691/2	Markt Allhau	82	1,1	0,66	0,19
75/2	Obergroßau	83	1,07	0,64	0,19
270/2	Pirching	88	0,95	0,57	0,16
576/2	Werndorf	89	0,93	0,56	0,16
237/3	Wutschdorf	89	0,93	0,56	0,16
309	Krumegg	89	0,93	0,56	0,16
274	Krumegg	88	0,85	0,57	0,15
100/7	Kreusbach	93	0,85	0,51	0,15
17	Arnwiesen	94	0,83	0,64	0,14
360/2	Heiligenkreuz	95	0,82	0,49	0,14

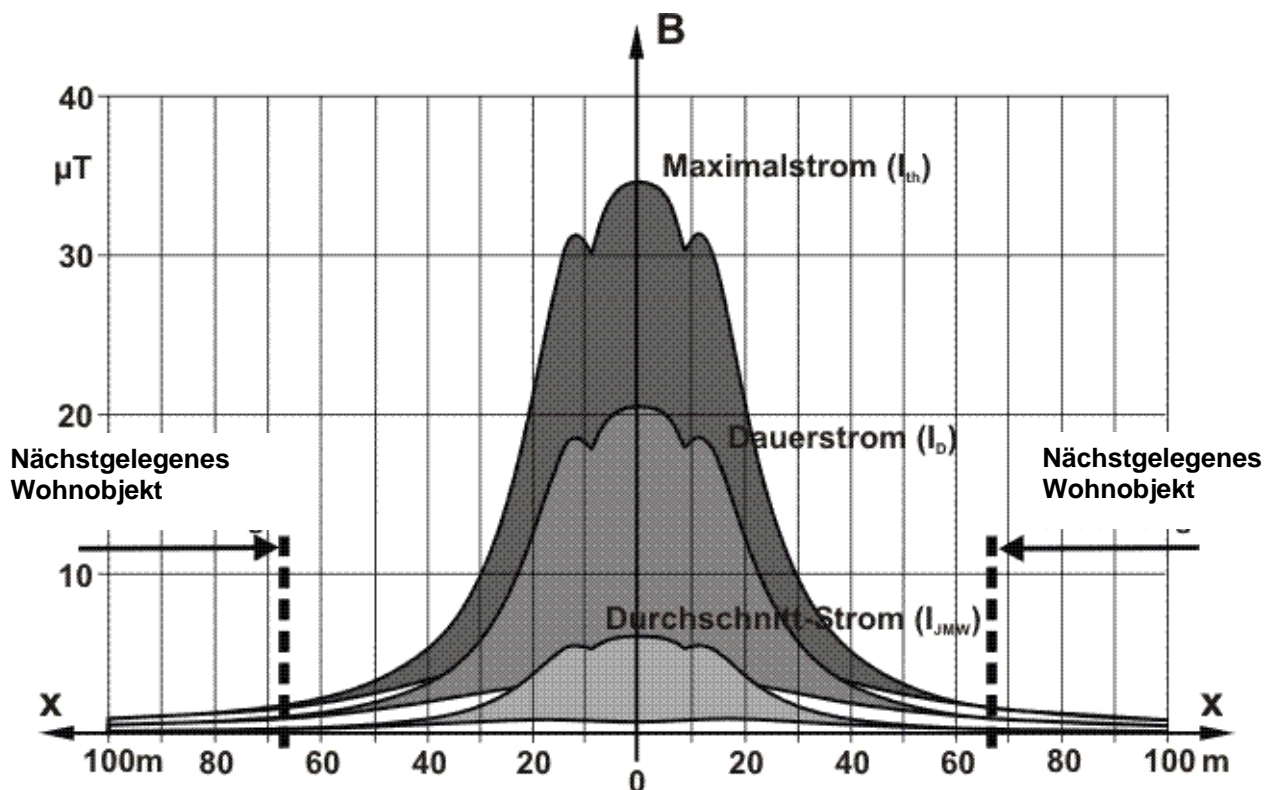


Bild 4: Von der Steiermarkleitung erzeugte Magnetfelder beim thermischen Grenzstrom (maximale magnetische Induktion), beim maximalen Dauerstrom eines Dreierbündels und bei dem Strom, der dem Jahresmittelwert entspricht (Durchschnitts-Strom).

Anmerkung: Die flächenhafte vertikale Aufweitung der Induktionskurven berücksichtigt die wegen des Seildurchhanges unterschiedlichen Leiterhöhen. Man erkennt, dass ab einer seitlichen Entfernung von ca. 60m die Leiterhöhe keinen wesentlichen Einfluss mehr hat.

Der Induktionsverlauf in Bild 4 zeigt, dass selbst beim zur Steiermarkleitung am nächsten gelegenen Gebäude die unterschiedlichen Höhen der Leiterseile keinen wesentlichen Einfluss mehr auf die Stärke des Magnetfeldes besitzen. Für dieses Gebäude ergibt sich durch die Steiermarkleitung unter Berücksichtigung des thermischen Grenzstroms als „worst case“- Fall eine maximale magnetische Induktion von

ca. 1,7 µT.

Im Normalbetrieb der Leitung sind die auftretenden Ströme und damit auch die Magnetfelder geringer. Durch den linearen Zusammenhang der magnetischen Induktion mit dem Strom ergibt sich für den maximalen Dauerstrom der Steiermarkleitung ($0,6 \times I_{th}$) der 0,6-fache Wert (Bild 4) zu

ca. 1 µT.

Ab 86 m Entfernung ist die Induktion in Gebäuden im „worst case“ des thermischen Grenzstroms **unter 1 μT** bzw. beim maximalen Dauerstrom **unter 0,6 μT** abgesunken.

Magnetfelder im Freien

Hochgerechnet auf den thermischen Grenzstrom und bei symmetrischer Belastung der Systeme ergeben sich an der ungünstigsten Stelle, also zwischen zwei Masten in Spannungsmittelpunkt (an der Stelle des geringsten Bodenabstandes), in 1 m Höhe direkt unter der Leitung folgende Maximalwerte der magnetischen Flussdichte:

Magnetfeld bei thermischem Grenzstrom

380 kV-Doppelleitung (Dreierbündel)	34,7 μT
380 kV-Doppelleitung + 110 kV-System, Einfachseil	30 μT
380 kV-Doppelleitung + 110 kV-System, Zweierbündel	27,9 μT

Anmerkung: Die magnetische Induktion nimmt mit zunehmender Entfernung von den Leiterseilen ab und variiert daher theoretisch auch über der Körperhöhe einer unter der Leitung stehenden Person. Selbst bei dem Mindestabstand der Leiterseile kann das Feld in Bodennähe jedoch noch mit guter Näherung als homogen angesehen werden. Dadurch sind die angegebenen Induktionswerte direkt mit den Grenzwerten der ÖNORM und der ICNIRP vergleichbar.

Für den maximalen Dauerstrom ($0,6 \times I_{th}$) ergeben sich für die magnetische Induktion, abhängig von der 110 kV-Mitführung, direkt unter der Leitung folgende Werte (Bild 5,6,7):

Magnetfeld bei maximalem Dauerstrom

380 kV-Doppelleitung (Dreierbündel)	20,8 μT
380 kV-Doppelleitung + 110 kV-System, Einfachseil	18 μT
380 kV-Doppelleitung + 110 kV-System, Zweierbündel	16,7 μT

Der zu erwartende Jahresmittelwert des Betriebsstromes wurde anhand der Jahresaufzeichnungen für eine bereits in Betrieb stehende betriebstechnisch vergleichbare 220kV-Leitung durch Hochrechnung zu 600A ermittelt.

Magnetfeld beim Betriebsstrom- Mittelwert ($I_{JMw} = 600A$)

380 kV-Doppelleitung (Dreierbündel)	6 μT
-------------------------------------	-----------------------------------

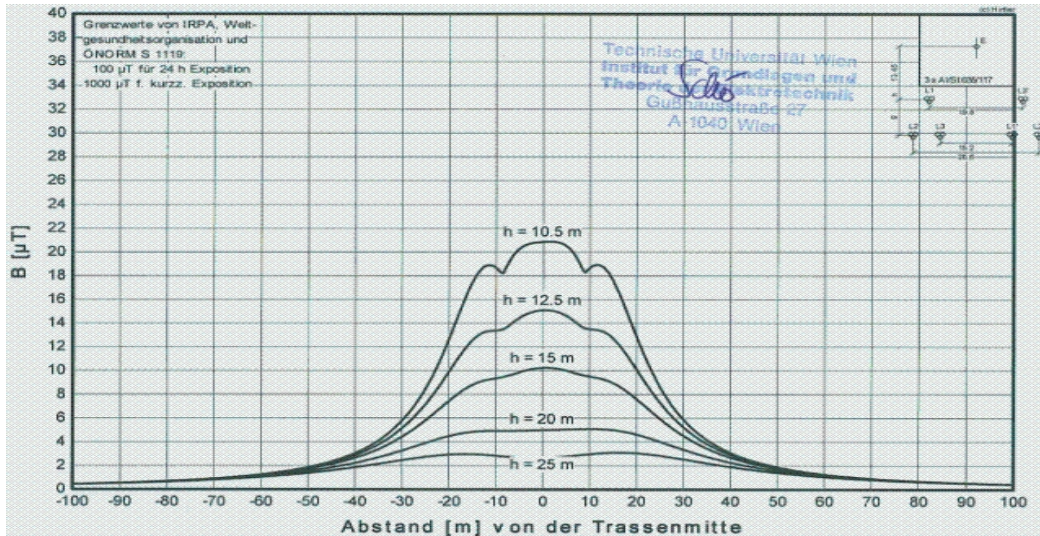


Bild 5: Magnetische Induktion der Steiermarkleitung beim maximalen Dauerstrom ($0,6 \times I_{th}$) in 1m Bodenabstand (zwei 380kV- Systeme mit Dreierbündel)

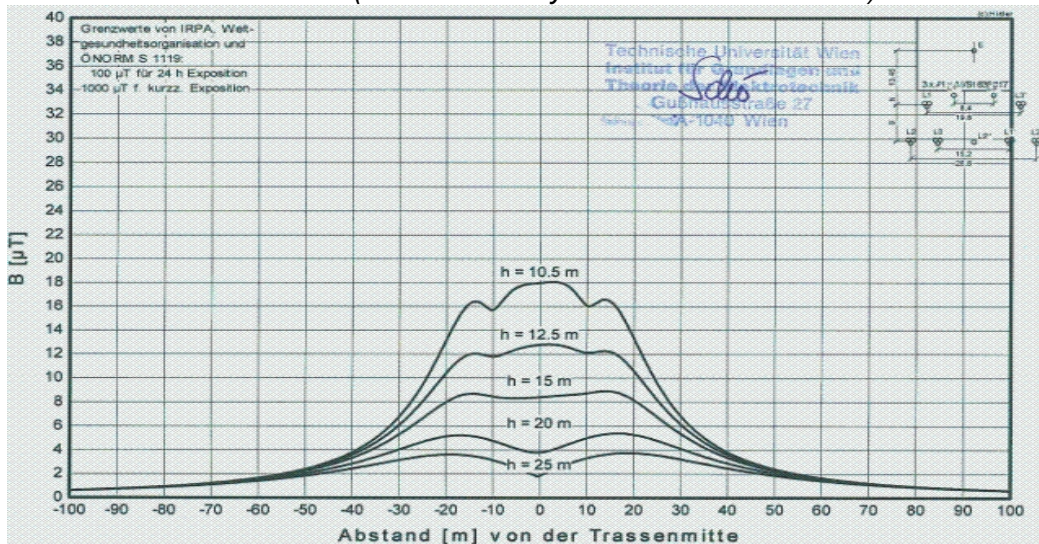
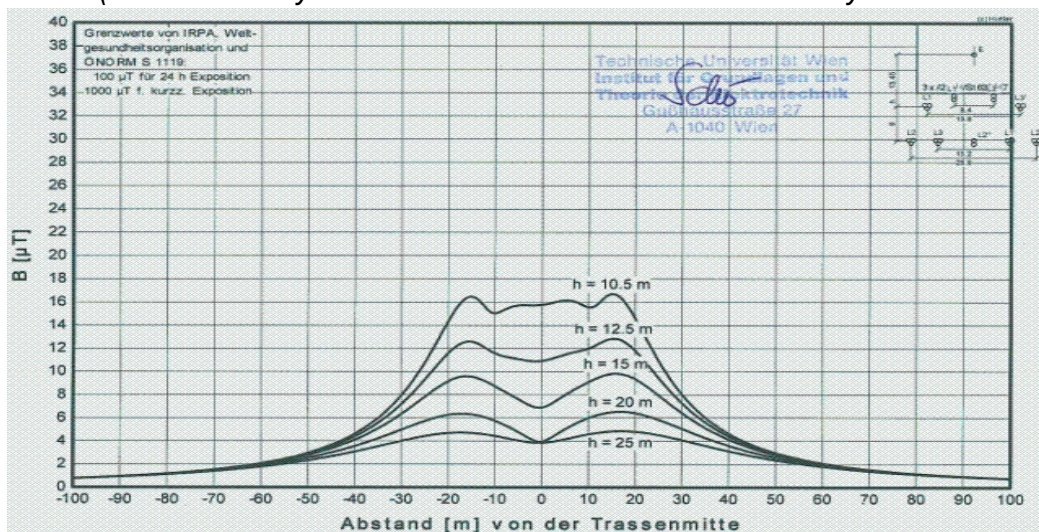


Bild 6: Magnetische Induktion der Steiermarkleitung beim maximalen Dauerstrom ($0,6 \times I_{th}$) in 1m Bodenabstand (zwei 380kV- Systeme mit Dreierbündel und ein 110kV- System mit Einfachseil)



Anmerkung: Durch die Mitführung des 110 kV-Systems kommt es, wie der Vergleich der Bilder 6 und 7 mit dem Bild 5 zeigt, zu Veränderungen des magnetischen Feldes. Diese Veränderungen hängen im Wesentlichen von der Höhe und der elektrischen Phasenlage (Winkel zum Strom in den 380 kV-Systemen) des Stromes im 110 kV- System ab. Die hier dargestellten Bilder zeigen, dass es dadurch bei größeren Entfernungen zu einer geringen Erhöhung des Feldes kommen kann, während direkt unter der Trasse eine Reduktion auftritt⁶.

Anmerkung: Die Phasenlage des Stromes im 110 kV- System hängt u.a. von den Leistungsflüssen in den Netzen der STEWEAG-STEAG und der APG ab und ändert sich damit im Netzbetrieb ständig.

3.3 Höherfrequente elektromagnetische Felder

Höherfrequente elektromagnetische Felder bestehen aus je einem elektrischen und magnetischen Feldanteil, die wie die Glieder einer Kette untrennbar miteinander verknüpft sind.

Aus nachrichtentechnischer Sicht wirken Funkenentladungen (z.B. Korona) wie kleine Störender. Sie erzeugen kurzzeitig ein breitbandiges Gemisch verschiedenster Frequenzen, die den Rundfunkempfang stören könnten. Der Frequenzbereich dieser Störfelder reicht bis in den Hochfrequenzbereich hinein, die Amplituden nehmen jedoch ab ca. 150 kHz kontinuierlich ab.

Bei 380 kV- Hochspannungsleitungen gibt es an den Leiterseilen wegen der hohen Spannungen besonders dann Funkenentladungen, wenn die Leiteroberflächen Unebenheiten, z.B. durch Feuchtigkeitsanlagerungen aufweisen. Die Stärke der Störfelder hängt daher stark von der Witterung und der Luftverschmutzung ab: Bei Regen können sich die Werte um das ca. 60-fache erhöhen.

⁶ Umgekehrt verringert sich bei einer um 180° veränderten Phasenlage des Stromes im 110 kV-System der Wert der magnetischen Induktion im Außenbereich, während es direkt unter der Leitung zu einer Erhöhung kommt.

Um Störungen des Rundfunk- und Fernsehempfanges zu vermeiden, sind die zulässigen Störfeldstärken begrenzt. Der Grenzwert ist in der Publikation CISPR 18-3:1986 festgelegt. Die elektrischen Feldstärken hochfrequenter Störfelder der Steiermarkleitung dürfen demnach im Frequenzbereich von 150 kHz bis 3 MHz

500 $\mu\text{V}/\text{m}$

nicht überschreiten.

*Anmerkung: Diese elektrische Feldstärke liegt damit um das **550 Tausend-fache** unter dem Grenzwert zur Vermeidung gesundheitlicher Beeinträchtigungen, der im Frequenzbereich 30 kHz bis 3 MHz **275 V/m** beträgt (ÖVE ÖNORM S1120). Die Größe der maximal zulässigen Störfelder verhält sich somit im Vergleich zum Grenzwert für eine gesundheitliche Beeinflussung wie die Größe eines Sandkornes im Vergleich zur Höhe des Wiener Stefansdomes*

3.4 Störfallbetrachtung

Die Ermittlung der Werte für elektrische und magnetische Felder erfolgte zwar unter den ungünstigsten Annahmen, z.B. der maximal zulässigen Strombelastung, jedoch noch für bestimmungsgemäß vorgesehene Betriebszustände. Als mögliche Störfälle, die (vorübergehend) zu Erhöhung der Felder führen können, sind folgende Ereignisse zu nennen:

Elektrisches Feld

Elektrische Überspannungen mit entsprechend proportionalen Felderhöhungen können auftreten durch

- betriebsmäßig bedingte Spannungsüberhöhungen
- Schaltvorgänge
- Blitzeinschläge (Blitzstoßspannungen)

Betriebsmäßig sind Spannungserhöhungen bis auf die höchste vorgesehene Betriebsspannung der Steiermarkleitung von 420 kV möglich (Tabelle 1). Dem entsprechend erhöhen sich die elektrischen Feldstärken um 10,5% auf maximal 5,2 kV/m.

Durch Überspannungsableiter in den Umspannwerken wird technisch vorgesehen, dass zu große Überspannungen begrenzt werden, und zwar auf 1.050 kV (Nennsteh-Schaltstoßspannung gegen Erde) bzw. auf 1.425 kV (Nennsteh-Blitzstoßspannung gegen Erde), sodass kurzzeitig, im Mikrosekundenbereich, Erhöhungen des elektrischen Feldes um das ca. 3,75-fache (auf ca. 17,6 kV/m) auftreten können.

Die kurzzeitigen Felderhöhungen liegen im Bereich der natürlichen Felderhöhungen unter Gewitterwolken, die bis zu ± 20 kV/m betragen können.

Magnetisches Feld

Die Ermittlung der Werte für die Magnetfelder erfolgte unter der Annahme symmetrischer Ströme in den Phasenleitern⁷. Der Betrieb mit symmetrischen Strömen liegt im Drehstromsystem der Steiermarkleitung im Normalbetrieb grundsätzlich vor. Da sich in diesem Fall die Beträge der einzelnen Phasenleiter zum Gesamt-Magnetfeld in diesem Fall am besten kompensieren, stellt dies den „günstigsten“ Fall dar.

Bei unsymmetrischen Strömen in den Leitern können Felderhöhungen auftreten. Die Ursachen können sein:

- Bei den mitgeführten 110kV- Systemen können hohe kapazitive bzw. induktive unsymmetrische Belastungen der einzelnen Phasen auftreten, die sich in einer **Verschiebung des Phasenwinkels** äußern, die auch eine Veränderung des Magnetfeldes bewirkt. Diese hängt dabei grundsätzlich zusätzlich auch von der Verdrillungsart der Leitung ab. Je nach Phasenwinkel kann sich sowohl eine Erhöhung um bis zu 111% (bei η -Verdrillung) als auch eine Erniedrigung um bis zu 61% (bei ζ -Verdrillung) ergeben⁸.

Anmerkung: Bei den 380kV- Systemen sind derartige Verschiebungen unwahrscheinlich.

- **Ausfall einer Phase** bei kompensatorischer Lastübernahme (bis zum thermischen Grenzstrom) durch die verbleibenden Phasen. Gelöscht betriebene 110kV- Leitungen können in diesem Zustand bis zu zwei Stunden weiter betrieben werden. In diesem Fall ist wegen der schlechteren Feldkompensation mit einer Erhöhung des Magnetfeldes um bis zum maximal 2,37-fachen des dem 110 kV- System zugeordneten

⁷ Dies bedeutet im Drehstromsystem drei gleich große Amplituden (Beträge) der drei Phasenströme, die elektrisch um 120° phasenverschoben sind.

⁸ Bauhofer, P. (1992): Hochspannungsleitungen. Niederfrequente elektromagnetische Felder und deren Reduktion. Dissertation, TU Wien

Feldanteiles zu rechnen. Insgesamt ist die Erhöhung des Gesamtmagnetfeldes der Steiermarkleitung jedoch wesentlich geringer.

Anmerkung: Der Ausfall einer Phasenleitung eines 380 kV-Systems führt (nach max. 1 bis 2 s) wegen der Auslösung des Leitungsschutzes zum sofortigen Abschalten des Systems.

- **Ausfall eines der beiden 380 kV-Systeme.** Dies ist nicht nur als Folge eines Störfalles möglich, sondern kann auch gezielt durch Abschaltung z.B. zu Wartungszwecken auftreten. In diesem Fall ist die Belastung des verbleibenden zweiten 380 kV-Systems mit dem thermischen Grenzstrom vorübergehend möglich.

Da die kompensatorische Wirkung des zweiten Systems auf die Magnetfelder des ersten Systems gering ist, ist die felderhöhende Wirkung dabei ebenfalls gering. Die Induktion steigt z.B. um ca. 1% auf 35 μT (Bild 8).

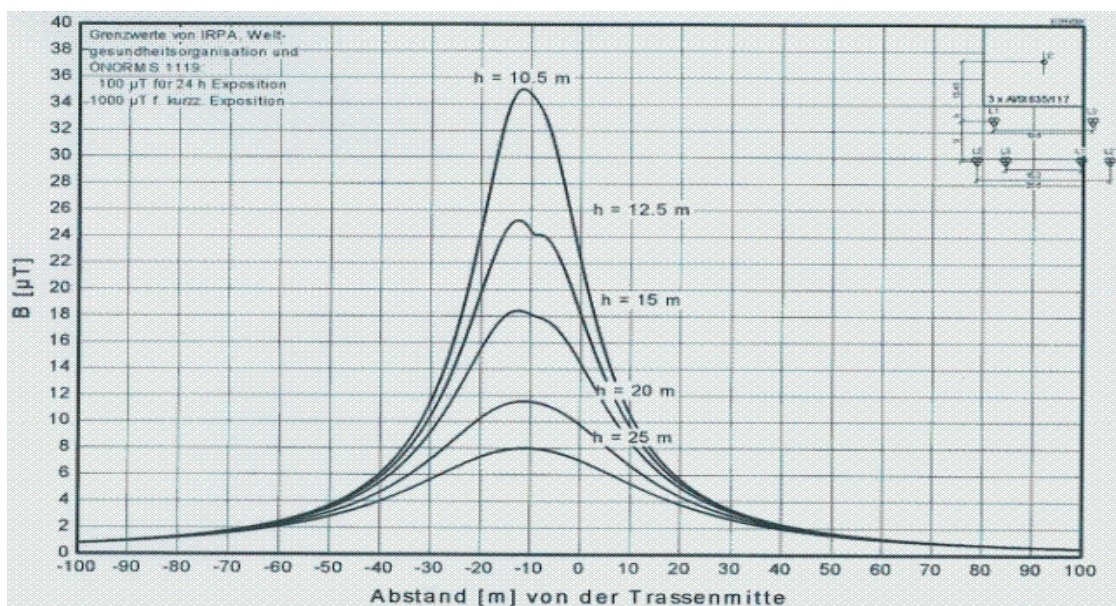


Bild 8: Auswirkung des Ausfalls oder der Abschaltung eines 380 kV-Systems der Steiermarkleitung auf den Verlauf des Magnetfeldes (Belastung des verbleibenden linken 380 kV-Systems mit dem thermischen Grenzstrom 3.477 A)

3.5 Grenzwerte

3.5.1 Allgemeines

Die Vorstellungen über biologische Wirkungen werden in der Öffentlichkeit noch immer von den Erfahrungen mit Röntgenstrahlung geprägt. Dies ist aus mehreren Gründen falsch:

1. Die **Röntgenstrahlung** ist nämlich so energiereich, dass selbst die kleinstmögliche Strahlungsmenge ausreicht, um sogar an der Erbsubstanz einen bleibenden Molekülschaden und damit genetische Schäden zu verursachen, die zu Krebs oder Missbildungen führen könnten. Durch Grenzwerte können diese Schäden nur in einem vertretbaren Bereich gehalten werden. Ausschließbar sind sie grundsätzlich nicht.

Elektromagnetische Felder hingegen sind viel zu energiearm, um Moleküle verändern zu können. Sie sind daher nicht bereits von Natur aus gefährlich. Dies hat zwei wichtige Konsequenzen:

- Es bedeutet einerseits, dass nicht bereits das Vorhandensein der Felder an sich bereits ein Risiko bedeutet, sondern dass es grundsätzlich von der Stärke der Felder abhängt, ob eine biologisch relevante Wirkung auftritt.
 - Andererseits folgt daraus, dass es **Wirkungsschwellen** gibt, unterhalb denen diese Felder nicht in der Lage sind, ein Risiko darzustellen.
2. Bei der Röntgenstrahlung ist die biologische Wirkungsbeziehung gut bekannt: **Je größer** die Strahlungsmenge, **desto mehr** Molekülschäden und relevantere biologische Auswirkungen sind zu erwarten. Die biologische Wirkung wird also durch die zeitliche Summe der Strahlungsmenge bestimmt: Auch schwache Strahlung kann so über genügend lange Zeit ein Gesundheitsrisiko darstellen.

Diese Zusammenhänge lassen sich auf die elektrischen und magnetischen Feldern der 380 kV- Leitung nicht direkt übertragen. Der Grund liegt darin, dass

es für sie Wirkungs- Schwellwerte gibt, die für eine biologische Beeinflussung überschritten werden müssen. Eine Exposition unterhalb der Wirkungsschwelle ist **auch dann vernachlässigbar, wenn sie lange andauert**. Eine **Aufsummierung** der Einwirkung wie bei der Röntgenstrahlung ist daher hier **kein** Maß für die biologische Wirkung.

Überdies erfolgt die Wechselwirkung niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder mit dem Körper **nichtlinear**. Dies bedeutet, dass das Proportionalitätsgesetz der Röntgenstrahlung des „**je mehr und länger, desto wirksamer**“ für elektrische und magnetische Wechselfelder nicht gilt.

3. In einem Punkt hingegen **ähneln** sich die Wechselwirkungseigenschaften: Wenn sich bei der Röntgenstrahlung die Molekülschäden auf eine kurze Zeit konzentrieren, werden die Reparaturmechanismen des Körpers überfordert und die biologische Wirkung ist größer, als wenn die gleiche Strahlungsmenge auf längere Zeit verteilt wäre: Dies bedeutet, dass **hohe Kurzzeitbelastungen wirksamer** sind **als schwache Langzeitbelastungen**.

Bei elektrischen und magnetischen Feldern wiederum ist innerhalb gewisser Grenzen eine Anpassung auf die Einwirkung elektromagnetischer Vorgänge möglich. Da überdies zur Auslösung einer biologischen Reaktion die Überschreitung eines Mindestwertes notwendig ist, gilt auch für niederfrequente elektrische und magnetische Felder, dass **kurzzeitige hohe Expositionen wirksamer** sind **als schwache Langzeitexpositionen**.

Anmerkung: Es ist bemerkenswert, dass gerade dieser Umstand in der öffentlichen Diskussion ignoriert wird. In der öffentlichen Risikowahrnehmung werden nämlich kurzzeitig hohe Expositionen, z.B. durch Elektrogeräte als ungefährlicher empfunden als langzeitige schwache Expositionen, z.B. durch Hochspannungsleitungen.

Wir wissen heute, dass im Frequenzbereich der elektrischen Energieversorgung (und auch im hochfrequenten Bereich) Gefährdungen auftreten können, wenn die

elektrischen oder die magnetischen Feldstärken zu groß werden und dass daher ihre Begrenzung durch Vorschriften sinnvoll und notwendig sind.

3.5.2 Grundlagen der Grenzwertregelung

Grundlage für die Regelungen über die Begrenzung der Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern sind wissenschaftliche Untersuchungen über deren biologische Wirkungen. Diese können jedoch aus verschiedenen Gründen widersprüchlich sein, z. B. wegen

- nicht korrekter Durchführung der Untersuchung
- unzureichenden interdisziplinären Wissens der Autoren
- ungeeigneter Untersuchungsparameter
- ungeeigneter Untersuchungsmethodik
- ungeeigneter Untersuchungsobjekte
- unzureichender Expositionsbestimmung
- des Einflusses nicht oder nicht genügend berücksichtigter Kofaktoren
- unzureichender statistische Absicherung (Anzahl der Versuche bzw. Versuchsobjekte)
- unzureichender Datenauswertung
- fehlerhafter Statistik (z.B. ungeeignete Signifikanztests, unkorrekte Festlegung des Signifikanzniveaus)
- unzureichender Übertragbarkeit auf den Menschen
- unzureichender Bewertung der gesundheitlichen Relevanz
- ungerechtfertigter Schlussfolgerungen

Die Widersprüchlichkeit wissenschaftlicher Ergebnisse und/oder Schlussfolgerungen ist in der Wissenschaft nicht neu und weder auf den Bereich der biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder noch auf die Gegenwart beschränkt. Aus diesem Grund stellen kritische Diskussionen seit je her ein wesentliches Element der Wissenschaft dar. Auch in Hinblick auf die Grundlagen für die Begrenzung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern ist daher die wissenschaftliche Bewertung des Wissens ein unverzichtbarer Vorgang. In sie müssen die Qualität und

die Stimmigkeit der vorliegenden Untersuchungsergebnisse eingehen. Dazu müssen unterschiedliche fachliche Aspekte berücksichtigt werden, die es erfordern, dass die Bewertung durch eine interdisziplinäre Gruppe von Fachexperten vorgenommen wird. Die international bedeutendsten Gruppierungen sind z.B. die ICNIRP⁹, die WHO¹⁰ oder die deutsche Strahlenschutzkommission.

Das Ergebnis der Bewertung ist die Einstufung von berichteten Wirkungen in eine der folgenden Kategorien

- wissenschaftliche **Nachweise** im Sinne nachvollziehbar dokumentierter reproduzierter (und reproduzierbarer) widerspruchsfreier Ergebnisse, die das wissenschaftliche Gesamtbild stützen und überzeugend kausal durch die Exposition verursacht sind.
- wissenschaftlich begründeter **Verdacht** im Sinne wissenschaftlich nicht ausreichend abgesicherter, nicht ausreichend reproduzierter oder (noch) widersprüchlicher Ergebnisse, für die eine Kausalbeziehung mit der Exposition zwar plausibel, aber nicht gesichert ist.
- wissenschaftliche **Hinweise** im Sinne von Ergebnissen von nicht reproduzierten Einzeluntersuchungen oder Arbeiten, die im Widerspruch mit dem wissenschaftlichen Gesamtbild stehen und wofür eine Kausalbeziehung mit der Exposition zwar nicht auszuschließen, aber auch nicht zwingend ist.¹¹

Entscheidend für die Art und Dringlichkeit der zu treffenden Maßnahmen ist die Bewertung der wissenschaftlichen Ergebnisse nach ihrer **Relevanz** für die Gesundheit. Dabei ist es wesentlich, zwischen folgenden Kategorien der Wechselwirkung zu unterscheiden:

⁹ ICNIRP Internationale Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung (mit dem Mandat der WHO)

¹⁰ WHO Weltgesundheitsorganisation

¹¹ Spekulationen, also grundsätzlich denkbare Überlegungen und Hypothesen zu Wirkungsmechanismen oder Auswirkungen elektrischer oder magnetischer Felder können zwar wertvolle Ansätze für experimentelle Untersuchungen liefern, sie stellen jedoch keine Basis für Schutzmaßnahmen oder Grenzwertüberlegungen dar. Ihre Widerspruchsfreiheit ist dabei eine unverzichtbare Bedingung, jedoch an sich noch kein Beweis für die Richtigkeit.

- **physikalisch messbarer Effekt** ohne biologische Reaktion;
- **biologischer Effekt**, d.h. eine Veränderung eines biologischen Parameters innerhalb der üblichen physiologischen Schwankungsbreite;
- **biologische Reaktion**, d.h. eine Veränderung eines biologischen Parameters außerhalb der üblichen physiologischen Schwankungsbreite, die eine Gegenregulation des Organismus erforderlich macht;
- **gesundheitsrelevanter Effekt**: Veränderung des physiologischen Zustandes außerhalb der normalen Schwankungsbreite, die die biologische Gegenregulationsfähigkeit überfordert.

3.5.3 Schutzstrategien

Rollenverteilung

Die Festlegung von Maßnahmen zum Schutz vor Umweltfaktoren im allgemeinen und vor elektromagnetischen Feldern im besonderen ist eine Aufgabe, bei der die Wissenschaft zwar eine wichtige Rolle spielt, die sie jedoch alleine nicht lösen kann. Der Grund dafür ist, dass dafür zwangsläufig auch gesellschaftliche Wertungen und politische Abwägungen einfließen müssen. Die Rollenverteilung kann wie folgt dargestellt werden:

1. Es ist zunächst Aufgabe der Wissenschaft, die biologischen Auswirkungen zu untersuchen und deren gesundheitliche Relevanz zu bewerten.
2. Eine weitere Aufgabe der Wissenschaft ist es, die Unsicherheiten in der wissenschaftlichen Bewertung zu berücksichtigen, z. B. bezüglich der statistischen Absicherung eines Effektes, der Dosimetrie, der Übertragbarkeit von experimentellen Ergebnissen aus in vitro- und in vivo- Versuchen auf den Menschen, der unterschiedlichen individuellen Empfindlichkeiten usw.. Dabei

wird abgeschätzt, bis wie weit unterhalb der experimentell festgestellten Expositionsbedingungen noch mit der jeweiligen Wirkung gerechnet werden muss, und es werden entsprechende Reduktionsfaktoren festgelegt.

3. Die Politik ist es danach, die das Schutzziel vorzugeben hat, z. B. den Ausschluss oder die Minimierung der Gefährdung des Lebens oder der Gesundheit (z.B. im Arbeitnehmerschutz), der Reduzierung des Gesundheitsrisikos (lediglich) auf ein akzeptiertes Maß (z.B. beim Schutz vor radioaktiver Strahlung), der Ausschluss oder die Minimierung der Beeinträchtigung des Wohlbefindens (z. B. beim Lärm) oder gar, wie es von manchen Bürgerinitiativen gegen Elektrosmog gefordert wird, der Ausschluss jedes berichteten Effektes an sich.

4. Gestützt auf die wissenschaftlichen Erkenntnisse ist es auch Aufgabe der Politik, **Maßnahmen** festzulegen um das Schutzziel zu erreichen. Der Maßnahmenkatalog kann umfassen:
 - gesetzlich verbindliche unbedingt einzuhaltende Vorgaben, z.B. Grenzwerte;
 - Motivierungen zu Emissionsreduzierung, z.B. durch Prämierung oder Kennzeichnung;
 - Überwachung durch Messung
 - Information, z.B. durch Immissionsangaben, Beschilderung, Zutrittsbeschränkung.
 - Empfehlungen zu freiwilliger Vorsorge bzw. Minimierung, z.B. Vermeidung unnötiger Expositionen durch Hersteller oder Anwender;

5. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass das Schutzziel nach Möglichkeit auch unter den nicht völlig überschaubaren Alltagsbedingungen erreicht werden soll. Dabei soll berücksichtigt werden, dass im Alltag Grenzwertüberschreitungen vorkommen könnten, z. B. durch mobile oder tragbare Feldquellen, durch Unwissenheit oder mangelnde Disziplin, durch

unbeabsichtigte Einflüsse, z. B. durch ungünstige Montage oder äußere Einflüsse. Derartige Überlegungen können zusätzliche Sicherheitsfaktoren zur weiteren Absenkung der Grenzwerte begründen.

6. Ob zusätzliche Sicherheitsfaktoren eingeführt werden und wie groß deren Höhe sein soll, lässt sich wissenschaftlich zwar empfehlen, aber nicht entscheiden. Dies hängt wesentlich von Prozessen der gesellschaftlichen Risikowahrnehmung ab, die nicht nur von der objektiven wissenschaftlichen Abschätzung des Risikos, sondern wesentlich auch von emotionalen Wertungen bestimmt wird. Die Frage „Wie sicher ist sicher genug?“ ist daher letztlich politisch zu beantworten. Die Antwort hängt davon ab, wie groß der Entscheidungsspielraum ist. Schutzziele und Sicherheitsfaktoren haben nämlich einen „Preis“. Wir zahlen ihn auf verschiedene Weise, in Form von Geld, Zeit, Unbequemlichkeit oder anderen direkten oder indirekten Nachteilen. Damit es akzeptierbar wird, diese Nachteile in Kauf zu nehmen, müssen sie in einem akzeptierten Verhältnis zum erreichbaren gesundheitlichen Nutzen stehen, was wiederum voraussetzt, dass dieser überhaupt objektiv feststellbar ist.
7. Zusätzlich oder an Stelle von zusätzlichen Sicherheitsfaktoren kann auf freiwilliger oder verordneter Basis das Prinzip der vorbeugenden Vermeidung¹² treten, um dort, wo es der Handlungsspielraum zulässt, unnötige Expositionen zu vermeiden.

Handlungsprinzipien

Zum Schutz vor unerwünschten Einwirkungen stehen allgemein folgende Handlungsprinzipien zur Auswahl:

- **Gefahrenabwehr** durch verbindliche Schutzmaßnahmen und Grenzwerte auf Basis wissenschaftlich gesicherter Befunde
- **Vorsichtsprinzip** durch Einführung zusätzliche Sicherheitsfaktoren zur weiteren Grenzwert- Reduzierung

¹² Im englischsprachigen Raum hat sich dafür die Bezeichnung „prudent avoidance“ eingebürgert.

- **Vorsorge**prinzip durch zusätzliche verordnete Auflagen auf Basis eines wissenschaftlich begründeten Verdachtes einer Wirkung
- **Vorbeugungs**prinzip durch flankierende Maßnahmen wie weitere Forschung, Optimierung, Aufklärung.
- **Vermeidung**prinzip durch individuelle freiwillige Vermeidung von Expositionen und/oder Quellen unabhängig von einem nachgewiesenen Nutzen, wo dies einfach und mit geringem Aufwand möglich ist.
- **ALARA**- Prinzip durch Reduktion der Immission auf das niedrigste vernünftiger Weise erreichbare Maß (As Low As Reasonably Achievable).
- **ALATA**- Prinzip durch Reduktion der Immission auf das niedrigste technisch erreichbare Maß (As Low As Technically Achievable), ohne Rücksicht auf gesundheitlichen Nutzen oder Kosten.

3.5.4 Expositionsgrenzwerte

Die Diskussion über Grenzwertregelungen betrifft gegenwärtig zwei unterschiedliche Aspekte, die allerdings in öffentlichen Diskussionen nicht klar getrennt werden:

- Die Begrenzung der Gesamtexposition, unabhängig davon, wodurch und durch wie viele Quellen sie verursacht wird. Dem entsprechend ist vorgesehen, alle vorhandenen Feldbeiträge zu bewerten, zu summieren und durch **Expositionsgrenzwerte** zu begrenzen. Dabei zeigt sich weltweit eine zunehmende Harmonisierung, indem die Empfehlungen der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) von immer mehr Ländern übernommen werden.
- Getrennt davon wird diskutiert, ob und wie weit jeweils ein einzelnes Produkt oder eine einzelne Anlage die bestehenden Expositionsgrenzwerte ausschöpfen dürfen. Derzeit gibt es dazu noch keinen einheitlichen Zugang und nur in wenigen Ländern Regelungen, die die Feldeinträge (Emission) einzelner Quellen im Sinne eines **Emissionsgrenzwertes** begrenzen. So haben z.B. die Schweiz und Italien, die die Expositionsgrenzwerte der ICNIRP übernommen haben, zusätzliche Emissionsgrenzen für einzelne ausgewählte Verursacher festgelegt, darunter

auch Hochspannungsleitungen. In Österreich gibt es noch keine Ansätze für eine derartige Regelung.

Nationale Regelungen

Der Umstand, dass auch Wertvorstellungen und emotional beeinflusste Risikowahrnehmungen die Maßnahmen zum Schutz vor elektromagnetischen Feldern bestimmen, erklärt, weshalb trotz gleicher wissenschaftlicher Datenlage national teilweise unterschiedliche Entscheidungen über die Festlegung von Expositions- und Emissionsgrenzwerte getroffen werden (Tabelle 2).

*Anmerkung: Es ist bemerkenswert, dass in Schweden, in dem bereits mehrere epidemiologische Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen dem Gesundheitszustand und der Nähe zu Hochspannungsleitungen durchgeführt worden sind, bis vor Kurzem **keine** Grenzwerte erlassen worden sind, obwohl die Studien sehr große Beachtung gefunden haben. Erst jüngst wurden die Expositionsgrenzwerte der ICNIRP übernommen. Ergänzend dazu bleibt eine gemeinsame Empfehlung von schwedischen Institutionen für Entscheidungsträger bestehen, wonach im Sinne einer vorbeugenden Vermeidung die Magnetfeldexpositionen so gering gemacht werden sollten, wie dies mit vernünftigem Aufwand möglich ist¹³.*

Da die verschiedenen nationalen Festlegungen an unterschiedlichen Bedingungen gebunden sein können, z.B. bezüglich Aufenthaltsdauer, Aufenthaltsbereich oder exponiertem Körperteil, ist beim direkten Vergleich der Werte Vorsicht geboten. Die Grenzwertfestlegungen für die Allgemeinbevölkerung variieren zwischen folgenden Werten (Tabelle 4,5,6)

elektrische Feldstärke: **0,5** bis **20** kV/m
magnetische Induktion: **10** bis **63.200** µT

Die Regelungen zum Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern umfassen eine oder mehrere der folgenden Aktivitäten:

¹³ Guidance for Decision Makers. National Board of Occupational Safety and Health, National Board of Housing, Building and Planning, National Electrical Safety Board, National Board of Health and Welfare, Radiation Protection Institute

- Begrenzung der **Gesamt- Immission** durch **Expositionsgrenzwerte** allgemein (z.B. ICNIRP) oder, mit weiteren Sicherheitsfaktoren, abgestuft nach der Art der Nutzung eines Bereiches (z.B. Italien, Belgien, Russland).
- Begrenzung des Beitrages **einzelner Quellen** durch Anlagen- bezogene **Emissionsgrenzwerte** (z.B. Schweiz, Deutschland, Italien).
- Ergänzung der Grenzwertregelungen durch Empfehlungen zur vorsichtigen Vermeidung im Sinne von **freiwilligen Maßnahmen** zur Expositionsverringering bzw. -vermeidung unter Berücksichtigung des Aufwand/ Nutzen- Verhältnisses (z.B. Deutschland, Norwegen).
- Ergänzung des Grenzwerte- Konzeptes durch ein allgemeines Prinzip der **Minimierung** nach dem (zumutbaren) Stand der Technik (z.B. Schweden).

3.5.4.1 ICNIRP

Die weltweit am weitesten akzeptierte und wissenschaftlich am besten fundierte Basis für Grenzwertregelungen bilden die Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP), die ihre Arbeit aufgrund eines Mandates der Weltgesundheitsorganisation (WHO) ausübt.

Anmerkung: In ihren Bemühungen zum Schutz der Bevölkerung bemüht sich die WHO derzeit um eine weltweite Harmonisierung auf Basis der ICNIRP-Empfehlungen. So haben im Jahr 2002 Australien und Neuseeland ihre Grenzwertregelungen mit ICNIRP harmonisiert, entsprechende Verhandlungen mit Russland und China sind derzeit im Gange.

Die Empfehlungen der ICNIRP zur Begrenzung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern beruhen auf folgenden Überlegungen:

- Als **Schutzziel** wird der Ausschluss von Wirkungen definiert, die **wissenschaftlich nachgewiesen** und **gesundheitsrelevante** sind. Darunter

wird im Niederfrequenzbereich die akute Erregung von Nervenzellen des Zentralnervensystems (des Hirns und Rückenmarks) und in elektrischen Feldern zusätzlich der Schutz vor Elektrisierungen durch Funkenentladungen und Kontaktströme verstanden.

Anmerkung: Da die Erregungsschwellen für Muskelzellen wesentlich über jenen von Nervenzellen liegen, sind dadurch auch Muskelverkrampfungen ausgeschlossen.

- Da bereits **akute** Effekte ausgeschlossen werden sollen, entfällt die einstige Abstufung der Grenzwerte nach der Dauer der Exposition. Die derzeitigen Grenzwerte sind daher strenger im Vergleich zur ersten internationalen Empfehlung, die damals noch von der IRPA (International Radiation Protection Association) verabschiedet worden ist, die erhöhte Expositionswerte für kurzzeitige Einwirkungen erlaubte.

Anmerkung: In Österreich wird derzeit an der Anpassung der nach der (inzwischen veralteten IRPA- Empfehlung erstellten ÖNORM an den aktuellen Stand der ICNIRP- Empfehlung gearbeitet.

- Es werden primär **Basisgrenzwerte** festgelegt, die unbedingt einzuhalten sind. Diese begrenzen die für die biologischen Wirkungen (im Zentralnervensystem) verantwortliche Größe. Dies ist im Niederfrequenzbereich die intrakorporale elektrische Stromdichte, die durch die externen elektrischen und/oder magnetischen Felder verursacht werden und die Stromstärke des Ableitstroms, der beim Anfassen leitfähiger Strukturen fließen kann.

Anmerkung: Es fehlen dadurch Grenzwerte für die Teilkörperexposition, insbesondere der Extremitäten.

- Ausgehend von der Erregungsschwelle für die empfindlicheren Nerven werden **Reduktionsfaktoren** angenommen. Eine Absenkung um das 10-fache soll die Unsicherheit des Wissens über den genauen Wert und den

möglichen Streubereich der Erregungsschwelle berücksichtigen. Um das Schutzziel auch unter ungünstigen Annahmen erreichen zu können, wird zur Berücksichtigung von empfindlicheren Personengruppen innerhalb der Allgemeinbevölkerung eine weitere Absenkung um das 5-fache vorgenommen. Aus diesem Grund liegen die Basisgrenzwerte für beruflich Exponierte um das 10-fache und jene für die Allgemeinbevölkerung um einen weiteren Faktor 5 unterhalb der gemessenen Erregungsschwelle für Nervenzellen, sodass deren Grenzwert bei nur 2% der bisher bekannten Erregungsschwelle liegt.

Anmerkung: Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, die Reduktionsfaktoren an sich bereits als Sicherheitsfaktoren zu deuten. Die Berücksichtigung der vorhandenen Wissensunschärfen an sich stellt noch keine zusätzliche Sicherheit dar. Ob durch die an sich konservativen Annahmen über die Reduktionsfaktoren hinaus ein zusätzlicher Sicherheitsspielraum gegeben ist, kann erst im Licht weiterer Untersuchungen beurteilt werden.

- Um eine messtechnische Überprüfung im Alltag zu ermöglichen, wurden von den Basisgrenzwerten jene Expositionsbedingungen abgeleitet, die bei Ganzkörperexposition die festgelegten Stromdichten verursachen. Weichen die aktuellen Expositionsbedingungen von diesen Annahmen ab, so wird eine Überschreitung der Referenzgrenzwerte dann als zulässig angesehen, wenn sicher gestellt ist, dass dennoch die Basisgrenzwerte eingehalten werden.

Anmerkung: Die Ableitung der Referenzgrenzwerte nur für homogene Felder erschwert derzeit die Beurteilung inhomogener Felder erheblich.

- Die Grenzwerte beziehen sich auf die Gesamt- Immission, d.h. sie gelten für die Summe aller einwirkenden (niederfrequenten) elektrischen Felder einerseits und jene der magnetischen Felder andererseits. Dies bedeutet, dass im allgemeinen der Grenzwert nicht durch einen einzigen Verursacher ausgeschöpft werden darf.

Anmerkung: Die getrennte Summation über elektrische und magnetische Felder weicht von der ursprünglichen IRPA- Regelung (mit gemeinsamer Summation, aber ohne Basisgrenzwerte) ab und erlaubt dadurch höhere Immissionen, allerdings bei Einhaltung des primären Schutzziels der Basisgrenzwerte.

3.5.4.2 Europäische Union

Grenzwerte

Da es in den vergangenen Jahren nicht möglich war, einen Konsens für eine verbindliche europäische Norm zur Begrenzung der Exposition gegenüber elektromagnetische Felder zu erreichen, wurden die Arbeiten der europäischen Normungsorganisation CENELEC an der Norm EN 50166-1,2 für Grenzwerte für die Exposition des Menschen gegenüber elektromagnetischen Feldern eingestellt.

Als Alternative hat die Europäische Kommission in der Empfehlung 1999/519/EG die Übernahme des ICNIRP- Konzeptes zum Schutz der Allgemeinbevölkerung vor elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 0Hz bis 300GHz zur nationalen Umsetzung empfohlen¹⁴ und der europäischen Normungsorganisation das Mandat 2001M305 erteilt, mit dem Auftrag, die Emissionen von technischen Geräten und Einrichtungen durch Produktnormen auf Basis der Ratsempfehlung 1999/519/EG und damit der Empfehlung der ICNIRP zu erarbeiten.

Vorsorgemaßnahmen

In der Mitteilung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vom 2. Februar 2000 über „Die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips“ wird klar gestellt, dass Schutzmaßnahmen nicht unbedingt nur auf wissenschaftlich nachgewiesenen Wirkungen beruhen müssen. Sie können auch bereits aufgrund von unvollständigem Wissen bei Vorliegen eines wissenschaftlich begründeten Verdachtes gerechtfertigt sein, wenn ein berechtigter Grund zur Sorge über mögliche Gefahren für Mensch,

¹⁴ Die Arbeiten an einer europäischen Richtlinie zum Schutz von Berufstätigen sind im Gang, ein Entwurf, der derzeit - noch - von den ICNIRP- Empfehlungen abweicht und den ersten aus dem Jahr 1980 ersetzt, wurde im Dezember 2002 zur Stellungnahme veröffentlicht, ein überarbeiteter Entwurf vom 30. März 2003 liegt zwischenzeitlich vor.

Tier oder Umwelt besteht, die mit dem allgemein festgelegten Schutzniveau der Europäischen Gemeinschaft unvereinbar sind.

Voraussetzung für Vorsorgemaßnahmen ist jedoch die Einhaltung folgender Grundsätze:

- **Verhältnismäßigkeit** im Sinne von mit dem allgemein akzeptierten Schutzniveau vertretbarem Aufwand.
- **Nichtdiskriminierung** im Sinne der gleichen Behandlung vergleichbarer Verursacher.
- **Effizienz** im Sinne eines akzeptierbaren Kosten / Nutzen – Verhältnisses, jedoch nicht nur unter Beschränkung auf rein wirtschaftlicher Abwägungen, sondern unter Einbeziehung auch immaterieller Aspekte wie gesellschaftliche Akzeptanz und der rechtsstaatlichen Grundsätze.

Es bleibt den einzelnen Mitgliedsstaaten überlassen, ob und in welcher Form sie Vorsorgemaßnahmen veranlassen.

3.5.4.3 Österreich

In Österreich gibt es noch keine expliziten **gesetzlich verbindlichen** Regelungen zum Schutz vor nichtionisierenden elektromagnetischen Feldern. Die Beurteilung von Expositionen gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern erfolgt aufgrund des „Standes der Technik“, der für den Niederfrequenzbereich in der österreichischen Vornorm ÖNORM S 1119 / ÖVE EMV 1119 (1994) definiert ist.

Auch wenn eine gesetzliche Regelung im Sinne eines Strahlenschutzgesetzes für nichtionisierende Strahlung wünschenswert wäre, ist es nicht zutreffend, wenn behauptet wird, es fehle dies bezüglich **jedliche** gesetzlich verbindliche Regelung.

Tatsächlich lässt sich aus den bestehenden Gesetzen der Bezug zu den bestehenden Normen ableiten:

- Für **elektrische Betriebsmittel**, also alle Gegenstände, die zur Gewinnung, Fortleitung oder Gebrauch elektrischer Energie bestimmt sind, gilt gemäß Elektrotechnikgesetz 1992 die Forderung, dass sie nach dem Stand der Technik so zu errichten bzw. herzustellen, instandzuhalten und zu betreiben sind, dass die Sicherheit von Personen und Sachen gewährleistet ist.
- Für **bewegliche Güter** ist nach §5 Produktsicherheitsgesetz 1995 festgelegt, dass Produkte **sicher** sein müssen und dass dies als erfüllt angesehen werden kann, wenn sie dem Stand der Technik bzw. den geltenden (harmonisierten) Normen entsprechen.

Da der Stand der Technik in den österreichischen Vorschriften und Normen festgelegt wird, ist indirekt auch auf die Anwendung der ÖNORM S 1119 / ÖVE EMV 1119 (1994) Bezug genommen.

In Österreich wurde bereits im Jahr 1986 beschlossen, den Grenzwertempfehlungen¹⁵ zu folgen, die die Internationale Strahlenschutzkommission (IRPA) im Auftrag der Weltgesundheitsorganisation erarbeitet hatte und diese in Form von österreichischen Grenzwerten in den Vornormen S 1119 für den Niederfrequenzbereich (bis 30 kHz) und der Vornorm S1120 für den Hochfrequenzbereich (30kHz bis 3000 GHz) zu übernehmen. Dazu wurden damals folgende Entscheidungen getroffen:

1. Es wurden dem Beispiel Deutschlands **nicht** gefolgt, das wesentlich höhere **Sicherheits-** Grenzwerte (z.B. 5.000µT bei 50 Hz) festgelegt hatte, sondern das Konzept der Weltgesundheitsorganisation übernommen, den Grenzwerten das **Vorsorge**prinzip zu Grunde zu legen.
2. Das Schutzziel ist nicht nur die Gewährleistung der Sicherheit und der Gesundheit von Personen. Gerade in Hinblick auf die Allgegenwärtigkeit elektromagnetischer Felder im Alltag soll durch die österreichischen Grenzwerte auch eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens vermieden werden.
3. Es wurden **Expositionsgrenzwerte** festgelegt, also Werte, die nicht auf eine bestimmte Feldquelle bezogen sind, sondern die jeweils die Summe aller einwirkenden elektrischen und magnetischen (bzw. im Hochfrequenzbereich die elektromagnetischen) Felder begrenzen.

Anmerkung: Die Summation erfolgt getrennt über elektrische und magnetische Felder (und getrennt für hochfrequente elektromagnetische Felder).

4. **Inhomogene** Felder wurden dadurch berücksichtigt, indem die Messung mit einer Messsonde von 100cm² Querschnittsfläche (entsprechend dem Herz-Querschnitt) vorgesehen wurde, wodurch eine Mittelung erreicht wurde.

¹⁵ IRPA/INIRC (1990): Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60Hz Electric and Magnetic Fields. Health Physics 58, 113 – 122

IRPA (1988): Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields on the Frequency Range from 100kHz to 300GHz. Health Physics 54, 115 - 123

Anmerkung: In der aktuellen Grenzwertempfehlung der ICNIRP wurde auf diese Vereinfachung (leider) verzichtet. Inhomogene Felder müssen nun in Hinblick auf die von ihnen im Zentralnervensystem hervorgerufenen elektrischen Stromdichten bewertet werden.

5. Es wurde eine Bewertung bezüglich der Expositionsdauer vorgenommen, indem (nur) für netzfrequente elektrische und magnetische Felder zeitlich befristete Expositionsdauern (z.B. bis einige Stunden pro Tag) 2 bis 10-fach höhere Expositionswerte erlaubt wurden.

Anmerkung: In der aktuellen Grenzwertempfehlung der ICNIRP wurde auf diese Differenzierung verzichtet und für Kurzzeit- Expositionen keine Erhöhung der Grenzwerte mehr vorgesehen.

6. Die Grenzwerte basieren auf der Auswertung aller in der wissenschaftlichen Literatur publizierten Untersuchungen. Da darunter jedoch auch eine Vielzahl widersprüchlicher und nicht bestätigter Angaben zu finden sind, wurden nur jene Ergebnisse einbezogen, die als ausreichend **gesichert** angesehen werden konnten und die für den Körper **biologisch relevante** Wechselwirkungen darstellten.
7. So wie auch im Bereich anderer Einwirkungsfaktoren wurden unterschiedliche Grenzwerte für beruflich exponierte Personen und die Allgemeinbevölkerung festgelegt. Um zu berücksichtigen, dass die Allgemeinbevölkerung nicht nur einen begrenzten Teil des Tages, sondern dauernd exponiert sein kann und auch Risikogruppen enthält wie z.B. Kranke oder besonders schutzwürdige Personen wie z.B. Kleinkinder, wurde der Grenzwert gegenüber jenem für beruflich exponierte Personen nochmals um einen Sicherheitsfaktor herabgesetzt.

Bei 50 Hz sind für die **Allgemeinbevölkerung**, abhängig von der Expositionsdauer folgende Grenzwerte festgelegt:

für **unbegrenzte** Dauer (ÖNORM/ÖVE und ICNIRP):

elektrische Feldstärke **5 kV/m**

magnetische Induktion **100 μ T**

für zeitlich **begrenzte** Dauer, d.h. einige Stunden pro Tag (nur ÖNORM/ÖVE):

elektrische Feldstärke **10 kV/m**

magnetische Induktion **1000 μ T**

Anmerkung: Diese Norm wird gegenwärtig vom zuständigen ÖNORM-Fachausschuss überarbeitet, mit dem Ziel, das Schutzkonzept der ICNIRP qualitativ und quantitativ zu übernehmen und künftig nicht nur Referenzgrenzwerte, sondern auch Basisgrenzwerte festzulegen.

3.5.4.4 Sonstige nationalen Regelungen

Die nationalen Grenzwertregelungen sind in Tabellen 4, 5 und 6 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass in einigen Ländern wie z.B. der Schweiz zusätzlich zu den Grenzwerten, die die Gesamt- Immission¹⁶ begrenzen, noch weitere Regelungen erlassen wurden, die als **Emissions**regelungen zusätzlich den Beitrag zur Gesamtimmission durch **einzelne** Feldquellen begrenzen, z.B. Hochspannungsleitung, Transformatorstation, Hausinstallation.

Tabelle 4: Internationale und europäische Regelungen zur Begrenzung netzfrequenter elektrischer und magnetischer Felder

Land/ Organisation	Jahr	V	E (50Hz) kV/m	B (50Hz) µT	IC	Bemerkungen
WHO	1998	E	5	100	Y	Fact Sheet N181, EHC
ICNIRP	1998	E	5	100	Y	Health Physics, 74(1998), 494-522
EU	1999	E	5	100	y	Ratsempfehlung 1999/519/EG
Österreich	1992	N	5 (dauernd) 10 (begrenzt)	100 (dauernd) 1000 (begrenzt)	TW	ÖNORM(V) S1119
Belgien	1982	E	5 (Stadt) 7 (Straßen) 10 (sonst)	---	TW	
Dänemark		P	5	100	Y	
Finnland	2002	E	5 15 (kurz)	100 500 (kurz)	TW	
Frankreich	2001	E	5	100	Y	
Deutschland	1996	G	5	100	TW	26.BImSchV, für Anlagen 2-fache Gesamtexposition kurz bzw. außen (lokal) zulässig
Griechenland	2000	G	5	100	Y	
Großbritannien	2003	N	5	100	Y	Draft NRPB 2003
Ungarn	2000	E	5 10 (kurz, Freiland)	100 1000 (kurz, Freiland)	TW	nur für HWÜ
Island	-	-	---	---	-	
Irland	1998	E	5	100	Y	nur für HWÜ
Italien ¹⁷	1992	G	5 10 (kurz)	100 1000 (kurz)	Y	Obergrenze
			132kV-HWÜ 220kV-HWÜ 380kV-HWÜ	10m 18m 28m	N	Vorsorge- Abstandswerte
	2003	G	---	10µT (Kinder, >4h) 3µT (Ziel, Kinder, 24h)	N	nur für HWÜ

V...Verbindlichkeit G...Gesetz N...Norm E...Empfehlung P...Anwendungspraxis HWÜ...Hochspannungsleitung
IC...ICNIRP-Kompatibilität Y...ja N...nein TW.....teilweise,

¹⁶ Unter Immission versteht man das Auftreten des Feldes an einem bestimmten Ort, während unter Emission die Aussendung durch eine Quelle gemeint ist.

¹⁷ Die italienische Festlegung beruht auf einer politischen Entscheidung und nicht auf gesicherten wissenschaftlichen Fakten. Es trifft nicht zu, dass die italienische Regelung an schwedische Werte angepasst wäre.

Tabelle 5: Nationale europäische Regelungen zur Begrenzung netzfrequenter elektrischer und magnetischer Felder

Land/ Organisation	Jahr	V	E (50Hz) kV/m	B (50Hz) µT	IC	Bemerkungen
Malta	2000	E	5	100	Y	
Niederlande		E	5	100	Y	
Norwegen		E	5	100	Y	+ Prinzip vorsichtige Vermeidung
Polen	2001	G	1 (Whg,KH,Schule) 5 10 (vorüberg.) 20 (kurz)	20 200 (vorüberg.) 2000 (kurz)	TW	
Portugal	-	-	---	---	-	
Russland	1999	G	0,5 (Wohnung) 1 (Wohngebiet) 5 (Stadtgebiet) 10 (Straßen) 15 (Land) 20 sonst	---	N	
Spanien	2001	G	5	100	Y	
Schweden ¹⁸	2003	E	5	100	Y	+ Prinzip vorsichtige Vermeidung
Schweiz ¹⁹	1999	G	5	100	TW	Immissionsgrenzen
			---	1 (Whg,KH, Schule)		24h-Mittel, Anlagenemission
Slowenien			10 0,5(KH,Schule,Hotel)	100 10(KH,Schule,Hotel)	N	
Vatikan	1992	G	5	100	Y	

G...Gesetz N...Norm E...Empfehlung IC...ICNIRP-Kompatibilität Y...ja N...nein TW.....teilweise,

¹⁸ Schweden hat sich entschlossen, die ICNIRP- Regelung zu übernehmen und zusätzlich das Prinzip der vorsichtigen Vermeidung zu empfehlen. In einer bereits 1994 veröffentlichten gemeinsamen Publikation mehrerer schwedischer Organisationen wurde vielmehr (lediglich) eine auf dem Vorsorgeprinzip beruhende Handlungsmaxime beschlossen, die wie folgt lautet (übersetztes Zitat):

„Wenn Maßnahmen zur allgemeinen Verringerung der Exposition mit vernünftigem Kosten und mit vernünftigen Konsequenzen in allen anderen Aspekten getroffen werden können, sollten Anstrengungen unternommen werden, um Felder zu reduzieren, die von den in der betreffenden Umwelt als üblich angesehenen Werten radikal abweichen. Was neue elektrische Installationen und Bauwerke anlangt, sollten Bemühungen bereits in der Planungsphase unternommen werden, um sie auf eine Weise zu entwerfen und zu platzieren, dass die Exposition begrenzt ist.“

¹⁹ Die Schweiz hat grundsätzlich die ICNIRP- Empfehlungen für die Begrenzung der Gesamt-Immissionen übernommen und zusätzliche Emissions- Regelungen zur Begrenzung des Beitrages einzelner ortsfester Anlagen (einschließlich der Haus- Elektroinstallation) erlassen.

Tabelle 6: Nationale außereuropäische Regelungen zur Begrenzung netzfrequenter elektrischer und magnetischer Felder²⁰

Land/ Organisation	Jahr	V	E (50Hz) kV/m	B (50Hz) µT	IC	Bemerkungen	
WHO	1998	E	5	100	Y	Fact Sheet N181, EHC	
ICNIRP	1998	E	5	100	Y	Health Physics, 74(1998), 494-522	
Argentinien	1998	E	3	25	N	am Trassenrand (EoRW)	
Australien	2002	G	5	100	Y	neu seit 2002	
Costa Rica	1998	E	2 (EoRW) 8 (CoRW)	15µT (EoRW)	N	am Trassenrand (EoRW) im Trassenzentrum (CoRW)	
Japan	1997	G	3	---	N		
Neuseeland	2002	G	5	100	Y		
Südkorea	2001	E	5	100	Y		
Südafrika	2001	G	5	100	Y		
USA	2002	E	5	904	N	IEEE, 60Hz	
			10 (EoRW)	63200 (Extremität)			
			2 (EoRW)	15 (EoRW, 230kV) 20 (EoRW, 500kV)			
			8 (CoRW, 230kV) 10 (CoRW, 500kV)				
			8	N			Minnesota, nur für HWÜ
			1 (EoRW) 7 (Straßenkreuzg)	N			Montana, nur für HWÜ
			3 (EoRW)	N			New Jersey, nur für HWÜ
1,6 (EoRW) 7 (Straßenkreuzg) 11,8	20 (EoRW)	N	New York, nur für HWÜ				
9 (bewohnt.Gebiet)	N	Oregon, nur für HWÜ					

G...Gesetz E...Empfehlung IC...ICNIRP-Kompatibilität Y...ja N...nein TW.....teilweise,
E0RW...edge of right of way, CoRW...center of right of way

²⁰ ICNIRP: Guidelines for Limiting the Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields. Health Physics, 74(1998), 494-522

WHO library database. www.who.int

EU Ratsempfehlung 1999/519/EG Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern

EU/DGHCP: Implementation report on the Council Recommendation limiting public exposures to electromagnetic fields, Brussels 2002

EURELECTRIC: EMF Exposure Standards, Brussels 2003

ÖNORM S 1119 / ÖVE EMV 1119 (1994): Niederfrequente elektrische und magnetische Felder. Zulässige Expositionswerte zum Schutz von Personen im Frequenzbereich 0Hz bis 30kHz

EURELECTRIC: EMF Exposure Standards, Brussels 2003

3.6 Überprüfung auf Einhaltung der Grenzwerte

Für die Bewertung der Steiermarkleitung haben die Grundsatzentscheidungen der österreichischen Norm wichtige Konsequenzen:

- Sie bedeutet, dass die Grenzwerte nicht bereits durch die von der Hochspannungsleitung herrührenden Felder ausgeschöpft werden dürfen, sondern dass auch jene Feldanteile zu berücksichtigen sind, die von anderen Feldquellen stammen (könnten). Diese können z.B. in den Wohnungen von der Elektroinstallation oder dem Gebrauch elektrischer Geräte selbst herrühren.
- Es ist berücksichtigt, dass elektrische und magnetische Felder **gleichzeitig** auftreten können. Es darf daher der Grenzwert nicht bereits durch eine einzige Feldkomponente allein ausgeschöpft werden.

Dies bedeutet, dass bei der Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte die von der geplanten Steiermarkleitung herrührenden elektrischen und magnetischen Felder nicht getrennt, sondern **gemeinsam** bewertet werden müssen.

Bei 50 Hz betragen in Österreich die Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung (ÖNORM S 1119):

a) für **dauernde** Einwirkung, also z.B. in Wohnräumen

für das **elektrische Feld** $E_G = 5 \text{ kV/m}$
für das **magnetische Feld** $B_G = 100 \text{ } \mu\text{T}$

b) für **zeitlich befristete** Einwirkung, also z.B. bei Aufenthalt im Freien oder bei Benützung von Elektrogeräten

für das **elektrische Feld** $E_G = 10 \text{ kV/m}$
für das **magnetische Feld** $B_G = 1000 \text{ } \mu\text{T}$

Zusätzlich wird durch die Bedingung

$$E/E_G + B/B_G \leq 1$$

erreicht, dass beim gleichzeitigen Auftreten beider Feldarten nicht beide die Grenzwerte zur Gänze ausschöpfen dürfen.

Die Abschätzungen der durch die Steiermarkleitung verursachten elektrischen Feldstärken und magnetischen Induktionen wurden unter der Annahme ungünstigster Bedingungen vorgenommen („worst case“), nämlich für die Stelle des größten Durchhanges und des maximal möglichen Stromes eines Dreierbündels (thermischer Grenzstrom).

Die Berechnungen zur Abschätzung der Expositionsverhältnisse im Trassenbereich der Steiermarkleitung zeigten, dass die Maximalwerte für das elektrische und magnetische Feld nicht an der selben Stelle auftreten (Bild 1, 2 und Bild 4, 5, 6).

*Anmerkung: Auch in dieser Hinsicht wird wieder die ungünstigste Annahme getroffen, indem bei der Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte direkt unter der Leitung **beide** unter der Leitung auftretende **Maximalwerte eingesetzt** werden.*

Damit ergeben sich folgende Resultate:

3.6.1 Im Freien

Der ungünstigste Fall im Freien ist der Aufenthalt direkt unterhalb der Leitung bzw. der Leiterseile. Da dies naturgemäß nur während einer befristeten Zeit anzunehmen ist, sind die entsprechenden Grenzwerte der ÖNORM, nämlich 10 kV/m und 1000 µT heranzuziehen.

Wie die Ergebnisse in Tabelle 7 zeigen, liegt die mit der Summenformel der ÖNORM ermittelte Gesamtexposition bei ca. 50% der zulässigen Grenze. Da im Freien mit

keinen relevanten zusätzlichen Feldbeiträgen durch andere Quellen zu rechnen ist, ist die Exposition als im zulässigen Rahmen zu bewerten.

Anmerkung: Auch bei Anwendung der ICNIRP- Empfehlung ergibt sich keine Grenzwertüberschreitung. Da in diesem Fall die elektrischen und magnetischen Felder getrennt zu bewerten sind, halten sowohl elektrische Felder (< 94,2%) als auch magnetische Felder (< 34,7%) die Grenzwerte ein.

Tabelle 7: Bewertung der Immission durch die Steiermarkleitung für den worst case des Aufenthaltes im Freien direkt unter den Leiterseilen (Dreierbündel und thermischer Grenzstrom)

Leitung	unter den Leiterseilen				
	E_{max} kV/m	E_{max}/E_G %	B_{max} μT	B_{max}/B_G %	$E_{max}/E_G + B_{max}/B_G$ %
380 kV (3erB)	4,57	45,7	34,7	3,5	49,2
380 kV + 110 kV (ES)	4,64	46,4	30	3,0	49,4
380 kV + 110 kV (2erB)	4,71	47,1	27,9	2,8	49,9

Am Zaun des UW Oststeiermark ergibt sich an der Stelle der maximalen Feldimmissionen, dass die Grenzwerte nur zu ca. 10% ausgeschöpft werden. Da im Freien mit keinen weiteren relevanten niederfrequenten Feldquellen zu rechnen ist, liegen die Expositionen deutlich innerhalb der Grenzwerte (Tabelle 8).

Anmerkung: Auch bei Anwendung der ICNIRP- Empfehlung ergibt sich keine Grenzwertüberschreitung. Da in diesem Fall die elektrischen und magnetischen Felder getrennt zu bewerten sind, halten sowohl elektrische Felder (< 18%) als auch magnetische Felder (< 9,6%) die Grenzwerte ein.

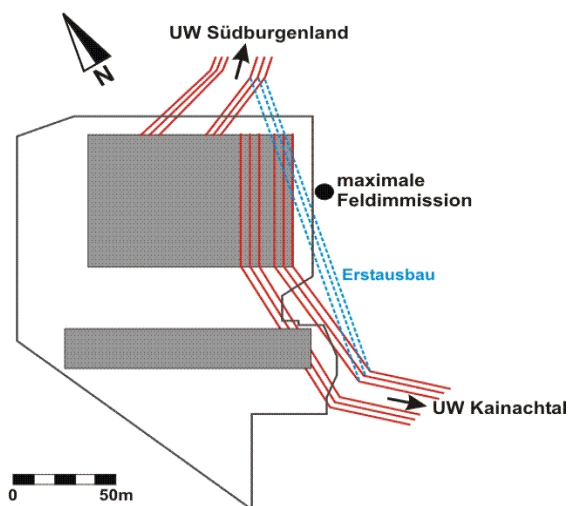


Bild 9.: Lageskizze des UW Oststeiermark mit dem Verlauf der Steiermarkleitung im Endausbau mit strichliert eingezeichneter Erstausbau- Variante.

Tabelle 8: Bewertung der Immission durch die Steiermarkleitung für den worst case des Aufenthaltes im Freien im Zaunbereich des UW Oststeiermark (Dreierbündel und thermischer Grenzstrom)

Leitung	am Zaun des UW Oststeiermark				
	E_{\max} kV/m	E_{\max} / E_G %	B_{\max} μ T	B_{\max} / B_G %	$E_{\max} / E_G + B_{\max} / B_G$ %
380 kV (3erB)	0,9	9,0	9,6	0,96	9,96

3.6.2 In Gebäuden

3.6.2.1 In Wohngebäuden

Da in Wohnobjekten mit dem dauernden Aufenthalt gerechnet werden muss, sind die entsprechend niedrigeren Grenzwerte der ÖNORM, nämlich 5kV/m und 100 μ T zur Bewertung heranzuziehen.

Für die Berücksichtigung der von der Steiermarkleitung herrührenden elektrischen Felder im Hausinneren wurde angenommen, dass die außen auftretenden Felder um einen Schirmfaktor 100 verringert werden. Für magnetische Felder wurde naturgemäß keine Schirmwirkung des Gebäudes angenommen.

Die Bewertung wird für den ungünstigsten Fall des am nächsten gelegenen Wohnobjektes durchgeführt:

Anmerkung: Aufgrund einer zwischenzeitliche geschlossenen Vereinbarung mit der ASFINAG wird das derzeit noch als Wohnobjekt genutzte Betriebsgebäude spätestens zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Steiermarkleitung nicht mehr zu Wohnzwecken genutzt werden, sodass von einer Expositionsbewertung in diesem Gebäude im Rahmen der UVE abgesehen wurde.

Wie die Bilder 2, 3 und 5, 6, 7 zeigen, hängen die Werte des elektrischen und magnetischen Feldes in den Entfernungen, in denen sich Wohngebäude befinden,

nicht mehr wesentlich von der Höhe der Leiterseile und damit der Position der Hochspannungsmaste ab.

In der Entfernung des nächstgelegenen Wohngebäudes (67 m) haben die Feldgrößen bereits stark abgenommen und liegen nur mehr im Bereich weniger Prozent des Maximalwertes. Berücksichtigt man für elektrische Felder zusätzlich die Schirmwirkung durch das Gebäude, ergeben sich so kleine Beiträge (weniger als 1 Promille des Grenzwertes), dass sie vernachlässigt werden können.

Für Magnetfelder ist zwar keine Schirmwirkung zu berücksichtigen, da der Beitrag der Steiermarkleitung jedoch unter 2 % des Grenzwertes bleibt, ist nicht nur die Grenzbedingung der ÖNORM und der ICNIRP erfüllt, es verbleibt auch ausreichend viel Spielraum, dass selbst bei Berücksichtigung zusätzlicher kurzzeitig oder länger dauernd im Wohngebäude benützter Feldquellen (z.B. Haushaltsgeräte) sicher mit keiner Überschreitung der Grenzwerte zu rechnen ist.

Die Ergebnisse (Tabelle 9) zeigen, dass die bestehenden Expositionsgrenzwerte selbst unter Berücksichtigung der ungünstigsten Annahmen mit Abstand nicht erreicht werden:

Tabelle 9: Bewertung der Immission durch die Steiermarkleitung für den dauernden Aufenthalt für den Fall des in einer Entfernung von 67 m von der Trassenmitte nächstgelegenen Wohnobjektes unter Berücksichtigung eines Schirmfaktors 100 für elektrische Felder (Dreierbündel und thermischer Grenzstrom).

Leitung	im nächstgelegenen Wohnobjekt				
	E_{\max} kV/m	E_{\max}/E_G %	B_{\max} μ T	B_{\max}/B_G %	$E_{\max}/E_G + B_{\max}/B_G$ %
380 kV (3erB)	0,0013	0,026	1,7	1,7	1,7

3.6.2.2 In Arbeitsstätten

Nächstgelegenes betrieblich genutztes Gebäude

Das nächstgelegene betrieblich genutzte Gebäude ist das Betriebsstättengebäude der Autobahnmeisterei Markt Allhau (ASFINAG) im Abstand von 35 m von der Leitung. Die höheren Grenzwerte für beruflich exponierte Personen beziehen sich nur auf jene Personen, deren höhere Exposition eine charakteristische Begleiterscheinung ihrer Tätigkeit darstellt. Im gegenständlichen Fall ist nicht davon auszugehen, dass alle im Betriebsgebäude befindlichen Personen zu dieser Gruppe gehören. Es werden daher zur Bewertung dieses Falles ebenfalls die Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung herangezogen.

Anmerkung: Ein Teil des Personals, wie z.B. die mit Elektroschweißaufgaben betreuten Personen, ist jedoch zu den beruflich Exponierten zu zählen.

Es zeigt sich, dass die Exposition durch die Felder der Steiermarkleitung selbst in diesem Fall nur 5,9 Prozent vom Grenzwert für die Allgemeinbevölkerung beträgt (Tabelle 10). Selbst unter Berücksichtigung zusätzlicher Feldbeiträge durch vorhandene Elektrogeräte verbleibt ein ausreichender Anstand zum Grenzwert, da

- a) die zu berücksichtigenden Feldbeiträge von Bürogeräten den verfügbaren Spielraum nicht ausschöpfen
- b) jene Personen, die mit Werkzeugmaschinen umgehen, die höhere Emissionen verursachen (z.B. Elektroschweißgeräte) zu den beruflich exponierten Personen zu zählen sind, für die die höheren Grenzwerte heranzuziehen sind.

Tabelle 10: Bewertung der Immission durch die Steiermarkleitung für den Aufenthalt im der Leitung am nächsten gelegenen Betriebsgebäude (35 m von der Steiermarkleitung entfernt) unter Berücksichtigung eines Schirmfaktors 100 für elektrische Felder (Dreierbündel und thermischer Grenzstrom).

Leitung	im Betriebsgebäude Autobahnmeisterei (in 35 m Entfernung)				
	E_{max} kV/m	E_{max}/E_G %	B_{max} μT	B_{max}/B_G %	$E_{max}/E_G + B_{max}/B_G$ %
380 kV (3erB)	0,005	0,11	5,8	5,8	5,9

4 Vermeidung bzw. Verminderung der Auswirkungen

4.1 Elektrische Felder

Elektrische Felder lassen sich vergleichsweise einfach abschirmen. Jedes in den freien Raum hinein ragende Objekt bewirkt eine Verringerung des elektrischen Feldes (im Bodenbereich), wenn es eine im Vergleich zu Luft gute elektrische Leitfähigkeit besitzt. Dies trifft für die meisten Materialien zu (ausgenommen Isolierstoffe).

In Gebäudeinneren

In Gebäudeinneren bewirkt diese Schirmwirkung, dass von außen einwirkende elektrische Felder auf vernachlässigbar kleine Werte reduziert werden. Im Hausinneren und im Bereich um Wohngebäude ist mit keinen relevanten Wirkungen der elektrischen Felder der Steiermarkleitung zu rechnen, sodass keine weiteren Maßnahmen erforderlich sind.

Im Freien

Bei Gebäuden in unmittelbarem Nahbereich der Leitungstrasse könnten durch kapazitive Kopplung bei Berührung elektrische leitfähiger Strukturen, z.B. metallische Fallrohre von Dachrinnen, theoretisch wahrnehmbare Entladungsfunken auftreten. Aufgrund der vergleichsweise großen Abstände zu Wohngebäuden ist dies im Bereich der Steiermarkleitung lediglich bei gegenwärtig bestehenden oder zukünftig geplanten Wirtschaftsgebäuden im unmittelbaren Nahbereich der Leitung zu hinterfragen.

Anmerkung: Durch elektrische Erdung lassen sich diese unerwünschten Nebenwirkung ausschließen.

Unmittelbar im Trassenbereich ist theoretisch in Ausnahmefällen auch mit der Möglichkeit von elektrischen Schlägen zu rechnen, wenn durch kapazitive Kopplung großflächige elektrisch leitfähige Flächen wechselweise elektrisch aufgeladen

werden, sodass es bei Berührung unter ungünstigen Bedingungen zu wahrnehmbaren Elektroschocks führen könnten.

Anmerkung: Durch elektrische Erdung von großen elektrisch leitfähigen Flächen im unmittelbaren Nahbereich der Trasse lassen sich diese unerwünschten Wirkungen ausschließen.

4.2 Magnetische Felder

Unerwünschte Nebenwirkungen von magnetischen Wechselfeldern können theoretisch durch die Induktion von Spannungen und Wirbelströmen in elektrisch leitfähigen Gegenständen entstehen.

Im Gebäudeinneren

Im Hausinneren und im Bereich um Wohngebäude ist selbst bei den zur Steiermarkleitung nächstgelegenen Gebäuden mit keinen relevanten Nebenwirkungen der magnetischen Felder zu rechnen.

Im Freien

Unmittelbar im Trassenbereich ist theoretisch in Ausnahmefällen mit der Möglichkeit von elektrischen Schlägen zu rechnen, wenn durch induktive Kopplung in großflächige elektrisch leitfähige Schleifen durch Induktion elektrische Spannungen erzeugt werden, die bei Berührung unter ungünstigen Bedingungen zu wahrnehmbaren Elektroschocks führen könnten.

Eine Abschätzung zeigt, dass z.B. für die Erzeugung von elektrischen Berührungsspannungen, die über dem Wert der Schutzkleinspannung von 50V liegen, bei dem Maximalwert der magnetischen Induktion der Steiermarkleitung von $34,7\mu\text{T}$ eine Schleifenfläche von 4.587 m^2 erforderlich wäre

Anmerkung: So große Schleifenflächen treten kaum auf. So müsste z.B. ein Metallzaun mit der Höhe 1,5 m ca. 3 km lang unterhalb der Leitung parallel verlaufen.

4.3 Verminderung der Feldemissionen

Als Folge der Errichtung der Steiermarkleitung werden abschnittsweise 110-kV-Systeme der STEWEAG-STEAG von insgesamt 44,7 km Länge auf dem Gestänge der Steiermarkleitung mitgeführt werden. Dies hat folgende positive Nebenwirkungen zur Folge:

- Bereits bestehende 110-kV-Leitungen der STEWEAG-STEAG können übertragungstechnisch entlastet werden. Damit ergibt sich in ihrem Umfeld eine entsprechende Verringerung der magnetischen Felder.
- Bestehende 110-kV-Leitungsabschnitte der STEWEAG-STEAG können auf insgesamt 33,8 km Länge abgetragen werden, womit die damit verbundenen Emissionen elektrischer Felder (Maximalwert 1,9 kV/m) und magnetischer Felder (Maximalwert 20 μ T) zur Gänze entfallen.

5 Zusammenfassung

Die Steiermarkleitung verursacht in der Umwelt grundsätzlich drei verschiedene Arten von Feldern, nämlich

- **Elektrische** Wechselfelder (50 Hz), die von der elektrischen (Hoch-) Spannung verursacht werden und die durch die meisten Materialien, auch durch Baumaterialien, gut abgeschirmt werden.
- **Magnetische** Wechselfelder, die vom elektrischen Strom in den Leiterseilen verursacht werden, daher mit dem momentanen Leiterstrom ihre Stärke ändern und durch Gebäude nicht abgeschirmt werden können.
- **Elektromagnetische** Hochfrequenzfelder, die durch die Funken- (Korona-) Entladungen an der Oberfläche der Leiterseile entstehen, bei feuchter Witterung verstärkt auftreten und konstruktiv, insbesondere durch die Verwendung von Leiterbündeln minimiert werden können.

Die zu erwartenden Immissionen wurden unter „worst case“-Annahmen, insbesondere unter Berücksichtigung des technisch maximal zulässigen Stromes (des thermischen Grenzstromes) für die Steiermarkleitung (in der Ausführung als Dreierbündel) beurteilt. Das Ergebnis zeigt, dass

- im Freien bei Einhaltung einer Mindesthöhe von 10,5 m auch unter Anwendung der Summenformel für elektrische und magnetische Wechselfelder die österreichischen Grenzwertbedingungen mit Abstand eingehalten werden;
- gewährleistet ist, dass die österreichischen Grenzwertbedingungen auch unter Berücksichtigung zu erwartender zukünftiger Feldquellen mit großem Abstand eingehalten werden.
- die Einhaltung der Grenzwerte auch für den Fall gewährleistet ist, dass die österreichischen Bestimmungen den aktuellen Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (bzw. der ICNIRP) angepasst werden;

Zur Vermeidung von unerwünschten Wirkungen durch Induktion von elektrischen Berührungsspannungen in größeren leitfähigen Objekten, insbesondere von Metaldachrinnen oder Metallzäunen im unmittelbaren Nahbereich der Steiermarkleitung sind begleitende elektrotechnische Maßnahmen (z.B. Erdung) vorzusehen.

Durch die streckenweise Mitführung von 110 kV-Systemen am Gestänge der Steiermarkleitung unter gleichzeitiger Abtragung von bestehenden 110 kV-Leitungsabschnitten der STEWEAG-STEAG ergibt sich als positiver Effekt der Wegfall der elektrischen und magnetischen Feldemissionen im Bereich der abgetragenen Leitungsabschnitte.

Insgesamt erfüllt die Steiermarkleitung im Hinblick auf die elektromagnetischen Emissionen die anzuwendenden Bestimmungen. Die Grenzwerte der ÖNORM (und auch der ICNIRP) werden eingehalten.