

# Elektromagnetische Strahlung

Maßstäbe

Messungen

Ausbreitung

Arten und Wirksamkeit des Schutzes

(Originalsprache dieses Berichts: Russisch. Deutsche Übersetzung ohne Gewähr.)

**Verfasser: Dr. Igor Orzhelskyi**  
**Doktor der technischen Wissenschaften, Jg. 1959,**  
**wohnhaft in der Schweiz.**

Dr. Igor Orzhelsky, gebürtiger Ukrainer, absolvierte nach der Maturität als erstes ein Studium als Bergbau-Ingenieur. Seinen Dokortitel erwarb er sich durch die Entwicklung einer hochauflösenden Fotoelektronik, welche dann in Satelliten eingesetzt wurden, um aus 36'000km Höhe mit einer Auflösung von 0.5m z.B. Interkontinental-Raketen u.a. zu finden.

Von 1984-1991 arbeitete Orzhelskyi in einem Institut, welches die Aufgabe hatte, den Astronauten elektronische Systeme zur Verfügung zu stellen, um den diversen gesundheitlichen Problemen der Weltraumfahrer zu begegnen. Das Institut hatte die Aufgabe, sowohl die westliche Medizin (Allopathie) als auch die chinesische (TCM), die japanische, die tibetische und die indische Medizin auf Wirksamkeit zu untersuchen und die Resultate in die elektronischen Systeme miteinzubeziehen. Beteiligt waren an dieser Aufgabe interdisziplinäre Wissenschaftler-Gruppen, Ärzte, Ingenieure, Informatiker, Biologen, Physiker, etc.

In diesem Institut vertiefte Orzhelskyi sein Wissen im medizinischen und quanten-physikalischen Bereich. Das Institut stellte bereits zu dieser Zeit fest, dass sämtliche Informationen, welche physikalische Phänomene auslösen, auf den Elektronen abgelegt sind. So entstanden die ersten elektronischen Systeme, welche in der Lage waren, sowohl die Spingeschwindigkeit als auch die Spinrichtung und die emittierten Informationsmuster zu messen.

Nach dem Zerfall der Sowjetunion waren viele Wissenschaftler gezwungen, sich selbständig zu machen. Dr. Orzhelskyi blieb seinem Metier treu und entwickelte die elektronischen Systeme weiter. Er ist heute Inhaber von 27 Patenten. Er entwickelte ein medizinisches Gerät, welches in der Lage ist, ca. 290'000 medizinisch relevante Faktoren aufgrund der Elektronenschwingung zu messen. Dies erlaubt genaue medizinische Analysen. Durch die Inversion der gemessenen Schwingungen kann das Gerät (CME, Complex Medical Expert) auch als Therapiegerät eingesetzt werden. Das CME ist heute in ganz Europa als medizinisches Hilfsgerät der Klasse IIa zugelassen.

Die Verdienste von Orzhelskyi wurden im Jahre 2008 von der Europäischen Akademie der Naturwissenschaften in Hannover, durch die Verleihung der „Gottfried Wilhelm v. Leibnitz-Verdienstmedaille, geehrt.

Seit 2003 arbeitet Hr. Dr. Orzhelskyi mit schweizerischen Unternehmen zusammen und stellt seinen enormen wissenschaftlichen Fundus zur Verfügung. Der Umzug in die Schweiz erfolgte im Herbst 2006, was die Zusammenarbeit bedeutend erleichtert. Sein weitreichendes Beziehungsnetz in Osteuropa führt auch zur Zusammenarbeit mit renommierten Professoren und Ärzten in Spitälern und Universitäten Tschechiens und der Slowakei. Dort sind viele wissenschaftliche Studien entstanden. Auf diese Weise konnte der hier vorliegende medizinische Teil der Studie an Spitälern der beiden Länder durchgeführt werden.

## Kapitel 1. Allgemeine Charakteristik der elektromagnetischen Felder

In gegenwärtigen Zuständen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts als Folge der Entwicklung verschiedener Arten von Energiewirtschaft und Industrie, nimmt die elektromagnetische Strahlung einen der führenden Plätze mit ihrer ökologischen und betrieblichen Bedeutung unter anderen Faktoren der Umgebung ein. Im Ganzen besteht ein allgemeiner Elektromagnetismus aus Strahlungsquellen natürlicher Herkunft:

elektrische und magnetische Erd-, Atmosphärenfelder, Radiostrahlung der Sonne und der Galaxien

und Strahlungsquellen künstlicher (anthropogener) Herkunft:

Fernseh- und Rundfunk, Leitungen zur Elektrizitätsübertragung, Haushaltselektrogeräte und anderes.

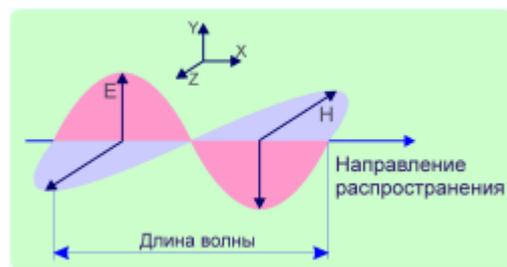
Der natürliche Elektromagnetismus ist in manchen Fällen **um einige Größenordnungen kleiner**, als das Niveau der elektromagnetischer Strahlung, die durch anthropogene Quellen geschaffen wird. Elektromagnetische Strahlung der Welt-, Erd- und Biosphärenumgebungen spielen eine bestimmte Rolle in der Organisation von Lebensprozessen auf der Erde und in einer Reihe von Fällen kommt ihre biologische Bedeutung hervor.

### 1.1. Elektromagnetische Strahlung der Radio- und ultrahoher Frequenzen

**Das ELEKTROMAGNETISCHE FELD** ist eine besondere Form der Materie, mit Hilfe von welcher das Zusammenwirken zwischen geladenen Teilchen erfolgt. Es stellt eine zusammenhängende Wechselwirkung zwischen dem elektrischen Feld und dem magnetischen Feld dar. Der Zusammenhang zwischen dem elektrischen  $E$  und dem magnetischen  $H$  Feld besteht darin, dass jegliche Veränderung des einen zur Entstehung des anderen führt: das veränderliche elektrische Feld, das durch beschleunigte Ladungen (eine Quelle) verursacht wird, erregt in den an ihm anliegenden Raumgebieten ein magnetisches Wechselfeld, das seinerseits in den an ihm anliegenden Raumgebieten ein elektrisches Wechselfeld erzeugt usw. Auf diese Art und Weise verbreitet sich das elektrische Feld vom Punkt zu Punkt eines Raumes in Form von elektromagnetischen Wellen, die von der Quelle weg verlaufen. Dank der Begrenzung der Verbreitungsgeschwindigkeit kann das elektromagnetische Feld autonom von der ihn erzeugten Quelle existieren und verschwindet nicht mit der Entfernung der Quelle (z.B. verschwinden Radiowellen nicht mit dem Abbruch des Stromes in der sie ausstrahlenden Antenne).

Das elektromagnetische Feld im Vakuum wird mit der Spannung des elektrischen Felds  $E$  und der magnetischen Induktion  $B$  beschrieben. Das elektromagnetische Feld im Medium wird zusätzlich mit zwei Hilfsgrößen beschrieben: der Spannung des magnetischen Feldes  $H$  und der elektrischen Induktion  $D$ . Die Verbindung des elektromagnetischen Feldes mit den Ladungen und Strömen wird durch Maxwell'sche Gleichungen beschrieben.

**ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN** sind elektromagnetische Schwingungen, die sich im Raum mit einer begrenzten Geschwindigkeit, die von den Mediumseigenschaften abhängt, ausbreiten (Bild 1).



### Bild 1. Elektromagnetische Wellen

Die Existenz elektromagnetischer Wellen wurde durch den englischen Physiker M. Faraday 1832 vorhergesagt. Ein anderer englischer Wissenschaftler, J. Maxwell, bewies 1865 theoretisch, dass elektromagnetische Schwingungen nicht im Raum lokalisiert bleiben, sondern sich in alle Richtungen von der Quelle weg ausbreiten. Maxwells Ausstrahlungsrichtung te es, Radiowellen, optische Strahlung, Röntgenstrahlung, Gamma-Strahlung auf die Wellenlänge und Weise zu beschreiben. Es wurde entdeckt, dass alle diese Strahlungsmagnetische Strahlungen mit unterschiedlicher Wellenlänge  $\lambda$  sind, d.h. sie sind in ihrer Natur verwandt. Jede von ihnen hat ihren bestimmten Platz in einer einzigen Skala elektromagnetischer Wellen (Bild 2).

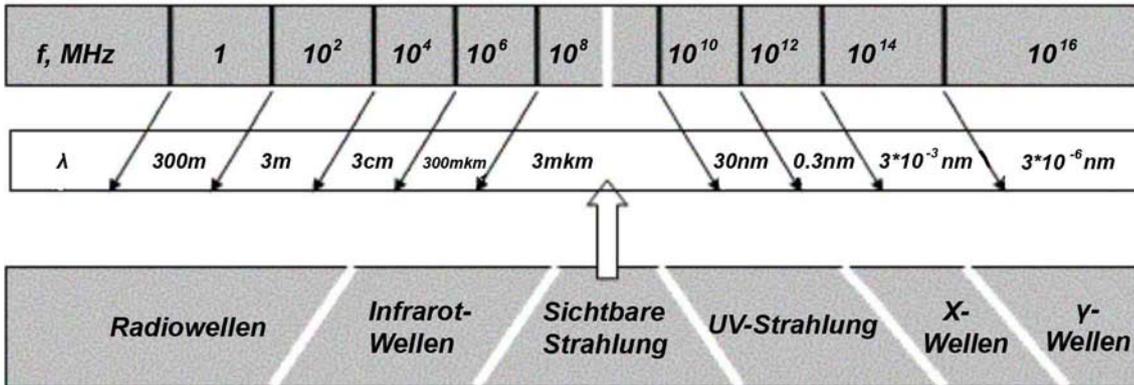


Bild 2. Skala elektromagnetischer Wellen

Bei der Ausbreitung in einheitlichen Medien können elektromagnetische Wellen wie auch jegliche andere Wellen Brechung und Reflexion an der Grenze der Medien, Dispersion, Absorption und Interferenz erfahren; bei der Ausbreitung in uneinheitlichen Medien werden Wellendiffraktion, Wellenstreuung und andere Erscheinungen beobachtet.

Harmonische elektromagnetische Wellen werden als monochromatisch bezeichnet. Für eine monochromatische Welle ist die Intensität eines der Hauptmerkmale. Die Intensität der elektromagnetischen Welle  $J$  stellt den Durchschnittswert der Energiestromdichte, die von einer Welle transportiert wird, dar:

$$J = \lim_{T \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{T} \int_0^T |\vec{S}| dt \right) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{T} \int_0^T \vec{E} \times \vec{H} dt \right)$$

wenn  $S = E \times H$  - Poynting-Vektor.

Die Berechnung der Intensität einer geraden, monochromatischen Welle mit der Amplitude des elektrischen Feldes  $E_m$  in einem einheitlichen Medium mit der Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  und der Permeabilitätskonstante  $\mu$  ergibt:

$$J = 0.5 n E_m^2 / \xi_0 = 0.5 \xi_0 \mu H_m^2$$

wo  $n = \sqrt{\epsilon \mu}$  - Koeffizient der Mediumbrechung;

$\xi_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} - \mu_0 \epsilon_0$  - Freiraumwellenwiderstand

Elektromagnetische Wellen verschiedener Wellenlängenbereichen werden durch verschiedene Arten der Erzeugung und des Nachweises gekennzeichnet, sie wirken mit einem Stoff unterschiedlich zusammen. Strahlungsprozesse und Prozesse der Absorption elektromagnetischer Wellen, von längsten bis zur Infrarotstrahlung, lassen sich ausreichend vollständig durch Verhältnisse der klassischen Elektrodynamik beschreiben.

In Bereichen kürzerer Wellenlängen, vor allem in Frequenzen der Röntgen- und  $\gamma$ -Strahlen, dominieren Prozesse, die eine Quantennatur besitzen und nur im Rahmen der Quantenelektrodynamik auf der Basis der Vorstellung über Unstetigkeit dieser Prozesse beschrieben werden können.

Elektromagnetische Wellen werden zahlreich in Radiofunk, Radiolokation, Fernseher, Medizin, Biologie, Physik, Astronomie und anderen wissenschaftlichen und technischen Bereichen verwendet.

Radiofrequenzen und ultrahohe Frequenzen stellen der Hauptbestandteil des Spektrums elektromagnetischer Strahlungen im Frequenzbereich von einigen Hz bis 200 GHz dar.

Hauptparameter der EMS sind Wellenlänge ( $\lambda$ ) und Frequenz ( $f$ ), welche mit der Wellenlänge in einem Reziprozitätsverhältnis steht (für Bedingungen der Wellenausbreitung in der Luft):

$$f = c / \lambda$$

wo  $c$  - Lichtgeschwindigkeit.

EMS-Schwingungsfrequenzen werden in Hertz (Hz): 1 Kilohertz (kHz) =  $10^3$  Hz; 1 Megahertz (MHz) =  $10^6$ ; 1 Gigahertz (GHz) =  $10^9$  Hz gemessen. Klassifikation der RF und SHF wird in der Tabelle 1 angeführt.

Bei der Einordnung der elektromagnetischen Situation in die Skala der elektrischen Wellen in der Praxis muss man sehr oft im Einzelnen entweder auf die Schwingungsfrequenz oder die Wellenlänge Rücksicht nehmen.

TABELLE 1

*Elektromagnetische Strahlungen mit industrieller Frequenz*

Frequenzbereich	Frequenz	Frequenzbezeichnung		Wellenlänge	Wellenbezeichnung	
		International	Verwendet in der Hygienepraxis		International	Verwendet in der Hygienepraxis
--	> 3 Hz und weniger	keine	ITF (Infratonfrequenz)	10 km und mehr	keine	keine
1	> 3-30 Hz	ELF (Extremely Low Frequency)		< 10-10 <sup>4</sup> km	Dekameter	keine
2	> 30-300 Hz	SLF (Super Low Frequency)	TF (Tonfrequenz)	< 10 <sup>4</sup> -10 <sup>3</sup> km	Megameter	keine
3	> 0,3-3 kHz	ULF (Ultra Low Frequency)		< 10 <sup>3</sup> -10 <sup>2</sup> km	Hektometer	keine
4	> 3-30 kHz	VLF (Very Low Frequency)		RF (Radiofrequenzen)	< 100-10 km	Myriameter

5	> 30-300 kHz	LF (Low Frequency)	HF (High Frequency)	< 10-1 km	Kilometer	LW (Langwellen)
6	> 0,3-3 MHz	MF (Medium Frequency)		< 1-0,1 km	Hektometer	MW (Mittelwellen)
7	> 3-30 MHz	HF (High Frequency)		< 100-10 m	Dekameter	KW (Kurzwellen)
8	> 30-300 MHz	VHF (Very High Frequency)		UHF (Ultra High Frequency)	< 10-1 m	Meter
9	> 0,3-3 GHz	UHF (Ultra High Frequency)	SHF (Super High Frequency)	< 1-0,1 m	Dezimeter	MKW (Mikrowellen)
10	> 3-30 GHz	SHF (Super High Frequency)		10-1 cm	Zentimeter	
11	> 30-300 GHz	EHF (Extremely High Frequency)		< 10-1 mm	Millimeter	

Bei Elektrosmogstrahlungen handelt es sich um keinen besonderen Lichtfaktor, sie stellen nur einen einzelnen Fall elektromagnetischer Strahlungen im superniedrigen Frequenzbereich (SLF) - 50/60 Hz dar.

### 1.2 Elektrische Felder

Ein elektrisches Feld ist eine einzelne Erscheinungsform des elektromagnetischen Feldes. In seiner Erscheinung ist es ein Kraftfeld, dessen Haupteigenschaft die Fähigkeit ist, auf eine in ihn hineingebrachte Ladung mit einer von der Ladungsgeschwindigkeit unabhängigen Kraft zu wirken. Ursachen des elektrischen Feldes können elektromagnetische Ladungen (bewegte und unbewegte) und zeitlich veränderte Magnetfelder sein.

Die quantitative Haupteigenschaft des elektrischen Feldes  $E$  ist die Spannung des elektrischen Feldes  $E$ .

Das elektrische Feld wird im Medium neben der Spannung durch den Vektor der elektrischen Induktion  $D$  charakterisiert. Im allgemeinen Fall wird das elektrische Feld durch Maxwell'sche Gleichungen beschrieben.

### 1.3 Magnetische Felder

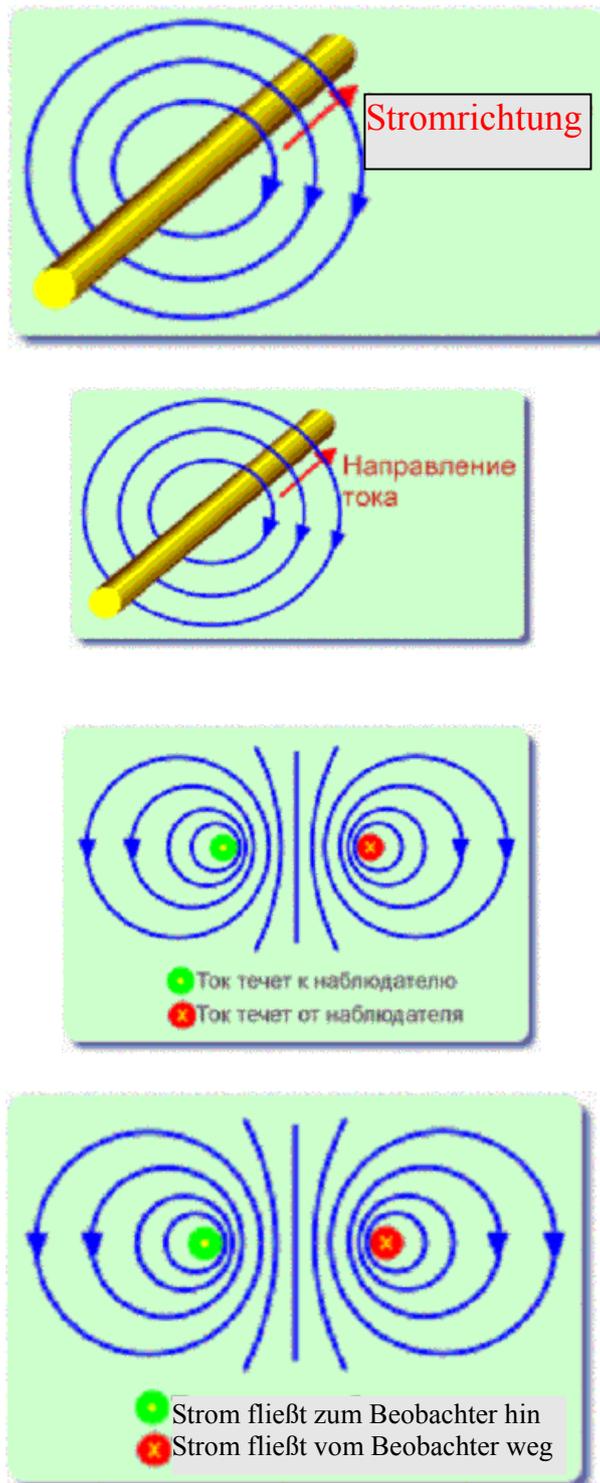
Ein magnetisches Feld ist ebenfalls eine einzelne Erscheinungsform des elektromagnetischen Feldes. In seiner Erscheinung ist es ein Kraftfeld, dessen Haupteigenschaft die Fähigkeit ist, auf bewegte elektrische Ladungen (u.a. auf Stromleiter) zu wirken, und ebenfalls auf Magnetkörper, unabhängig von ihrem Bewegungszustand. Ursachen des magnetischen Feldes können bewegte Elektronenladungen (Stromleiter), magnetisierte Körper und zeitlich veränderte elektrische Felder sein. Die quantitative Haupteigenschaft des magnetischen Feldes ist die magnetische Induktion  $B$ , die eine Kraft bestimmt, welche im jeweiligen Feldpunkt im Vakuum auf elektrische Ladung und auf Körper, die über eine magnetische Kraft verfügen, wirkt.

In Stoffmedien wird eine zusätzliche Charakteristik für das Magnetfeld eingeführt - der magnetische Fluss des Magnetfeldes  $H$ , welcher mit der magnetischen Induktion im folgenden

Verhältnis steht:

$$\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu$$

wo  $\mu$  - magnetische Permeabilitätskonstante.



*Bild 3. Magnetfeld wird bei Bewegung der elektrischen Ladungen im Leiter erzeugt*

## 1.4. Quellen der elektromagnetischen Wellen

### 1.4.1. Radiofrequenzen und superhohe Frequenzen

Quellen der elektromagnetischen Strahlungen mit Radiofrequenzen (RF-EMS) und mit superhohen Frequenzen (SHF) sind technische Mittel und Erzeugnisse, die zur Anwendung in unterschiedlichen Bereichen der menschlichen Tätigkeit bestimmt sind. Als Grundlage dieser Erzeugnisse werden die Physikeigenschaften von EM-Wellen verwendet: Ausbreitung im Medium und Reflexion, Materialerwärmung, Wechselwirkung mit anderen Stoffen, u.Ä., sowie Ausstattungen, die nicht zur Ausstrahlung der elektromagnetischer Energie im Medium, sondern zu irgendeiner anderen Aufgabe bestimmt sind. Bei ihrem Betrieb aber fließt ein elektrischer Strom, der eine unerwünschte elektromagnetische Strahlung verursacht. Die Eigenschaften der RF- und SHF-EMS, sich im Raum zu verbreiten und von dem Übergang zwischen zwei Medien reflektiert zu werden, werden in der Kommunikation (Radio- und Fernseherstation, Übertrager, Radio- und Mobilfunkgeräte), Funk (Funkgeräte verschiedener funktionaler Bestimmung, Navigationsgeräte). Die Fähigkeit von RF- und SHF-EMS, verschiedene Materialien zu erwärmen, wird in verschiedenen Technologien zur Bearbeitung von Material, Halbleitern, Schweißen von synthetischen Materialien, zur Zubereitung von Nahrungsmitteln (Mikrowellen), in der Medizin (physiotherapeutische Apparatur) verwendet. Ein Mikrowellenherd (oder SHF-Herd) benutzt zu Nahrungserwärmung elektromagnetische Strahlung, auch Mikrowellenstrahlung und SHF-Strahlung genannt. Die Frequenz der SHF-Strahlung von Mikrowellenherden beträgt 2,45 GHz. Genau vor dieser Strahlung haben viele Menschen Angst. Jedoch sind moderne Mikrowellenherde mit ausreichend vollständigem Schutz ausgerichtet, der es der elektromagnetischen Strahlung nicht erlaubt, über die Grenzen des Arbeitsraumes hinauszutreten. Es heißt aber nicht, dass die Strahlung überhaupt nicht außerhalb des Mikrowellenherdes tritt. Aus verschiedenen Gründen durchdringt ein Teil der elektromagnetischen Strahlung nach außen. Besonders intensiv in der Regel durch die rechte untere Ecke der Tür. Unmittelbare Quellen der elektromagnetischen Strahlung sind Teile von technischen Erzeugnissen, die dazu fähig sind, im Medium elektromagnetische Wellen zu erzeugen. In der Radioapparatur sind es Antennensysteme, Generatorlampen, Kathodenanschlüsse der Magnetronen, Orte der undichten Verknüpfung der Versorgungsleitungsbestandteile, Orte ohne Abschirmung der Generatorschränke, Leinwände elektrisch-visueller Mittel zur Abbildung von Information; Anlagen zur thermischen Bearbeitung von Materialien - Arbeitsinduktoren und -Kondensatoren, koordinierte Transformatoren, Kondensatorbatterien, Orte ohne Abschirmung der Versorgungsleiter.

#### **Radare**

Radargerätstationen sind in der Regel mit Reflexionsantennen versehen und haben ein schmalgerichtetes Strahlungsdiagramm in Form von einem Strahl, das längs einer "optischen Achse" gerichtet ist.

Radargeräte haben eine Frequenz von 500 MHz bis 15 GHz, jedoch können einzelne Systeme mit Frequenzen bis 100 Hz arbeiten. Der von ihnen erzeugte EM-Signal unterscheidet sich prinzipiell von der Strahlung anderer Quellen. Es ist damit verbunden, dass eine periodische Verschiebung der Antenne im Raum zu einer Bestrahlungsunterbrechung im Raum führt. Zeitliche Bestrahlungsunterbrechung wird durch den zyklischen Strahlungsarbeitsablauf des Radargerätes bedingt. Die Entstehungszeit kann bei verschiedenen Arbeitsweisen radiotechnischer Mittel mit einigen bis vierundzwanzig Stunden kalkuliert werden. Bei meteorologischen Radargeräten mit einer zeitlichen Diskontinuität mit 30 min Ausstrahlung, 30 min Pause überschreitet die Summenherstellung nicht 12 Stunden, während die Radargerätstationen in Flughäfen in meisten Fällen rund um die Uhr arbeiten. Die Breite des Richtungsdiagramms in horizontaler Ebene beträgt normalerweise ein Paar Grad, und die Ausstrahlungsdauer pro eine Überblickperiode beträgt

Zehntel von Millisekunden.

Meteorologische Radare können im Abstand von 1 km eine Energiestromdichte (ESD)  $\sim 100$  W/m<sup>2</sup> pro Strahlungszyklus erzeugen (diese Größe überschreitet die Größe, die als gefahrlos angesehen wird, um 6 Ordnungen, jedoch mit der Bemerkung, dass es eine sehr kurzzeitige Strahlung ist). Radargerätstationen der Flughäfen erzeugen eine ESD  $\sim 0,5$  W/m<sup>2</sup> im Abstand von 60 m. Eine Meeres-Radargerätsausstattung wird auf allen Schiffen eingerichtet, sie hat normalerweise eine Senderleistung, die um eine Größenordnung kleiner als die von Landungsplatzradaren ist, deshalb überschreitet die ESD, welche im Abstand von einigen Metern erzeugt wird, nicht 10 W/m<sup>2</sup> im gewöhnlichen Modus der Scannung.

Ein Vergleich der durch Radare erzeugten Strahlungen mit anderen Quellen des SHF-Bereiches sind in Bild 4. angeführt.

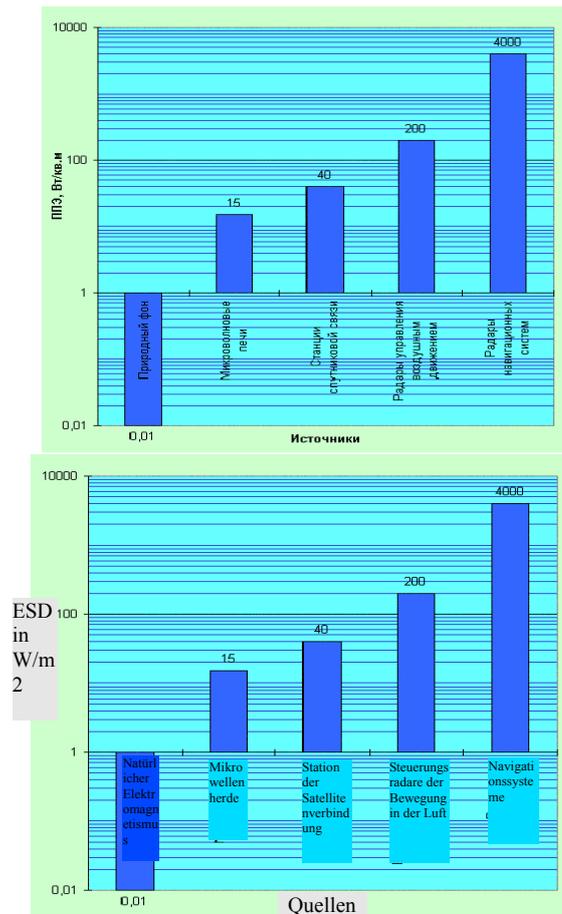


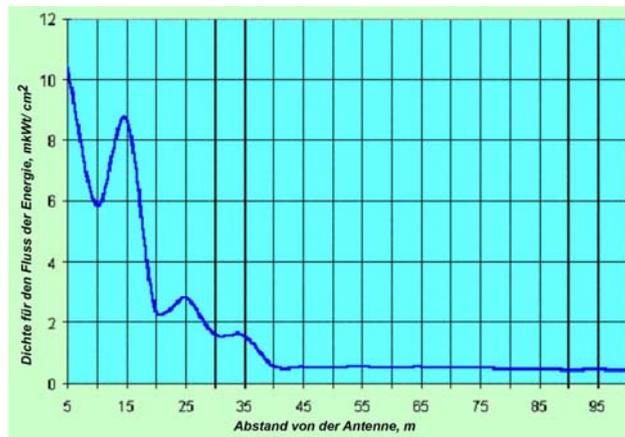
Bild 4. Radare mit elektromagnetischen Wellen im Vergleich mit anderen Quellen des SHF-Bereiches

Die Leistungszunahme der Radargeräte verschiedener Bestimmung und die Benutzung von präzise ausgerichteten Antennen mit einem Rundblick führt zu einer größeren Ausdehnung mit einer hohen Energiestromdichte. Ungünstigere Bedingungen werden in bewohnten Stadtgebieten, in denen Flughäfen Platz finden, beobachtet.

### Systeme der Kommunikationssatelliten

Systeme der Kommunikationssatelliten bestehen aus einer Empfangssenderstation auf der Erde und einem Satellit, das sich auf der Umlaufbahn befindet. Das Satellitenausrichtungsdiagramm der Satellitenkommunikationsstationen hat einen scharf ausgeprägten, präzise gerichteten Strahl - die Hauptlamelle. Die ESD in der Hauptlamelle des Ausrichtungsdiagramms kann einige hundert W/m<sup>2</sup> in der Nähe vom Satellit erreichen und erzeugt ebenfalls wichtige Strahlung im großen Abstand. Zum Beispiel, erzeugt eine Station mit einer Leistung von 225 kW mit einer Frequenz von 2,38 GHz eine ESD von 2,8 W/m<sup>2</sup> im Abstand von 100 km. Jedoch ist die Energieausbreitung von

dem Hauptstrahl sehr niedrig und erfolgt am stärksten im Standort der Antenne.  
 Ein typischer Kalkulationsgraph der ESD-Verbreitung auf einer Höhe von 2m über der Erde im Standort der Satellitenkommunikationsantenne wird im Bild 5 angeführt.



*Bild 5. Graph der Energiestromdichte eines elektromagnetischen Feldes auf einer Höhe von 2m über der Erde im Standort der Satellitenkommunikationsantenne*

Es gibt zwei wesentliche gefährliche Strahlungen:

- im unmittelbaren Standort der Antenne;
- bei Annäherung an die Hauptstrahlachse längs seiner ganzen Ausdehnung.

### **Fernseher- und Radiostationen**

Radiosendestationen (RSS) sind in den speziell für sie bestimmten Zonen untergebracht und können ziemlich große Territorien (bis 1000 ha) einnehmen. In ihrer Struktur schließen sie ein oder mehrere Technikgebäude in sich ein, wo sich Rundfunksender und Antennenfelder befinden, auf denen bis zu einigen Dutzenden Versorgungsleitungssysteme (VLS) Platz finden.

Die Zone einer möglichen ungünstigen EMS-Funktion, die RSS erzeugen, kann man bedingt in zwei Bereiche einteilen.

Der erste Zonenbereich ist im Grunde genommen der RSS-Bereich, wo alle Dienste, die die Funktion der Rundfunksender und der VLS bedingen, eingerichtet sind. Dieser Bereich wird bewacht und es werden nur bestimmte Personen zu ihm zugelassen, die professionell mit der Bedienung von Sendern, Kommutatoren und VLS verbunden sind.

Der zweite Zonenbereich besteht aus Territorien, die an RSS grenzen, der Zugang zu welchen unbeschränkt ist und wo verschiedene Wohnbauten Platz finden können. In diesem Fall entsteht für die Bevölkerung, die sich in diesem Zonenbereich befindet, eine Bestrahlungsbedrohung.

In den Bereichen der Aufstellung von Rundfunksendern, und nicht selten auch außerhalb ihrer Grenzen, werden hohe EMS mit niedriger, mittlerer und hoher EMS-Frequenz (LF-, MF- und HF-RSS) beobachtet. Eine detaillierte Analyse der elektromagnetischen Lage in RSS-Bereichen zeugt von ihrer äußerst hohen Kompliziertheit, die mit dem individuellen Charakter der Intensitäts- und EMS-Verteilung für jeden Rundfunksender zusammenhängt. In diesem Zusammenhang werden spezielle Untersuchungen dieser Art für jede einzelne RSS durchgeführt.

Weit verbreitete Quellen der EMS in bewohnten Orten in der Gegenwart sind radiotechnische Sendestationen (RTSS), die ultrakurze Wellen mit VHF- und UHF-Frequenzen in das Medium ausstrahlen.

Eine Vergleichsanalyse der sanitären Schutzzonen (SSZ) und der Zonen mit einer Bebauungsbeschränkung in der Zone mit solchen Objekten zeigte, dass die größte Bestrahlung von Menschen und von der Umgebung in Bereichen der RTSS-Stationierung der "alten Bebauung" mit einer Antennenstützenhöhe von nicht mehr als 180 m erfolgt.

Am stärksten tragen die "eckigen" drei- und sechsstöckige Antennen des VHF FM-Rundfunk zur

Summenintensität des Einflusses bei.

### Mobilfunk

Grundelemente des Mobilfunksystems sind Basisstationen (BS), die die Funkverbindung mit den Mobilfunktelefonen (MFT) aufrechterhalten. Basisstationen BS und MFT sind Quellen der elektromagnetischen Strahlung im UHF-Bereich.

Einige technische Merkmale der gegenwärtig gültigen Systemstandarte des Mobilradiofunks werden in der Tabelle 2. angeführt.

TABELLE 2

*Kurze technische Merkmale der Systemstandarte des Mobilrundfunks*

Standart-bezeichnung	Bereich der Arbeitsfrequenzen der BS	Bereich der Arbeitsfrequenzen der MTF	Maximale Ausstrahlungsleistung der BS	Maximale Ausstrahlungsleistung der MFT	Funkradius
NMT -450 analog	463 - 467,5 MHz	453 - 47,5 MHz	100 W	1,0 W	1,0 - 40 km
AMPS analog	869 - 894 MHz	824 -849 MHz	100 W	0,6 W	2,0 - 20 km
D -AMPS (IS-136) digital	869 - 894 MHz	824 -849 MHz	50 W	0,2 W	0,5 - 20 km
CDMA digital	869 - 894 MHz	824 -849 MHz	100 W	0,6 W	2,0 - 40 km
GSM-900 digital	925 - 965 MHz	890 - 915 MHz	40 W	0,25 W	0,5 - 35 km
GSM-1800 (DCS) digital	1805 - 1880 MHz	1710 - 1785 MHz	20 W	0,125 W	0,5 - 35 km

Basisstationen unterstützen die Verbindung mit Mobilfunkgeräten in ihrer Zone und arbeiten im Modus des Empfangs und Signalsendung. Abhängend vom Standart strahlen BS elektromagnetische Energie im Frequenzbereich von 463 bis 1880 MHz aus.

BS-Antennen werden auf einer Höhe von 15-100 Metern über der Erdebene auf bereits existierenden Bauten (gemeinschaftlichen, dienstlichen, industriellen und Wohngebäuden, Schornsteinen, Industrieunternehmen usw.) oder auf speziell errichteten Masten installiert.

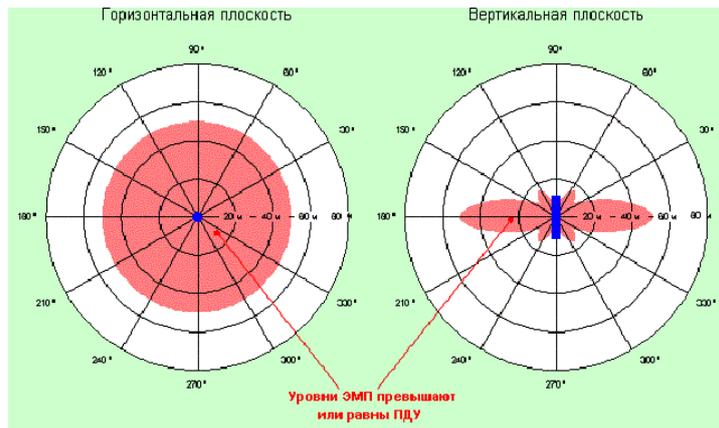
Unter den auf einem Ort installierten BS-Antennen gibt es sowohl Senderantennen (oder Empfangssenderantennen), wie auch Empfangsantennen, die keine EMS-Quellen sind.

Sender- (Empfangssender-) BS-Antennen können von zwei Arten sein:

- mit einem runden Ausrichtungsdiagramm in der horizontalen Ebene (Typus "Omni")-Bild 6;
- gerichtete (Sektorantennen) - Bild 7.

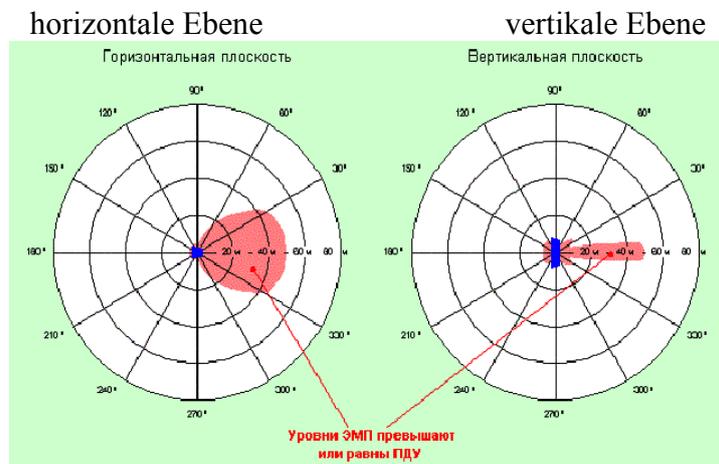
horizontale Ebene

vertikale Ebene



EMF überschreiten oder sind gleich FSP

Bild 6. Diagramm der Antennenausrichtung des Typus "Omni"



EMF überschreiten oder sind gleich dem FSP

Bild 7. Diagramm der Ausrichtung einer Ausschnittsantenne

BS-Antennen werden auf bereits existierenden Bauten beliebiger Art und auf speziell errichteten Masten installiert. Unter den auf einem Ort installierten BS-Antennen gibt es sowohl Sender- (oder Empfangssender-), als auch Empfangsantennen, die keine EMS-Quellen darstellen. Das Ausrichtungsdiagramm der Antennen in vertikaler Ebene ist so aufgebaut, dass die Hauptausstrahlungsenergie (mehr als 90 %) in einem ziemlich schmalen "Strahl" konzentriert ist (Bild 8.)

EMF überschreitet oder ist gleich dem FSP



Bild 8. Diagramm der Antennenausrichtung

Er ist immer von den Anlagen weg, auf denen sich BS-Antennen befinden, und höher als anliegende

Bauten gerichtet, was eine unerlässliche Bedingung für eine normale Arbeitsweise des Mobilfunksystems ist.

Ein Mobilfunktelefon (MFT) stellt ein Kleinsendeempfangsgerät dar. In Abhängigkeit vom Telefonstandart, erfolgt der Austausch im Frequenzbereich von 453 - 1785 MHz. Die MFT-Ausstrahlungsleistung ist eine Variablengröße, die hauptsächlich vom Kabelzustand der Verbindung "Mobilfunktelefon - Basisstation" abhängt, d.h. je höher das Niveau vom BS-Signal ist, desto kleiner ist die Ausstrahlungsleistung des MFT. Die maximale Leistung befindet sich zwischen 0,125 - 1 W, jedoch überschreitet sie im realen Medium nicht 0,05-0,2 W.

## Persönlicher Computer

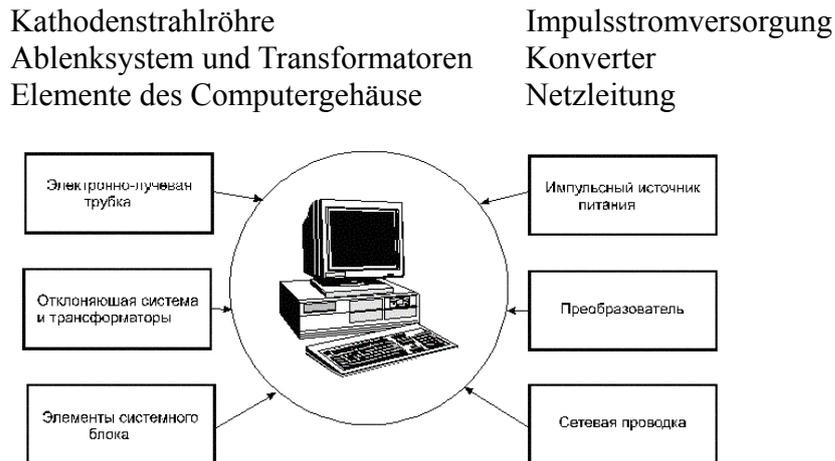


Bild 9. Hauptausstrahlungselemente des PC

Hauptbestandteile des Persönlichen Computers (PC) (Bild 9) sind:

- Computergehäuse (Prozessor)
- vielfältige Strukturen der Informationseinfuhr und -ausgangs
- Tastatur, Laufwerk, Printer, Scanner u.Ä.

Jeder persönlicher Computer schließt ein Mittel zur visuellen Informationswiedergabe in sich ein, das unterschiedlich genannt wird - Monitor, Anzeige, die Hauptkomponente dessen oft eine Einrichtung auf der Basis der Kathodenstrahlröhre ist. Der PC wird oft mit Netzfiltern versehen (zum Beispiel, Typus "Pilot"), Quellen der durchgehenden Stromversorgung und anderer Hilfselektroausrüstung. Alle diese Elemente formen bei der PC-Arbeit einen komplizierten elektromagnetischen Zustand auf dem Arbeitsplatz des Benutzers (s. Tabelle 3). Die Spektralcharakteristik der PC-Strahlung ist in Bild 10 angeführt.

TABELLE 3

Frequenzmerkmale der elektromagnetischen Strahlung des PC

Quelle	Frequenzbereich (erste Harmonik)
Monitor Netztransformator der Stromversorgung	50 Hz
Statischer Konverter der Spannung in der Impulsstromversorgung	20 - 100 kHz
Block der Filmabtastung und Synchronisation	48 - 160 Hz
Block der Zeilenabtastung und Synchronisation	15 - 110 kHz
Beschleunigte Anodenspannung des Monitors	0 Hz (Elektrostatik)

(nur für Monitoren mit KSR)	
Computergehäuse (Prozessor)	50 Hz - 1000 MHz
System zu Informationseingang, -ausgang	0 Hz, 50 Hz
Versorgungsstromquellen	50 Hz, 20 - 100 kHz

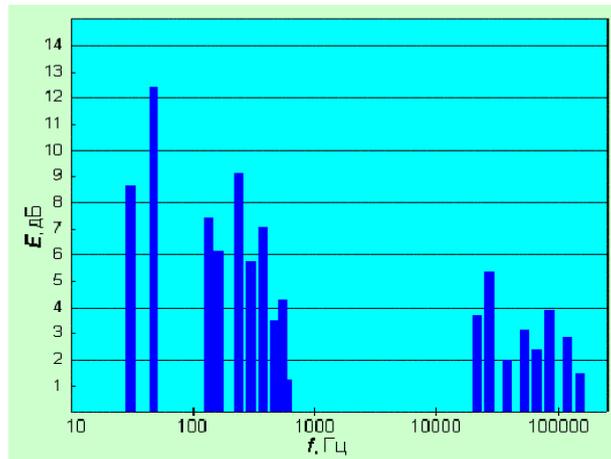


Bild 10. Spektralcharakteristik des PC

Außerdem können auf dem Arbeitsplatz des Benutzers folgende Objekte Quellen, die leistungsfähiger als der PC sind darstellen:

- KSR
- Umspannwerke
- Schaltbretter
- Elektrische Leitung
- Alltags- und Industrielektrogeräte (alle Quellen besitzen die erste Harmonische - 50 Hz)
- Fernseher (0-15,6 kHz)
- benachbarte PC's (0-1000 MHz) usw.

Das Gesamtbild des Umfelds auf dem Arbeitsplatz kann sehr kompliziert sein (Bild 11).

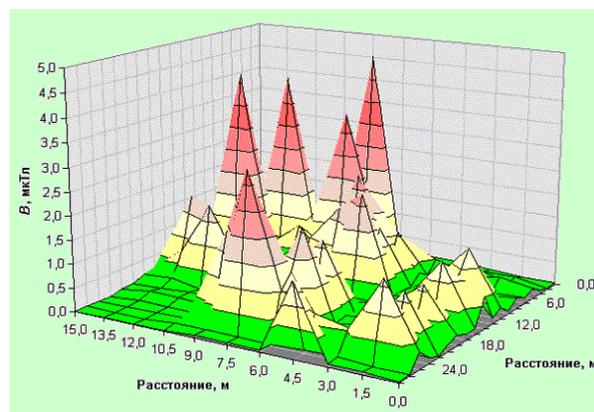


Bild 11. Beispiel einer typischen Ausbreitung des Magnetfeldes im Bereich von 5 Hz bis 2 kHz in einem mit Computern ausgestatteten Raum

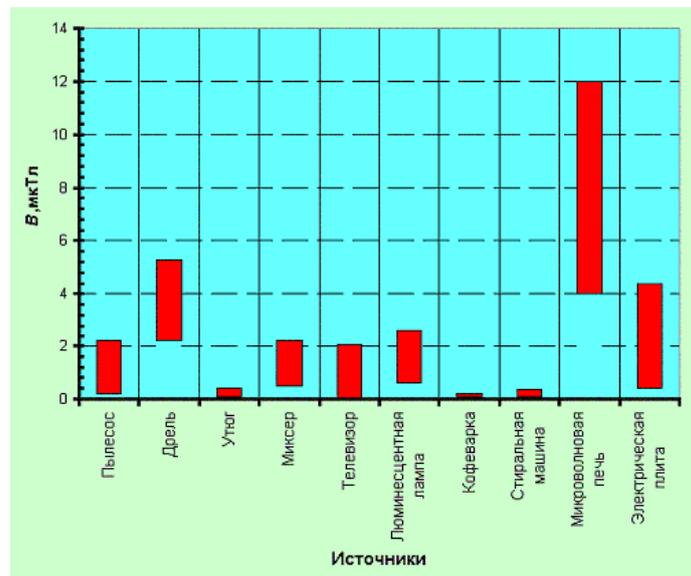
#### 1.4.2. Elektromagnetische Strahlungen der Netzfrequenz

Hauptquellen elektromagnetischer Strahlungen mit der Netzfrequenz (50/60 Hz) sind Elemente stromführender Systeme mit unterschiedlicher Spannung (Kraftstromleitungen, offene

Verteilungsanlagen, ihre Komponenten), Elektrogeräte und Apparatur industrieller und alltäglicher Bestimmung, welche elektrische Energie verbraucht.

### Haushaltsgeräte

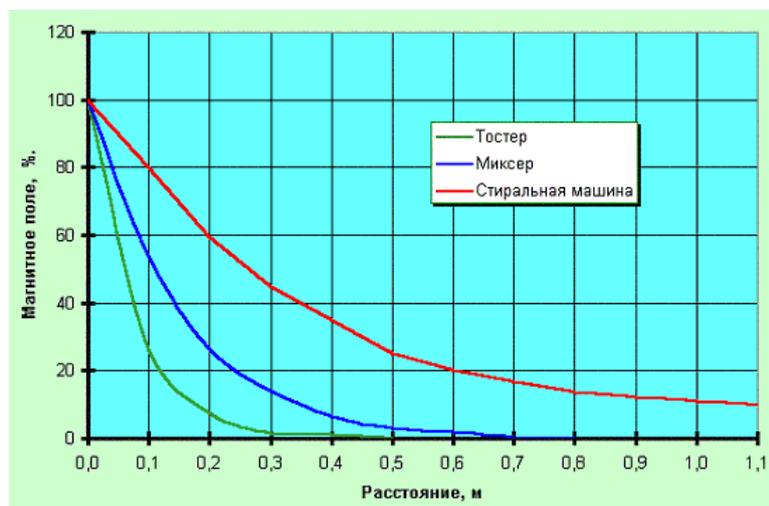
Von allen Haushaltsgeräten muss man folgende Geräte als die leistungsstärksten anerkennen: UHF-Herde, verschiedene Grillgeräte, Kühlschränke mit der Option "ohne Reif", Küchenabzüge, Elektroherde, Fernseher. Die real erzeugte EMS kann sich zwischen ähnlichen Anlagen in Abhängigkeit vom konkreten Modell und den Betriebsbedingungen stark unterscheiden (Bild 12). Alle unten aufgeführten Statistiken beziehen sich auf ein industrielles Magnetfeld mit einer Frequenz von 50 Hz. Laut moderner Vorstellung, kann es für die Gesundheit des Menschen gefährlich sein, wenn eine dauerhafte Bestrahlung (regulär, nicht weniger als 8 Stunden pro Tag, im Laufe von Jahren) mit mehr als  $2 \mu\text{T}$ , stattfindet. Mittlere Stärken des Magnetfeldes von Industrielektrogeräten mit einer Netzfrequenz im Abstand von 0,3 m werden in Bild 15, und die Stärkeveränderung in Abhängigkeit vom Abstand in Bild 13 angeführt.



y-Аchse: B,  $\mu\text{T}$   
x-Аchse: Quellen

Staubsauger    Drillbohrer    Bügeleisen    Mixer    Fernseher    Leuchtstofflampe  
Kaffeemaschine    Waschmaschine    Elektrisches Herd

Bild 12. Strahlungsniveaus eines Magnetfelds der Industriegeräte im Abstand von 0,3 m



y-Achse: Magnetfeld, %  
Abstand, m

Toaster  
Mixer  
Waschmaschine

*Bild 13. Niveauveränderung des Magnetfelds der Industrielektrogeräte mit einer Netzfrequenz in Abhängigkeit vom Abstand*

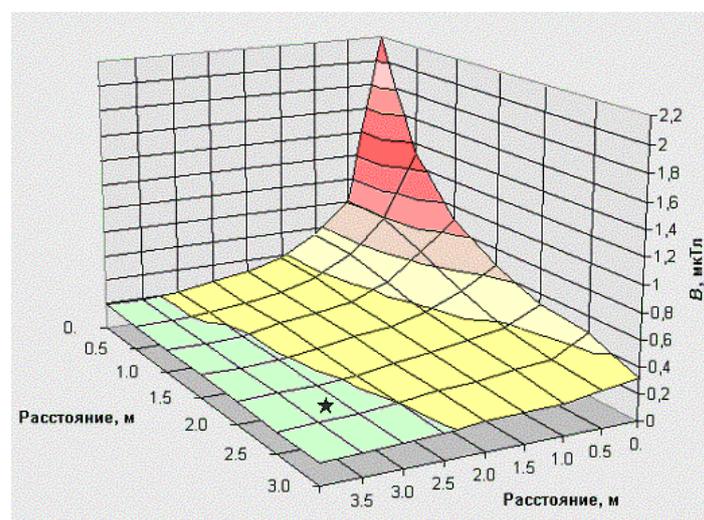
In der Tabelle 4 werden Statistiken über den Abstand angeführt, auf welchem sich ein Magnetfeld mit der Netzfrequenz (50 Hz) mit  $0,2 \mu\text{T}$  bei der Arbeit einer Reihe von Haushaltsgeräten fixiert.

*Ausbreitung des Magnetfeldes der Haushaltselektrogeräte (stärker als  $0,2 \mu\text{T}$ ) mit der Netzfrequenz*

Quelle	Abstand, auf dem eine Größe von mehr als $0,2 \mu\text{T}$ fixiert
Kühlschrank, ausgestattet mit der Option "No frost" in der Arbeitszeit des Kompressors	1,2 m von der Tür 1,4 m von der hinteren Wand
Gewöhnlicher Kühlschrank in der Arbeitszeit des Kompressors	0,1 m vom Elektromotor des Kompressors
Bügeleisen (Aufwärmungsoption)	0,25 m vom Griff
Fernseher 14"	1,1 m vom Bildschirm 1,2 m von Seitenwand
Strahlheizen	0,3 m
Stehleuchte mit zwei Lampen á 75 W	0,03 m (vom Leiter)
Elektroofen	0,4 mm von Vorderwand
Luftgrill	1,4 m von Seitenwand

### Elektrische Leitung

Unter den gefährlichsten Quellen, die in Wohnräume ausgestrahlt werden, sich aber außerhalb von ihnen befinden, nehmen folgende Anlagen einen besonderen Platz ein: Umspannwerke, Hausstromversorgungsschaltbretter, Stromversorgungsleiter. Ihr Vorhandensein kann man in den meisten Fällen visuell bestimmen, jedoch lässt sich der Sicherheitsabstand nur mit Hilfe von speziellen Geräten bestimmen. Der typische Sicherheitsabstand beträgt 1,5 - 5 Meter. Ein Beispiel der Ausbreitung eines Magnetfelds mit einer Netzfrequenz im Raum, in den eine äußerliche Quelle einstrahlt, wird im Bild 14 angeführt.

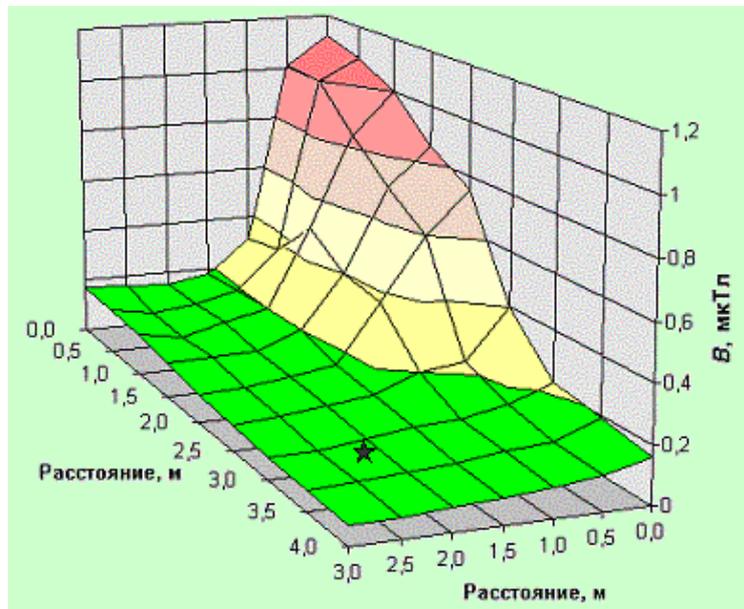


x-,z-Achse: Abstand in m  
y-Achse: B in  $\mu\text{T}$

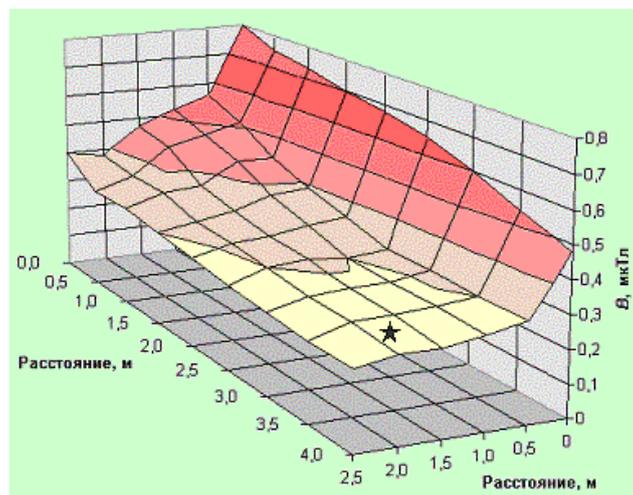
*Bild 14. Strahlungsquelle ist ein allgemeiner Kraftkabel des Treppenflurs. Die optimale Zone zur Wahl des Schlafortes (gefährlose Zone) ist mit dem Stern gekennzeichnet.*

Den größten Einfluss auf die elektromagnetische Situation der Wohngebäude im Bereich der Netzfrequenz von 50 Hz erweist die elektrotechnische Hausausstattung, genau genommen Kabelleitungen, welche die Elektrizität zu allen Wohnungen und anderen Verbrauchern des Lebenserhaltungssystems leitet, und Schaltbrettern und Transformatoren. In Räumen, die an diese Quellen angrenzen, ist in der Regel ein starkes Magnetfeld mit einer Netzfrequenz vorhanden. Das elektrische Feld mit einer Netzfrequenz ist dabei normalerweise nicht hoch und überschreitet nicht das FBP für die Bevölkerung von 500 W/m.

Beispiele der Magnetfeldausbreitung mit einer Netzfrequenz in Räumen sind in Bildern 15,16 angeführt. Mit einem Stern (\*) wird die Zone des gesundheitlich gefährlosen Magnetfeldniveau gezeigt.



*Bild 15. Magnetfeldausbreitung mit einer Netzfrequenz in einem Wohnraum. Feldquelle ist der Verteilungspunkt der Stromversorgung, das sich in einem angrenzenden unbewohnten Raum befindet.*



*Bild 16. Magnetfeldausbreitung mit einer Netzfrequenz in einem Wohnraum. Feldquelle ist die Kabelleitung, welche sich im Treppenflur entlang der Außenwand des Raumes befindet.*

## **Kraftstromleitungen**

In Abhängigkeit von der Bestimmung und der Nominalspannung werden Kraftstromleitungen (KSL) unterteilt in:

- Ultrafernkraftstromleitungen (500 kW und mehr);
- Hauptleitungs- (220-330 kW);
- Verteilungs- (30-150 kW);
- Zuleitungs- (weniger als 20 kW).

Leitungen einer tätigen Kraftstromleitung erzeugen in dem anliegenden Medium ein elektrisches und ein magnetisches Feld mit einer Netzfrequenz. Der Abstand, auf welchem sich diese Felder von den Linienleitungen, erreicht Dutzende von Metern.

Die Ausbreitungsentfernung des elektrischen Feldes hängt ab von dem Spannungstyp der KSL (Ziffer, die den Spannungstyp beschreibt, steht in der KSD-Bezeichnung - z.B. KSD 220 kW): Je höher die Spannung, desto größer die Zone des erhöhten Niveaus des elektrischen Feldes, dabei verändern sich die Zonengrößen im Laufe der KSD-Arbeit nicht.

Die Ausbreitungsentfernung des Magnetfeldes hängt von der Größe des Stromflusses oder von der Linienbelastung ab. Da die KSD-Belastung sich wie im Laufe von vierundzwanzig Stunden, so auch mit der Jahreszeitänderung mehrmals ändern kann, verändern sich auch die Größen der Zone eines erhöhten Niveaus eines Magnetfeldes ebenfalls.

## **Kapitel 2. Messung der Alltags- und industriellen elektromagnetischen Felder**

### **2.1. Maßeinheiten**

EMS der RF und SHF werden von 3 Hauptparametern charakterisiert: der Spannung des elektrischen Feldes (**E**), der Spannung des Magnetfeldes (**H**) und der Energiestromdichte (**ESD**). Die Intensitätsschätzung der RF und SHF verschiedener Bereiche ist nicht gleich. Im Bereich radiofrequenter Strahlung von weniger als 300 MHz (laut der Empfehlung der Internationalen Organisation IRPA / INIRC (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection = Internationales Komitee für nichtionisierende Strahlung / Internationale Vereinigung für Strahlungsschutz) weniger als 10 MHz) wird die Strahlungsintensität durch die Spannung der elektrischen oder magnetischen Komponente beschrieben und wird dementsprechend in W/m (oder Kilovolt pro Meter (kV/m):  $1 \text{ kV/m} = 10^3$ ) und Ampère pro Meter (A/m) gemessen. Im UHF-Bereich, d.h. höher als 300 MHz wird die Intensität, oder ESD in Watt pro Quadratmeter ( $\text{W/m}^2$ ;  $1 \text{ W/m}^2 / \text{cm}^2 = 100 \text{ uW/cm}^2$ ) gemessen.

Zur Charakteristik der **Magnetfelder** wird eine Größe eingeführt, welche die Induktion des Magnetfelds (**B**) beschreibt, und gleich der Kraft ist, mit welcher das Magnetfeld auf ein einzelnes Stromelement, das senkrecht zum Induktionsvektor gerichtet ist, wirkt. Einheit der MF-Induktion ist Tesla (T). Zur Charakteristik des MF wird in Vakuum eine Größe eingeführt, die MF-Spannung heißt (**H**), welche in Ampère pro Meter (A/m) gemessen wird.

MF-Spannung und -induktion sind durch folgendes Verhältnis verbunden:

$$\mathbf{B} = \mu \mu_0 \mathbf{H},$$

wo  $\mu_0$  die magnetische Feldkonstante mit  $4 \cdot 10^{-7} \text{ Gs/m}$  ist;  $\mu$  ist die Permeabilitätskonstante der Stoffe.  $1 \text{ T} = 7,965 \text{ A/m}$ ;  $1 \text{ A/m} = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ T}$ . Systemfremde Einheit der magnetischen Induktion ist Gauß (Gs):  $1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$ ; MF-Spannung ist Oersted (Oe):  $1 \text{ Oe} = 79,58 \text{ A/m}$ . In dem Luftmedium  $1 \text{ Gs} = 1 \text{ Oe}$ .

Außerdem wird der Fachbegriff "Gamma", der eine Größe von 1 nT beschreibt, verwendet. Was Mobilfunktelefone angeht, so ist es heutzutage üblich, das Sicherheitsniveau in **SAR (Specific**

**Absorption Rates**) - im Strahlungsniveau (Emission) der ausgestrahlten Energie in Watt pro Kg des Hirnstoffes (W/ kg). Je kleiner der SAR-Wert, desto gefahrloser das Gerät.

## 2.2. Apparatur zur Messung

### 2.2.1 Radio- und ultrahohe Frequenzen

Im Weiteren folgen einige Geräte, die den Ansprüchen an Mittel der Werkzeugkontrolle der EMF-Standard der EG und der Internationalen Komitee für Schutz von nicht ionisierenden Strahlungen entsprechen.

Diese Geräte wurden bei der Kontrolle der Funktionsaktivität von Waren der Handelsmarke FOSTAC Chip der Firma **FOSTAC AG** (Schweiz) angewendet.



Bild 17. Analysator des Feldes EFA-3 (Firma "Wandel & Goltermann")

#### **Bestimmung**

Messungen der magnetischen und elektrischen Komponente von elektromagnetischen Feldern mit niedriger Frequenz, die durch verschiedene Quelle geschaffen werden:

Wechselstromkraftstromleitungen, Umspannwerke, industrielle und Haushaltselektrogeräte, Mittel zur visuellen Informationsabbildung (Computer- und FernseherAnzeiges) u. Ä.

#### **Eigenschaften**

Computeranschluss mit Hilfe von faserenergetischer Schnittstelle RS 232 zur Übertragung der Messergebnissen. Automatische Messdurchführung mit einer Dauer von bis zu 24 Stunden. Möglichkeit einer automatischen Durchführung lang andauernder paralleler Messungen der elektrischen und magnetischen Felder dank der Funktion autonomer Ergebnisaufzeichnung, die vom Sensor des elektrischen Feldes ermöglicht wird. Speicherung von 4095 Werten der Messungsergebnisse. Bearbeitung der erhaltenen Angaben mit Hilfe von breit zugänglichen Programmen (zum Beispiel, Microsoft Excel). Entwickelte Funktionen der Signalfiltrierung - Bandbreitenfilter für alle Netzfrequenzen und ihrer Harmoniken, Bandbreitenfilter für die vom Verbraucher gewählte Frequenz. Eingebauter Frequenzmesser. Benutzermenü.

Lieferungsmöglichkeit der Programmmittel zur Berechnung der wechselnder elektrischen und magnetischen Felder unter Berücksichtigung vielfältiger Quellen.

TABELLE 5

<b>Frequenzbereich:</b> von 5 Hz bis 30 kHz Messgrenze auf der Frequenz 50/60 Hz mit eingebautem Magnetfeldsensor: von 50 nT bis 10 mT oder von 5 nT bis 10 mT mit Bandbreitenfilter;	<b>Messgenauigkeit</b> von +- 3%... +- 8%) in Abhängigkeit vom Frequenzband und dem Filterungsbetrieb <b>Filterungsfunktion:</b> Breitbandmessungen mit der/
--	--

<p>mit zusätzlichem Magnetfeldsensor: von 10 nT bis 10 mT oder von 1 nT bis 10 mT mit Bandbreitenfilter: mit Außensensor des elektrischen Feldes: von 0,5 V/m bis 100 kV/m oder von 0,1 V/m bis 100 kV/m mit Bandbreitenfilter</p>	<p>Frequenzmesserfunktion: 5 Hz - 2 kHz/ 5 Hz - 20 kHz/ 30 Hz - 2 kHz/ 30 Hz - 30 kHz Bandbreitenfilter: 16,67 Hz/ 50 Hz/ 60 Hz/ 400 Hz/ 2. und 3. Harmonischen</p>
<p><b>Anzeige und Signalisierung</b> Messwerterneuerung.....3 sec Installationszeit..... 2 sec Anzeigentyp... LCD Visuelle Signalisierung.... Roter Leuchtdiod Tonsignalisierung.... Eingebauter Lautsprecher Signalisierung.... Angegebene Größe Wahl der Messungsgrenzen.... Manuell oder automatisch</p>	<p><b>Messungsfunktionen</b> Größen... nT, <math>\mu</math>T, mT, mGs, Gs, V/m, kV/m Messung des quadratischen Mittelwerts oder der Höchstwerte Frequenzmessung... Frequenz des maximalen Signals Eichmessung.... Benutzter Sensor <b>Selbstdiagnostik</b> Automatisch beim Einschalten der Stromversorgung</p>
<p><b>Zusätzliche Filter</b> Vom Benutzer bestimmt (von 15 Hz bis 2 kHz)</p>	<p><b>Ergebnisspeicherung</b> Automatische Messung mit dem Timer oder manuelle Speicherung (4000 vollständiger Ergebnisse)</p>
<p><b>Hauptmerkmale</b> Stromversorgungsquelle nach Wahl Akkumulator..... 5xKR14 (1.2 V) Batterien.....5xR14 (1.5 V)  Akkumulatoren/Batterien..... 10h/20h Aufladung.....von Quelle LNT-1x</p>	<p><b>Betriebsbedingungen</b> Umgebungstemperatur.... 0 +50 °C Relative Luftfeuchtigkeit... 5 - 95 %</p>
<p><b>Größen</b> Gerät.....110x200x60 mm E-Feld-Sensor.....104x104x104 mm <b>Masse</b> Gerät.....1000 g E-Feld-Sensor.....1000 g</p>	<p><b>Setinhalt</b> EFA-3-Messer, äußerer E-Feld-Sensor, Überzugstasche, LWL-Kabel, Stativ, NiCd-Akkumulatoren, 2 Aufladegeräte Zusätzlich: präziser H-Feld-Sensor (A=100 cm<sup>2</sup>), winziger H-Feld-Sensor D=3 cm mit Kabel 1,2 m, Kabel für H-Feld-Sensor, Set mit PC-Anschluss (Konverter, Kabel, Diskette), anderes Zubehör auf Bestellung</p>



Bild 18. Elektromagnetische Strahlungsmesser EMR-20, EMR-30

### Zweckbestimmung

Isotrope (ungerichtete) Spannungsmessungen der hochfrequenter elektrischer Felder, die von verschiedenen Quellen erzeugt werden: Funk- und Fernsehsender, medizinische Ausstattung, Radare, Sender von Radio- und Mobilfunksystemen, Mikrowellenherde u.Ä., Messungen in echofreien und TEM-Kameras.

### Merkmale

- Gerätsanzeige in Prozent des installierten Grenzwertes
- unmittelbarer Anschluss an den Personal Computer mit Hilfe von faserenergetisches serieller Schnittstelle V.24 (RS 232) zur Übertragung der Messergebnisse, Fernsteuerung und Eichmessung;
- Speicherung von 1500 Messwerten (nur für EMR-30)
- Bearbeitung der erhaltenen Daten mit Hilfe von leicht zugänglichen Programmen (zum Beispiel, Microsoft Excel)

### Setinhalt

Zusätzlich zum Hauptgerät EMR-20 und EMR-30 sind ein Aktenkoffer zur Aufbewahrung und Transportierung, ein Set für PC-Verbindung, ein Tischstativ und NiCd-Akkumulatoren (zusammen mit entsprechendem Aufladegerät) ergänzend.

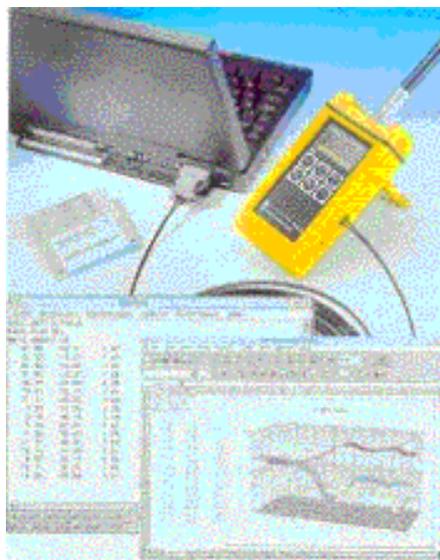
TABELLE 6

**Technische Merkmale der EMR-20, EMR-30**

<b>Technische Merkmale der EMR-20, EMR-30</b>	
Frequenzbereich	von 100 kHz bis 3 GHz
Messwertbereich	1,0 - 800 V/m, 0,27 uW/cm <sup>2</sup> - 170 uWt/cm <sup>2</sup>
Messfehler	+/- 1 dB
Messgrößen	V/m, A/m, uW/cm <sup>2</sup> , W/m <sup>2</sup> , & der eingegebenen Messgrößen
Herleitende Ergebnisse	Der momentane Wert oder der Maximalwert seit dem Einschaltmoment
Mittelwert	Der momentane Wert oder das Mittelwertergebnis pro 6 min
Display	LCD
Selbsttestung	Beim Einschalten
<b>Besonderheiten des EMR-30</b>	
Ergebnisspeicherung	1500 Werte
Echtzeituhr	
Räumliche Mittelwertermittlung	Laut vorgegebenem Zeitintervall und der Messungspunkte
<b>Hauptcharakteristiken</b>	
Abmessungsgrößen (mit Sender)	96x64x465 mm
Masse (mit Nahrungselementen)	450 g

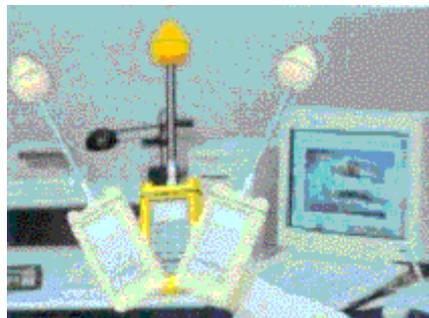
<b>Nahrungsquelle</b>	
Akkumulatoren	2xMignon (AA) 1,2 B
Batterien	2xMignon (AA) 1,5 B
<b>Zeit des unterbrechungsfreien Betriebs</b>	
Mit Akkumulatoren	8 h
Mit Batterien	>15 h
<b>Betriebsbedingungen</b>	
Umgebungstemperatur	von 0 bis +50 °C
Relative Luftfeuchtigkeit	von 25 bis 75 %

Auf den Bildern 19-24 werden die Messapparatursets vorgestellt.



*Bild 19. Set des Anschlusses an den PC*

*Ermöglicht es, erhaltene Daten mit Hilfe von allgemein zugänglichen Programmen (zum Beispiel, Microsoft Excel) zu bearbeiten.*



*Bild 20. Messer der elektromagnetischen Strahlung EMR-30.*

*Ermöglicht es, Messungen mit räumlicher Mittelwertermittlung durchzuführen.*



Bild 21. Messer der elektromagnetischen Strahlung EMR-200, EMR-300 (Firma "Wandel&Goltermann"). Die verbesserten Varianten sind EMR-20, EMR-30. Gerätebestimmung und viele Charakteristiken und Möglichkeiten sind dieselben, aber: Frequenzbereich ist anders - von 100 kHz bis 60 GHz, Bereich der messbaren Größen - 0,8 - 1000 V/m; 0,07  $\mu$ W/cm<sup>2</sup> - 260  $\mu$ W/cm<sup>2</sup>, 0,03 - 16 A/m.



Bild 22. Feldsensoren (sind im Set EMR-200, EMR-300 enthalten)

TABELLE 7

Feldsensortyp	Frequenzbereich in MHz	Messgrenzen		
		Spannung vom elektrischen Feld, in V/m	Spannung des Magnetfeldes, in A/m	Energiestromdichte, in $\mu$ W/cm <sup>2</sup>
8	0,1-2000	1-800	-	0,27-170000
9	3-18000	1,2-1000	-	0,32-265000
10	27-1000	-	0,03-16	-
11	10-60000	1-800	-	0,27-170000
12	0,3-30	-	0,03-16	-
13	0,003-3	-	0,3-250	-

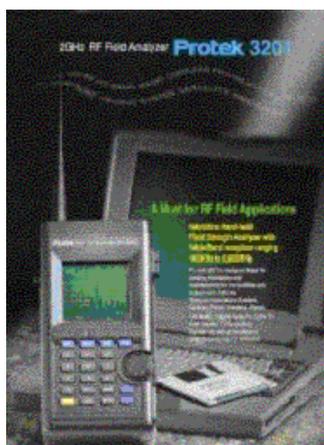


Bild 23. Feldanalysator Protek 3201 (Firma "Wandel&Goltermann")

### Bestimmung

Der Analysator "Protek-2301" wird bei der Installation, der Auflage und der laufenden Bedienung Systemanlagen der Funk-, Bündelungs- und Paginghörfunk, Kabel- und Satellittelevisiion benutzt.

### Komplektierung

Übliche breitbandige Antenne, Tasche, Batterien AA (6 St.), RS-232- Kabel

### Zusätzlich

Reisestecker 70-50 Ohm, F-BNC-Anschluss, Automobil Adapter, Dämpfungsglied 20 dB, 40 dB, Netzversorgungsgerät, Mini-Drucker RS-232, Software zur Verbindung mit dem PC.

TABELLE 8

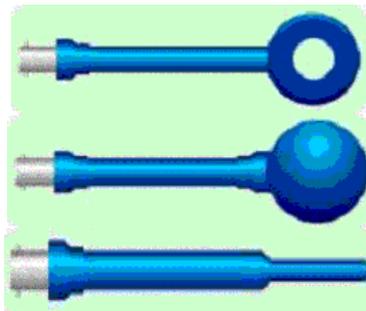
### Technische Merkmale von Protek 3201

Frequenzbereich	100 kHz - 2060 MHz
Detektionsarten	N-FM, W-FM, Am, SSB
Frequenzschritt	5 - 9995 kHz
Kanalgedächtnis	10 Speicher x 160 Kanäle (1600 Kanäle)
Dateigedächtnis	10 Speicher x 160 (1600)
Gedächtnis der Benutzereinstellungen	10 Speicher x 3 Scanmoden
Empfindsamkeit	6 dBuW
Scangeschwindigkeit	12,5 Kanäle/sec
Eingangswiderstand	50 Ohm
Maximaler Eingangswiderstand	5 B
Messungsbereich	N-FM: von 10 dBuW bis 40 dBuW W-FM/AM/SSB: von 0 dBuW bis 50 dBuW
Auflösung	+/- 3 dBuW
Messfehler	+/- 0,5 dBuW
<b>Frequenzmeter</b>	
Frequenzbereich	9-2060 MHz
Auflösung	1 kHz
Empfindsamkeit	9 - 2000 MHz: 150 mV 20 - 1000 MHz: 100 mV

Eingangswiderstand	50 Ohm
Maximaler Eingangswiderstand	5 V
Dateispeicher	10 Kanäle
<b>Haupteigenschaften</b>	
Lautsprecher	Eingebaut, außen
Versorgungsquelle	6 Batterien AA Netzversorgungsgerät Automobil Adapter 12V
Arbeitstemperaturbereich	von 0 bis 40 °C
Luftfeuchtigkeit	von 35 bis 85%
Größen (ohne Antenne)	105x220x45 mm
Masse	700 g

Zusätzliche breitbandige kalibrierte Antenne des elektrischen und magnetischen Felder (im Set des Protek 3201).

Frequenzbereich 1MHz - 1 GHz.



*Bild 24. 7405-902 Antenne zu Messung des Magnetfeldes (Ring 3 cm),  
7405-904 Antenne zu Messung des elektrischen Feldes (Kugel 3,6 cm)  
7405-905 Antenne zu Messung des elektrischen Feldes (Stab 6 mm)*

TABELLE 9

<b>Zusätzliche schmalbandige kalibrierte Antennen</b>	
Typ	Frequenz
ROD -30	30 MHz
ROD - 160	169 MHz
ROD -300	300 MHz
ROD -800	800 MHz

Antenne, die auf andere Frequenzen eingestellt sind, werden auf Nachfrage geliefert.



Bild 25. Teslameter ETM -1 der Firma "Wandel&Goltermann"

### Bestimmung

Das Gerät wurde zu Niveaumessung eines gleichbleibenden Magnetfeldes entwickelt, dessen Quellen, zum Beispiel, medizinische Ausstattung, metallschmelzende Öfen und Transport mit Hilfe von elektrischer Zugkraft.

### Eigenschaften

ETM-1 ergänzt die Familie der Feldanalysatoren EFA-1 - EFA-3, und sorgt für Messungen gleichbleibender magnetischer Felder. Das Gerät hat sowohl eine automatische als auch manuelle Frequenzbereichwahl. Die Ergebnisse werden auf dem LC-Display (3,5 Symbole) präsentiert. Messungen auf einer oder drei Achsen werden ermöglicht. Der Sensor lässt sich mit dem Gerät mit Hilfe von einem Abschirmungskabel mit einer Länge von 1,5 m. Technische Eigenschaften des ETM-1-Analysators werden in der Tab. 10 präsentiert.

Im Betriebskopf sind 3 Sensoren installiert, Signale welcher im Messer getrennt bearbeitet werden. Das Ergebnis ist eine geometrische Summe der gemessener Werte.

Zur Fernbedienung von ETM-1 wird das Interface RS-232 benutzt.

### Komplektierung

Im Gerät-Set sind ein Messer, ein Bedienungsköpfchen, ein Messkopfschirm, Tasche, Verbindungskabel RS-232, Batterie und Netzversorgungsgerät.

TABELLE 10

### Technische Merkmale von ETM-1

Ausrichtungsmerkmal	Isotrop, drei Koordinaten
Frequenzbereich	0,1 mT - 1999 mT
Sensortyp	Hall-Sensor
Messungsgenauigkeit	+/- 2%
Hauptmerkmale	
Versorgungsquelle	Lithiumbatterie 9 V und Stromversorgungsgerät
Zeit der unterbrechungsfreien Betriebs mit Batterie	15 h
Messergrößen	160x80x30 mm
Messkopfgrößen	12x12x100 mm
Gewicht	250 g



Bild 26. Feldanalysatoren EFA-1 und EFA-2  
(Firma "Wandel & Goltermann")

### Bestimmung

Messungen der magnetischen Komponente niedrigfrequenter elektromagnetischer Felder, die von verschiedenen Quellen erzeugt werden: Kraftstromleitungen mit Wechselstrom, Umspannwerke, Weiße und Braune Ware, Mittel zu visueller Darstellung von Information (Computerdisplay und Fernseher) u. Ä.

### Merkmale

EFA-1 und EFA-2 sind kompakt, werden von raumsparenden Batterien versorgt. Computer-Anschluss durch faser-energetischen Interface RS 232 zur Übertragung von Messeergebnissen. Automatische Messdurchführung mit einer Dauer von 24 Stunden. Speicherung von 4095 Messergebniswerten (EFA-2). Verarbeitung der erhaltenen Daten mit Hilfe mit allgemein zugänglichen Programmen (zum Beispiel; Microsoft Excel). Entwickelte Funktionen der Signalfilterung - Bandfilter für alle industriellen Frequenzen und ihrer Harmoniken, Bandfilter für die vom Benutzer gewählten Frequenz (EFA-2). Eingebauter Frequenzmeter. Benutzermenü (EFA-2). Möglichkeit der Lieferung von Software zu Messung des magnetischen Wechselfeldes mit Berücksichtigung vielfältiger Quellen.

### Komplektierung

EFA-1- oder EFA-2-Messer, NiCd-Akkumulatoren, Ladegerät.

**Zusätzlich:** präziser H-Feld-Sensor (A=100 cm<sup>2</sup>), kleiner H-Feld-Sensor D=3 cm mit Kabel 1,2 m, Kabel für H-Feld-Sensor, Tasche, Set für PC-Anschluss (Konverter, Kabel, Diskette), andere Zubehöre bei Bestellung.

TABELLE 11

### Technische Merkmale von EFA-1 und EFA-2

<p>Frequenzbereich: von 5 Hz bis 20 kHz (3 dB)            Messungsprinzip: Isotrope Messung der aktiven (mittelquadratischen) oder Peak-Wert-Messung  <b>Messungen:</b> Isotrop oder mit einer Koordinate  <b>Messgrenze bei Frequenz 50/60 Hz</b>            von 50 nT bis 10 mT oder            von 5 nT bis 10 mT mit Bandfilter (mit eingebautem Magnetfeldsensor);            von 10 nT bis 10 mT oder</p>	<p>Messgenauigkeit            von 50 Hz bis 400 Hz, breitbandig (5 Hz bis 2 kHz) oder wählbar;            +- 5%, B&gt;500 nT ( mit eingebautem Magnetfeldsensor);            +- 3%, +- 1 nT, B&gt;40 nT (mit zusätzlichem präzisen Magnetfeldsensor),            von 50 Hz bis 5 kHz, breitbandig (5 Hz bis 30 kHz) oder wählbar;</p>
---	---

<p>von 1 nT bis 10 mT mitt Bandfilter (mit zusätzlichem präzisen Magnetfeldsensor)  <b>Messgenauigkeit auf dem Display 0,1 %</b></p>	<p>+ - 8%, B&gt;500 nT (mit eingebautem Magnetfeldsensor);  + - 3%, + - 1 nT, B&gt;40 nT (mit zusätzlichem präzisen Magnetfeldsensor);  16,7 Hz, breitbandig (5 Hz bis 2 kHz) oder wählbar;  + - 6%, B&gt;500 nT (mit eingebautem Magnetfeldsensor);  + - 5%, + - 1 nT, B&gt;40 nT (mit zusätzlichem präzisen Magnetfeldsensor)</p>
<p><b>Filterungsfunktionen:</b>  Breitbandige Messungen mit der Frequenzmeterfunktion: 5 Hz - 2 kHz/ 5 Hz - 30 kHz/ 30 kHz - 2 kHz/ 30 Hz - 30 kHz;  Bandfilterung: 16,67 Hz/ 50 Hz/ 60 Hz/ 400 Hz/ 2. und 3. Harmoniken</p>	<p>Display und Signalisierung  Anzeigeerneuerung.....3 sec.  Einstellungzeit.....2 sec.  Displaytyp.....LD  Visuelle Signalisierung.....roter Diod  Tonsignalisierung.....Eingebauter Lautsprecher  Wahl der Messgrenzen.....Manuell oder automatisch</p>
<p><b>Messfunktionen</b>  Größen.....nT, uT, mT, mGs, Gs  Messung.....mittelquadratisch oder Peakmessung  Ergebnisindikation..... Feldspannung und Feldkomponenten  Signalisierung.....mit angegebener Größe  Frequenzmessung.....Frequenz der maximalen Signalisierung  Kalibrierung..... mit benutztem Sensor</p>	<p>Selbstdiagnose  Automatisch beim Einschalten der Versorgung  <b>Kalibrierung</b>  Autokalibrierung  Empfohlener Attestationsintervall 24 Monate  <b>Interface</b>  Interface zu Kalibrierung und Messergebnistransfer RS-232 energetisch</p>

Geräte der Firma "Wandel & Goltermann" entsprechen den EU-Forderungen zu Mitteln der Instrumentenkontrolle nach den Normen der elektromagnetischen Strahlung und der Internationalen Komitee für Schutz von nicht-ionisierender Strahlung.



Bild 27. B&Emetr Spannungsmesser des elektromagnetischen Feldes B&E metr. Kompaktes Gerät zu Kontrolle der Parameter elektromagnetischer Strahlung.

## Bestimmung

Der Messer kann bei der Ausführung von sanitär-hygienischer Untersuchung von Räumen mit elektrischer Ausrüstung (Personal Computer, faksimile Apparate, Spielautomate u.a.) verwendet werden. Typische Verwendungen: allgemeine Analyse der elektromagnetischen Anwesenheit im Raum, Suche der Quellen von intensiver elektromagnetischer Strahlung, Attestation von Arbeitsplätzen usf. entsprechend der Forderung hygienischer Normen. Zertifizierung Personaler Computer zu internationalen Normen MPR II und TCO 92/95 (bei Antennenbenutzung zur Zertifizierung ??? (B/T)).

## Anwendung

Akkreditierte Experimentlabore, Herstellungslabore in der Energiewirtschaft. Organisationen, welche die Attestation von Arbeitsplätzen verwirklichen. Technische Merkmale von B&Emetr werden in der Tabelle 12 vorgestellt.

TABELLE 12

Merkmale	Werte
Frequenzbereiche, kHz	0,005 - 400
Messgrenzen des elektrischen Feldes, V/m	
Im Frequenzbereich 5 Hz - 2 kHz	5 - 500
Im Frequenzbereich 2 kHz - 0,4 MHz	0,2 - 50
Messgrenzen des magnetischen Feldes, uT	
Im Frequenzbereich 5 Hz - 2 kHz	0,04 - 5
Im Frequenzbereich 2 kHz - 0,4 MHz	5000 - 50000
Ungleichmäßigkeit des Frequenzgangs in angegebenen Bereichen, dB	3
Versorgung	Akkumulatorbatterie
Dauer der unterbrechungsfreien Arbeit, h	15
Temperaturarbeitsbereich, °C	+15.... +40
Größen des Messensors, mm	210x100x60
Gerätmasse, kg	0,45

### 2.2.2. Elektromagnetische Strahlungen der industriellen Frequenz

Spannungsniveau des Feldes von der Kraftstromleitung ist die Funktion der nominalen Bedeutung ihrer Spannung und der konstruktiv-bau-Parameter (Leitungsgröße, Abstand zwischen ihnen, Höhe über der Erdoberfläche). Im Zusammenhang damit hängen die Niveaus ihrer Einwirkung auf Menschen, die sich unter der KSL befinden, von dem Abstand von stromleitenden Teilen. Größte Bedeutung wird bei Anwesenheit unmittelbar unter den Leitungen und im Zentrum zwischen den Stützen. Mit der Entfernung von der Linienachse und der Näherung an die Stützen, nehmen die Spannungsniveaus rapide bis zu ihren minimalen Werten ab. Natürlich ist anzunehmen, dass maximale Feldspannungsniveaus, mit denen der Mensch in Kontakt kommen kann, sich in unmittelbarer Nähe von stromleitenden Leitungen befinden.

### 2.3. Messmethoden

Elektrisches Antennenfeld besitzt 3 Zonen: die Nahe: Induktionszone oder Zone der unformten Welle (magnetische und elektrische Komponenten vorhanden); die Intermediäre, oder Interferentionszone (Überlagerung der magnetischen und elektrischen Felder erfolgt), und die Ferne, oder Zone der formierten Welle. Die Zonengrößen hängen von den Antennentypen, der

Strahlungswellenlängen, und ebenfalls von der Fläche einer geöffneten Antenne. Man kann sie mit der Formel (Tab. 13) bestimmen.

**TABELLE 13**  
**Bestimmung der Strahlungszonen von verschiedenen Typen**  
**der gerichteten Antennen**

Strahlungszonen	Gerichtete Antennen		Ungerichtete (isotrope) Antennen
	Für parabolische und runde Antennen	Für andere Antennentypen	
Nahe (Rn.z., m)	Rn.z. = $L^2/4\lambda$	Rn.z. = $L_2L_1/4\lambda$	Rn.z. = $\lambda/2\pi$
Intermediäre (Ri.z., m)	Zonengröße Ri.z. = Rn.z. - Rf.z.		Ri.z. = $\lambda/\pi$
Ferne (Rf.z., m)	Rf.z. = $L^2/\lambda$	Rf.z. = $L_1L_2/\lambda$	Rf.z. = $3\lambda/2\pi$

Bezeichnungen: L - Antennendurchmesser, m; L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> - horizontale und vertikale Größen der Antennenöffnung, m; λ - Strahlungswellenlänge, m.

In der Zone der geformten Welle existiert zwischen E und H eine Verbindung:

$$E(\text{V/m}) = 120 \pi H(\text{A/m})$$

Größe der Energiestromdichte wird aus dem folgenden Verhältnis bestimmt:

$$\text{ESD} (\text{W/m}^2) = E^2 (\text{V/m}) / 120\pi = H^2 (\text{A/m}) \times 120 \pi$$

Ökologisch-hygienische Beurteilung der elektromagnetischen Situation muss mit der Berücksichtigung von Radiowellenquellen und ihrer technischen Hauptmerkmale anfangen: Orte möglicher Leckverluste

Arbeitsdauer des Ausstrahlers oder Anwesenheitsdauer des Menschen in der Nähe eines tätigen Ausstrahlers,

Strahlungsleistung (Impuls- oder Mittelwertstrahlung),

Koeffizient der Antennenverstärkung, Fläche der Antennenöffnung,

Strahlungsdiagramm in horizontaler und vertikaler Ebenen,

Sichtbereich der Antenne und ihrer Höhe über der Erdoberfläche.

In die Kontrolle über die ökologisch-hygienische Situation der RF und SHF fließen die Berechnungs- und experimentelle Bestimmung der Strahlungsniveaus mit ein.

Berechnung der EMS-Niveaus ist notwendig zu Gewinnung vorläufiger Daten, die eine Vorstellung von der Übereinstimmung des elektromagnetischen Anwesenheitsniveaus mit den Normgrößen, unter anderem zu mehr operativen und zielgerichteten Experimentanalyse. Berechnungsmethode der Bewertung wird hauptsächlich für EMS-Antennen verwendet. Die Methode zu Berechnungsdurchführung für verschiedene Strahlungszonen wird in der Tab. 14 vorgestellt.

**TABELLE 14**  
*Methode zu Berechnungsdurchführung von KFS SHF*  
*von stationären gerichteten Antennen*

Strahlungszonen	Strahlungsachse	Strahlungsgrenze
Nahe	ESD = $3P_m/A$	ESD = $P_m/3A$
Intermediäre	ESD = $(3P_m/A)$	-
Ferne	ESD = $P_m \times G / 4\pi R^2$	ESD = $0,5 P_m \times G / 4\pi R^2$

Anmerkungen: ESD - Energiestromdichte, W/m<sup>2</sup>;

P<sub>m</sub> - mittlere Stationsleistung, W;

A - Fläche der geöffneten Antenne, m<sup>2</sup>;

N - Öffnung, bed. Einh.(aus dem Stationsausweis);

R - Abstand zwischen Antenne und bestimmendem Punkt, m;

G - Koeffizient der Antennenverstärkung, bed. Einh.(aus dem Stationsausweis);

Im Falle der Abwesenheit von P<sub>m</sub>, G und N im Stationsausweis werden sie mit folgenden Formeln ermittelt:

$$P_m = P_{imp} / N = (P_{imp} \cdot t) / (t + \alpha)$$

$$N = T / t = (t + \alpha) / t,$$

wenn T - Wiederholungsperiode der Impulse, c;

$\alpha$  - Pausendauer zwischen den Impulsen, c;

t - Impulsdauer, c;

P<sub>imp</sub> - Impulsleistung der Station, W;

$$G = 4\pi \cdot 0,7 A / I^2 = 8,8 \cdot A / \lambda^2, \text{ oder}$$

$$G = RVF \cdot WkG = RVF \cdot P/P_0,$$

wenn RVF - Richtverstärkungsfaktor, bed. Einh.;

WkG - Wirkungsgrad, bed. Einh.;

P - Ausstrahlungsleistung der Antenne, kW;

P<sub>0</sub> - zu der Antenne verlegbare Leistung, kW

In der nahen Strahlungszone von den gerichteten Antennen können maximale Intensitäten erzeugt werden, welche die Mittelwerte übersteigen. Dabei befindet sich die maximale Intensität in der nahen Zone im Abstand

$$R = 9m^2 L^2 / \lambda,$$

wenn L - Antennendurchmesser, m;

$\lambda$  - Wellenlänge der Strahlung, m.

Diese Intensität ist an der Grenze zwischen naher und ferner Zone um ungefähr 40 mal größer .

Die Entfernung des Maximumpunktes der ESD von Antennen kann man geeignet in folgender Form darstellen

$$R_{max} = 0,67 \cdot f \cdot L^2,$$

wenn f - Strahlungsfrequenz, GHz,

R<sub>max</sub> - Entfernung (Abstand) des Maximumpunktes der ESD von der Antenne, m;

L - Antennendurchmesser, m.

Der Wert des ESD-Niveaus wird mit der folgenden Formel bestimmt

$$ESD = 16 P_m / \pi L^2,$$

wenn ESD - Elektrische Stromdichte, W/m<sup>2</sup>;

P<sub>m</sub> - mittlere Quellenleistung, W;

L - Antennendurchmesser, m.

Zu Bestimmung des Spannungsniveaus der EMS mit elektrischer Komponente bis 300 MHz von ungerichteten Antennen benutzt man die Formel

$$E = \dots,$$

wenn E - EMS-Spannung mit elektrischer Komponente, V/m;

P<sub>m</sub> - mittlere Leistung der Strahlungsquelle, W;

G - Koeffizient der Antennenverstärkung;

R - Abstand von Strahlungsquelle bis zum Bestrahlungsobjekt, m.

Bemessung der EMS-Niveaus erfolgt bei maximaler Strahlungsleistung der Quellen. Im Fall von Messungen bei keiner vollen Strahlungsleistung wird eine Neuberechnung bis zum Niveau des maximalen Wertes gemacht. Bei einigen Arbeitsmoden, die sich in physischen Strahlungsmerkmalen unterscheiden, erfolgen Messungen in jedem separaten Fall. Es ist erlaubt Niveaumessungen in Herstellungsbedingungen nicht durchzuführen, wenn: der radiostrahlende Stoff nicht im EMS-Modus in die Umwelt eingestellt ist und wenn die maximale Leistung laut Ausweisdaten folgende Werte nicht überschreitet:

5 W - im Frequenzbereich von 30 kHz bis 3 MHz;

2,0 W - im Frequenzbereich über 3 MHz bis 30 MHz;

0,2 W - im Frequenzbereich über 30 MHz bis 300 GHz.

In Haushaltsbedingungen unterliegen radiostrahlende Geräte keiner Kontrolle, wenn ihre nominale Leistung folgende Werte nicht überschreitet:

1 W - im Frequenzbereich 30 kHz - 3 MHz;

0,5 W - 3-30 MHz;

0,05 W - 30 MHz-300 GHz.

In Herstellungsbedingungen bei Niveaumessung der EMS, welche einer realen Anwesenheit an Arbeitsplätzen des Personals entsprechen, werden auf Niveaus 0.5, 1.0 und 1.7 m über der Boden- oder Erdoberfläche mit Bestimmung des maximalen Wertes des EMF-Niveaus für jeden Arbeitsplatz durchgeführt. Es ist ratsam in jedem Punkt nicht weniger als drei Messungen mit der Eintragung des größten der registrierten Werte in das Protokoll.

In der Zeit der Messdurchführung darf sich das Personal nicht in der Messzone befinden. Bei der Unmöglichkeit der Ausführung dieser Forderung wird im Messprotokoll eine spezielle Markierung gemacht. Die die Messung durchführende Person darf sich nicht zwischen der Strahlungsquelle und der Messantenne befinden.

EMS-Niveaus von sich drehenden und scannenden Antennen werden bei angehaltener Antenne in Richtung des Strahlungsmaximums bei allen Neigungswinkelwerten gemessen. Für eine offene Gegend mit einem einheitlichen Relief, verbreiten sich die bei einer Strahlungsrichtung erhaltenen Werte auf den ganzen Bereich, der von der Antenne bei ihrer Bewegung erfasst wird, im Radius, auf welchem die Messungen durchgeführt wurden. In Fällen, die durch ein uneinheitliches Gegendrelief, Gebäude oder das Vorhandensein anderer Errichtungen gekennzeichnet sind, ist es notwendig, die Messungen am Arbeitsplatz bei Strahlungsausrichtung zum Messort durchzuführen. In einer offenen Messgegend werden Messungen auf einer Höhe von 2 m über der Erdoberfläche durchgeführt, weiter auf einer Höhe von 3,6,9 m usw. in Abhängigkeit von der Etagenanzahl einer Errichtung.

Die Messergebnisse sollte man in einem speziellen Tagebuch fixieren oder in Form von einem Protokoll ausfertigen.

In ein Protokoll, das mit Ergebnissen der EMS-Niveau-Kontrolle auf Arbeitsplätzen erstellt wird, wird empfohlen folgende Angaben aufzunehmen:

- Untersuchungsdatum und -ort;
- Merkmale der radiostrahlenden Errichtungen: Bezeichnung, Typ und Ordnungsnummer mit dem Numerationssystem Unternehmen - Hersteller, Herstellungsjahr; Leistung; Frequenz; Generationsmodus (ununterbrochen, Impulsmodus); Arbeitsdauer im Laufe des Arbeitstages;
- Beschreibung der verwendeten Schutzmittel;
- Messorte (Abstand von EMS-Quellen, Höhe über der Boden- oder Erdoberfläche), bei Notwendigkeit - Skizze der Messpunkte;
- Messdaten: erhaltene EMS-Niveau-Werte;
- intensität-zeitliche Merkmale des EMS-Einflusses auf das Personal;
- Schluss (Folgerungen) mit der Einschätzung der EMS-Niveaus auf Arbeitsplätzen des Personals der zulässigen Werte;
- benutzte Messgeräte mit der Angabe der Fabriknummer und dem Datum der staatlichen Prüfung;
- Empfehlung zum Personalschutz (im Fall der Überschreitung des FBP).

### **2.3.2. Elektromagnetische Monitorstrahlung**

Elektromagnetische Strahlung, die vom Videoterminal ausgestrahlt werden, besitzen einen breiten Frequenzbereich. Laut Normen muss elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich von 5 Hz bis 400 kHz gemessen werden.

Zur Hervorhebung der geforderten Frequenzbänder in einer Messanlage sind Filter von oberen und niedrigen Frequenz vorhergesehen, welche Dämpfungsgeräte besitzen.

Magnetische Wechselfelder, die von allen Hochleistungs-Videoelementen des Displayterminals (Versorgungsquelle, Ablenkungssystem, Hochvolt-Transformatoren usw.) ausgestrahlt werden, besitzen einen vorteilhaft nicht sinusoidalen Charakter und sind durch eine große Anzahl von

Harmoniken gekennzeichnet. Deshalb muss das Gerät, das ausgestrahlte magnetische Felder misst, ein breites Frequenzspektrum besitzen. Werte der messbaren magnetischen Flussdichte: im Frequenzbereich 5 Hz... 2 kHz (Bereich I) - von 200 bis 5000 nT; im Bereich 2.... 400 kHz (Bereich II) - von 10 bis 1000 nT.

Messbare Spannungsniveaus des elektrischen Feldes: im Bereich I - 10.... 1000 V/m, im Bereich II - 1.... 100 V/m.

Das Grundniveau (magnetische Felder, die von Netzleitungen oder anderen Geräten ausgestrahlt werden) darf nicht 40 nT für den Bereich I und 5 nT für den Bereich II überschreiten.

Die Testergebnisse hängen stark von dem Typ der verwendeten Stromversorgungsleitungen und davon, auf welche Art diese Leitungen stationiert werden, ab. Deshalb ist es äußerst wichtig zu verstehen, dass die als Testergebnisse erhaltenen Daten nur in dem Fall auf ein konkret bei der Arbeit vom Benutzer benutztes Videodisplayterminal "übertragen" werden können, wenn sein Anschluss analog zu dem Getesteten mit Benutzung von gleichen Leitertypen zur Stromversorgung und der gleichen Anschlussweise durchgeführt wird. Im Bild 28. wird ein Schema der Displayanordnung bei der Messung von elektromagnetischen Strahlungen vorgestellt.

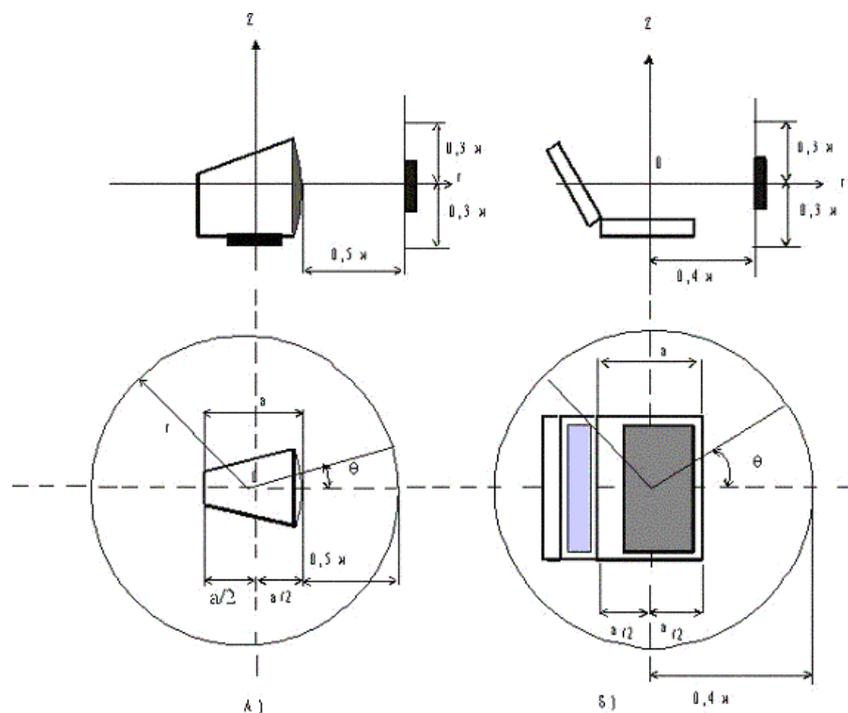


Bild 28. Schema der Displayanordnung bei der Messung von elektromagnetischen Strahlungen: a - Display auf CRT; b - portabler PC

Zur Experiment- und Messungsdurchführung in gegebener Gegend ist eine spezielle Ausrüstung zur Messung von elektrischen und magnetischen Feldern notwendig, und ebenso Faraday-Käfige und reflexionsarme Räume. Außerdem muss man visuelle Displaymerkmale entsprechend der Forderung neuer Normen messen. Als Beispiel werden Kenntnisse über die Geräte Radioans Innova AB (Schweiz) zur Messung der Parameter von ausgestrahlter elektromagnetischer Strahlung von personalen Computern vorgestellt, die Merkmale werden in der Tab. 15 präsentiert.

TABELLE 15

Frequenzbereich

Merkmal	Gerätmodell		
		BMM-3	BMM-4

Frequenzbereich	5... 2000 GHz	2... 400 kHz	5... 2000 Hz	2...400 kHz
Messgrenzen	200 nT	200 nT	2000 V/m	2000 V/m
	2 uT, 20 uT, 200 uT, 2 mT	2 uT		
Messungenauigkeit	< 40 nT	< 1,5 nT	< 0,4 V/m	<0,06 V/m

### **Kapitel 3. Medizinisch-biologische Aspekte der Einwirkung elektromagnetischer Strahlung**

#### **3.1. Untersuchungsarten der biologischen Wirkung von EM-Strahlungen**

Zur Bestimmung der zulässigen Grenzniveaus wurden folgende Hauptuntersuchungsarten allgemein anerkannt: Untersuchungen der biologischen Wirkung der EMS in vorgegebenen Bedingungen an Tieren, Untersuchungen auf freiwilligen Menschen, epidemiologische und klinisch-physiologische Untersuchungen.

Untersuchungen an Tieren werden in allen Fällen bei der Ausarbeitung sanitärer Normen durchgeführt. Bei einem Tier, das in vorgegebenen Bedingungen bestrahlt wird, werden Veränderungen, die auf der Zell-, Systemebene (Blut-, Nerven-, Endokrinsystem usw.) und am Organismus als Ganzes stattfinden, kontrolliert.

Untersuchungen an Freiwilligen werden bei späteren Etappen der Ausarbeitung sanitärer Normen und im Fall der Abwesenheit einer offensichtlichen starken Gefährdung der Gesundheit des Menschen angewendet. Als Beispiel werde ich Untersuchungen auf die biologische Wirkung von EMS eines Mobiltelefons an Freiwilligen anführen. Experimente an Freiwilligen können kein ganzes Bild der biologischen Wirkung einer konkreten EMS geben, da sie nur momentane Veränderungen der kontrollierten Parameter fixieren, aber die Folgen dieser Veränderungen nicht prognostizieren können. Zur Lösung dieses Problems dienen zwei Untersuchungsarten.

Epidemiologische Untersuchungen werden zur Erforschung von ferneren Folgen der biologischen EMS-Wirkung verwendet, besonders der kleineren Niveaus, die stabil sind und über einen längeren Zeitraum wirken. Als Beispiel kann man die in der Gegenwart weltweit durchgeführten Untersuchungen von biologischen Wirkungen magnetischer Felder mit industrieller Frequenz anführen.

Klinisch-physiologische Untersuchungen werden in der Regel als eine Art von Beobachtungen der Gesundheitszustandsveränderung von Menschen, die im Laufe ihrer Berufstätigkeit der Bestrahlung ausgesetzt waren, durchgeführt. Zum Beispiel, wurde als Ergebnis der in noch 60-er Jahren in Russland durchgeführten klinischen Untersuchungen bestimmt, dass ein dauerhafter Kontakt mit EMS im SHF-Bereich zu einer Krankheitsentwicklung führen kann, dessen klinisches Bild vor allem durch Veränderungen des funktionalen Zustands des Nerv- und des Herz-Gefäß-Systems bestimmt wird. Als Ergebnis wurde vorgeschlagen, in das Krankheitsverzeichnis einen neuen Begriff einzuführen - "Radiowellen-Krankheit".

In den letzten Jahren spielen Mobilfunknetz, PC, Satelliten-Kommunikation, FK-EMS, Radio- und Fernseherrundfunk. Untersuchungen ihrer biologischen Wirkung erfolgen für jede konkrete EMS-Quelle mit Einbezug des Benutzer-Menschen. Es wird die absorbierte Menge und ihre Verteilung in der Struktur eines Organs (im Knochenmark, im Herz usw.) geschätzt. Man verwendet ein Komplex der klinisch-physiologischer Apparatur mit Registrierung von unmittelbaren und fernen möglichen Erscheinungen der EMS-Wirkung (vor allem, das Nervensystem), der psychische Zustand des Benutzers wird systematisch getestet. Es wurden epidemiologische Untersuchungen von möglichen ferneren Folgen bei der Benutzung konkreter Apparatur begonnen.

### **3.2 Biophysik der Wechselwirkung zwischen EMS und biologischen Objekten**

Der menschliche Organismus verwirklicht seine Tätigkeit mit einer Reihe von komplizierten Prozessen und Mechanismen und unter anderem mit der Verwendung von inner- und außenzellulärer elektromagnetischer Information und einer entsprechenden bioelektrischen Regulation. Elektromagnetische Wohnsituation kann praktisch als eine Störungsquelle in Bezug auf die Lebenstätigkeit des Menschen und von Bioökosystemen angesehen werden. In diesem Zusammenhang entsteht das Problem der bioelektromagnetischen Komptabilität, wie des ziemlich komplizierten Systems der Wechselwirkung zwischen der lebendigen Natur und den technischen Mitteln, EMS-Quellen. In dieser Situation ist ein lebendiger Organismus gezwungen ständig von der sich schnell wechselnden Umgebung Schutz zu suchen, indem er seine inneren Möglichkeiten verwendet.

Bei der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Strahlungen und biologischen Objekten wird nur ein Teil der Energie absorbiert. In diesem Fall wird das folgende Prinzip verwendet: nur der Teil der Strahlungsenergie kann in einem Stoff Änderungen hervorrufen, der von einem Stoff absorbiert wird; gespiegelte oder durchgehende Energie leistet keine Wirkung (Prinzip von Grotthosus).

Diese Wechselwirkung trägt einen biophysischen Charakter, d.h. es erfolgt ein Prozess der Absorption und der unmittelbaren Verbreitung der absorbierten Energie auf der Ebene von Biogeweben des ganzen Organismus. Dabei werden die Gewebesystem Bioomikrosysteme genannt, und einzelne Körperteile (Kopf, Rumpf, usw. ) - Biomakrosysteme.

Im Unterschied zu ionisierender Strahlung, welches unmittelbar elektrische Ladungen erzeugt, verfügen elektromagnetische Strahlungen nicht über eine ionisierende Fähigkeit und wirken nur auf schon vorhandene freie Ladungen oder Dipole. Dielektrische Eigenschaften von Biogeweben hängen stark von ihrer chemischen Zusammensetzung, der Schwingungsfrequenzen, die innerhalb des biologischen Objektes erfolgen, ab. Elektromagnetische Eigenschaften bestimmen Prozess des Passierens der Energie durch Stoffschichten, die auf den Grenzen ihrer Aufteilung gespiegelt wird und in das Stoffinnere absorbiert wird.

#### **Dielektrische und magnetische Eigenschaften von Biogeweben**

Bei der Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung mit Biostoffen entstehen zwei Effekttypen, welche die dielektrischen Stoffeigenschaften bestimmen. Schwingungen freier Ladungen (Ionen) führen zu Vergrößerung der Leitfähigkeitsströme und des Energieverlustes, welche mit dem elektrischen Widerstand des Mediums zusammenhängt. Rotation von Dipolmolekülen mit der Frequenz der elektromagnetischen Strahlungsanwendung wirkt auf Verschiebungsströme und dielektrische Verluste, die durch die Mediumviskosität bedingt sind. Dielektrische Eigenschaften von Biogeweben werden durch die dielektrische Permeabilität und die Leitfähigkeit beschrieben. Magnetische Eigenschaften von Biogeweben lassen sich durch die magnetische Permeabilität beschreiben. Obwohl alle Biogewebe schwache Dia- und Paramagnete darstellen, die nach ihren Eigenschaften nahe zu Vakuum sind, kann die Zerstreung magnetische Energie in einem Bioobjekt bedeutend in Abhängigkeit von Größen und elektrischen Eigenschaften dieser Objekte sein.

Dielektrische Eigenschaften von Biogeweben hängen wesentlich von der elektromagnetischen Schwingungsfrequenz ab. Diese Abhängigkeiten werden in Graphiken (Bild 29, 30) vorgestellt.

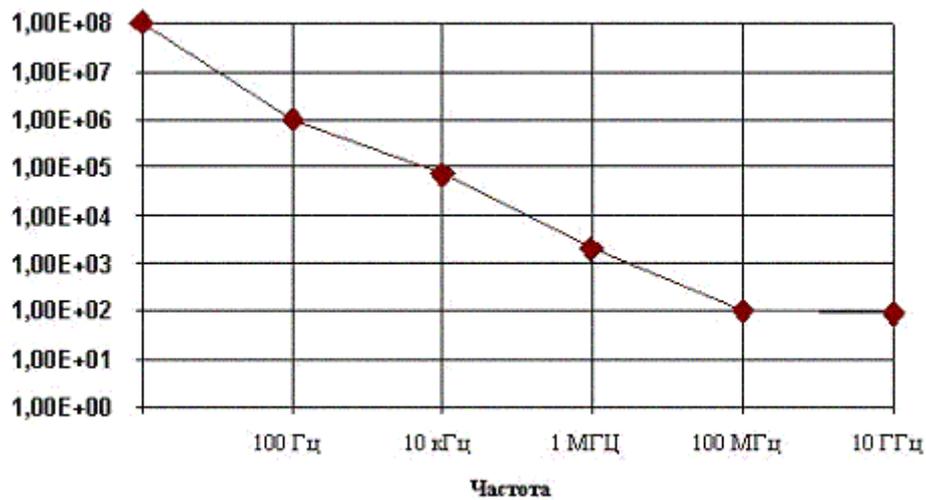
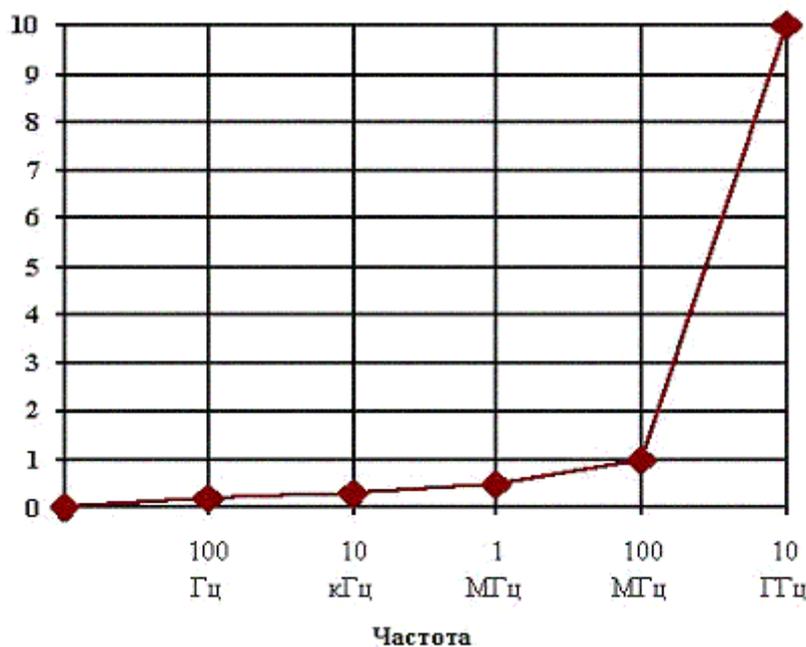


Bild 29. Abhängigkeit der scheinbaren dielektrischen Permeabilität von Biogewebe mit einem hohen Wassergehalt von der elektromagnetischen Schwingungsfrequenz



Bei der Einwirkung elektrischer Strahlung auf Biogewebe wird sie polarisiert, und die Ionenströme werden nur in zwischenzellulärer Flüssigkeit fließen, da Zellmembrane, die gute Isolatoren sind, den intrazellulären Inhalt trennen. Das ist gültig für ein stationäres elektrisches Feld. Bei einer Frequenz von weniger als 10 kHz ist die elektromagnetische Schwingungsperiode groß genug dafür, damit Zellmembrane es schaffen mit Hilfe von Ionen außerhalb und innerhalb von der Zelle sich neu zu laden. Das erklärt das Vorhandensein einer niedrigen spezifischen Leitfähigkeit sogar für Stoffe mit hohem Wassergehalt. Dabei ist die volle Ladung und dielektrische Permeabilität des Stoffes pro Schwingungsperiode groß. Die folgende Größe der spezifischen Leitfähigkeit entsteht in Folge von Verkleinerung des Rauminhaltwiderstands der Membranen mit der Frequenzvergrößerung. Eine unvollständige Neuladung von isolierten Membranen verleitet die intrazelluläre Flüssigkeit in den Entstehungsprozess von Ionenströmen, Stoffleitfähigkeit wird gleichmäßig größer, und ihre dielektrische Permeabilität sinkt. Die lawinenartige Zuziehung des intrazellulären Mediums in den Entstehungsprozess von Ionenströmen bei Frequenzen 10 kHz ... 100 kHz rufen ein spontanes Wachstum der spezifischen Leitfähigkeit hervor. Außerdem führt die Polarisierung der Stoffmoleküle, vor allem der

Wassermoleküle zur Entstehung von Verschiebungsströmen, die die Ströme in Stoffen mit den gleichen Spannungsamplituden des elektrischen Feldes vergrößern, d.h. ihren spezifischen Widerstand verkleinern.

Bei Frequenzen von 100 kHz ... 10 MHz laden sich die Membrane immer weniger neu, und der Rauminhaltswiderstand des Biogewebes sinkt. Das Zellinnere nimmt immer mehr am Entstehungsprozess der Ionenströme teil, d.h. Leitfähigkeit des Stoffes steigt weiter an, und ihre dielektrische Permeabilität sinkt. Dabei vergrößern sich bedeutend die Molekulpolarisation und die von ihr bedingten Verschiebungsströme, was zu einer Vergrößerung der Summenströme in Biogeweben.

Bei Frequenzen von mehr als 10 MHz wird der Rauminhaltswiderstand der Zellmembrane so klein, dass man die Zelle als kurzgeschlossen ansieht. Molekulpolarisation und Verschiebungsströme werden dominant. Erregte Moleküle kommen in schwingende Bewegung, treffen gegen die pseudoerregten und übertragen auf sie ihre Energie, die für Wärme und chemische Umwandlungen verbraucht wird. Deshalb wächst die Leitfähigkeit rapide, und die dielektrische Permeabilität verändert sich unbedeutend.

### **3.3. Reaktion des menschlichen Organismus auf das Einwirken von EM-Strahlen**

Unter dem ganzen Spektrum heben sich EMS der RF und der SHF durch höchste biologische Bedeutung und Ausprägtheit der Symptomatik hervor. In Abhängigkeit von der Intensität und der Wirkungsdauer der EMS von RF und SHF werden die im Körper hervorgerufene Veränderungen auf Veränderungen einer akuten (thermogenen) und chronischen (athermalen) Einwirkung. Akute Wirkung wird durch die thermische Wirkung der EMS bedingt, in der Regel bei Verstoß gegen die Sicherheitsvorkehrungen. Thermogene Wirkung trägt normalerweise einen lokalen Charakter, und die entstehende Symptomatik wird durch die Topographie der bestrahlten Gegend bestimmt. Bei Bestrahlung empfinden die Betroffenen Wärme in dem Einwirkungsort, das mit der Wirkung von Sonnenstrahlen vergleichbar ist. Manchmal bemerken sie ebenfalls allgemeines Unwohlsein, Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Erbrechen, Angstgefühl, Durst, leichte Schwäche, Gliederschmerzen, starkes Schwitzen. Es werden bei Betroffenen Erhöhung der Körpertemperatur, Tachykardieanfälle, Störung der Herzarbeit, arterielle Hypertonie beobachtet. In einer Reihe von Fällen können in der Klinik akuter Wirkungen dienzephaler Störungen vorherrschen. Subjektive und objektive Symptomatik verschwindet bei Betroffenen nach ein Paar Tagen, alle klinischen Anzeichen kommen zu einem vorklinischen Niveau, die Arbeitsfähigkeit wird vollständig wiederhergestellt. Die nicht zahlreichen klinischen Beobachtungen der akuten Wärmewirkung der EMS auf den Menschen zeigen auf die Möglichkeit lokaler struktureller Restveränderungen von Organen und Geweben (Verbrennungen, Hodenatrophie usw.).

#### **3.3.1. Strahlungswirkung der HF und SHF**

Am verbreitetsten werden in der Literatur Kenntnisse vorgestellt, die von dem klinisch-epidemiologischen Charakter der chronischen EMS-Wirkung handeln. In der Regel, wurden die beobachteten Veränderungen wurden bei der EMS-Wirkung mit Intensität, die zuweilen das zu gelassene Niveau übertrifft, aber zu keinen Wärmeeffekten führt. Laut einer Reihe der Vaterlandsautoren, zeigt sich beim Personal, das mit der Arbeit von EMS-Quellen RF und SHF verbunden ist, eine vielfältige neurologische Symptomatik, sowohl mit subjektivem als auch mit objektivem Charakter (Tab. 25). Laut ausländischen Daten, kann bei der Untersuchung vom klinischen Status sogar Stimulation der neurologischen Symptomatik festgestellt werden. Vorgewiesene Beschwerden waren chronisch und wurden schon vor dem Moment der Bestrahlung. Bei solchen Patienten kann die Überschätzung des durch einen Faktor zugefügten Schadens dauerhaft bleiben. Zur Feststellung des wahren Bildes wurde seit Kurzem die Verwendung psychologischer Methoden in der Praxis der klinisch-epidemiologischer Untersuchung begonnen. Bei Verwendung einer Reihe psychologischer Test beim Personal, das einen dauerhaften Kontakt mit EMS hatte, wird glaubwürdige Verstärkung der pathologischen Komponente eines aufgeregten Verhaltens oder eines depressiven Zustands bei Abwesenheit jeglicher objektiver Symptome

beobachtet. Bei Befragung können das Vorherrschen der Beschwerden über Gedächtnismangel, und auch über die Verschlechterung des Wohlbefindens, die Verstärkung der kritischen Häufigkeit der Verschmelzung von Lichtflimmer zum Ende des Arbeitstages beobachtet werden. Die dynamischen charakteristischsten Reaktionsveränderungen des Organismus auf chronische EMS-Einwirkung sind: Reaktionen des Zentralnerven- und des Herz-Gefäßsystems, sowie des Blutsystems. Dabei werden 3 führende Syndrome hervorgehoben: asthenischer, asthenisch-vegetativer und hypothalamischer. Asthenischer Syndrom wird im Anfangsstadium der durch EMS hervorgerufener Veränderungserscheinungen beobachtet, die zwei anderen - auf dem mäßig akuten und dem akuten Stadium. Die präsentierte Symptomatik wird nicht immer wiederholt und tritt nicht unbedingt bei Personen auf, die der Bestrahlung ausgesetzt werden.

Manche Autoren sind der Meinung, dass chronische Einwirkungen der EMS RF und SHF bei einer Intensität von weniger als 10 W/m<sup>2</sup> im Blutgefäß verschiedene instabile Veränderungen hervorrufen können: Leukozytose, Anzahlvergrößerung der Lymphozyten. Manchmal wird Monozytose, pathologische Körnigkeit der Neutrophile, Retikulozytose oder Thrombozytopenie festgestellt werden. Jedoch stellt die Mehrheit der Untersucher einen unglaublichen Charakter dieser Veränderungen sogar bei kurzzeitigem Einwirken "bis zum Wärmeempfinden" und eine Unspezifität der Erscheinungen, die auch für viele ungünstige Arbeitsfaktoren charakteristisch sind, fest.

Kenntnisse der epidemiologischen Arbeit der ferneren Folgen, die der EMS-Wirkung zugeschrieben werden, unter anderem die Entstehung spezifischer Blutkrankheiten, zeigen, dass das Auffinden beständiger Veränderungen im Blut sich in Bedingungen der Wirkungen real existierender EMS-Niveaus bei Professionellen und vor allem bei der Bevölkerung also ziemlich problematisch erweist.

Auf diese Art und Weise, zeugen die präsentierten Kenntnisse der klinisch-epidemiologischer Untersuchungen über die Wirkung von EMS RF und SHF auf den menschlichen Organismus davon, dass die Ausprägtheit der beobachteten Veränderungen von der Intensität und der Wirkungsdauer abhängt. Das Gesamtbild der Veränderungen unter dem Einfluss von verschiedener EMS-Niveaus werden in der Tab. 16 vorgestellt.

TABELLE 16

Mögliche Veränderungen im menschlichen Organismus bei EMS-Einfluss verschiedener Intensitäten

EMS-Intensität, mW/cm <sup>2</sup>	Beobachtete Veränderungen
600	Schmerzgefühle bei der Bestrahlungsdauer
200	Unterdrückung der säure-regenerierender Prozesse im Gewebe
100	Erhöhter arterieller Druck mit seinem darauffolgenden Sinken; im Fall des Einflusses - stabile Hypotension. Zweiseitige Katarakta
40	Wärmeempfinden. Gefäßerweiterung. Bei Bestrahlung von 0,5 - 1 h Druckerhöhung auf 20-30 Torr
20	Stimulation der Redoxprozesse im Gewebe
10	Asthenie nach 15 min. Bestrahlung, Veränderung der bioelektrischen Aktivität des Gehirns
8	Unbestimmte Verschiebungen von der Blutseite mit einer Gesamtbestrahlungszeit von 150 h, Veränderung der Blutgerinnung
6	Elektrokardiographische Veränderungen, Veränderungen im Rezeptorapparat
4-5	Veränderung des arteriellen Drucks bei mehrmaligen Bestrahlungen, nicht dauerhafte Leukopenie, Erythropenie

3-4	Vagotoniereaktion mit Bradykardiesymptomen, Verlangsamung der elektrischen Herzleitfähigkeit
2-3	Ausgeprägter Charakter der arteriellen Druckabnahme, Tendenz zu Pulserhöhung, unbedeutende Schwankungen des Herzvolumens
1	Abnahme des arteriellen Drucks, Tendenz zu Pulserhöhung, unbedeutende Schwankungen des Herzvolumens. Abnahme des Ophthalmotonus bei täglichem Einfluss im Laufe von 3,5 Monaten
0,4	Höreffekt beim Einfluss von Impuls-EMF
0,3	Einige Veränderungen von der Seite des Nervensystems bei chronischem Einfluss im Laufe von 5-10 Jahren
0,1	Elektrokardiographische Veränderungen
bis 0,05	Tendenz zur Abnahme des arteriellen Drucks bei chronischem Einfluss

### 3.3.2. Rolle der ELF in der Wachstumsbeschleunigung von Krebszellen

Autoren trafen auf einige Publikationen, die auf eine Entwicklung pathologischer Reaktionen bei Menschen, die viel mit personalen Computern arbeiten hinweisen, welche nach der Meinung von Wissenschaftlern höchstwahrscheinlich unter dem Einfluss von Strahlungen mit extrem niedriger Frequenz bedingt werden.

Zu ihnen gehören elektromagnetische Strahlungen mit Frequenzen von 30... 300 Hz. ULF-Felder sind energetisch nicht so stark, dass sie Verbindungen in Zellen auf molekularer Ebene verändern oder zerstören können. Stattdessen imitieren ULF-Felder anscheinend elektrische Veränderungen, die normalerweise in der lebendigen Organismuszellen geschehen.

Diese Imitation gewöhnlicher intrazellulärer Prozesse kann in der Grundlage der potentiellen Fähigkeit des ULF-Feldes liegen, das Wachstum von Krebstumoren zu beschleunigen. Einige Wissenschaftler haben gemerkt, dass Membranabschnitte, auf welche ULF-Strahlung eingewirkt wurde, sich als ein Rezeptor chemischer Substanzen verhalten, die das Krebszellenwachstum beschleunigen.

Wissenschaftler meinen, dass ULF-Felder auch die chemische Verbindungsaktivität, bekannt unter dem Namen Orthinin Dekarboxylase, vergrößern, und dieser Effekt wird mit dem beschleunigten Wachstum von Krebszellen verbunden. Außerdem, zerstören ULF-Felder Funktionen der Zellfusionen - ein anderer Effekt, den man ebenfalls mit dem Krebszellenwachstum verbindet. Einige Experimente fanden die Existenz von "Fenstereffekten", d.h. einige biologische Effekte zeigten sich bei größerer oder kleinerer Spannung. Außerdem hingen diese "Fenstereffekte" anscheinend von der Anzahl und der Ausrichtung statischer Felder, zum Beispiel des Erdmagnetfelds.

Man sollte bemerken, dass der biologische Einfluss ULF-Felder anscheinend von seiner Wellenart abhängig ist. Wissenschaftler meinen, dass sinusoidale Wellen, die als Charakteristik von der im Haushalt verwendeter Elektrizität dienen, am wenigsten aktiv sind. Die aktivsten sind Impulsstrahlungen, die denen, welche von Radaren generiert werden, ähneln und Felder mit sägeartiger Charakteristik, die von Fernseher- und Monitorschirmen generiert werden. Die Wahrscheinlichkeit der Krebserkrankung bei Menschen, die in der Nähe von KSL (weniger als 400 m) wohnen, wächst auf 29%. Wissenschaftler denken, dass die KSL, indem sie die Luft ionisiert, diese gesundheitsgefährlich macht: wenn man solche Luft einatmet, setzen sich geladene Teilchen auf der Lunge ab.

Wissenschaftler raten Computerbenutzern nicht in der nächtlichen oder abendlichen Zeit zu arbeiten, da das intensive Licht auf die Epiphyse wirkt, als Folge wird die Melatoninsynthese (Epiphysehormon) geschwächt, was Krankheiten als Folge führen kann. Licht hemmt die Melatoninsynthese, deshalb ist seine Konzentration nachts maximal, und morgens oder tagsüber minimal. Als Folge von systematischer künstlicher Beleuchtung des Menschen kann sich bei ihm

ein Tumor bilden. Einen besonderen Nachteil erhält die überflüssige Beleuchtung dann, wenn auf den Organismus irgendwelche kanzerogene Faktoren wirken, zum Beispiel chemische oder Strahlungsfaktoren.

### **3.3.3. Katarakt als Resultat des RF- und UHF-Strahlungseinflusses**

Einen besonderen Platz bei der Forschung des Einflusses von EMS RF und SHF auf den menschlichen Organismus nimmt die Untersuchung der Kataraktogenese, Linsentrübung mit Verlust der Sehfunktion, ein. Ergebnisse der klinischen Forschungen vom Katarakt, der durch RF- und SHF-Strahlungen hervorgerufen wird, ergeben ein unklares Bild.

Die in der Gegenwart publizierte Mitteilungen enthalten sehr oft nicht die gebührende kritische Analyse der elektromagnetischen Situation, nehmen keine Rücksicht auf Wachstumsbesonderheiten, dosimetrische und Frequenzcharakteristiken der EMS. Bei der Erforschung epidemiologischer Angaben über Kataraktogenese ist eine vollständige Sicherheit darüber, dass die betrachtete Personkategorie tatsächlich einer starken Bestrahlung ausgeliefert ist, notwendig. Denn unter Risikofaktoren, die zu der Kataraktentstehung beitragen, wird laut WHO-Angaben der elektromagnetischen RF- und SHF-Strahlungen der fünfte Platz nach Diabetes, ultravioletter Strahlung, metabolischer Störungen und ionisierender Radiation zugeschrieben. Seit dem Jahr 1952 wurde in der Presse über Dutzende Fälle der Erscheinung vom elektromagnetischem Katarakt. Aus allen der in der Literatur vorgestellten Fällen der Kataraktentstehung bei Menschen, die mit EMS-Quellen konaktierten, folgt, dass der Kataraktogeneseprozess auf einem Grund von ziemlich dauerhafter (von 1 Jahr bis 6 Jahren) chronischer EMS-Bestrahlung mit Wärmeniveaus sich entwickeln kann, manchmal bei seltenem kurzzeitigem Gelangen in ein Feld, welches in seiner Intensität die mittleren Werte um 20-100 Mal übersteigt. Außer des Katarakts, kann beim Einfluss elektromagnetischer Strahlen mit Frequenzen, die nah an 35 GHz sind, Keratitis, sowie Verletzungen des Corneastromas entstehen. Bei nicht-thermischer Intensität kann man in einer Reihe von Fällen Störungen der Sehfunktion, die mit der Farbunterscheidung, Gefäßveränderungen des Augenbodens, sowie retinale Verletzungen feststellen. Jedoch gibt die Mehrheit der Spezialisten, welche klinische Erscheinungen des Katarakts oder eine andere Sehorganverletzung beim Personal untersuchte, sogar bei niedrigeren Intensitäten, als bei thermischen, eine negative Antwort (in der Aufzählung professioneller Krankheiten ist diese professionelle Pathologie sogar abwesend). Auf jeden Fall, hebt es nicht die Frage über die Verletzung des menschlichen Auges bei höheren Einflussebenen auf, da man in einem Experiment über EMS-Einfluss den Katarakt absolut glaubwürdig feststellen kann.

### **3.3.4. Höreffekte bei RF- und UHF-Strahlungseinfluss**

Forschungen, die mit menschlicher Teilnahme durchgeführt wurden, entdeckten Höreffekte, die beim Einfluss von Impuls-EMS entstehen. So entstehen bei einem Mensch bei einer Kopfbestrahlung mit rechteckigen Impulsen mit einer Peak-Energiestromdichte von ungefähr 30,0 W/m<sup>2</sup> und einer mittleren von 1,0 - 40,0 W/m<sup>2</sup> Hörempfindungen. In Abhängigkeit von der Dauer und der Frequenz von EMS-Impulsfolgen werden sie als Knacken, Summen oder Zwitschern wahrgenommen. Hygienische Bedeutung dieser Erscheinung ist nicht ganz klar. Bei bestimmten EMS-Parametern können bei Menschen anscheinend Reaktionen entstehen, welche denen, die es beim akustischen Lärm gibt, ähnlich sind.

### **3.3.5. Experimentelle Schätzung des Einflusses elektromagnetischer Strahlungen mit industrieller Frequenz auf den menschlichen Organismus**

#### Haushaltsgeräte

Der menschliche Organismus kann nicht **nicht** auf elektromagnetische Strahlungen reagieren. Jedoch ist dafür, dass diese Reaktion in Pathologie überwächst und zu einer Krankheit führt, ein Zusammenfallen einer Reihe von Bedingungen nötig - unter anderem ein ziemliche hohes

Bestrahlungsniveau und Bestrahlungsdauer. Deshalb erfolgt beim Benutzen der Haushaltstechnik mit kleinen Strahlungsebenen und/oder kurzzeitigem EMS-Einfluss der Haushaltstechnik keinen Einfluss auf den Gesundheitszustand des Hauptbevölkerungsteils. Potentielle Gefahr kann nur Menschen mit erhöhter Empfindsamkeit gegenüber EMS und Allergikern drohen.

Außerdem, kann das Magnetfeld einer industriellen Frequenz für die Gesundheit des Menschen gefährlich sein, wenn eine dauerhafte Bestrahlung (regulär, nicht weniger als 8 Stunden pro Tag, im Laufe einiger Jahre) mit einem Niveau von mehr als **0,2 uT** stattfindet.

In der Gegenwart werden zahlreiche Untersuchungen, die auf die Erforschung der Wirkung von IF-EMS auf den menschlichen Organismus gerichtet sind.

IF-EF im menschlichen Körper richten elektrische Ströme, im EF mit  $E = 6-8 \text{ kV/m}$  betragen gerichtete Ströme 90-120 uA. Sie streben es an in die Erde zu gehen, in Folge dessen eine Potenzialdifferenz zwischen dem Mensch und der Erde entsteht. Wenn der Mensch von der Erde isoliert ist, dann wird er an der Stelle des Erdungskontaktes ein Gefühl der Entladung vom elektrischen Strom empfinden. Aus biologischer Sicht werden elektrische Ströme bei ihrem Passieren durch den Körper, zum Beispiel von einem Glied zum anderen, bei einer Größe von 500 uA wahrnehmbar. Bei größerem Wert können diese Ströme die Reaktion eines kurzzeitigen Elektroschocks, wenn auch eines schwachen und harmlosen, hervorrufen. Funkenentladungen entstehen bei IF-EF-Spannung von mehr als 3 kV/m und erinnern an statische Elektrizitätsschläge bei trockenem Wetter.

#### Kraftstromleitungen

Gerichtete Ströme von KSL sind beim Durchgehen auf die Erde, abhängig von ihrer Einflusskraft, bei der ersten Annäherung kleiner oder äquivalent den gerichteten Strömen, die bei Benutzung von Haushaltselektrogeräten entstehen.

Elektrische und magnetische IF-Felder beeinflussen stark den Zustand aller biologischen Objekte, die in die Zone ihres Einflusses gelangen.

Zum Beispiel erscheinen bei Insekten in der Gegend des elektrischen KSL-Feldeseinflusses Veränderungen im Verhalten: so wird bei Bienen erhöhte Aggressivität, Unruhe, Sinken der Arbeits- und Produktionstätigkeit, Neigung zum Verlust der Königin fixiert; bei Käfern, Mücken, Schmetterlingen und anderen fliegenden Insekten wird Veränderung der Verhaltensreaktionen, unter anderem Veränderung der Bewegungsrichtung in die Nähe von kleinerem Bestrahlungsniveau beobachtet.

Bei Pflanzen sind Entwicklungsanomalien verbreitet - oft verändern sich Formen und Größen der Blüten, Blätter, Stängel, es kommen zusätzliche Blütenblätter.

Ein gesunder Mensch leidet von einer relativ dauerhafter Anwesenheit im KSL-Feld. Eine kurzzeitige Bestrahlung (Minuten) kann zu einer negativen Reaktion nur bei hyperempfindsamen Menschen oder bei Erkrankten an einigen Allergietypen führen. Forschungen englischer Wissenschaftler am Anfang der 90-er Jahre zeigten, dass bei einer Reihe von Allergikern unter dem Einfluss vom KSL-Feld eine Reaktion im Typ einer epileptischen entwickelt wird.

Bei dauerhaftem Aufenthalt (Monate - Jahre) der Menschen im elektromagnetischen KSL-Feld können sich Krankheiten von vorwiegend Herz-Gefäß- und dem Nervensystem des menschlichen Organismus entwickeln.

### **3.4. Von Magnetfeldern hervorgerufene biologische Effekte**

Auf einen menschlichen Körper gerichtete elektrische Ströme rufen mit Hilfe von IF-MF verschiedene biologische Effekte hervor: Stimulation des Knochenwachstums, Regeneration des Nervengewebes, Veränderungen biochemischer Prozesse in der Zelle [1].

Entsprechend dem Grad des maximalen Risikos sind Effekte, die von der Größe des induzierten Stroms abhängig, auf die Veränderungen von diesen oder jenen Parametern der IF-MF einwirken, was in der Tab. 17 auch vorgestellt wird.

Mögliche biologische Effekte, die vom IF-MF in Abhängigkeit von der Größe der Magnetfeldstärke und der entsprechenden Größen des induzierten Stroms verursacht werden

Größe der wirkenden Magnetfeldstärke, uT	Größe der induzierten Stromdichte, mA/m <sup>2</sup>	Prognostizierte Effekte
0,5 - 5	1 - 10	Minimale biologische Effekte
5 - 50	10 - 100	Effekte von der Seite der Sehorgane und des Nervensystems
50 - 500	100 - 1000	Existiert eine Gefahr für die Gesundheit, Stimulation des erregten Gewebes
> 500	> 1000	Starke Störung des Gesundheitszustands, Extrasystolie und Fibrillation der Herzkammern

Diese Angaben wurden an Menschen bei industrieller Frequenz und 4-stündigem Einwirken erhalten. Gerichtete Ströme von mehr als 100 mA/m<sup>2</sup> bei einer MF-Spannung von mehr als 50 mT für IF übersteigen Stimulationsschwellen und können sich ungünstig auf den Gesundheitszustand auswirken.

Einer dieser Effekte, der bei MF-Wirkung gut genug von Wissenschaftlern erforscht wurde, ist der Magnetophosphen, der sich als flimmerndes Licht in den Augen zeigt. Laut Angaben verschiedener Autoren beträgt die MF-Größe, zum Beispiel für IF, in diesem Fall 10-20 mT. Im Moment der Einflussunterbrechung verschwinden diese Empfindungen sofort. Es ist üblich zu meinen, dass sie Ergebnisse des indirekten Einflusses der gerichteten elektrischen Ströme auf den visuellen Analysator sind.

MF wechselt seine Polarität und senkt die Amplitude erzeugter visueller Potentiale. Nach der Wirkungsunterbrechung des MF kehren die Werte nach ungefähr 40 min wieder zu den ursprünglichen zurück. Jedoch ist für die Veränderung von visuell hervorgerufenen Potentialen die Feldspannung ungefähr 10 mal so groß, wie die Erscheinungsform des Magnetosphen.

Irgendwelche Empfindungen im Einflussmoment rufen stationäre MF bei Menschen nicht hervor. Manchmal jedoch kann beim Einfluss von stationären MF bis 2 T im Laufe einiger Minuten eine Veränderung der Geschmacksempfindungen entstehen.

Ergebnisse epidemiologischer und klinisch-physischer Beobachtungen von Menschen, die der IF-MF-Wirkung ausgesetzt wurden, werden in verallgemeinerter Form in der Tab. 18 vorgestellt. Sie wurden auf dem Kontingenz von Menschen beim IF-MF-Einfluss nicht nur mit Hilfe von KSL, aber auch von anderen Quellen, die die Frequenz 50/60 Hz generieren, erhalten: zu diesem Kontingenz zählten Arbeiter der radioelektrischen Industrie, Schweißer, Elektromonteur, Linienmonteur des Telefonnetzes, d.h. dessen Arbeit mit Elektrizität verbunden ist. Eine vertiefte Analyse dieser Angaben bestätigt auf jeden Fall nicht die funktionelle Verbindung zwischen der beobachteten Veränderungen und der professionellen Einwirkung des IF-MF. Bei einem hohen Risiko der Entstehung der einen oder anderen Störung ist das IF-MF nicht der ethologische Hauptfaktor (Magnetische Felder, 1992), da auf das Personal in der Regel ein Komplex von Faktoren, die fähig sind, verschiedene Effekte hervorzurufen, wirkt. Im Zusammenhang damit sind epidemiologische Forschungen mit der Berücksichtigung der ethologischen Bedeutung des einen oder anderen Faktors in einem möglichen Erkrankungsbild des Personals, das KSL betreut, notwendig.

TABELLE 18

Ergebnisse epidemiologischer und klinisch-physiologischer Untersuchungen über den IF-MF-Einfluss (50/60 Hz) auf den Menschen

Einflussbedingungen	Ergebnisse	Angabenquelle
10-13 uT; starker Einfluss	Vergößerung der Latenzperiode der sensomotorischen Reaktion	Medvedev M.A. u.a., 1976

40 uT; starker Einfluss	Feldempfindung war abwesend	Creim J.A. et al., 1984
1,06 mT bei generellem Einfluss und 2,12 mT bei Einfluss auf die Kopfgegend; wiederholter starker Einfluss	Feldempfindung war abwesend	Tuker R.D., Schmitto O.H., 1978
0,3 mT; Einfluss im Laufe von 3 h	keine hämatologischen Veränderungen; Reaktionszeit des Menschen hat sich nicht verändert	Mantell B., 1975
5 mT; Einfluss im Laufe von 3 h	keine Veränderungen des EKG, EEG, Hormonniveaus, der Formel und der chemischen Zusammensetzung des Bluts festgestellt	Sander R. et al., 1982
Personen, die aufgrund ihrer Tätigkeit mit Elektrizität verbunden sind	erhöhte Häufigkeit einer Leukoseentwicklung	Milham S.J. et al., 1982, 1985
das Gleiche	das Gleiche	Wright W.E. et al., 1982
das Gleiche	das Gleiche	McDowall M.E., 1983
das Gleiche	das Gleiche	Coleman M. et al., 1983
das Gleiche	kein Risiko einer Leukoseentwicklung	Vagero D., Olin R., 1983
das Gleiche	erhöhte Häufigkeit der Entwicklung eines Augenmelanoms	Swerdlow A.J., 1983
das Gleiche	erhöhte Häufigkeit der Entwicklung der Leukosen	Pearce N.E. et al., 1985
das Gleiche	erhöhte Häufigkeit der Entwicklung der Gehirntumore	Lin R.S. et al., 1985
das Gleiche	kein Risiko einer Leukosenentwicklung, erhöhte Häufigkeit der Entwicklung von Harnwegekreb und eines bösartigen Melanoms	Vagero D. et al., 1985
das Gleiche	kein Risiko einer Leukosenentwicklung	Calle E., Savitz O.A., 1985
das Gleiche	erhöhte Häufigkeit der Entwicklung eines bösartigen Melanoms	Olin R. e.a., 1985
Personen, die im Bereich Elektroenergieindustrie beschäftigt sind	kein Risiko einer Leukosenentwicklung und bösartiger Gehirntumore	Tornquist S. et al. 1986
Kinder, die in der Nähe von Hochvolt-Kraftstromleitern leben	Erhöhung der Anzahl von Leukose-Fällen	Wertheimer E., Leeper E., 1979
das Gleiche	keine Erhöhung der Anzahl von Leukose-Fällen	Fulton J.P. et al., 1980

Erwachsene, die in der Nähe von Hochvolt-Kraftstromleitern leben	Erhöhung der Krebserkrankung	Wertheimer N., Leeper E., 1982
Personen, die in der Nähe von Hochvoltleitern leben	keine Erhöhung der Leukosenanzahl	Coleman M. et al., 1985
Kinder, die in der Nähe von Hochvoltleitern leben	keine Erhöhung der Krebserkrankung	Myers A. et al., 1985
Personen, die in der Nähe von Hochvoltleitern leben	keine Erhöhung der Krebserkrankung	Rodvall Y. et. al., 1985
Kinder, die in der Nähe von Hochvoltleitern leben	keine Erhöhung der Anzahl von Leukose-Fällen, Vergrößerung der Anzahl von Nervensystemtumoren	Tomenius L., 1986
Personen, die in der Nähe von Hochvoltleitern leben	keine Vergrößerung der Krebserkrankung	McDowall M.E., 1986

Es wird angenommen, dass die Organismusreaktion, die durch einen chronischen MF-Einfluss bedingt wird, vor allem durch funktionelle Veränderungen von der Seite des Nerven-, Herzgefäß, der Atemsystems und des Blutkreislaufsystems bestimmt wird. Ein allgemeines klinisches Bild des MF-Einflusses kann sich in Form von vegetosensitiver Polyneuritis, eines astheno-vegetativen Syndroms oder ihrer Kombination äußern. Die Zentralstelle der beiden Syndrome wird den funktionellen Gefäß- oder Herz-Gefäß-Veränderungen zugeschrieben.

Den Erscheinungen des vegeto-sensitiven Polyneuritis sind vegetative und trophische Störungen eigen, in der Regel in Körpergegenden, die unter einer unmittelbaren MF-Einwirkung stehen, am häufigsten in den Händen. Die häufigste Beschwerde stellt das Juckengefühl dar. Objektiv werden Veränderungen von der Seite des Gefäß- und Kapillarennetzes, Verfärbungen der Epidermis festgestellt, es können Schwellung und Hautverdichtung entstehen. Auf der Handflächenoberfläche der Handgelenke wird die Haut dünne, in anderen Fällen entwickelt sich Hyperkeratose. Viele Forscher nehmen das vorgegebene Symptomkomplex als die "Spezifität" der MF-Einfluss-Erscheinungen an, obwohl in diese Erscheinungen in der Entwicklungsklinik sich wenig von den Hautreaktionen neurotischen und pseudo-neurotischen Charakters unterscheiden. Subjektive und objektive Symptomatik des astheno-vegetativen Syndroms, die sich bei Personen, die mit MF kontaktieren, zeigt, wird in der Tab. 18 vorgestellt. Veränderungen, die durch MF im Anfangsstadium hervorgerufen werden, verschwinden nach einer ambulatorischen Heilung schnell. Später, bei ausgeprägteren Veränderungen, wird eine zeitliche Einschränkung des Kontakts mit MF bis zur Wiederherstellung des ursprünglichen Gesundheitszustandes empfohlen.

In der Gegenwart sehen Spezialisten die zulässige Wertgrenze der magnetischen Induktion bei 0,2 - 0,3 uT. Dabei wird angenommen, dass die Krankheitsentwicklung, vor allem der Leukämie, sehr wahrscheinlich bei dauerhafter Bestrahlungen des Menschen mit Feldern höherer Niveaus ist (einige Stunden am Tag, besonders in den Nachtstunden, in der Periodendauer von mehr als einem Jahr).

#### Magnetische Felder im Transport

Anscheinend haben magnetische Felder im ultraniedrigen Bereich eine wesentliche biologische Bedeutung, das sie den hauptphysiologischen Rhythmen - Herz-, Gehirnrythmen, Atemfrequenz, entsprechen. Elektrotransport und verschiedene industrielle Triebwerken sind Feldquellen des gleichen ultraniedrigen Bereiches.

Diese Strahlungen sind 10 mal so groß, wie die, welche durch Kraftstromleitungen gegeben werden, aber bis heute hat niemand ihren Einfluss auf den Menschen untersucht.

Es wurde festgestellt, dass das Niveau des anthropogenen elektromagnetischen "Lärms" in der Stadt 10-100 mal so hoch ist, wie außerhalb der Stadt. Und innerhalb von Elektrozügen kann er Tausend oder Zehntausend Mal so groß sein, wie der natürliche Hintergrund.

Es wurden Daten über die Gesundheit von 230 Arbeitern der Slowakischen Eisenbahn studiert. Als Resultat wurde festgestellt, dass Maschinisten und ihrer Helfer viel häufiger an Hypertonie und ischämischer Herzkrankheit leiden, als Vertreter von anderen, nicht weniger "geladenen" Berufen. Außerdem erkrankten Maschinisten elektrischer Lokomotiven, dessen Arbeitsplatz in der Nähe des Motors liegen, an ischämischer Krankheit zwei Mal so häufig, wie ihre Kollegen, die in elektrischen Vorortbahnen, wo der Motor anders angeordnet ist, arbeiten. Anscheinend ist es damit verbunden, dass in der Kabine ein hohes Schwingungsniveau magnetischer Felder ist, und plötzliche Aufstiege der magnetischen Energie können die Rolle eines Startmechanismus in der Entwicklung von Herz-Gefäß-Pathologien spielen.

Nicht nur Maschinisten, aber auch Passagiere sind ständig elektromagnetischer Überbelastung ausgesetzt, sie sind in Elektro- und Metrozügen am stärksten.

### **3.5. Einfluss der elektromagnetischen Erdfelder auf den menschlichen Organismus**

#### **3.5.1. Elektromagnetische Biosphäre der Erde**

Elektromagnetische Biosphäre unseres Planeten wird im Ganzen durch elektrische und quasistatische Erdfelder, Atmosphärelektrizität (Gewitterentladungen, zum Teil -blitzen), Radiostrahlung der Sonne und Galaxien, und in letzter Zeit durch Felder künstlicher Quellen: Felder "hervorgehobener" Ausstrahler (Antennenfelder und unerwünschte Apparaturradiostrahlungen) und dem allgemeinem "Radiohintergrund" und zahlreicher entfernten Radioübertragungszentren bestimmt.

Das elektrische Erdfeld ist normal zur Erdoberfläche (welche zu den oberen Atmosphäreschichten negative geladen ist) ausgerichtet. Die Spannung des elektrischen Feldes auf der Erdoberfläche ist  $E_{\text{erd}} \approx 130 \text{ V/m}$ , und nimmt mit der Höhe mit dem exponentiellen Gesetz ab. Jährliche Veränderungen des  $E_{\text{erd}}$  in ihrem Charakter auf der ganzen Erdkugel ähnlich: Maximum im Januar - Februar (bis 150... 250 V/m) und Minimum im Juni - Juli (100.... 120 V/m).

Ladung des Erdmagnetfeldes wird von zwei Parametern charakterisiert. Horizontale Komponente ist beim Äquator maximal (20.... 30 A/m), nimmt zu den Polen hin ab (bis zu einzelnen A/m). Vertikale Komponente beträgt bei den Polen ungefähr 50... 60 A/m, verkleinert sich beim Äquator bis zu einer vernachlässigbaren Größe. Auf der Erdkugel existieren separate Gegenden, wo die Größe der vertikalen Komponente viel größer ("positive Anomalien") oder niedriger ("negative Anomalien") als der mittlere Wert ist.

Das Frequenzspektrum der Atmosphären reicht in dem Bereich von Hundert Hertz bis Dutzenden Megahertz. Maximum ihrer Intensität befindet sich in der Nähe von 10 kHz und nimmt mit der Frequenz ab.

Das Spektrum der Radiostrahlung der Sonne und Galaxien nimmt das Gebiet von ungefähr 10 MHz bis 10 GHz. In der "ruhigen" Lage befindet sich die Intensität der Sonnenstrahlung in Grenzen von  $10^{-10}$  bis  $10^{-8} \text{ W/m}^2$  MHz. In der Explosionszeit verstärkt sich die Strahlung um einige Dutzende Mal. Das Spektrum und Intensität der Radioausstrahlung von Galaxien sind nah an dem Spektrum und der Intensität der ruhigen Sonne.

Eine charakteristische Form des Zusammenwirkens des elektromagnetischen Feldes mit lebendem Organismus ist die Verbindung der Gewebeerwärmung, die von der vom Gewebe reflektierten Energie (wie Halbleitermedium) abhängig ist, mit dem Informationsakt, der den nicht thermischen Einfluss auf den Organismus bestimmt. Die zweite Einflusseite - nicht thermische, oder sogenannte spezifische Radiowellenwirkung - wird eben durch diesen Informationsaspekt der vom Organismus wahrgenommener elektromagnetischer Strahlungen bestimmt. Spektrum und Form dieses Einflusses hängen von den Quellenmerkmalen und des Verbindungskanals ab. Wie

Beobachtungen zeigen, stellt sich die Empfindsamkeit des Organismus in diesem Fall viel höher dar, als die, von den einfachsten Überlegungen über die thermische Wirkung der EMS-Wirkung ausgehend, berechneter. Außerdem, führt die Konzentration elektromagnetischer Energie in Körpervolumen, die von radiokontrastierenden Medien begrenzt sind, zu einer lokalen Erwärmung, der "Mikroerwärmung". Deswegen ist die Teilung der zwei Wechselwirkungsseiten "Feld - Organismus" auf informationelle und thermische recht bedingt.

### 3.5.2. Biophysik des Einflusses mächtiger EM-Erdfelder auf den menschlichen Organismus

Der Einfluss von mächtigen elektromagnetischen Feldern auf den Menschen führt zu bestimmten Verschiebungen in der neuro-psychischen und physiologischen Tätigkeit, jedoch wird es angenommen, dass das "mehrstufige" System des Organismusschutzes vor schädlichen Signalen, welche auf allen Ebenen - von molekularer bis zur systematischer, in bedeutendem Grad die Schädlichkeit des Einflusses von für den Organismus "zufälligen" Informationsströmen senkt. Deshalb, wenn auch eine bestimmte Reaktion auf diese Felder beobachtet wird, so oft auf Ebenen, die deutlich niedriger sind, als diejenigen, die für eine Erscheinung des energetischen Einflusses notwendig sind. Zum Beispiel, bei  $E \approx 3 \times 10^{-2}$  V/m ist die Veränderung der Speichelbildung bei einem Hund; bei  $(ESD) = 20$  uW/cm<sup>2</sup> ist der Veränderung des Enzephalogramms beim Känninchen und sogar bei  $(ESD) = 0,3$  uW/cm<sup>2</sup> ist die Veränderung der epithelialen und Zwischenraumzellen der Tiere (und das anstelle der auf Grund der thermischen Theorie angenommener: 200 V/m, 10 uW/cm<sup>2</sup>, für HF und EMS dementsprechend!). Bei einer Zelle wird die Empfindsamkeit durch die Energiegröße  $10^{-19}$  J/Zelle bestimmt. Hier kann man eher von einem reizenden, als von einem nachahmendem Effekt, d.h. eher von dem physiologischen im allgemeinem Sinne, als vom pathologischem Aspekt des Einflusses elektromagnetischer Energie sprechen.

Mit der Verwicklung eines biologischen Stoffes verkompliziert sich der Prozess seines Zusammenwirkens mit dem elektromagnetischem Feld. Zum Beispiel, zählen bei der Empfindsamkeitserklärung von Nervenzellen zum EMF folgende Wirkungsmechanismen als wahrscheinlich:

- besonders wahrscheinlich für ein Zellenensemble und vor allem für den ganzen Organismus: EMF-Detektion in der Membran einer Nervenzelle;
- EMF-Einfluss auf die Ionenbeweglichkeit, zum Teil auf die Fähigkeit, durch die Nervenzellmembran durchzudringen;
- Veränderung des Kaliumgradienten des Intrazellulärraumes;
- "Regelung" der Ionenschwingungen unter dem Einfluss vom Feld, welches zur Veränderung des Charakters und der Stärke der Rezeptorempfindsamkeit führt
- Einfluss auf eigene Frequenzen des angenommenen elektromagnetischen Austausches.

Mit der Entwicklung und der Verwicklung des Organismus außer einfachster physisch-chemischer Mechanismen erweisen einen immer größeren Einfluss auf den Organismus im Ganzen Effekte, die man üblicherweise mit den sogenannten physiologischen und biophysischen Wirkungsmechanismen verbindet, welche wie ein unzerreißbares Ganzes den Informationsaspekt der EMS-Felder einschließen. Diese und andere, noch klarere Mechanismen bestimmen die sekundären Effekte des Feldeinflusses, die in der Regel auf vorthermischen Energien passieren. Das sind Kumulation, Stimulation, Sensibilisierung, die als Folge von ausgeprägter Fähigkeit komplizierter Systeme, thermischen und informationellen Einfluss zu sammeln, entstehen. Kumulation führt dazu, dass bei dem Einfluss einer unterbrochenen Bestrahlung ein Summeneffekt angesammelt wird und von der Größe des Effekts vom Anfang abhängig ist; bei Unterbrechungen des Einflusses vergrößert sich die Gesamtbestrahlungszeit, die für die Erscheinung dieses Effektes nötig ist.

Sensibilisierung besteht in der Erhöhung der Körperempfindsamkeit nach einer schwachen Radiobestrahlung auf darauffolgende Einflüsse (in Experimenten mit EMS auf bedeutend leistungsstärkere Bestrahlungen, in der Nähe von der Fluggrenze).

**Nervensystem.** Bei Untersuchungen des EMS-Einflusses auf das Nervensystem wird eine besondere Aufmerksamkeit der Erforschung des Zentralnervensystems, welches aktive und passive

Wechselwirkungen des Organismus mit der Außenwelt, und des vegetativen Nervensystems, das Vollständigkeit und Übereinstimmung aller Funktionen im Organismus selbst verwirklicht, zugeteilt.

EMS-Einfluss auf das Tierverhalten zeigt sich in der Veränderung der allgemeinen Bewegungsaktivität, in dem Streben der Tiere, die Einflusszone zu verlassen, in Orientierungsreaktionen auf EMS.

In einer Reihe von Untersuchungen, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden, wurden Reaktionen des Knochenmarks auf den EMS-Einfluss, welche sich in Strukturveränderungen, sowie in der Veränderung des bioelektrischen Systems des Gehirns ausdrücken, entdeckt.

**Endokrine Drüsen.** In engem Zusammenwirken mit dem vegetativen Nervensystem bilden Hormone der endokrinen Drüsen in ihren Wechselwirkungen funktionelle Systeme, die auf einer normalen Ebene den Kohlehydrataustausches, Proteinstoffwechsels, Mineral- und Wasseraustausches, sowie den Stoffwechsel im Ganzen, und damit das Leben allgemein, unterstützen.

Forschung der Drüsenfunktionen in der inneren Sekretion werden durchgeführt mit der Verwendung von: 1) Erforschung von Verschiebungen im Blutbild - Zählung der Erythrozyten-, Leukozyten-, Thrombozyten-, Eosinophilanzahl, Bestimmung des Hämoglobingehalts, der Blutgerinnungsdauer; 2) Bestimmung des Gehalts der Ascorbinsäuregehalts in den Nebennieren, nach welchem man über die Hypophyseaktivität urteilen kann; 3) direkte Bestimmung der Nebennierenrindehormone im Blut und dem Harn.

**Blut und Lymphe.** Blut und die mit ihr verbundene Lymphe gehören zur inneren Umgebung des Organismus und führen eine Reihe ausschließlich wichtiger physiologischer Funktionen aus. Abgesehen von der unterbrechungsfreien Eintritt in das Blut und dem Austritt verschiedener Stoffe aus ihr, ist die chemische Zusammensetzung des Bluts in der Norm ziemlich konstant. Alle zufälligen Schwankungen in der Blutzusammensetzung im gesunden Organismus gleichen sich schnell aus.

Wie oben gezeigt, wird bei der Erforschung des EMS-Einflusses im Blut die Anzahl von Erythrozyten, Leukozyten, Thrombozyten, Eosinophilen und der Hämoglobingehalt usw. bestimmt. Die Zusammensetzungsbestimmung der Ione Na, K, Ca, Cl, gesamten Eiweiß-, Zucker-, Cholesteringehalts im Blut lässt über die Störung des Mineral-, Eiweiß-, Kohlenhydrat- und Fettaustausches urteilen.

**Proteinstoffwechsel.** Ein Merkmal des Proteinstoffwechsels ist der allgemeine Anteil der Proteine im Blut und der Verhältnisse einzelner Proteinfractionen. Bereits in Anfangsstadien der Entwicklung verschiedener starker Erkrankungen, unter anderem unter dem Einfluss von EMS, werden Verschiebungen sowohl im Proteingehalt, wie auch im Verhältnis ihrer Fraktionen beobachtet.

Beim EMS-Einfluss ist eine Störung der Aktivität separater Fermentsysteme, die an der Kohlenhydratspaltung teilnehmen, möglich. Bestimmungsmethoden dieser Störungen gehen nicht über die Normenrahmen hinaus.

Beim EMS-Einfluss werden Veränderungen im Chlorid-, Natrium-, Kalium-, Kalzium-, und Phosphatgehalt beobachtet. Natrium und Kalium werden mit der Methode der flammenden Photometrie bestimmt, Chloride, Phosphate, Kalzium mit der titrimetrischen Methode. Offensichtlich ist die Abnahme des Vitamins C, Thiamin (Vitamin B1), die fluorometrisch bestimmt werden.

Einige Angaben über den EMS-Einfluss auf den Menschen, die auf einer Intensitätsskala angeordnet sind, werden in der Tab. 19 vorgestellt.

TABELLE 19

Einige auf einer Intensitätsskala angeordnet eAngaben über den EMS-Einfluss auf den Menschen

ESD, mW/cm <sup>2</sup>	Veränderungen im Organismus
-------------------------	-----------------------------

(5-8)10 <sup>2</sup>	Schmerzempfindung bei Bestrahlung
100	beim Einschalten - Erhöhung des Blutdrucks mit darauffolgender plötzlicher Abnahme; bei chronischem Einfluss - stabile Hypertonie. Stabile morphologische Veränderungen von der Seite des Herz-Gefäß-Systems. Zweiseitiges Katarakt
10	Veränderung der bedingt-reflektorischen Tätigkeit, morphologische Veränderungen in der Gehirnrinde
2-3	ausgeprägter Charakter der Blutdruckabnahme, Pulsbeschleunigung, Schwankungen des Blutvolumens im Herz
0,5-1	Abnahme des Blutdrucks, Tendenz zu Pulsbeschleunigung, unbedeutende Schwankungen des Blutvolumens im Herz. Niveausenkung des Blutdrucks; Abnahme des Ophtalmo-tonus. Desadaptation, Störung der Mechanismen der Immunschutzsteuerung

Zum Abschluss der Untersuchung der biologischen Wirkung des EMF versuchen wir kurz die Erfolge einzuschätzen, die von der Forschung bis zur Gegenwart erreicht wurden. Vor allem, wurden unwiderlegbare Kenntnisse über den EMS-Einfluss auf den Organismus von Menschen und Tieren erhalten. Es wurden experimentelle Angaben zur Bestimmung der Anzahlcharakteristik dieser Erscheinung erhalten. Einige von ihnen, die charakteristischsten werden in der Tabelle 19 angeführt. Sogar die Oberflächenanalyse dieser Angaben zeigt, dass die Forscher den Bereich (ESD) = 5... 10 mW/cm<sup>2</sup> und mehr bevorzugen.

Und das ist leicht zu erklären: denn bei Intensitäten von kleineren Werten ist der erhaltene Effekt sehr klein, er verliert sich in natürlichem "Lärm" des Organismus, der von inneren, den im Organismus passierenden, und im Verhältnis zu ihm äußerlichen Prozessen bestimmt wird.

Genetische Folgen des EMS-Einflusses wurden noch nicht ausreichend erforscht. In einem der Labore der USA wird die Frage über die Korrelation zwischen der Geburt mongoloider Kinder (Down-Syndrom) und der Bestrahlung ihrer Väter mit SHF-Energie. Es wurde entdeckt, dass die Mehrheit solcher Kinder Väter hat, die in der Zeit des Zweiten Weltkriegs von Radiofeldern der Ortungsgeräte bestrahlt wurden.

Lasst uns sich zurechtfinden, inwiefern Angaben über einen dermaßen leistungsstarken Elektrosmogwirkung rechtfertigt und objektiv sind. Weiter unten werde ich Angaben über Strahlungen, und genauer über Werte der Stromdichten (SD) der elektromagnetischen Strahlung verschiedener Quellen, anführen (Tabelle 20). Stromdichte wird in Leistungseinheiten (W, mW, uW), die auf eine Flächeneinheit (m<sup>2</sup>, cm<sup>2</sup>) kommen, gemessen.

TABELLE 20

Abhängigkeit der Stromdichte der elektromagnetischen Strahlung von Parametern der Strahlungsquellen

Quelle	SD, uW/cm <sup>2</sup>	Effekt	Mobil telefon*	BS**	Übersteigung
Schumann-Resonanz	0,0000001	Wirkung auf das Gehirn	25 km	900 km	-
Natürlicher elektromagnetischer Hintergrund (mittlerer Wert)	0,000001		2500 m	90 km	10 Mal
Normungswert der SD von Radiotelefonen	2	Veränderung des Melatoninniveaus im menschlichen Gehirn, Veränderung des	5 m	180 m	20000000 Mal

		Elektroenzephalogramms, umkehrbare Verletzungen der DNA			
Normungswert der SD von Basenstationen (BS) der Funkverbindung	10	unumkehrbare Verletzungen der DNA	0.8 m	30 m	100000000 Mal
Normungswert der SD von Funktelefonen	100	Im Laufe von 2 Minuten gibt die Permeabilität der hämato- enzephalischer Barriere nach	25 cm	9 m	1000000000 Mal
Thermischer Effekt	10000	Unkontrollierbares Absterben der Zellen	0.25 cm	9 cm	100000000000 Mal
<p>* Im Graph werden Abstände angegeben, auf denen der angegebene SD-Wert vom eingeschalteten Mobiltelefon formiert wird.</p> <p>** Im Graph werden Abstände angegeben, auf denen der angegebene SD-Wert von der tätigen Basenstation formiert wird.</p>					

Als Null-Vermerk wird der SD-Wert der Schumann-Resonanz genommen. Was ist das? Es ist ein superniederfrequent-elektromagnetischer Einfluss, der vom deutschen Physik T. Schumann entdeckt wurde, den es schon immer gab, beim Einfluss dessen die Evolution alles Lebenden auf der Erde erfolgte und in Bedingungen dessen die Menschheitsentwicklung stattfand. Woher kommt es? Quelle der superniedrigen Strahlung ist die Existenz von zwei geladenen Sphären gigantischer Ausmaße: stromleitender Erdoberfläche als Folge der ständigen Gewittertätigkeit (in einer Sekunde passieren auf der Erde im Durchschnitt 100 Gewitter), sowieso Ionosphären (Atmosphärenschiicht auf einer Höhe von ungefähr 100 km über der Erdoberfläche), die vom "Sonnenwind" aufgeladen wird. Zwischen diesen Sphären befindet sich eine Atmosphäre, die einen schwachen Leiter des elektrischen Stroms darstellt. Ein ähnlicher Bau ist ein Faktor der Entstehung in der Zwischenraumschiicht stabiler superniedriger Schwingungen, die praktisch nicht abklingen und fixierte Frequenzen haben. Zwischen ihnen sticht die Frequenz um 8 GHz herum hervor, die mit der Frequenz des  $\alpha$ -Rhythmus des menschlichen Gehirns vollständig übereinstimmt. Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit darauf, dass dieselbe Frequenz die Notwendige bei einem Gespräch über ein Mobiltelefon des GSM-Standards ist. Allgemein wird angenommen, dass die Schumann-Resonanz der verbindende Faden zwischen uns und der Natur ist.

Noch in den 50-er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde bewiesen, dass die Intensität der Schumann-Resonanz auf eine unmittelbare Art auf die höchste Nerventätigkeit des Menschen, sowie auf seine intellektuellen Fähigkeiten wirkt. Dabei muss man berücksichtigen, dass die Intensität der Schumann-Wellen äußerst niedrig ist und nur Bruchteile von Picowatt/cm<sup>2</sup> beträgt. Daher ist es absolut offensichtlich, dass sogar dieser äußerst kleiner Einfluss fähig ist, auf den Menschen zu einzuwirken. Genau deshalb wurde es auch als Startpunkt genommen.

Und jetzt vergleichen Sie andere Quellen des Elektrosmogs und ihrer Intensität. Ihr Einfluss übersteigt das natürlich Niveau in Millionen und sogar Trillionen Mal. Folglich leben wir in Bedingungen eines äußerst starken elektromagnetischen Lärms, der auf unseren Organismus einschlägt. Und soll man sich da etwa noch wundern, dass wir auf diese Einwirkung mit Veränderung unserer Gesundheit und Krankheiten reagieren.

Was ist Elektroempfindlichkeit?

Dieser neuer Begriff, der vor Kurzem in die Terminologie der Ökologie-Mediziner eingegangen ist. Nicht jeder Arzt ist mit ihm bekannt. Er beschreibt eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Komponenten des Elektrosmogs, d.h. elektromagnetischen Felder verschiedener Frequenzen, beginnend bei der statischen Elektrizität und beendend mit dem SHF-Bereich. Laut Angaben der World Health Organisation gibt es ungefähr 15% elektroempfindlicher Individuen:

([http://who.int/pehemf/project/EMF\\_Project/en/index.html](http://who.int/pehemf/project/EMF_Project/en/index.html)).

Was sind Hauptmerkmale der Elektroempfindlichkeit? Es sind generell unbestimmte Beschwerden, die beim Menschen als Resultat seiner Anwesenheit in Räumen (auf der Arbeit, in der Haushaltsumgebung) entstehen. Zu den allgemeinsten kann man zählen:

**Allgemeine Symptome:**

Konzentrationsstörung der Aufmerksamkeit

Kopfschmerzen

Schwäche

Verlust der Arbeitsfähigkeit

Nicht vorübergehende Müdigkeit

Schwindelanfälle

Schlechter, oberflächlicher Schlaf

Kräfteverlust

Potenzabnahme

Zustand der inneren Verwüstung

Unstabilität der Körpertemperatur

Allergische Reaktionen

**Symptome von der Seite des Nervensystems:**

Funktionelle Störungen des zentralen und vegetativen Nervensystems

Veränderungen der Elektroenzephalographie

Neurasthenische Erscheinungen

Neigung zum Schwitzen

Leichtes Fingerzittern

**Symptome von der Seite des Herz-Gefäß-Systems:**

Kardiovaskuläre Störungen

Vegetonische Störungen des Herz-Gefäß-Systems

Unstabilität des Pulses

Unstabilität des arteriellen Drucks.

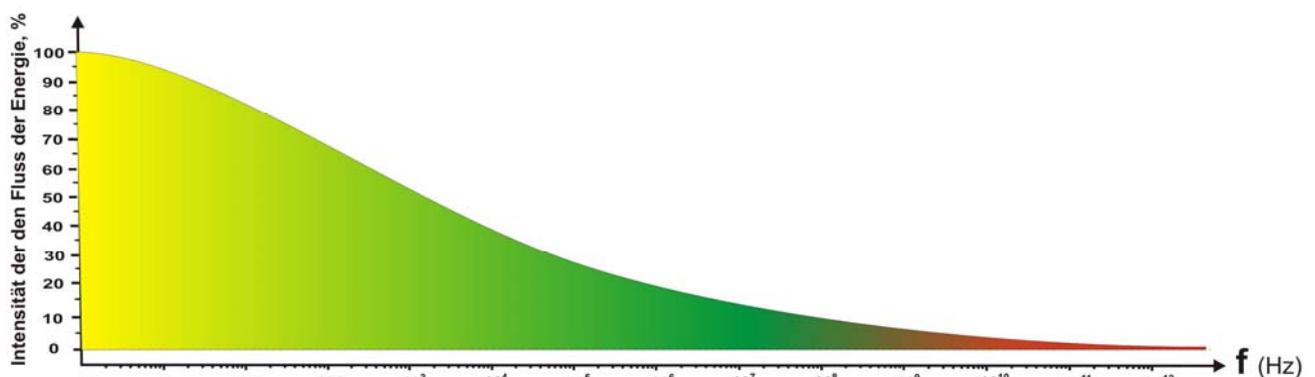
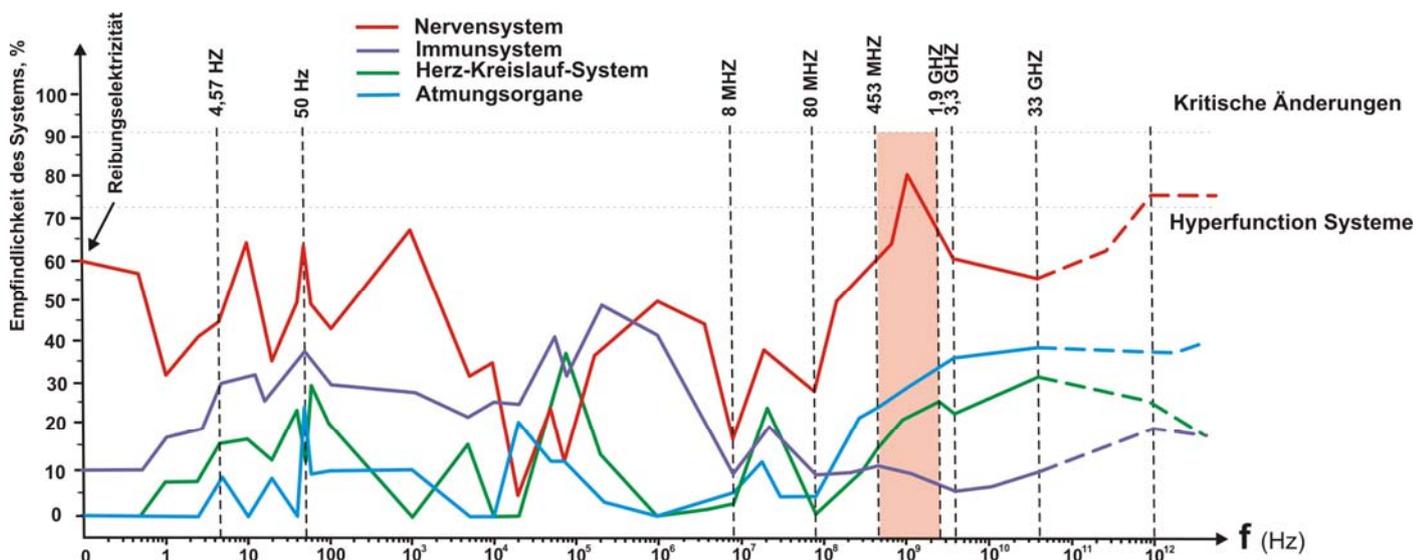


Bild 31. Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Menschen auf verschiedene Systeme von Frequenz und Intensität der äußeren elektromagnetischen Strahlung

Die Reaktion von der Seite verschiedener Organismussysteme auf die Wirkung des Elektromogs ist auf dem Bild 31 gut sichtbar. Im Bild werden Untersuchungen auf Freiwilligen, die im Dallaschen Zentrum für ökologische Medizin (USA), dem Onkologischen Klinikum der H. Aldzhbeta (Bratislava, Slowakei), medizinischer Universitäten in Bratislava, Martin, Košice (Slowakei), medizinischem und technischem Universitäten in Prag (Tschechien), den Kliniken in Hannover und Regensburg (Deutschland) durchgeführt wurden. Es ist gut zu sehen, dass die ausgeprägte Übereinstimmung der Empfindsamkeit der Herz-Gefäß-, Atem-, Nerven-, und des Immunsystems in Frequenzbereichen der mittleren Resonanzfrequenz der menschlichen Organismus von 4,57 Hz, der industriellen Frequenz 50-60 Hz, 8, 80 MHz erfolgen. In rosa Farbe wird im Graphik der Frequenzstreifen hervorgehoben, auf welchem Mobiltelefone funktionieren. Folglich reagiert der Organismus leider auf den Elektromog mit den Frequenzen, mit denen wir uns oft sowohl zu Hause, als auch bei der Arbeit zusammentreffen. Auf uns wirken diese Frequenzen auch nachts, wenn unser Organismus entspannt ist und sich ausruht. Deshalb also ist es so wichtig die Verteilung des Elektromogs in der Gegend unseres Schlafplatzes zu wissen und warum es so wichtig ist, ihn zuerst zu scannen.

Für die Mehrheit der Ärzte sind Menschen, die vom Elektromog leiden, keine wirklich erwünschten Patienten. Am häufigsten wird ihnen eine asteno-vegetative Diagnose oder ein asthenisches Syndrom zugeschrieben.

Am häufigsten trifft man auf Elektroempfindlichkeit bei Bewohnern der mittleren Zone, sowie in nördlichen Ländern. In den Mittelmeerländern gibt es so eine Pathologie nicht oder ist nur äußerst selten aufzutreffen. Frauen sind weniger empfindlich gegenüber dem Elektromog als Männer. Am stärksten ist dieses Symptomkomplex bei den "Eulen" und weniger bei "Lerchen" ausgedrückt. Empfindlicher sind wetterabhängige Menschen und Individuen, die auf geomagnetische

Erscheinungen (magnetische Stürme) reagieren. Früher überstandene Krankheiten, Nikotin- und Alkoholabhängigkeiten spielen eine Rolle. Grad der Erscheinung von Elektroempfindlichkeit ist streng individuell.

Als Hauptgrund der Elektroempfindlichkeit wird die erniedrigte Reaktionsschwelle von Geweben und Organismussystemen auf den Einfluss elektromagnetischer Felder verschiedener Frequenzen angesehen.

Die Hypothese, die die Wirkung des Elektrosogs erklärt, ist die Erscheinung der Bremsung von elektrischem und/oder magnetischem Feld mit beliebiger Frequenz der Produktion des Hormons Melatonin von der Zirbeldrüse (Epiphys) im Knochenmark beim Menschen. Melatonin reguliert biologische Rhythmen, unter Anderem den Biorhythmus [1].

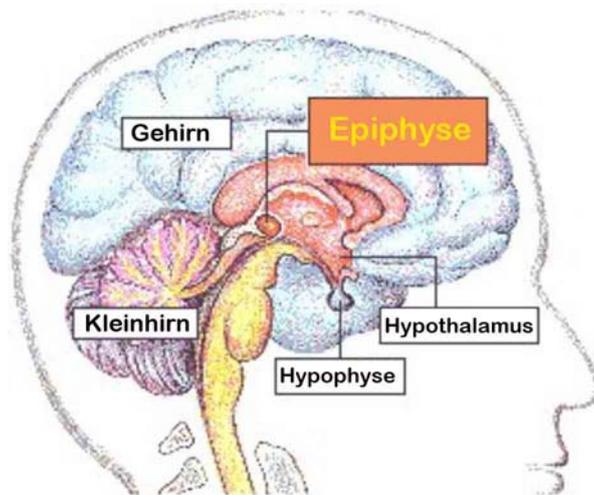


Bild 32. Zonen der maximalen Empfindlichkeit des Knochenmarks eines Menschen auf eine äußere elektromagnetische Strahlung

Als Ergebnis einer solchen Inhibition geht das endokrine System des Menschen in einen erregten Zustand und die Prozesse der Erregtheit-Bremsung in der Gehirnrinde werden gestört (Bild 32). Damit erinnert die Elektroempfindlichkeit ein anderes bekanntes Symptomkomplex - die Winter- oder Sommerdepression.

Laut neusten Angaben können nicht nur Elektrosog-Komponenten für die aufgezählte Symptomatik verantwortlich sein. Ihren Beitrag können auch Stress, Lärm, chemische Komponenten (Formaldehyd), metallische Füllungen (Amalgame) leisten. Alle aufgezählten Faktoren können den ungünstigen Einfluss elektromagnetischer Felder verstärken.

### **3.6. Biophysik der Einwirkung von EM-Feldern der Mobiltelefone auf den menschlichen Organismus**

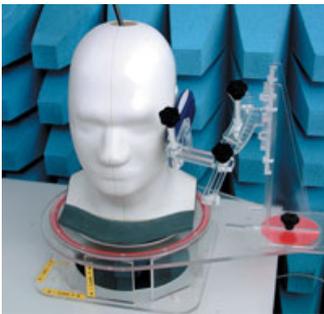
#### **3.6.1. Messungen des Einflusses von EM-Feldern der Mobiltelefone auf den menschlichen Organismus**

Gemäß internationalen Forderungen wird die ausgestrahlte Leistung von Mobiltelefonen in Einheiten SAR gemessen. **SAR (Specific Adsorption Rate) - spezifische Absorptionsrate**, die durch die Einheit einer Körper- oder Gewebemasse ausgedrückt wird. In SI-Einheiten wird SAR durch Watt pro 1 kg (W/kg) bestimmt. Verwechseln Sie diesen Kennwert nicht mit der Nominalleistung Ihres Mobiltelefons, die gewöhnlich in der Anleitung angegeben wird. Bis vor Kurzem zählte in Europa als höchste Grenze des SAR-Wertes der Wert 2 W/kg. Allgemein anerkannt wurde folgende Gradation der SAR-Werte der Mobiltelefone:

TABELLE 21

Sehr niedrige Bestrahlungsfähigkeit	SAR < 0.2 W/kg
Niedrige Bestrahlungsfähigkeit	SAR von 0.2 bis 0.5 W/kg
Mittlere Bestrahlungsfähigkeit	SAR von 0.5 bis 1.0 W/kg
Hohe Bestrahlungsfähigkeit	SAR > 1.0 W/kg

Den SAR-Wert zu messen ist ziemlich kompliziert. Es wird eine spezielle Ausstattung und Phantome, d.h. Imitatoren der Gewebe des menschlichen Organismus benötigt. Es gibt auf der Welt auch keine einheitliche SAR-Messmethode. Deshalb können sich Angaben dieses Messwertes, die normalerweise in unabhängigen Zentren gemessen werden, um ein Paar Mal unterscheiden. Die realistischste Messung der Stromdichte der elektromagnetischen Strahlung (SD) der Mobiltelefons, Berechnung seiner Strahlungsfähigkeit, ausgehend von der Geräteleistung. **Genau mit diesen Werten kann man reell die Ungefährlichkeit Ihres Mobiltelefons einschätzen.**



Zur Bestimmung der SAR haben die Hersteller zwei Varianten. Beide basieren auf der Benutzung spezieller Mannequins. Gemäß ihnen, wird das geprüfte Telefon in einer bestimmten Stellung neben dem Kopf des Mannequins (Phantoms), der etwas an Eigenschaften des menschlichen Gewebes erinnert, situiert. In das Phantominnere werden Sensoren untergebracht, die kleine Temperaturerhöhungen messen, oder den Wert der EMF-Stromdichte messen. Natürlich müssen die Sensoren kleine Maße haben und man muss sie auf unterschiedlichen

Umgebungspunkte unterbringen. Das Telefon wird auf den maximalen Leistungsmodus umgestellt und mit Hilfe vom Computer werden die Sensoranzeigen im "Kopf" des Phantoms registriert. Danach wird mit Hilfe von Ingenieurberechnungen die dreidimensionale Aufteilung des elektromagnetischen Feldes berechnet und auf Basis dessen SAR ausgerechnet. Welcher SAR-Wert ist zulässig? Bis 2001 war solch eine Größe der Wert 2 W/kg. Seit 2001 wurde er verkleinert (wegen der Menge der Angaben über negative medizinische Folgen des Mobilfunks) auf 0,8 W/kg.

Anscheinend ist es sehr schwer SAR zu messen. Bis heute gibt es keine einheitliche Methodik. Der Phantomkopf ist kein menschlicher Kopf. In einem menschlichen Kopf kann man keine Sensoren unterbringen.

Außerdem erinnern die Messbedingungen nur schwer an reelle Bedingungen der Telefonnutzung. Folglich muss man eine Suche nach anderen Möglichkeiten der SAR-Berechnung führen. Vielleicht vereinfachter und annähernder, aber reell spiegelnder die Wechselwirkung des EMF und biologischen Strukturen.

Andererseits, besitzt Ihr Telefon wirklich einen von der Firma garantierten SAR-Wert. Nehmen wir ein ziemlich verbreitetes Beispiel. In die Software ihre Handys wurde eingemischt. Zum Beispiel, bei der wiederverkaufender Stickerei, bei dem Ersatz von Software während der Reparatur, bei der Manipulation des Ingenieurmenüs u.A. Aber genau das Programm, das in Mikroschemen "eingestickt" ist und die sich im Innern Ihres Telefons befindet, steuert seine nach außen tretende Leistung. Zum Beispiel, in der Nähe von einer Basisstation verkleinert sie, und fern davon vergrößert sie die Apparateleistung. Nach den obengenannten Einmischungen kann keiner mehr, vor allem nicht der Hersteller die Strahlungsfähigkeit des Handys garantieren. Und dann erweist sich neben Ihrem Kopf eine ziemlich leistungsstarke Radiostation.

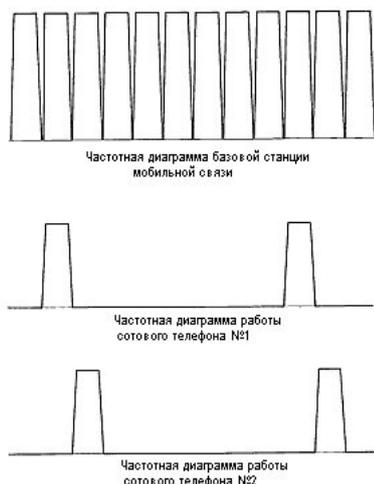
### 3.6.2. Einflüsseffekte der EM-Felder von Mobiltelefonen auf den menschlichen Organismus

In was besteht dann die Gefahr für die Gesundheit, die von Mobiltelefonen ausgeht? In der Tätigkeit einer beliebigen elektromagnetischer Ausstrahlung ist es üblich zwei Effekte hervorzuheben: thermischer und nicht thermischer (der zweite wird oft als **informationeller** gekennzeichnet).

**Thermischer Effekt.** Sein Wesentliches zu verstehen hat keinen besonderen Sinn. Sie können ihn

beobachten, wenn sie ein Huhn in ein Mikrowellenherd hineinstellen und nach einiger Zeit bekommen Sie ein fertiges Gericht. Ungefähr die gleiche Wirkung hat auch die Strahlung eines Mobiltelefons. Es ist gut zu sehen bei einer Computervisualisierung des elektromagnetischen Feldes. Achten Sie auch darauf, dass die Antenne, der Hauptausstrahler des Telefons, sich in 3-5 cm Abstand von ihrem Gehirn, auf den das elektromagnetische Feld eben wirkt, befindet. Natürlich erhöht sich die Temperatur einzelner Gehirnteile. Bei einem dauerhaften Gespräch kann man diesen Effekt anhand der Temperaturerhöhung der Ohrmuschel beobachten. Es wurde berechnet, dass bei einer SAR-Größe von 4 W/kg im Laufe von 30 Minuten die Gewebetemperatur bei einem gesunden erwachsenen Individuum um 1 Grad Celsius erhöht. Das ist ein ungewünschter Effekt für beliebige Organe, die mit einer Störung ihrer Funktion antworten werden. Übrigens, die ganze Normierung der Mikrowellenstrahlung von Mobiltelefonen basiert nur auf dem thermischen Effekt. Ein anderes Organ, welches dem Strahlungseinfluss vom Mobiltelefon ausgesetzt ist, ist die Augenlinse. Wegen seiner Erfüllung sehr wichtiger Funktionen - Erhaltung der Transparenz und der Angleichung ist er schlecht durchblutet und eben deshalb dem Einfluss der elektromagnetischen Strahlung ausgesetzt. Und das wirkt sich aus auf der Sehkraft.

**Nicht thermischer oder informationeller Effekt.** Ist recht schlecht erforscht. Sein Kern besteht in Folgendem. Mobiltelefone des GSM-Standards verwirklichen die Informationsübertragung über Impulse, die zu Blöcken zusammengeslossen sind (s. Bild 32).



1. Teil: Frequenzdiagramm einer Basestation des Mobilfunks
  2. Frequenzdiagramm des Betriebs eines Mobiltelefons N°1
  3. Frequenzdiagramm des Betriebs eines Mobiltelefons N°2
- Bild 33. Impulsdigramme des Betriebs des Mobiltelefons

Ein Block besteht aus 8 Impulsen. Zur Verfügung stehen jedem Benutzer nur ein von den acht Impulsen. Die restlichen sieben gehören sieben anderen Abonnenten, die in diesem Moment auf der vorgegebenen Frequenz Telefongespräche führen können. Die Dauer eines GSM-Blocks beträgt 4,616 Millisekunden (ms), folglich beträgt die Pulsfrequenz eines Mobiltelefons  $1/4,616 \text{ ms} = 216,6 \text{ Hz}$  oder gerundet 217 Hz. Die Datei mit der Aufzeichnung einer solchen Frequenz des Mobiltelefons können Sie [hier](#) erhalten. Mit der Generation jedes achten Impulses geschieht auch die proportionale Energieausschüttung. Wenn die nominale Leistung des Mobilapparats laut Instruktion gleich 2 W ist, so wird die Leistung, die bei jedem Impuls entstehen wird:  $2 / 8 = 0,25 \text{ W}$  betragen. Und das ist noch nicht alles. Blöcke der genannten Impulse zwischen dem Mobiltelefon und der Basisstation gruppieren sich in Multiblöcke, die aus 26 Wiederholungen bestehen. Folglich beträgt die zweite Frequenz, die vom Mobiltelefon ausgeströmt wird:  $217 / 26 = 8,35 \text{ Hz}$ . Außerdem, sind manche Arten der Mobilapparate, welche im Energiesparmodus (DTX) arbeiten, fähig, die dritte Frequenz - 2 Hz zu generieren. Genau in dieser Sammlung der niedrigfrequenter Strahlung besteht auch noch eine Gefahr des Mobilfunks. Das Problem liegt

darin, dass die genannten Frequenzen von Funkgeräten mit den Frequenzen der eigenen, natürlichen bioelektrischen Aktivität der menschlichen Gehirns, die bei der Elektroenzephalographie (EEG) registriert werden, zusammenfallen. So stimmt die Frequenz 217 Hz mit dem sogenannten Gamma-Rhythmus des Gehirns, 8,35 Hz mit dem  $\alpha$ -Rhythmus, und 2 Hz mit dem Deltarhythmus überein. Folglich werden von außerhalb (aus der unmittelbaren Nähe) in das menschliche Gehirn Signale übertragen, die mit der eigenen bioelektrischen Aktivität des Gehirns (zum Beispiel, auf dem Weg der Resonanz) zusammenzuwirken, und so seine Funktionen zu stören fähig ist. Solche Veränderungen sind bemerkbar in der Elektroenzephalographie und verschwinden nicht nach einer langen Dauer nach dem Gesprächsende. Es ist sehr wichtig, noch zu bemerken, dass eben die  $\alpha$ -Wellen äußerst individuell sind, unmittelbar mit der Gehirnarbeit des Menschen verbunden sind und, wie man meint, die Reflexion des Scannens der inneren Bewusstseinsgestalt sind. Abstrakte Denkweise ist gerade mit dem  $\alpha$ -Rhythmus des Gehirns verbunden, in der Schlafzeit herrscht der Delta-Rhythmus vor, und Gamma-Wellen mit der aktiven Tätigkeit des Menschen. Ist eine negative Einwirkung von pulsierenden Energiequellen auf den menschlichen Organismus reell? Den Medizinern ist das Beispiel bekannt, wenn die Einwirkung der pulsierenden Beleuchtung mit der Frequenz von 15 Hz auf den Mensch, der eine versteckte Form von photoempfindlicher Epilepsie hatte, zu einer Anfallentstehung führte. Wie wird Ihnen jetzt die Angewohnheit mancher gefallen, am Kopfende des Bettes das Mobiltelefon unterzubringen und ihn als Wecker zu benutzen. Das Telefon "schläft" nachts nicht, sondern arbeitet ständig, sogar im Zustand der Anruferwartung in einem pulsierenden Modus arbeitet.

Von einer großen Bestrahlungsausgesetztheit der jungen Menschen spricht auch eine Untersuchung, die bei 11.000 Benutzern der Mobilfunks im Auftrag des Norwegian Radiation Protection Board, des Nationalinstituts des "Arbeitslebens" (Schweiz), sowie des SINTEF Unimed (Norwegen). Die Untersuchung zeigte, dass Menschen, die das Telefon nicht weniger als 2 Minuten am Tag benutzten, sich über Diskomfort und außenstehende Effekte beschwerten. Probleme mit der Gesundheit nehmen zu, wenn man länger das Telefon benutzt. Die Hälfte der befragten Abonnenten teilten mit, dass sie bei der Benutzung von Mobiltelefonen ein unangenehmes Erwärmen im Kopfbereich, um das Ohr herum, empfinden. Dem größten Risiko sind junge Menschen ausgesetzt. Diejenigen, die das 30. Jahr noch nicht erreicht haben, sind 3-4 Mal so oft den außenstehenden Effekten ausgesetzt. Besonders empfindlich zu hochfrequenter Strahlung von Mobiltelefonen sind Kinder.

Man sollte berücksichtigen, dass in den Bedingungen der Abschirmung (Automobil, Stahlbetongebäude) die Stromdichte der elektromagnetischen Strahlung, welche auf den Menschen wirkt, sich vielfach vergrößert.

Hauptsymptome der ungünstigen Einwirkung des Mobiltelefons auf den Gesundheitszustand sind:

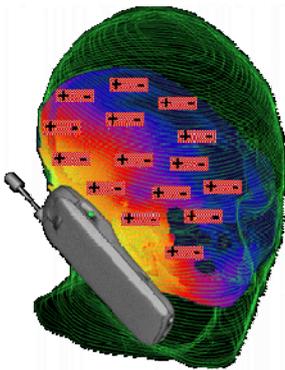
- Kopfschmerzen;
- Störungen des Gedächtnis und der Aufmerksamkeitskonzentration;
- nicht vorübergehende Müdigkeit;
- depressive Erkrankungen;
- (schneidende) Schmerzen in den Augen, Trockenheit ihrer Schleimhaut;
- progressive Sehverschlechterung;
- Labilität des arteriellen Drucks und Pulses (es wurde gezeigt, dass nach einem Gespräch mit dem Mobiltelefon der arterielle Druck sich um 5 bis 10 Torr vergrößern kann)

Auf jeden Fall sind die gefährlichsten Folgen der Mikrowellenbestrahlung von Funktelefonen Gehirntumore (in der Regel auf der Seite der vorwiegenden Lage beim Gespräch). Das Risiko neuroepithelialer Gehirntumore erhöht sich auf das Doppelte. Bei Personen, die die Mobiltelefone länger als 6 Jahren benutzten erhöhte sich die Entstehungshäufigkeit eines anderen Tumors - des Schwannoms, um 50%.

Von der potentiellen Gefahr der Mobiltelefone spricht auch die ständige Tendenz zur Senkung des Grenzwertes des SAR. Wie oben gezeigt, bis vor Kurzem durfte dieser Anzeigewert nicht größer als **2 W/kg** sein. Gemäß Forschungen schwedischer Spezialisten, realisiert im Standard TCO-01, wurde

der SAR-Wert auf 0,8 W/kg gesenkt.

### 3.6.3. SAR-Berechnungen



**SAR (Specific Absorption Rate)** - ist eine Größe der bedingt absorbierten Energie des elektromagnetischen Felds (EMF) im menschlichen Gewebe. Warum bedingt? Weil ihre Berechnung auf eine bestimmte Gewebemasse, meistens auf Kilogramm erfolgt. Warum absorbierte Energie? Die Sache ist die, dass elektromagnetische Energie, die, zum Beispiel, von einem Mobiltelefon ausgestrahlt wird, eine Verstärkung von Schwing-, Rotationsbewegungen der Moleküle hervorruft, was sich in der Temperaturerhöhung des Gewebes (s. Animation links) ausdrückt. SAR-Größe hat die Einheit W/kg. Ich denke, dass es klar ist! Watt ist die EMF-Leistung, die durch 1 kg von Gewebe absorbiert wurde.

In der Anleitung zum Telefon werden konkrete SAR-Werte zu dem bestimmten Gerätmodell angegeben. So steht zum Beispiel in der

Anleitung zur Motorola RAZR2 V8: "Der größte SAR-Wert für dieses bestimmte Telefonmodell bei seiner Testung in Arbeit in der Lage neben dem Ohr beträgt 0,2 W/kg".

Wie wurde diese Größe erhalten und ist dieser Wert, 0,2 W/kg groß? Lasst uns darüber klarwerden. Auf dem Bild 34 sind Vergleichsergebnisse von zwei Mobiltelefonen dargestellt: links Motorola RAZR2 V8 und rechts Nokia 8600 Luna. Mit der grünen Linie wird der normierte SAR-Wert (0,8 W/kg) gezeigt. Die rote Linie zeigt die SAR-Verteilung in der grauen, die violette in der weißen Substanz des Gehirns. Obwohl die Stromdichte beider Telefone nicht die hygienischen Normative überschreitet, übersteigt der SAR-Wert von Motorola RAZR2 V8 im Gehirn die vorgegebene Norm. Im Gegenteil, Nokia 8600 Luna zeichnet sich durch ziemlich niedrigen SAR-Werte für alle Organe aus.

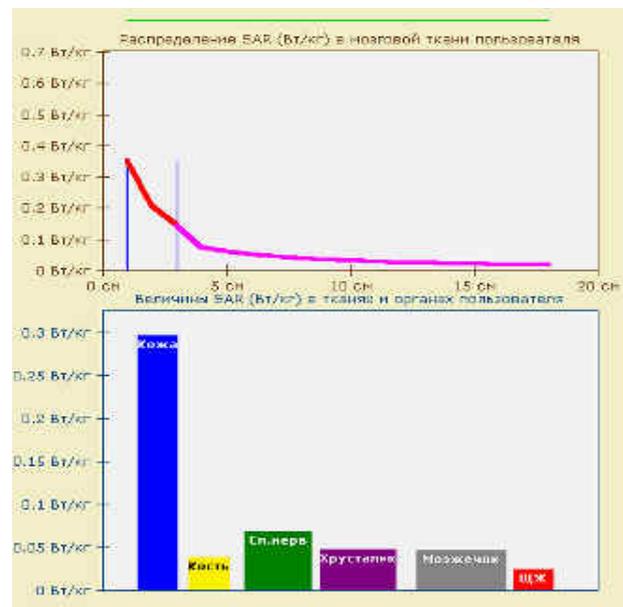
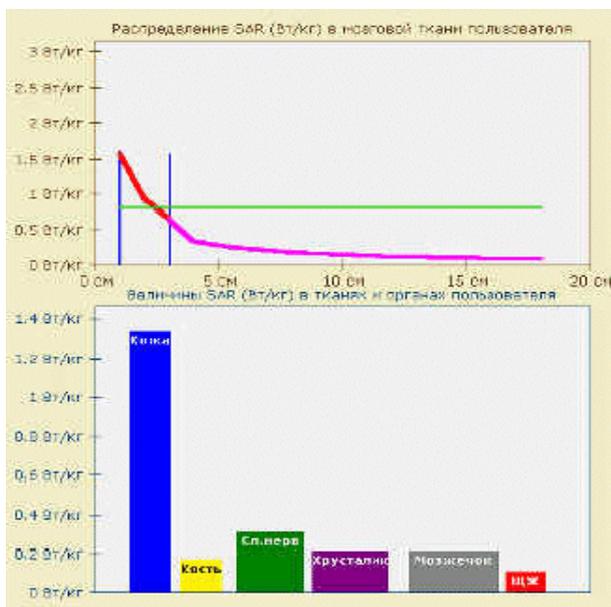


Bild 34. Diagramme der Strahlungseinwirkung des Mobiltelefons auf einzelne menschliche Systeme und Organe

In der Gegenwart ist das einzige Kriterium, das von der hygienischen Praxis in Europa vorgeschlagen wurde und welches erlaubt, die Gefahrlosigkeit des Mobiltelefons zu bestimmen, die Messung der Stromdichte (SD) des EMF. Jedoch, unsere Erfahrung zeigt es, nicht ganz richtig. Sogar bei selben SD-Werten können Telefone eine unterschiedliche SAR formen. Das wird von vielen Gründen bedingt. Zum Beispiel, ihrer konstruktiven Fähigkeiten. So verfügen Handys ohne Außenantenne über eine etwas größere Ausrichtung. Das wird übrigens durch das

Netzverschwinden in einigen Orten mit niedrigem Signalniveau festgestellt. Solche Telefone werden sogar bei gleicher SD in den menschlichen Geweben große SAR-Werte bilden. Das Mobiltelefon ist ein platzsparender Empfangssender. In Abhängigkeit vom Telefonstandard wird das Senden im Frequenzbereich 453 - 1800 MHz geführt. Die Strahlungsleistung ist eine variable Größe, die in bedeutendem Grad von dem Zustand des Verbindungskanals "Mobilfunktelefon - Basisstation" abhängt, d.h. je höher das Signalniveau der Basisstation am Ort des Empfangs ist, desto kleiner die Strahlungsleistung des Mobiltelefons. Die maximale Leistung befindet sich in Grenzen 0,125 - 1 W. Mit der größten austretenden Leistung werden Telefone des Standards NMT-450 (nominale Leistung bei ca. 1 W), mit einer kleineren - GSM-900 (0,25 W) und mit der kleinsten die des Standards GSM-1800 (0,125 W) charakterisiert. Unten werden Angaben über einige verbreiteteste Gerättypen des Mobilfunks angeführt.

TABELLE 22

Modell	SAR (W/kg)
Ericsson LX-588	1,51
Nokia 3110	1,24
Nokia 6210	1,19
Siemens C-35	1,19
Nokia 3210	1,14
Motorola Timeport P7389	1,05
Motorola Timeport 9250 GSM 1900	1,00
Motorola Timeport I7089	1,00
Nokia 6110	0,91
Motorola d160	0,88
Nokia 8110i	0,87
Ericsson GA-768 GS;	0,81
Nokia 8210	0,73
Nokia 6150	0,73
Nokia 8890	0,69
Sony CMDX-1000	0,53
Ericsson GH628	0,41
Nokia 8810	0,35
Nokia 8850	0,26
Motorola 130 Startac	0,22
Motorola StarTac70	0,22
Motorola v3688	0,10

Gemäß den in Europa existierenden zeitlich zulässigen Niveaus der elektromagnetischen Strahlungen darf die Stromdichte (SD) bei Benutzern des Mobiltelefons nicht **100 uW/cm<sup>2</sup>** überschreiten. Es ist notwendig zu erwähnen, dass in natürlichen Bedingungen der Wert der Stromdichte der hochfrequenter Strahlung wenig verschwindet und nur  $10^{-15}$  uW/cm<sup>2</sup> beträgt.

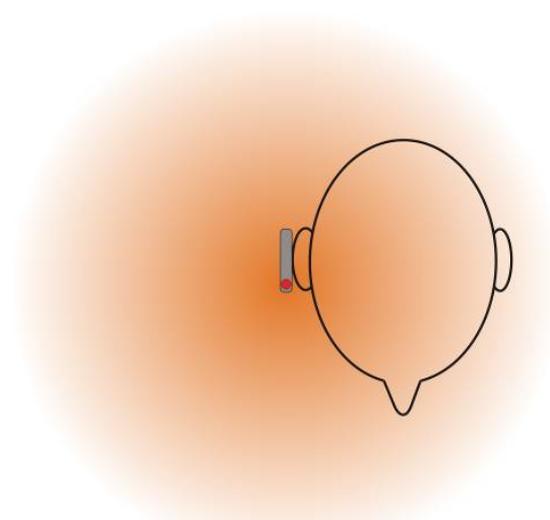


Bild 35. Diagramm der Strahlungsausrichtung des Mobiltelefons ohne Schutzgeräte

### 3.6.4. Schutz vor EM-Strahlungen des Mobiltelefons

Auf welche Art und Weise soll man sich vor dem schädlichen Einfluss der Strahlungen des Mobiltelefons schützen?

Ein Ausweg wurde gefunden. Jedoch nicht von den staatlichen Landesbehörden - WHO-Mitgliedern, die nicht weiter als Ausarbeitung entsprechender Empfehlungen gegangen sind, sondern im Endeffekt mit langjähriger Arbeit der Wissenschaftler-Enthusiasten aus einer Reihe von Industrieländern, denen es auf Grund von verschiedener nicht traditioneller Methoden und Ansätze an das Problem gelang, effektive Schutzeinrichtung (SE) des Menschen von schädlichen technogenen EMF. Das erlaubte in vielen Ländern die Produktion einer ganzen Serie solcher Einrichtungen zu produzieren. Gemäß dem Wirkungsprinzip konnte man alle produzierten Einrichtungen bedingt auf zwei Hauptklassen unterteilen: **Klasse der HARMONISATORE** und **Klasse der NEUTRALISATOREN**.

Einrichtungen der ersten Klasse stellen Generatoren elektromagnetischer Felder (EMF), dessen Charakter und Intensität dem natürlichen elektromagnetischen Hintergrund, der in der Regel in Gegenden mit hohem Niveau der technogenen Felder unterdrückt wird, entspricht, dar.

Eine bestimmte Umgebung um einen Generator im Betrieb herum wird durch die Anwesenheit eines wiederhergestellten natürlichen elektromagnetischen Hintergrundes charakterisiert, was eine angenehme ökologische Situation für den menschlichen Organismus, der sich in der Zone des Generatorbetriebs befindet, schafft, und *harmonisiert* die Arbeit aller Systeme seines Organismus und erhält in ihm das energetische Gleichgewicht.

Diese Einrichtungen sind in Form von Mobil- oder stationären Einrichtungen, die an das Tragen im Überzug angepasst sind, oder dementsprechend in Räumen aufbaubar sind, ausgeführt (Geräte FOSTAC Maximus der Firma FOSTAC Technologies AG, Schweiz.)

Es gibt auch andere Technologien der Erschaffung von Harmonisatoren, die ebenfalls Frequenzen des natürlichen Spektrums, jedoch ohne Anwendung von Versorgungsquellen, generieren.

Diese Harmonisatoren werden in Form von Anhängern, Abzeichen, anklebbarer Applikatoren und sind sowohl zur Anordnung auf der Oberfläche von Elektrogeräten, einschließlich Handys, als auch zum Tragen auf der Kleidung oder auf dem Körper vom Benutzer, bestimmt. Sehr kurz gesagt, das Wirkungsprinzip solcher Einrichtungen besteht darin, dass einige Stoffe, die sich auf einem Stadium der Strukturveränderungen, zum Beispiel, im Kristallisationsprozess befinden, über die Eigenschaft verfügen, bei bestimmten Bedingungen die auf sie einwirkenden physischen und Informationsfelder zu merken.

Auf der Basis solcher Kristallstoffe gelang es Wissenschaftlern Miniatur-Harmonisatoren in Form von Berlocken, Abzeichen, Anhängern. Die effektivsten in dieser Einrichtungsgruppen sind Produkte, die von der Firma FOSTAC AG, Schweiz, entwickelt und hergestellt werden.

Jedoch besetzen die dominante Lage auf dem SE-Markt Einrichtungen der zweiten Klasse, die den schädlichen Einfluss technogener EMF auf den menschlichen Organismus neutralisieren. Solche SE stellen "passive" Generatoren (die keine Stromversorgungsquellen haben) dar. Sie werden "Generatoren des Formfeldes", oder "Form-" Generatoren genannt, da in der Basis ihrer Wirkung die sogenannte "Wirkung der Form" liegt, der der Menschheit seit langer Zeit bekannt ist. Kurz gesagt, besteht sein Wesentliches darin, dass alle materiellen Körper der belebten und unbelebten Natur über die Eigenschaft der Ausstrahlung von hintergründigen Energieinformationsfelder mit einer sehr schwachen Intensität verfügen. Die Mehrheit der Neutralisatoren wird in Form einer Plastikunterlage, auf der mit Hilfe der Methode hoher Technologien speziell berechnete geometrische Figuren aus Edelmetallen und Metallen der Seltenen Erden schichtenartig aufgetragen werden, ausgeführt. So ein "Schichtkuchen" gewährleistet nicht nur einen effektiven Schutz vom Einwirken schädlicher Felder, sondern stimuliert gleichzeitig auch die ganze Bioenergetik des Organismus. In ihrer Form sind solche Schutzeinrichtungen platt, in Form von sowohl kleiner Karten, Abzeichen und Anhängern als auch in Form von anlebbaren CD's und Aufklebern. In Abhängigkeit von der konstruktiven Ausführung werden SE entweder auf der Kleidung oder am Körper des Benutzers (Karten, Abzeichen, Anhänger) situiert, oder auf das Handy geklebt (CD's, Aufkleber) auf die Art und Weise, dass die SE beim Gespräch einen unmittelbaren Kontakt mit der Hand des Benutzers hat. Es gibt Neutralisatoren auch anderer Konstruktionen. So ist die von Wissenschaftlern der Firma **FOSTAC AG (Schweiz)** entwickelte Einrichtung von schädlicher EMS von Mobiltelefonen in Form eines Netzes aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff des mikroskopischen Flechtwerkes ausgeführt. Das erlaubt die Formierung sog. "Diffraktionsschleife" für die Strahlung des Mobiltelefons, welche den Ohrgehörgang und das Gehirn des Menschen von dem Eindringen schädlicher elektromagnetischer Strahlungen schützt.



*Bild 36. Einrichtung FOSTAC Chip der Firma FOSTAC AG, Schweiz*

**Prinzip des Aufbaus und der Wirkung dieser Einrichtungen ist ausführlich im nächsten Kapitel beschrieben.**

Man sollte extra den Umstand anmerken, dass einer der bedeutendsten Ergebnisse der letzten Untersuchungen die Schlussfolgerung darüber ist, dass ein zuverlässiger Indikator des Zusammenwirkens der Formfelder mit dem Zustand des biologischen Objekt selbst, d.h. der menschliche Organismus ist.

In dieser Hinsicht wurde festgestellt, dass zugängliche Methoden der Bewertung des Einflussgrades von technogenen elektromagnetischen Felder auf den Menschen und gleichzeitig der Effektivität von Schutzeinrichtungen SE, neue Geräte und Methoden der medizinischen Diagnostik, wie zum Beispiel "Complex medical expert" der Herstellung der Firma CME Swiss AG, Schweiz, sind. Natürlich ist es möglich, mit Hilfe von klassischen Labormethoden und der einzigartigen Messapparatur solche Untersuchungen sogar auf einem höheren Niveau durchzuführen, aber sie sind ziemlich langwierig und kostbar, was ihre Anwendung auf bloß spezialisierte Wissenschaft-Forschungsinstituten bei der Durchführung dieser oder jener Forschungsarbeiten begrenzt. Diese Methoden erlaubten es, den Grad des Einflusses schädlicher Felder auf den funktionellen Zustand der menschlichen Organe und Systeme ohne und mit SE-Benutzung exakt zu bestimmen. Mit diesem Ziel werden bestimmte direkte und indirekte Parameter, welche entweder den

funktionellen Zustand der Hauptssysteme des Organismus, oder die integralen (verallgemeinerten) Merkmale, die seinen Gesamtzustand charakterisieren, gemessen.

Oben (s. Abschnitt 3.5.2 und Bild 31, 35) haben wir bereits die Verteilung der Einwirkung elektromagnetischer Strahlung im breiten Bereich auf den menschlichen Organismus im Ganzen und das Verteilungsdiagramm der Einwirkung elektromagnetischer Strahlung der Mobiltelefone auf das Gehirn gezeigt.

Als Ergebnis von den durchgeführten Arbeiten im Dallaschen Zentrum für ökologische Medizin (USA), dem Onkologischen Klinikum der H. Aldzhbeta (Bratislava, Slowakei), medizinischer Universitäten in Bratislava, Martin, Košice (Slowakei), medizinischen und technischen Universitäten in Prag (Tschechien), den Kliniken in Hannover und Regensburg (Deutschland) nicht nur der Einfluss von EM-Feldern auf den menschlichen Organismus untersucht wurde, sondern es wurden auch Untersuchungen der Schutzgrades mit der Anwendung von Produkten der Firma FOSTAC AG (Schweiz) durchgeführt.

Die Kontrolle des Schutzgrades vom Einfluss von Mobiltelefonen wurde mit der Verwendung von der Einrichtung FOSTAC Chip aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff durchgeführt. Untersuchungen wurden sowohl für die einzelne Einrichtung FOSTAC Chip, als auch mit Benutzung von zwei Einrichtungen gleichzeitig, welche im 90°-Winkel im Verhältnis zur Mittelachse gedreht sind, durchgeführt.

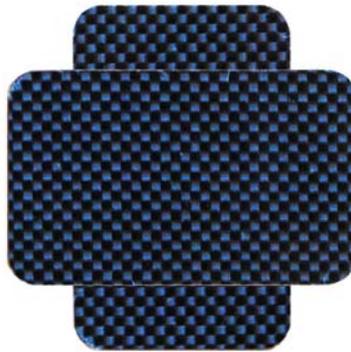
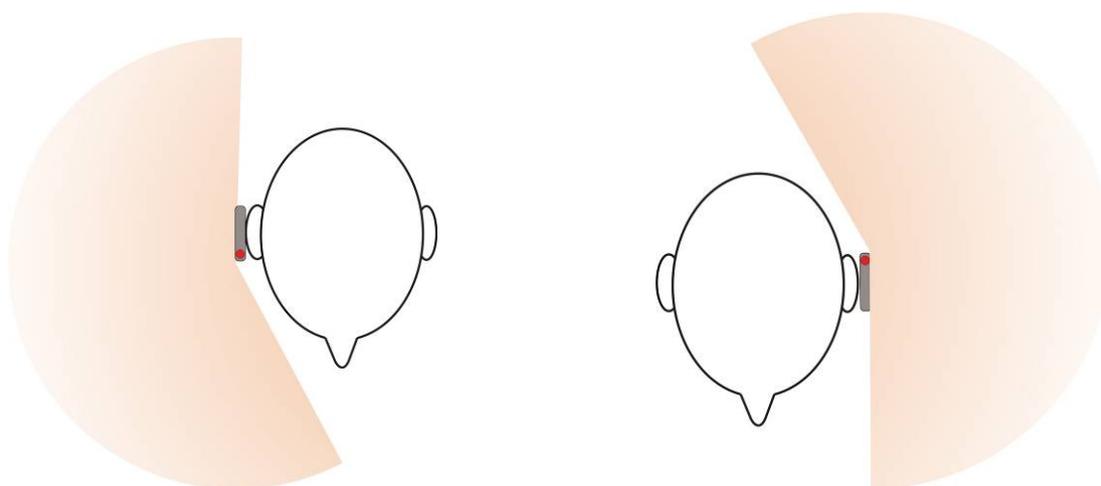


Bild 36. Doppeleinrichtung FOSTAC Chip der FOSTAC AG AG, Schweiz

Eine ähnliche Verwendung dieser Einrichtungen wird im Prinzip ihrer Wirkung bedingt (s. Kapitel 4).

Auf der Einrichtungsebene, die zum schützenden Objekt gewendet ist, entsteht ein polarisiertes elektromagnetisches Feld. Zur Senkung der Aktivität elektromagnetischer Strahlung, wurde das Prinzip der "Minimierung" bei Summierung von zwei gleichgerichteter, perpendikulär in der Polarisationssebene zueinander stehender, zuvor polarisierter Strahlungen, angewendet.

Die Ergebnisdiagramme der Verteilung und Ausrichtung der EMS vom Mobiltelefon mit Verwendung des doppelten FOSTAC AG-Chips werden im Bild 38 gezeigt.



a) b)  
 Bild 38. Diagramme der Verteilung und Ausrichtung der Strahlung vom Mobiltelefon mit FOSTAC Chip für das rechte (a) und das linke (b) Ohr des Benutzers

Untersuchungsergebnisse werden in den im Bild 39 gezeigten Graphen verallgemeinert.

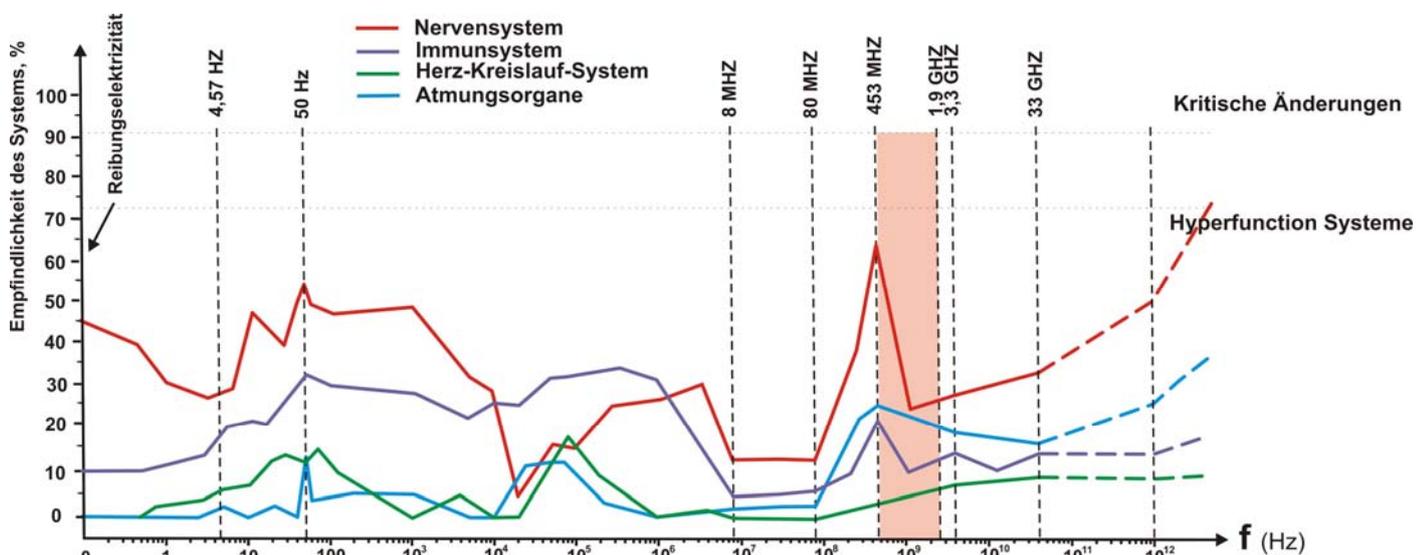


Bild 39. Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Menschen auf verschiedene Systeme von Frequenz und Intensität der äußeren elektromagnetischen Strahlung mit Verwendung der Schutzeinrichtung FOSTAC Chip der FOSTAC AG.

Beim Vergleich der Graphen der Einwirkung vom elektrischen Feld auf den menschlichen Organismus ohne Verwendung des Schutzes vom Typus FOSTAC Chip (Bild 31) und mit Verwendung der Schutzeinrichtungen (Bild 39) sehen wir eine grundlegende Veränderung der Organismusempfindlichkeit auf diesen Einfluss beim Benutzen des Schutzes. Diese Empfindlichkeitsveränderung bezieht sich nicht nur auf den Frequenzbereich der Arbeit von Mobiltelefonen, sondern auch auf das ganze Spektrum der elektromagnetischen Wellen. Bei der Annäherung in der EM-Skala an die Arbeitsfrequenz von Mobiltelefonen können wir in beiden Fällen eine Verstärkung des menschlichen Empfindens sehen. Aber im Gegenteil vom Untersuchungsfall ohne Schutz, erhöht sich die Empfindlichkeit bei Verwendung von Schutzeinrichtungen auf einen kleineren Grad, und erreicht (für das Nervensystem) nicht das Hyperfunktionsniveau. Auf diese Art und Weise, können wir bei Benutzung von Schutzeinrichtungen des Typus FOSTAC Chip folgende Reaktionen des Organismus ausschließen:

- Kopfschmerzen;

- Störung des Gedächtnisses und der Aufmerksamkeitskonzentration;
- Nicht vorübergehende Müdigkeit
- Depressive Krankheiten;
- (schneidende) Schmerzen in Augen, Trockenheit ihrer Schleimhaut;
- progressive Sehverschlechterung;

Diese Ausnahmen sind wegen dem grundlegenden Sinken des Einflusses von elektromagnetischen Wellen auf das Nervensystem möglich.

Außerdem erlaubt das Sinken des allgemeinen Einflussniveaus elektromagnetischer Strahlungen auf den menschlichen Organismus den Immunstatus der Organismus zu erhöhen, die pathogene Belastung auf die endokrine und Herz-Gefäß-Systeme zu verringern, den Status des Potenzsystems zu erhöhen und dementsprechend die hormonelle Balance im Organismus des Menschen zu korrigieren. Diese Schlussfolgerungen wurden auf Basis von medizinischen Untersuchungen, welche im Onkologischen Klinikum der H. Aldzhbeta (Bratislava, Slowakei), medizinischen Universitäten in Bratislava, Martin (Slowakei), medizinischen Universität in Prag (Tschechien) mit Anwendung der Apparatur "Complex medical expert" der Firmaherstellung CME Swiss AG, Schweiz durchgeführt wurden.

Auf der Basis der statischen Analyse der Empfindlichkeitsveränderung des menschlichen Organismus auf Anwendung von Schutzeinrichtungen des Typus FOSTAC Chip der Firma FOSTAC AG kann man sagen, dass der gewichtete Durchschnitt des Berechnungskoeffizienten der Verringerung der Organismusempfindlichkeit auf den Einfluss elektromagnetischer Wellen (und dementsprechend der "Verbesserung"-Koeffizient des ganzen Gesundheitszustands des Menschen, der den FOSTAC Chip verwendet) nicht weniger als 32% von dem primären Zustand (ohne Anwendung von Schutzeinrichtungen) beträgt. Den gewichteten Durchschnitt des Koeffizienten der Organismusempfindlichkeitsenkung auf den Einfluss elektromagnetischer Wellen kann man mit Verwendung der Fourier-Einteilung für mittelquadratische Abweichungen der Absolutwerte der Charakterisierung von Empfindlichkeit der Organe und der menschlichen Systeme auf diese EM-Einflüsse:

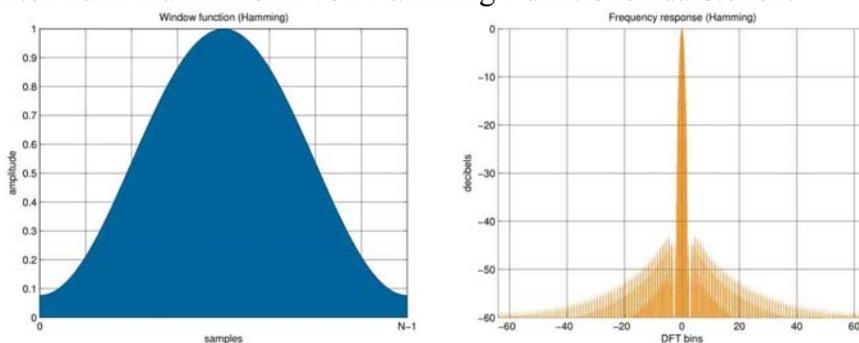
$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{N-1} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$

oder

$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-ix\omega} dx.$$

wenn  $a_0$  - das Anfangsniveau der Empfindlichkeit von Organsystemen, und darauffolgende Koeffizienten die mittelquadratische Abweichungen der Empfindlichkeit in verschiedenen nicht harmonischen Frequenzbereichen darstellen.

Diese Koeffizienten kann man in Form von Hamming-Funktionen darstellen:



## **Kapitel 4. Theorie, Prinzipien des Aufbaus und der Wirkung von Einrichtungen des Typus FOSTAC Chip**

Die Wirkung von Einrichtungen des Typus FOSTAC Chip der FOSTAC AG AG basiert auf den Welleneigenschaften elektromagnetischer Strahlungen. Bei Berechnungen der Zusammenwirkungen zwischen elektromagnetischen Strahlungen und speziellem Material, aus welchem FOSTAC Chip angefertigt ist, wurden Erscheinungen der Interferenz und der Diffraktion verwendet. Beim Durchgehen der EMS durch die ersten Schicht des Materials und die Reflexion innerhalb des FOSTAC Chips, wird das elektromagnetische Feld polarisiert. Beim Durchgehen durch darauffolgende Schichten des Materials verändert sich das elektromagnetische Feld im Zusammenhang mit den Interferenz- und Diffraktionsgesetzen. Bei Austreten stellt das Material der Einrichtung FOSTAC Chip ein Diffraktionsgitter dar.

### **4.1. Theoretische Grundlagen der Interferenz, Diffraktion und der Polarisation des elektromagnetischen Feldes**

Bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen sind Diffraktions-, Interferenz-, Polarisations- und Reflexionserscheinungen möglich.

Die Diffraktion (Ablenkung der Wellen an einem Hindernis) hat einen Platz dann, wenn die Wellenlänge mit den Maßen des sich auf dem Weg befindenden Hindernisses vergleichbar (oder größer) ist. Wenn das Hindernis im Vergleich zur Länge der akustischen Welle groß ist, gibt es keine Diffraktion.

In den Einrichtungen FOSTAC Chip ist die Dicke der Fäden, welche das Material FOSTAC Chip bilden, viel kleiner als das Grundspektrum der Frequenzen, welche diese Einrichtung modifizieren. Deshalb sind für die Beschreibung der FOSTAC Chip-Wirkung die Gesetze der Diffraktion, Interferenz, Polarisation und Reflexion anwendbar.

Bei gleichzeitiger Bewegung einiger elektromagnetischen Wellen im Gewebe in einem bestimmten Umgebungspunkt kann eine Superposition dieser Wellen stattfinden. Eine solche Überlagerung der Wellen übereinander trägt die Gesamtbezeichnung Interferenz.

Falls in einem Prozess des Durchdringens eines Objektes elektrische Wellen sich überkreuzen, so wird in einem bestimmten Punkt des Mediums eine Verstärkung oder Schwächung der Wellen beobachtet. Das Interferenzergebnis wird vom räumlichen Verhältnis der elektromagnetischen Schwingungsphasen in diesem Umgebungspunkt abhängen. Falls elektromagnetische Wellen ein bestimmtes Mediumgebiet in gleichen Phasen (phasengleich) erreichen, so haben die Teilchenverschiebungen gleiche Vorzeichen und die Interferenz bedingt in diesen Bedingungen die Vergrößerung der Amplitude der elektromagnetischen Schwingungen. Und falls elektromagnetische Wellen zu einem bestimmten Gebiet in der Antiphase gelangen, so wird die Teilchenverschiebung von verschiedenen Vorzeichen begleitet, was zu einer Verkleinerung der Amplitude elektromagnetischer Schwingungen führt.

Die Interferenz spielt eine große Rolle bei der Bewertung von Erscheinungen, die in Geweben um die Quelle der elektromagnetischen Wellen herum entstehen. Einen besonders großen Wert hat die Interferenz bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in entgegengesetzte Richtungen nach ihrer Reflexion vom Hindernis.

#### **4.1.1. Wechselwirkung elektromagnetischer Wellen mit dem Stoff**

1 Laut der klassischen elektrischen Theorie kann man ein Stoff als ein System aus geladenen Teilchen betrachten. Im Fall von hochfrequenter Wellen können nur Elektronen erzwungene Schwingungen ausführen. Massivere geladene Teilchen (Atom-, Ionenkerne) führen erzwungene Schwingungen unter dem Einfluss von niedrigfrequenten Wellen (Infrarotstrahlung) aus.

2 In einem isotropen Medium ist die Kraft, welche auf Ladung  $q$  von der Seite des

elektromagnetischen Feldes der Welle wirkt, gleich

$$F = qE + q [v1/\wedge[nE]],$$

wenn  $v1$  - Geschwindigkeit der Ladung  $q$ ;  $v$  - Phasengeschwindigkeit der Welle,  $n$  - Einheitsvektor, der in die Richtung der Wellenausbreitung geführt wird. Da  $v1 \leq v$ , so stellt der zweite Summand die Lorentzkraft dar. Er ist im Vergleich mit dem ersten klein und man kann auf ihn verzichten.

Die größte Einwirkung auf Elektronen erzeugen Lichtwellen, dessen Frequenzen nah an den Schwingungsfrequenzen der Elektronen in Atomen oder Molekülen sind.

3 Im Prozess der erzeugten Schwingungen geladener Teilchen in Stoffmolekülen verändern sich (mit der Frequenz  $\nu$  des fallenden Lichts) elektrische Dipolmomente der Moleküle. Dabei strahlen Moleküle sekundäre elektromagnetische Wellen mit derselben Frequenz  $\nu$  aus.

4 In einem einheitlichen und isotropen Medium hat die Interferenz der primären und Sekundärwelle einen Platz.

Im Fall des Auftreffens einer elektromagnetischen Welle auf die Grenze von zwei einheitlichen und isotropen Medien als Ergebnis der Interferenz der primären und Sekundärwelle entsteht eine reflektierte Welle, die sich im gleichen Medium, aus welchem die primäre Welle stammte, ausbreitet und eine gebrochene Welle, die sich im zweiten Medium ausbreitet.

5 Elektrische und magnetische Eigenschaften eines Stoffes, die sein Verhalten beim Einfluss einer Lichtwelle bestimmen, werden durch die relative dielektrische Permeabilität  $\epsilon$ , der bedingten Leitfähigkeit  $\gamma$  und der relativen magnetischen Permeabilität  $\mu$  charakterisiert. Für alle Stoffe im Bereich der Radiofrequenzen elektromagnetischer Wellen kann man sagen, dass  $\mu = 1$  ist, und die Phasengeschwindigkeit dieser Wellen

$$v = c / \sqrt{\epsilon}$$

Beim Auftreffen einer elektromagnetischen Welle (EW) auf eine flache Grenze von zwei Dielektriken mit verschiedenen Werten der relativen dielektrischen Permeabilität  $\epsilon$  wird die Welle teilweise gespiegelt und teilweise gebrochen.

Das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit  $c$  im Vakuum zu der Phasengeschwindigkeit  $v$  des Lichts im Medium:

$$n = c / v = \sqrt{\epsilon \mu} \approx \sqrt{\epsilon}$$

wird als die absolute Brechzahl in diesem Medium bezeichnet. Für ein beliebiges Medium, außer Vakuum, hängt die Größe  $n$  von der Strahlungsfrequenz und dem Zustand ihres Mediums (ihrer Temperatur, Dichte usw.) ab. Für entladene Medien (zum Beispiel, Gase bei Normalbedingungen) gilt  $n \approx 1$ . In anisotropen Medien hängt der absolute Kennwert der Brechung ebenfalls von der Richtung der EW-Ausbreitung und des Charakters ihrer Polarisierung ab. Für die Charakteristik von absorbierenden Medien wird der komplexe Kennwert der Brechung eingeführt.

Eine relative Brechzahl  $n_{21}$  des zweiten Mediums entsprechend des ersten wird als Verhältnis der Phasengeschwindigkeit der EW-Ausbreitung  $v_1$  und  $v_2$  entsprechend im ersten und zweiten Medium bezeichnet:

$$n_{21} = v_1 / v_2 = n_2 / n_1$$

wo  $n_1$  und  $n_2$  - absolute Brechzahlen des ersten und zweiten Mediums. Wenn  $n_{21} > 1$ , dann wird das zweite Medium als energetisch dichter, als das erste Medium bezeichnet. Die unten angeführte Formeln gelten nur bei monochromatischen Wellen, dessen Längen  $\lambda$  um viele Male größer sind als intrazelluläre Abstände im Medium.

#### 4.1.2. Reflexion und Brechung elektromagnetischer Wellen von Dielektriken

Bei dem Einfallen einer elektromagnetischer Welle auf eine ideal flache Grenze von zwei Dielektriken, deren Maße bedeutend die Wellenlänge übersteigen, ist der Winkel zwischen der Ausbreitungsrichtung der reflektierten Welle und der Normalen zur Grenze  $i_1$  (Reflexionswinkel)

gleich der Betragsfunktion des entsprechenden Winkels für die fallende Welle  $i$  (Reflexionsgesetz). So eine Reflexion heißt Spiegelung. Der Winkel zwischen der Ausbreitungsrichtung der gebrochenen Welle und der Normalen zur Grenze (Reflexionswinkel  $r$ ) ist mit dem Einfallswinkel  $i$  mit dem Snellius-gesetz (Reflexionsgesetz) verbunden:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

$n_{21}$  - ist die relative Brechzahl des Mediums, in dem die reflektierte elektromagnetische Welle sich relativ zum Medium, in welchem die einfallende EW sich ausbreitet, ausbreitet.

Wenn EW aus einem energetisch dichteren Medium 1 auf die Grenze mit dem energetisch weniger dichten Medium 2 ( $n_{21} < 1$ ) einfällt, so ist in den Einfallswinkeln  $i \geq i_{br}$ , wenn  $\sin i_{br} = n_{21}$  keine gebrochene Welle vorhanden und EW wird vollständig von dem energetisch weniger dichten Medium reflektiert. Diese Erscheinung wird als Totalreflexion bezeichnet. Der Winkel  $i_{br}$  wird als der Grenzwinkel (kritischer Winkel der Totalreflexion) bezeichnet.

Die Größe  $R$ , die dem Verhältnis der Intensitäten von reflektierter und einfallender Welle entspricht, wird als Reflexionskoeffizient bezeichnet. Die Größe  $T$ , die dem Verhältnis der Intensitäten von gebrochener und einfallender Wellen entspricht, wird als Transmissionskoeffizient bezeichnet. Für Reflexion und Brechung von EW auf der Grenze von zwei durchsichtigen Medien (die EW nicht absorbieren) gilt

$$R + T = 1$$

Im Fall der Totalreflexion  $R=1$  und  $T=0$ .

Beim Einfallen mit dem Winkel  $i$  auf die flache Grenze zwischen 2 Medien von einer flachen unpolarisierten elektromagnetischen Welle beträgt der Reflexionskoeffizient:

$$R = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)} + \frac{\operatorname{tg}^2(i-r)}{\operatorname{tg}^2(i+r)} \right],$$

wenn  $r$  - Reflexionswinkel. Im Fall  $i = r = 0$  (Normaleinfall der EW)

$$R = \left( \frac{n_{21} - 1}{n_{21} + 1} \right)^2,$$

wenn  $n_{21}$  - relative Brechzahl.

Als eine diffuse (gestreute) EW-Reflexion wird die EW-Reflexion in allen möglichen Richtungen bezeichnet. Es wird, zum Beispiel, bei der EW-Reflexion von einer monomeren Oberfläche der Grenze von zwei Medien beobachtet.

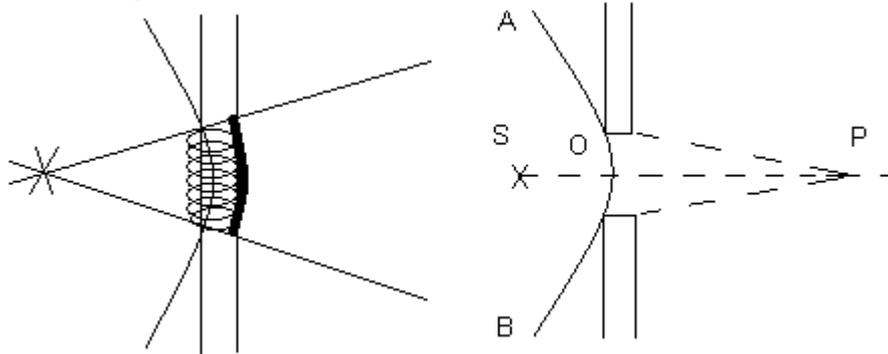
### 4.1.3. Das Huygens-fresnelsches Prinzip

Als EW-Diffraktion wird die Gesamtheit von Erscheinungen, die bei ihrer Ausbreitung im Medium mit stark ausgeprägter Unhomogenität (zum Beispiel, beim Durchgehen durch Öffnungen in elektrisch undurchsichtigen Schirmen, in der Nähe von Grenzen ähnlicher Körper usw.) beobachtet werden, bezeichnet. Im engeren Sinne wird unter Diffraktion die Ablenkung der elektromagnetischen Wellen an kleinen Hindernissen, d.h. Abweichungen von Gesetzen der geometrischen EW-Ausbreitung und folglich Eindringen dieser Wellen in die Gegend des geometrischen Schattens.

Die EW-Diffraktion wurde von Fresnel als das Ergebnis der Interferenz von Sekundärwellen gemäß dem Huygens-fresnelschen Prinzip. [Das Huygens-fresnelsche Prinzip ist eine Annäherungsmethode zur Lösung der Probleme über Wellenausbreitung, vor allem von Lichtwellen]. Laut dem Huygens-fresnelschen Prinzip ist jedes Oberflächenelement, welches in einem bestimmten Moment von der

Welle erreicht wurde das Zentrum elementarer Wellen, Ablenkung welcher im nächsten Zeitmoment die Wellenoberfläche sein wird. Bild 40. a.

Frontlage der sich ausbreitenden Welle kann im beliebigen Zeitmoment als eine Einhüllende aller sekundären (elementaren) Wellen, Bild 40 b., vorgestellt werden. Quellen der Sekundärwellen sind Punkte, zu denen die Front der primären Welle im vorhergehenden Zeitmoment gekommen ist. Dabei wird angenommen, dass sekundäre Wellen nur "nach vorne" ausgestrahlt werden, d.h. in Richtungen, welche mit der Richtung der äußeren Normale zur Front der primären Welle spitze Winkel bilden. Das Huygenssche Prinzip ermöglicht es, Gesetze der Reflexion und der Lichtbrechung zu erklären, jedoch ist er für eine Erklärung des Diffraktionsbildes der EW-Ausbreitung nicht ausreichend.



a)  
Bild 40

b)

Die zu den elementaren Wellen Entgegengerichtete werden nicht in Betracht gezogen. Fresnel ergänzte das Huygenssche Prinzip (1678) im Jahr 1815: er führte die Vorstellung der Kohärenz elementarer Wellen und der Welleninterferenz ein.

Kohärenz (sich in Verbindung befindend): ein koordinierter Fluss einiger Schwingungswellenprozesse, die bei ihrer Komplizierung erscheinen, in der Zeit und im Raum (Bild 41).

Kohärente Schwingungen: Phasendifferenz ist konstant und verändert sich gesetzmäßig in der Zeit und bestimmt bei Addition die resultierende Amplitude.

Harmonische Schwingungen

$$P(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

A - Amplitude

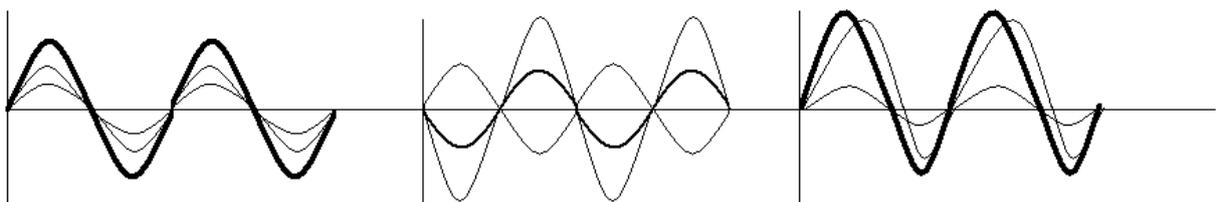
w - Frequenz

$\varphi$  - Phase

Konstanten

Addition von zwei harmonischen Schwingungen

$$A_r = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$$



$$\varphi_1 - \varphi_2 = 0$$

a)

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \pi$$

b)

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\pi}{2}$$

c)

Bild 41

Bei einem großen Zeitabschnitt  $\tau$  kann die zufällige Phasenveränderung  $\pi$  überschreiten - die Schwingung wurde unkonkret. Dies wird mit der Korrelationsfunktion bewertet. In diesem Fall

$$A_p = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 R(t) \cos(\omega t)}$$

$\omega$  - mittlere Schwingungsfrequenz.

$R(t) = 1$  bei  $t=0$  und  $R(t)=0$  bei  $t=\infty$

$R(t) = 0,5$ ,  $t$  wird in diesem Fall als Kohärenzdauer oder Dauer des harmonischen Zuges.

In reellen Wellenvorgängen verändert sich die Amplitude und die Schwingungsphase nicht nur längs der Ausbreitungsrichtung der Wellen, sondern auch in der Ebene, welche perpendicular zu dieser Richtung ist.

Die Kohärenz wird verschwinden, wenn in den Punkten, die um  $l$  hinter der Anfangsdifferenz sind, die Phasendifferenz  $\pi$  erreicht.

Zur Charakterisierung der Welle in einer Ebene, die perpendicular zu der Richtung ihrer Ausbreitung steht, wird der Begriff Kohärenzfläche und Raumkohärenz verwendet. In diesem Fall wird die Korrelationsfunktion  $R(l)$  eingeführt.

Ein erwärmter Körper strahlt eine Gesamtheit von sphärischen Wellen, mit der Entfernung von der Quelle nähert sich die Welle einer ebenen und der Kohärenzwert beträgt  $1,22 \lambda r/r_0$ .

$r$  - Abstand zur Quelle

$r_0$  - Quellengröße.

Für das Sonnenlicht beträgt der Kohärenzwert 30 mkm. Mit Verkleinerung der Winkel-Quellgröße wächst der Kohärenzwert.  $r/r_0$  - Kohärenzwinkel.

#### 4.1.4. Graphische Addition von Amplituden der Sekundärwellen

Eine Wellenamplitude im Beobachtungspunkt kann man auf Basis einer graphischen Methode von Vektordiagrammen mit Addition gleichgerichteter kohärenter Schwingungen, die in einem Punkt von allen Elementarquellen der Sekundärwellen erzeugt werden, berechnen. In den Grenzen jeder Fresnel-Zone verändert sich der Winkel  $\alpha$  zwischen der äußeren Normalen zur Front und der Ausrichtung zum Beobachtungspunkt, sowie der Abstand  $r$  bis zum Beobachtungspunkt äußerst unbedeutend. Deswegen hat ein Vektordiagramm, das einer Zone entspricht, ein Aussehen, welches einem Halbkreis ähnelt. Die resultierende Amplitude der Sekundärwellen von allen elementaren Zonebereichen ist gleich dem Durchmesser dieses Halbkreises.

Die resultierende Amplitude  $A_i$  der Sekundärwellen von  $i$ -Zone ist linear proportional zu der Fläche dieser Zone. Für in der Fläche gleichgroße Zonen (Bild 42) verkleinert sich die Amplitude  $A_i$  mit der Nummervergößerung der  $i$ -Zone dank dem Winkelwachstum  $\alpha$  und dem Abstand  $r: A_1 > A_2 > A_3 > \dots$ . In diesem Fall hat das Vektordiagramm für die Zonensysteme eine Form von einer sich langsam zusammendrehender Spirale (Bild 43).

Zur Berechnung der Lichtfraktion auf einer geradliniger Kante eines Flachbildschirms oder in einem geradliniger Spalte ist die Zonenmethode von Fresnel ungünstig, da diese Zonen teilweise durch den Bildschirm verdeckt werden. In diesen Fällen zerfällt die Front der einfallenden ebenen Welle auf unendlich enge Streifen, die parallel zur rechteckigen Kante des Bildschirms oder des Spaltes ist. Diffraktionsberechnung kann man graphisch mit Hilfe von der Cornu-Spirale (Bild 5), ihre Gleichung hat in parametrischer Form das Aussehen:

$$u = \int_0^v \cos \frac{\pi \xi^2}{2} d\xi \quad \omega = \int_0^v \sin \frac{\pi \xi^2}{2} d\xi, \quad \text{und wenn das Parameter} \quad v = \sqrt{\frac{2}{\lambda L}}(x - x_0)$$

Hier ist  $\lambda$  - Wellenlänge,  $L$  - Abstand von der Bildschirmebene bis zum Punkt T (es wird angenommen, dass die Welle auf den Bildschirm normal zu seiner Ebene einfällt),  $x_0$  - Koordinate des Beobachtungspunktes T,  $x$  - momentane Koordinate der Punkte der Wellenfront, und Achse  $Ox$  ist in der Bildschirmebene, perpendicular zu seiner Kante angelegt.

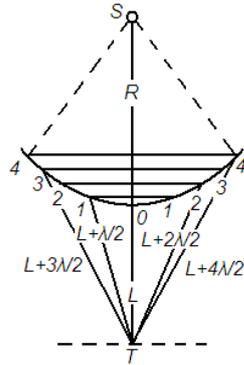


Bild 42

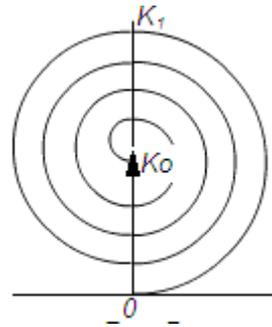
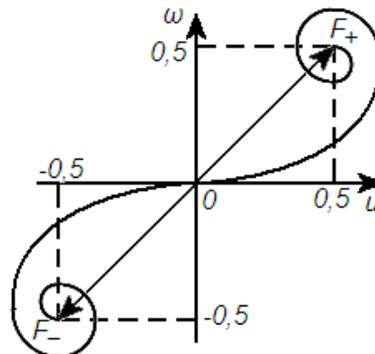


Bild 43

Cornu-Spirale besteht aus zwei Ästen, die zum Koordinatenursprung ( $v=0$ ) symmetrisch sind und bei  $v \rightarrow +\infty$  asymptotisch entsprechend auf das Pol  $F_+(0,5;0,5)$  und Pol  $F_-(-0,5;-0,5)$  aufgewickelt werden (Bild 44.)



#### 4.1.5. Fresnel-Diffraktion

Diffraktion der sphärischen elektromagnetischen Welle in einem uneinheitlichen Medium (Spalte im Bildschirm), dessen Größe  $b$  mit dem Durchmesser der ersten Fresnelzone (Diffraktion in sich überlagernden Strahlen,  $z$  - Abstand des Beobachtungspunktes vom Bildschirm) verglichen werden kann.

In einer Reihe von diffraktionellen Aufgaben, die über eine Achsensymmetrie verfügen, kann die Berechnung der Interferenz der Sekundärwellen mit Hilfe von einer übersichtlichen geometrischen Methode der Aufteilung der Wellenfront auf Ringabschnitte, die Fresnelzonen genannt werden, stark vereinfacht werden. Aufteilung auf Zonen wird so durchgeführt, dass der Gangunterschied der zusammenkommenden Grenzen (äußeren und inneren) von jedem Paar der benachbarten Zonen bis zum beobachteten Punkt T gleich  $\lambda/2$  ist. Sekundäre Wellen von zusammenkommenden Punkten von zwei benachbarten Zonen kommen in den Punkt T in gegenüberliegenden Phasen und schwächen einander gegenseitig bei Überlappung.

Auf dem Bild 42 wird der Aufbau von Fresnelzonen im Fall einer sphärischen Welle, die von der Quelle S erregt wird, gezeigt. Der Bereich 101 der Wellenoberfläche wird als primäre (zentrale) Fresnelzone bezeichnet, der Ringbereich 21 als sekundäre Zone usw. Da  $R$  und  $L \gg \lambda$ , so sind bei einem nicht sehr großen  $i$  die Flächen der primären  $i$  Fresnelzonen gleich ( $i - N^\circ$  der Fresnelzone):

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_i = \frac{\pi R L \lambda}{R + L}$$

Im Fall einer ebenen Wellenfront

$$\sigma_1 = \dots = \sigma_i = \pi L \lambda$$

#### 4.1.6. Fraunhofer-Diffraktion

Diffraktion einer praktisch ebenen elektromagnetischen Welle in einem uneinheitlichen Medium (Spalt im Bildschirm), dessen Größe  $b$  viel kleiner als der Durchmesser der ersten Fresnelzone (Diffraktion in parallelen Strahlen) ist. Besonderheiten der Fraunhofer-Diffraktionen auf verschiedenen Objekten werden in Bildern 45;46;47 gezeigt.

a)

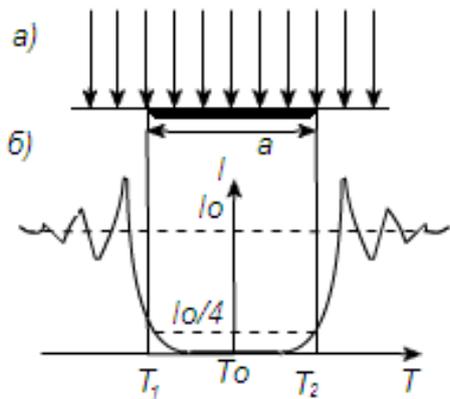


Bild 45. Intensitätsverteilung bei der Fraunhofer-Diffraktion auf einem langen rechteckigen Bildschirm

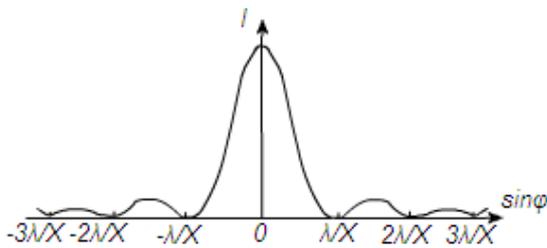


Bild 46. Intensitätsverteilung bei der Fraunhofer-Diffraktion auf einem langen engen Spalt

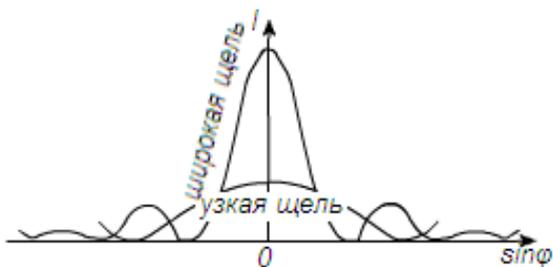


Bild 47. Intensitätsverteilung bei der Fraunhofer-Diffraktion auf einem engen langen und breiten Spalt

#### 4.1.7. Frequenz und Polarisation - Hauptmerkmale elektromagnetischer Wellen in einer Vorlaseroptik

Im Zusammenhang mit der Annahme am Anfang, dass Bedingungen der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Materialmedium der Einrichtungen des Typus FOSTAC Chip den Bedingungen der Entstehung von Wellen-Erscheinungen entsprechen, werden wir das

## **weitere Verhalten elektromagnetischer Wellen im Materialmedium der Einrichtungen des Typus FOSTAC Chip der FOSTAC AG in der Analogie mit der Ausbreitung von Lichtwellen betrachten.**

Eine Lichtwelle, die eine elektromagnetische Welle darstellt, wird durch Frequenz, Amplitude und Polarisation charakterisiert. Harmonische (und monochromatische) Welle, die sich längs der Achse Oz ausbreitet, wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$E(t,z) = eA \cos(\omega t - kz).$$

E - elektrischer Wellenvektor; e - Einheitsvektor, der die Polarisationsausrichtung (die Ausrichtung des elektrischen Vektors);

A - Amplitude (in V/cm),  $\omega$  - Frequenz (in Hz);

$$k = \frac{\omega}{c} n - \text{Wellenzahl; } c - \text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (} c = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s)}$$

n - Brechzahl des Mediums, in dem EW sich verbreitet.

Mit der Amplitude A ist die Leistungsdichte und die Wellenintensität verbunden

$$I = cnA^2 / 8\pi \quad (\text{erg cm} / \text{cm}^2);$$

volle Leistung

$$P = I\pi a^2 \quad (\text{erg cm});$$

a - Bündelradius

In die "Vorlaser"-epoche der Physik wussten die Forscher der Lichtabsorption vom Stoff, Lichtreflexion von Übergängen verschiedener Medien, Lichtstreuung usw., dass die Hauptfaktoren, die den Charakter dieser Vorgänge bestimmen, Frequenz und Polarisation der Lichtwelle sind. Wie die Durchsichtigkeit dieses Mediums ist, ist in einem ausreichendem Maß korrekt, es wurde noch nicht präzisiert, von welchem Bereich des optischen Spektrums die Rede ist: von sichtbarer, ultravioletter und infraroter Strahlung. Außerdem verlangt der komplizierte Charakter des Absorptionsspektrum des Mediums, einen genauen Frequenzwert anzugeben. Die Erforschung der Abhängigkeit der Lichtabsorption von der Frequenz  $\nu$  (oder der Wellenlänge  $\lambda = 2\pi/k = c/\nu n$ ) liegt in der Grundlage der optischen Absorptionsspektroskopie - des Bereiches, der eine selbstständige Wissenschaft wurde und der eine riesige Menge von Verwendung hat. Frequenzskala oder Wellenlängenskala war bis vor Kurzem die Hauptskala, mit Hilfe der Effekte der Wechselwirkung des Lichts mit dem Stoff klassifiziert wurde; in der Grundlage einer solchen Klassifizierung liegt eine unklare Annahme darüber, dass sich die Lichtfrequenz im Prozess der Wechselwirkung des Lichts mit dem Medium nicht wesentlich verändert.

Die Frage über den Koeffizientwert der Lichtreflexion am Übergang von zwei Medien ist ebenfalls nicht korrekt, wenn die Polarisationsausrichtung der einfallenden Welle nicht angegeben ist. Zum Beispiel, wird das bei einem Einfallswinkel, der dem Brewsterwinkel gleich ist, in der Einfallsebene polarisierte Licht überhaupt nicht reflektiert, unabhängig von dem Sprung der Brechzahl.

### **4.1.8. Rolle der Lichtintensität**

In einer unterdrückender Anzahl energetischer Effekte, die vor der Erschaffung von Lasern erforscht wurden, beeinflusste die Amplitude der Lichtwelle A allerdings nicht den Erscheinungscharakter. In der Mehrheit der Fälle hängen die quantitativen, aber vor allem die

qualitativen Experimente, die mit Nichtlaser-Lichtquellen durchgeführt werden, nicht von der Lichtintensität ab. Solche energetische Charakteristiken des Mediums, wie die Brechzahl, Absorptionskoeffizient, Streukoeffizient figurierten in Physiklexika ohne Hinweis darauf, bei welchen Lichtintensitäten sie gemessen wurden. Erfahrung zeigt, dass in diesem Intensitätsbereich, über den die Vorlaseroptik verfügte, die Abhängigkeit dieser Werte sich in keiner Art und Weise von der Intensität zeigte.

Selbstverständlich war für den Experimentator, der diesen oder jenen Versuch durchführte, die Intensität der Lichtquelle schon immer wichtig; sie bestimmte zum Teil über Forderungen zur Empfindlichkeit der von ihm benutzten Empfangsapparatur. In der experimentellen Vorlaseroptik charakterisiert die Strahlungsintensität das Niveau der Experimenttechnik und hat fast nie einen Bezug zur Physik der geforschten Erscheinungen. Es entsteht eine natürliche Frage: ist das Gesagte eine Folge des allgemeinen physischen Gesetzes wie: "alle energetische Erscheinungen hängen nicht von der Strahlungsintensität ab", oder liegt das Problem in der Beschränkung des Experimentmaterials, das von der Vorlaseroptik gesammelt wurde. Zahlreiche Forschungen in der Physiko-optik, die von leistungsstarken Lasern ausgeführt wurden, zeigten, dass wenn man schon ein solches allgemeines Gesetz, das von der Abhängigkeit energetischer Erscheinungen von der Lichtintensität spricht, formuliert, so muss diese Formulierung diametral gegensätzlich sein. Forschungen mit Lichtbündeln, dessen Leistung bis  $10^8 - 10^{10} \text{ W/cm}^2$  reicht, zeigten, dass es eine ziemlich hohe Quantitäts- und, was besonders wichtig ist, Qualitätsabhängigkeit des Charakters energetischer Effekte von der Strahlungsintensität gibt. Dabei sollte man betonen, dass es hier nicht um kleine Verbesserungen, die nur in einem präzisen physischen Experiment registriert werden, geht; hier ist die Rede von ziemlich "grobem" Erscheinungen, die das Verhalten von Lichtbündeln radikal verändern.

## 4.2. Wechselwirkung eines starken Lichtfeldes mit dem Medium

### 4.2.1. Linearer Atomszillator

Wechselwirkung zwischen Licht und Medium. Gründe, aus welchen in der linearen Optik der Erscheinungscharakter nicht von der Strahlungsintensität abhängt, kann man herausfinden, wenn man sich zu ihren theoretischen Grundsteinen wendet. Es ist bekannt, dass man die Wechselwirkung des Lichts mit dem Stoff sowohl auf der klassischen, als auch auf der Quantensprache auslegen kann. Die Quantensprache ist unverzichtbar bei der Analyse der Absorption und der Lichtausstrahlung von Atomsystemen. Bei der Erforschung Lichtausbreitung im Medium im durchsichtigen Bereich, d.h. fern von Streifen der Resonanzabsorption des Mediums, ist eine klassische Beschreibung, die wir weiter unten benutzen werden, vollkommen ausreichend. Energetische Merkmale des Mediums in der Linearoptik werden, als so unabhängig von der Wellenintensität, von Charakteristiken, wie dem Brechungskoeffizient beschrieben:

$$n = c/v \quad (1)$$

(v - Phasengeschwindigkeit des Lichts im Medium) und Absorptionskoeffizient  $\Delta$ . Je nach der Ausbreitung im Medium längs der Achse  $z$  erlöscht die Lichtwelle gemäß dem Gesetz:

$$I = I_0 e^{-\Delta z} \quad (2)$$

Die Wechselwirkung zwischen Licht und Medium besteht aus nacheinanderfolgenden elementaren Wechselwirkungen mit ihren Atomen oder Molekülen. Im elektrischen Feld der Welle  $E$  werden Atome oder Moleküle des Mediums *polarisiert*: negativ geladene Elektronen werden unter dem Feldeinfluss zu den positiv geladenen Kernen verschoben, es entsteht ein elektrisches Dipolmoment, wobei die Verschiebung von der Größe und dem Vorzeichen der Feldspannung bestimmt wird. Vorzeichen und der Wert der Spannung des Lichtfeldes verändern sich mit der Frequenz  $\omega$ , im Zusammenhang damit ändert sich auch die Lage des Elektrons. Ein schwingendes Elektron ist selbst eine Feldquelle; er strahlt die auf ihn wirkendes Lichtfeld wieder aus. Das Dipolmoment, das von einem einzelnen Atom unter dem Einfluss einer Lichtwelle erhalten wird:

$$P = \alpha E \quad (3)$$

Die Größe  $\alpha$  heißt lineare atomare Empfindlichkeit, und der Dipolmoment, der für  $1 \text{ cm}^3$  des Mediums  $P$  erhalten wurde, heißt Mediumpolarisation:

$$P = N\alpha E = \chi E, \quad (4)$$

wenn  $N$  - Atomanzahl in  $1 \text{ cm}^3$  und  $\chi$  - makroskopische lineare Empfindlichkeit. Dielektrische Permeabilität des Mediums  $\varepsilon$  und die Brechzahl  $n$  mit der Stärke (3) und (4) haben das Aussehen:

$$\varepsilon = 1 + 4\pi\chi \quad (5)$$

$$n = \sqrt{\varepsilon} = \sqrt{1 + 4\pi\chi} \quad (6)$$

Verschiebung des Atomelektrons unter dem Einfluss vom elektrischen Feld einer Lichtwelle wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = eE + F - R \frac{dx}{dt} \quad (7)$$

Hier  $m$  - Elektronenmasse,  $e$  - seine Ladung,  $R$  - Parameter, der die Dämpfung von elektrischen Schwingungen charakterisiert,  $eE$  - die Kraft, die auf das Elektron von der Seite des Felds wirkt,  $F$  - Kraft, die auf den Elektron von der Seite des Atomkerns (zurückerrstattende Kernkraft):

$$F = -kx \quad (8)$$

Gleichung des harmonischen Oszillators:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{e}{m} E - \omega_0^2 x - \delta \frac{dx}{dt} \quad (9)$$

wenn  $\delta = \frac{R}{m}$ ,  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ , und  $\omega_0$  - eigene Frequenz des Atomoszillators

Die Lösung hat das Aussehen

$$x(t) = \frac{eA}{m} \cdot \frac{\cos(\omega t - kz + \varphi)}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \delta^2 \omega^2}}, \quad (10)$$

$$\varphi = \arctg \frac{\delta \omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)}.$$

Die Formeln (9), (10) beschreiben einfachste Gesetzmäßigkeiten der Lichtdispersion: die Brechzahl  $n$  wächst (und die Phasengeschwindigkeit  $v$  nimmt ab) je nach Näherung der Frequenz der Lichtwelle  $\omega$  an die eigene Frequenz der Atomoszillators  $\omega_0$ , oder mit anderen Worten, zu dem Streifen der Mediumabsorption.

#### 4.2.2. Nicht linearer Atomoszillator. Nichtlineare Empfindlichkeiten

Die Elektronbewegung in das Kernfeld ist eine Bewegung in der potentiellen Grube, der eine endliche Tiefe hat (Bild 48,a). Als ein übersichtliches, obwohl auch grobes Analogon zur Elektronbewegung im Kernfeld und der entsprechenden Potentialgrube kann die Bewegung einer schweren Kugel in einem Gefäß, dessen Form die einer potentiellen Grube hat, dienen. Wenn auf dieses Atom ein starkes Lichtfeld  $E \approx 10^9 \text{ V/cm}$  wirkt, so kann sich die Form der Potentialgrube verzerren.

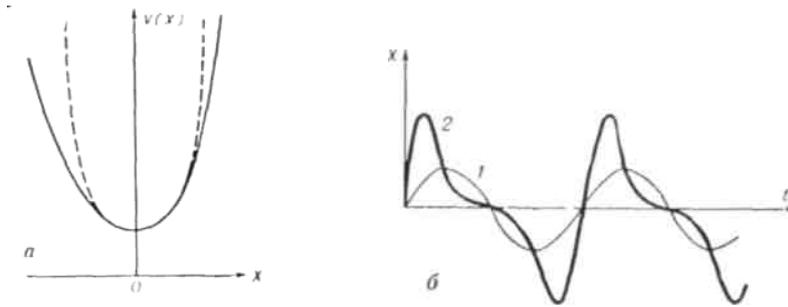


Bild 48,1 - Potentialgrube, in der das energetische Elektron Schwingung vollzieht.

Bei kleinen Verschiebungen  $dx$  ist die Potentialgrube symmetrisch zu  $x = 0$  (Punktlinie), und die Kraft, die auf das Elektron von der Seite des Kerns wirkt, proportional zur Verschiebung  $dx$ . Bei großen Verschiebungen kann die Grube unsymmetrisch werden (durchgehende Linie), b - Resonanz des optischen Elektrons, das in der Potentialgrube schwingt, auf das harmonische Lichtfeld. In schwachen Feldern wiederholt die Resonanzform den äußeren Einfluss (1), in starken Felder verzerrt sich die Resonanzform (2).

Dabei hängt die Kraft  $F$  nicht linear von der Verschiebung  $x$  ab, d.h.:

$$\mathbf{F} = \mathbf{kx} + \boldsymbol{\beta} x^2. \quad (11)$$

Entsprechend der Gleichung (11) wird die Gleichung (9) nichtlinear, und der Oszillator anharmonisch:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{e}{m} E - (\omega_0^2 x - \gamma x^2) - \delta \frac{dx}{dt} \quad (12)$$

Die Resonanz eines solchen Oszillators auf einem harmonischen Feld wiederholt nicht die Form der äußeren Einwirkung (Bild 1,b). Bei noch größeren Lichtfeldern erscheinen in der Formel für  $F$  Glieder  $\approx x^4$  und höherer Potenzen. Es erfolgt weitere Verzerrung der Elektronenresonanz und die Lageverschiebung des Gleichgewichts.

Das führt zur nicht linearen Abhängigkeit zwischen der Mediumpolarisation  $P$  und  $E$ . Bei  $(E/E_a) < 1$   $P$  kann man in Form von Aufteilung in eine Reihe mit dem Parameter  $E/E_a$  darstellen:

$$P = \chi^{(1)} E + \chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3 + \dots \quad (13)$$

Koeffizienten  $\chi^{(1)}$ ,  $\chi^{(2)}$  und so weiter heißen nichtlineare Empfindlichkeiten (nach der Größenordnung  $\chi^{(1)} \approx 1/E_a$ ;  $\chi^{(2)} \approx 1/E_a^2$ ). Die Gleichung (13) ist die fundamentale der nichtlinearen Optik. Wenn auf eine Mediumoberfläche eine monochromatische Lichtwelle  $E = A \cos(\omega t - kx)$  einfällt, wo  $A$  - Amplitude,  $\omega$  - Frequenz,  $k$  - Wellenzahl,  $x$  - Koordinate des Punktes längs der Ausbreitungsrichtung der Welle,  $t$  - Zeit, so enthält die Mediumpolarisation laut (13) neben einem linearen Glied  $P^1 = \chi^{(1)} A \cos(\omega t - kx)$  noch einen nichtlinearen Glied der zweiten Ordnung:

$$P^{nn} = \chi^{(2)} E^2 = \frac{\chi^{(2)} A^2}{2} + \frac{\chi^{(2)} A^2}{2} \cos 2(\omega t - kx). \quad (14)$$

Der letzte Summand in (14) beschreibt die Polarisation, die sich mit der Frequenz  $2\omega$  verändert, d.h. die Generation der zweiten harmonischen Schwingung. Generation der dritten harmonischen Schwingung, sowie die Brechzahl  $n$  der Intensität werden durch das Glied  $\chi^{(3)} E^3$  in (13) beschrieben usw.

#### 4.2.3. Ursachen der nichtlinearen energetischen Effekte

Eine nichtlineare Resonanz des Atom- oder molekularen Oszillators auf ein starkes Lichtfeld ist die universellste Ursache der nichtlinearen energetischen Effekten. Es gibt auch andere Ursachen: zum

Beispiel, die Veränderung der Brechzahl  $n$  kann mit durch Erwärmung der Umgebung mit einem Laserstrahl verursacht werden. Temperaturveränderung  $\Delta T = \alpha E^2$  ( $\alpha$  - Koeffizient der Lichtabsorption) führt zur Veränderung  $n$  von  $n_0$  zu  $n = n_0 + \delta n / \delta T \Delta T$ . In vielen Fällen stellt sich ebenfalls der Effekt der Elektrostriktion (Mediumdruck im Lichtfeld  $E$ ) als bedeutend dar. In einem starken Lichtfeld  $E$  des Lasers verändert der Elektrostriktions-Druck, welcher  $E^2$  proportional ist, die Mediumdichte, was zu der Generation einer akustischen Welle führen kann. Mit den thermischen Effekten ist die Selbstdefokussierung des Lichtes verbunden. Nichtlineare Suszeptibilitäten  $\chi^{(2)}$ ,  $\chi^{(3)}$ ,  $\chi^{(4)}$  usw. sind neue Parameter des Stoffes. Erforschung ihre Dispersion (der Abhängigkeit von  $\omega$ ) ist ein Gegenstand der nichtlinearen Spektroskopie. Es gelingt, für Atome mit Methoden der Quantenmechanik nichtlineare Suszeptibilitäten einer beliebigen Ordnung zu bestimmen. Ihre Dispersion hat ein sehr kompliziertes Aussehen, da Resonanzen nicht nur bei dem Zusammenfallen von Frequenzen der wirkenden Felder mit den eigenen Atomfrequenzen entstehen, sondern auch beim Zusammenfallen mit ihnen dieser oder jener Kombinationen dieser Frequenzen. In nicht zu starken Laserfeldern ist das Zusammenfallen der Theorie- und Experimentergebnisse gut.

Es wurde eine phänomenologische Theorie entwickelt, die es erlaubte, quantitative Ergebnisse, die in vielen Fällen gut mit dem Experiment übereinstimmen zu erhalten, und Suchrezepte nach neuen nichtlinearen energetischen Stoffen zu geben. Während die Werte  $\chi^{(2)}$  für die unterdrückende Mehrzahl der energetischen Stoffe sich untereinander um nicht mehr als eine Ordnung unterscheiden, unterscheiden sich die Werte  $\chi^{(3)}$  um 3 Ordnungen. Das zeugt von dem besonderen physischen Informationsgehalt der nichtlinearen Stoffeigenschaften.

### 4.3. Energetische Übergänge

#### 4.3.1. Photonen wirken miteinander nicht unmittelbar zusammen

In der Physik werden Vorstellungen über die "unmittelbare Wechselwirkung", welche zur Streuung der Teilchen aufeinander, zur Absorption der einen Teilchen von anderen, zur gegenseitiger Umwandlung der Teilchen und zum Teil zu ihrem Zerfall führt, verwendet (und bestätigt). Photonen streuen sich nicht aufeinander, werden nicht voneinander absorbiert, zerfallen nicht. Zwischen ihnen wirken weder elektromagnetische Kräfte, noch irgendwelche andere. Also wirken Photonen nicht unmittelbar miteinander zusammen! Deshalb sollte man jedes Mal, wenn eine Umwandlung von den einen Photonen in andere erfolgt, über eine Wechselwirkung über einen gewissen "Vermittler" erfolgt.

Die Rolle des "Vermittlers" spielt der Stoff, und genauer sein Teilchen, und vor allem ein Elektron. Lasst uns im Folgenden diesen "Vermittler" als ein gewisses Mikroobjekt, welches durch ein bestimmtes System der Energieniveaus charakterisiert wird, betrachten.

Eine unmittelbare Wechselwirkung erfolgt zwischen Photonen und Mikroobjekten. Es zeigt sich darin, dass das Mikroobjekt Photonen absorbieren und sie verbreiten (oder eben gleichzeitig sowohl absorbieren, als auch verbreiten) kann. Dabei führt das Mikroobjekt Quantenübergänge zwischen bestimmten energetischen Niveaus aus. Da unmittelbare Teilnehmer dieser Übergänge Photonen sind, so werden diese Übergänge als energetische Übergänge bezeichnet.

#### 4.3.2. Ein- und Mehrphotonenübergänge

Energetische Übergänge teilen sich in *Ein-* und *Mehrphotonenübergänge*. Am Ein-Photonenübergang nimmt ein Photon teil, d.h. er wird entweder verbreitet oder absorbiert. Am Mehrphotonenübergang nehmen gleichzeitig einige Photonen - zwei oder mehr teil. In Abhängigkeit von der Anzahl der im Übergang teilnehmenden Photonen werden Mehrphotonenübergänge verschiedener Faktoren unterschieden: Zweiphotonen- (Faktor gleich 2), Dreiphotonenübergänge (Faktor gleich 3) usw. Angenommen, dass im allgemeinen Fall ein Mehrphotonenübergang des Faktors  $N$  betrachtet wird. Das bedeutet, dass an ihm  $N$  Photonen teilnehmen. Dabei kann es sich herausstellen, dass  $m$  Photonen verbreitet werden, und  $N - m$

Photonen absorbiert. Indem man die Zahl  $m$  von Null bis  $N$  variiert, kann man offensichtlich alle Typen der Mehrphotonenübergänge des Faktors  $N$  in Betracht ziehen. Betonen wir, dass man den Mehrphotonenübergang prinzipiell nicht auf irgendwelche Zeitetappen aufteilen darf; man sollte ihn als einen einzigen, unteilbaren Prozess in der Zeit betrachten. Nehmen wir als Beispiel ein Zweiphotonenübergang, in dem zwei Photonen absorbiert werden. Hier darf man nicht annehmen, dass zuerst das erste Photon und dann das andere Photon absorbiert werden. Im Wesentlichen werden beide Photonen gleichzeitig absorbiert. Wenn man annehmen könnte, dass zuerst das eine und dann das andere Photon absorbiert werden, dann hätten wir in dem Fall nicht einen Zweiphotonenübergang, sondern zwei Einphotonenübergänge. Auf diese Art und Weise unterscheidet sich der Zweiphotonenübergang (so wie auch jeder Mehrphotonenübergang) qualitativ von der Gesamtheit (Aufeinanderfolge) der Einphotonenübergänge.

#### 4.3.3. Virtuelles Niveau

Auf dem Bild 1a sind zwei Einphotonenübergänge dargestellt: zuerst wird ein Photon mit der Energie  $h\nu$  absorbiert und das Mikroobjekt geht vom Niveau 1 auf das Niveau 2 über, dann wird das andere Photon absorbiert und das Mikroobjekt geht vom Niveau 2 auf das Niveau 3 über. Aber wie soll man einen Zweiphotonenübergang, in dem zwei Photonen mit Energien  $h\nu$  absorbiert werden, darstellen? Es ist üblich, einen solchen Übergang so, wie im Bild 1b, in dem mit einer punktierten Linie das sogenannte virtuelle Niveau gezeigt ist, darzustellen.

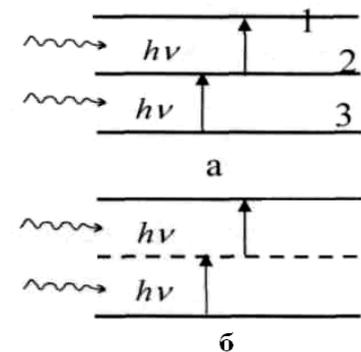


Рис 1

Was ist "virtuelles Niveau"? Wenn wir diesen Begriff erklären, erinnern wir daran, dass man einen Zweiphotonenübergang nicht auf zwei Etappen in der Zeit aufteilen kann. Daraus folgt, dass man prinzipiell das Mikroobjekt auf dem virtuellen Niveau nicht auffinden kann (im Gegenfall könnte man von zwei Etappen - vor dem Hervortreten und nach dem Hervortreten des Mikroobjekts reden). Genau darin unterscheidet sich das virtuelle Niveau von dem normalen energetischen Niveau. Kann man daraus schließen, dass das virtuelle Niveau "nichtexistent" und "unreal" ist? Denn auf jedem real existierendem energetischem Niveau kann das Mikroobjekt im Prinzip aufgefunden werden! Wir werden hier nicht den Grad der Realität (oder Nichtrealität) der virtuellen Niveaus erörtern. Für uns besteht das Wesentliche darin, dass es reell sowohl Einphotonen-, als auch Mehrphotonenübergänge gibt. Und wenn für die Vorstellungen von Einphotonenübergängen Systeme von gewöhnlichen (reellen) energetischen Niveaus ausreichen, so ist es für die Vorstellung von Mehrphotonenübergängen eines solchen Niveausystem nicht ausreichend. Man muss sich zu dem spezifischen Begriff - dem Begriff der virtuellen Niveaus wenden. Der im Bild 1 angeführtes Beispiel zeigt ziemlich klar die Spezifität dieses Begriffes.

#### 4.3.4. Auf welche Art und Weise spielt das Mikroobjekt die Rolle eines "Vermittlers" in den Prozessen der Umwandlung von "Licht" zu "Licht"?

Betrachten wir die verschiedenen Prozesse der "Umwandlung" von einem Photon in andere Photonen. Fangen wir mit dem Prozess, der im Bild 2 vorgestellt wird, an. Das Mikroobjekt absorbiert das Photon mit der Energie  $h\nu_1$  und geht vom Niveau 1 auf das Niveau 3 über. Dann verbreitet er ein Photon mit der Energie  $h\nu_2$  und geht vom Niveau 3 auf das Niveau 2 über.

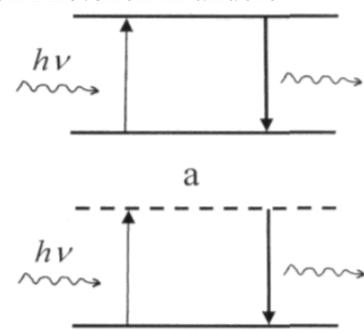


Рис 3

Auf diese Art und Weise, "wandelt" sich das erste (primäre) Photon mit der Energie  $h\nu_1$  in ein Schluss- (sekundäres) Photon mit der  $h\nu_2$  "um". Die Rolle des "Vermittlers" in dieser "Umwandlung" spielt das Mikroobjekt. Wobei hier das Mikroobjekt sich nicht einfach als ein "Vermittler" erweist, denn sein Zustand hat sich auch verändert: er

ging im Endeffekt vom Niveau 1 auf Niveau 2 über. Eine klarere Rolle des Mikroobjekts als eines "Vermittlers" zwischen Photonen (genau "Vermittlers" und nicht mehr) zeigt sich im Prozess, der im Bild 3 vorgestellt wird. Das Mikroobjekt absorbiert das Photon mit der Energie  $h\nu$  und geht vom Niveau 1 auf das Niveau 2 über. Dann verbreitet er das Photon mit der gleichen Energie und kehrt auf das Niveau 1 zurück. Also ändert sich der Zustand des Mikroobjekts im Endeffekt nicht; während "wandelt" sich das primäre Photon in das sekundäre "um". Dieses sekundäre besitzt die gleiche Energie, kann sich aber selbstverständlich sowohl in der Impulsrichtung, als auch in der Polarisation unterscheiden.

Wenden wir uns im Folgenden dem Prozess, der im Bild 3b gezeigt wird (mit der punktierten Linie wird das virtuelle Niveau dargestellt). Im Unterschied zu den zwei vorhergehenden Prozessen haben wir hier nicht 2 Einphotonenübergänge, sondern einen Zweiphotonenübergang. Wenn man im Prozess, der im Bild 3a gezeigt ist, das Mikroobjekt im Prinzip auf dem Niveau 2 (in der Zwischenzeit zwischen der Absorption des primären und der Verbreitung des sekundären Photons) auffinden kann, so ist hier die Situation komplett anders: prinzipiell kann man das Mikroobjekt nicht auf dem virtuellen Niveau auffinden; es gibt keine "Zwischenzeit" zwischen der Absorption des primären und der Verbreitung des sekundären Photons. Man darf sogar nicht behaupten, dass zuerst das primäre Photon absorbiert wird und dann das zweite verbreitet. Der Absorptions- und Verbreitungsprozess ist in diesem Fall ein einziger, unteilbarer Prozess in der Zeit; dabei kann man im Prinzip unmöglich eine irgendwelche, sogar zeitliche Veränderung des Mikroobjektszustands feststellen.

Auf diese Art und Weise, tritt das Mikroobjekt im betrachteten Zweiphotonenprozess als ein ziemlich eigenartiger, man kann sagen, ziemlich "taktischer" Vermittler, der "im Schatten" bleibt.

#### 4.3.5. Prozess, der die Generation der zweiten harmonischen Schwingung beschreibt

Mehrphotonenprozesse, in welchen der Anfangs- und Endzustand des Mikroobjektes gleich sind, stellen für die nichtlineare Optik eine besondere Interesse dar. Oben haben wir den Zweiphotonenprozess betrachtet. Lasst uns im Folgenden zwei Dreiphotonenprozesse betrachten.

Der erste von ihnen wird im Bild 4 vorgestellt (punktierte Linien stellen virtuelle Niveaus dar). Das Mikroobjekt nimmt teil an dem Dreiphotonenübergang: es kommt zur Absorption von zwei Photonen mit Energien  $h\nu$  und der Verbreitung von einem Photon mit der Energie  $2h\nu$ ; der Zustand des Mikroobjektes ändert sich nicht. Da das Mikroobjekt in solchen Prozessen als ein "Vermittler" "im Schatten" bleibt, kann man die unmittelbare "Umwandlung" von zwei Photonen in eins (2 Photonen, die aufeinander treffen, wandeln sich in ein neues Photon um) betrachten. Dabei werden die Gesetze der Energieerhaltung und des Impulses für Photonen erfüllt:

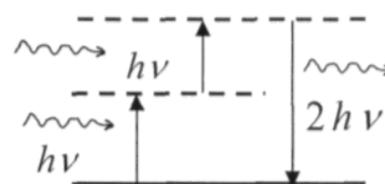


Рис 4

$$h\nu + h\nu = 2h\nu$$

(hier  $p_1$  und  $p_2$  - Impulse der absorbierten Photonen, und  $p$  - Impuls des verbreiteten Photons).

Der betrachtete Prozess wird in der nichtlinearen Optik als *Generation der zweiten Harmonischen* bezeichnet. Er beschreibt die "Umwandlung" des Lichts mit Frequenz  $\nu$  in Licht mit Frequenz  $2\nu$ . Genauer wird die Erscheinung der Generation der zweiten harmonischen Schwingung weiter unten betrachtet.

Auf dem Bild 5 wird der Dreiphotonenprozess, bei dem ein Photon mit der Energie  $h\nu$  absorbiert wird und zwei Photonen mit den Energien  $h\nu_1$  und  $h\nu_2$  verbreitet werden; der Zustand des Mikroobjekts verändert sich nicht. Diesen Prozess kann man in einem bekannten Sinn als "Zerfall" von einem (primären) Photon auf zwei neue (sekundäre) Photonen betrachten. Dabei werden für Photonen, die an diesem Prozess teilnehmen, die Gesetze der Energieerhaltung und des Impulses für Photonen erfüllt:

$$h\nu = h\nu_1 + h\nu_2 \quad (3.2)$$

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \quad (3.2')$$

Der betrachtete Prozess wird als parametrische Lichterzeugung bezeichnet. Er beschreibt die "Umwandlung" der Lichtwelle mit der Frequenz  $\nu$  in zwei neue Lichtwellen mit Frequenzen  $\nu_1$  und  $\nu_2$ . Im Prinzip kann man eine beliebige von diesen Frequenzen (zum Beispiel,  $\nu_1$ ) nach Bedarf fließend variieren in Grenzen von Null bis  $\nu$ .

Es kann Zweifel entstehen, ob diese Prozesse, die in Bildern 4 und 5 dargestellt sind, die Teilnahme eines Mikroobjektes als einen "Vermittlers" benötigen. Wirken in diesen Prozessen die Photonen nicht unmittelbar miteinander, ohne irgendwelchen "Vermittler" zusammen?

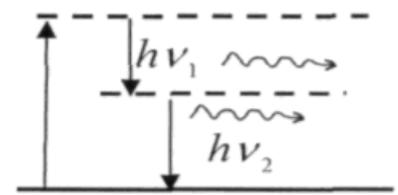


Рис 5

Tatsächlich, wieso sollte man nicht meinen, dass in manchen Prozessen die Photonen dazu fähig sind, miteinander unmittelbar zusammenzuwirken? (Es wirken ja viele andere Teilchen zusammen!) In diesem Fall könnte man ohne diese Vorstellungen der virtuellen Niveaus auskommen. So kann man im Beispiel, der im Bild 5 dargestellt ist, meinen, dass das Photon mit der Energie  $h\nu$  selbstständig (ohne die Teilnahme eines Mikroobjektes) auf Photonen mit Energien  $h\nu_1$  und  $h\nu_2$  zerfällt, und das Mikroobjekt einfach auf einem gewissen energetischen Niveau bleibt, und keine virtuelle Übergänge ausführt.

Jedoch kann man solchen Überlegungen nicht zustimmen. Wie Erfahrung zeigt, geschehen Prozesse, die in Bildern 4 und 5 dargestellt sind (wie auch andere Prozesse) nicht in Abwesenheit des Stoffes! Wie das Mikroobjekt auch "im Schatten" bleibt, ist seine Teilnahme, seine "Vermittlung" immer entscheidend, da es die Ermöglichung des einen oder anderen Mehrphotonenprozesses selbst bestimmt.

#### 4.4. Umwandlung einer Lichtwelle in eine andere Lichtwelle

##### 4.4.1. Nichtkohärente und kohärente Prozesse der Umwandlung von Licht in Licht

In der vorhergehenden Frage im Beispiel elementarer Vorgänge der Wechselwirkung zwischen Photonen und dem Mikroobjekt wurden verschiedene Prozesse der Umwandlung von Licht in Licht betrachtet. In diesen Prozessen waren die Übergänge mit Absorption der primären Photonen und Übergänge mit Verbreitung der sekundären Photonen exakt in der Zeit verteilt: sie wurden von Veränderungen im Zustand des Mikroobjektes begleitet (sogar wenn der Anfangs- und Endzustand des Mikroobjektes gleich sind). In anderen Prozessen werden Übergänge mit Absorption der primären Photonen und Übergänge mit Verbreitung der sekundären Photonen nicht in der Zeit verteilt und es ist nicht möglich Veränderungen im Zustand des Mikroobjektes festzustellen; in diesen Prozessen werden Gesetze der Energieerhaltung und des Impulses für Photonen, als wenn Photonen unmittelbar miteinander in Wechselwirkung stehen würden, erfüllt.

Prozesse der ersten Gruppe werden üblicherweise als nichtkohärente Prozesse der Umwandlung von Licht zu Licht, und Prozesse der zweiten Gruppe als kohärente Prozesse bezeichnet. Schauen wir uns genauer die Spezifik dieser oder jener Prozesse an.

*Nichtkohärente Prozesse.* In nichtkohärenten Prozessen führt die primäre Lichtwelle (Pumpenwelle), die von einem Stoff absorbiert wird, zu bestimmten Veränderungen der Teilchenniveaubesiedlung eines Stoffes. Später führen neue Quantenübergänge im Stoff zu der Ausstrahlung einer sekundären Lichtwelle. Es ist offensichtlich, dass dabei keine Rede von irgendwelcher Wechselwirkung der Pumpenwelle und der sekundären Lichtwelle sein kann. Denn am Anfang versetzt die Pumpenwelle den Stoff in einen erregten Zustand, und erst später (nach einiger Zeit!) strahlt der Stoff, welcher in seinen Ruhezustand kehrt, eine sekundäre Lichtwelle aus. Als ein Beispiel des nichtkohärenten Prozesses der Umwandlung von Licht in Licht kann der Generationsprozess der Laserstrahlung, der bei Bedingungen eines optischen Pumpens geschieht, dienen. Die Strahlung der Blitzlampe ist eine Pumpenwelle, und die in einem aktiven Lasermedium kohärente Strahlung ist die sekundäre Lichtwelle. Ein anderes Beispiel ist die oft in Lampen des Tageslichts benutzte Erscheinung der Photolumineszenz.

*Kohärente Prozesse.* Im Unterschied zu nichtkohärenten Prozessen ist es in kohärenten Prozessen

nicht möglich die Wechselwirkungsvorgänge des Stoffes mit der Pumpenwelle oder der Sekundärwelle, beide Vorgänge müssen als ein einziger Prozess betrachtet werden, in der Zeit aufzuteilen (ich erinnere daran, dass genau darin die Spezifität der Übergänge, die durch virtuelle Niveaus laufen, auch besteht). Die gezeigte Spezifik kohärenter Prozesse erscheint in zwei Verhältnissen. Als erstes kann man keine Veränderungen im Zustand des Stoffes, der mit den Lichtwellen in Wechselwirkung steht, feststellen. Als zweites kann man in einem bekannten Sinn von einer unmittelbaren Wechselwirkung der Pumpenwelle und der Sekundärwelle reden. Selbstverständlich wird die Wechselwirkung der Wellen durch den "Vermittler" des Stoffes ermöglicht und durch seine Parameter bestimmt. Jedoch hat die "Teilnahme" des Stoffes, obwohl sie prinzipiell auch notwendig ist, einen virtuellen Charakter, was es erlaubt, von einer unmittelbaren Wechselwirkung der Lichtwellen zu sprechen.

Die Wechselwirkung der Wellen fordert Koordinierung der Pumpenwelle und der Sekundärwelle in der Frequenz, der Ausbreitungsrichtung und der Polarisierung. Dafür muss jede der wechselwirkenden Wellen offensichtlich durch eine bestimmte Frequenz, eine bestimmte Ausbreitungsrichtung und eine bestimmte Polarisierung charakterisiert werden. Folglich müssen an kohärenten Prozessen Lichtwellen mit einem hohen Kohärenzgrad teilnehmen. Man kann sagen, dass alle kohärenten Prozesse Prozesse der Umwandlung vom kohärenten Licht in kohärentes Licht sind.

Die Bedeutung der Lichtkohärenz in kohärenten Prozessen kann ebenfalls auf der Basis von Photonenvorstellungen verstanden werden. Da für die Durchführung eines kohärenten Prozesses die Erfüllung des Gesetzes der Energieerhaltung und der Impulserhaltung der Photonen benötigt wird, so müssen folglich sowohl Primär-, als auch Sekundärphotonen sich in bestimmten Zuständen befinden - Zuständen mit einer bestimmten Energie und einem bestimmten Impuls. Es ist klar, dass je mehr Photonen sich in geforderten Zuständen befindet und je kleiner die Streuung der Photonen auf alle möglichen anderen Zustände ist, desto effektiver wird der betrachtete Kohärenzprozess fließen. Die Verkleinerung der Photonenstreuung auf Zuständen führt aber genau zu der Erhöhung des Kohärenzgrades der Strahlung.

Die Koordinierungsforderung von Parametern der Pumpenwelle und der Sekundärwelle tritt in Form der sogenannten Bedingung des *Wellensynchronismus* auf. Auf der "Photonensprache" drückt diese Bedingung das Gesetz der Impulserhaltung der Photonen, die an diesem Prozess teilnehmen, aus. Die Bedingung des Wellensynchronismus spielt eine große Rolle in kohärenten Prozessen, es ist eine notwendige Bedingung der effektiven Übertragung der Lichtenergie von der Pumpenwelle zur Sekundärwelle.

#### 4.4.2. Bedingung des Wellensynchronismus am Beispiel der Generation der zweiten Harmonischen

Wenn wir die Generation der zweiten optischen Harmonischen betrachten, werden wir annehmen, dass die Richtungen der Pumpenwellen und der Sekundärwellen übereinstimmen und dass, folglich alle Photonenimpuls in die gleiche Richtung gerichtet sind. In diesem Fall kann man die Vektorgleichung mit einer Skalargleichung ersetzen:

$$2 p_1 = p, \quad (4.1)$$

wo  $p_1$  und  $p$  - Impulse der entsprechend Primär- und Sekundärphotonen.

In dem Fall eines Mediums muss man in das Verhältnis für den Photonenimpuls eine Brechzahl des Mediums (welche von der Frequenz abhängt) einführen:

$$p = \frac{h \nu}{c} n(\nu) \quad (4.2)$$

Mit Verwendung von (4.2) und (3.1) schreiben wir (4.1) in folgender Form neu:

$$p = \frac{h \nu}{c} n(\nu) \quad (4.2)$$

und nach der Kürzung gleicher Faktoren:

$$n(\nu) = n(2\nu) \quad (4.3)$$

Das ist auch die Bedingung des Wellensynchronismus für den Generationsprozess der zweiten Harmonischen. Gemäß der zweiten Bedingung (2.3) wird für eine effektive Übertragung der Lichtenergie von der Pumpenwelle in die Sekundärwelle (anders gesagt, in die zweite Harmonische) Gleichheit der Brechzahlen für die betrachteten Lichtwellen benötigt. Im allgemeinen Fall wird die Gleichung (2.3) natürlich nicht erfüllt (wegen der Dispersionserscheinung des Lichts). Deshalb entsteht eine im praktischen Verhältnis wichtige Frage: auf welche Art und Weise kann man die Erfüllung der Bedingung (2.3) sicherstellen? Eine befriedigende Antwort auf diese Frage wurde nicht gleich gefunden. Diese Antwort war ziemlich interessant, sie basierte auf Verwendung der Abhängigkeit der Brechzahl des Lichts von der Ausrichtung im Kristall.

Nehmen wir ein Einkristall. Im Bild 6 werden Indikatrixen eines negativen Einkristalls, wobei die, welche mit einer durchgehenden Linie gezeichnet sind, der Frequenz  $\nu$  entsprechen, die mit einer punktierten Linie gezeichneten der Frequenz  $2\nu$ , vorgestellt. In Punkten A und A1 geschieht eine Überschneidung der Indikatrix einer gewöhnlichen Welle mit der Frequenz  $\nu$  mit der Indikatrix einer ungewöhnlichen Welle mit der Frequenz  $2\nu$ .

Das bedeutet, dass wenn man, zum Beispiel die Richtung AA (es bildet einen gewissen Winkel  $\alpha$  mit der Richtung der Hauptachse des Kristalls) nimmt, so wird für Lichtwellen, die sich in die gegebenen Richtung ausbreiten, die folgende Bedingung erfüllt werden:

$$n_o(\nu) = n_e(2\nu) \quad (4.4)$$

Das ist die Bedingung des Synchronismus für den Generationsprozess der zweiten Harmonischen, in der die Pumpenwelle eine gewöhnliche Welle ist, und die zweite Harmonische die ungewöhnliche. Die Richtung AA wird als

Synchronismusrichtung für die Betrachtung des Prozesses bezeichnet. Was soll man denn also machen, um diesen Generationsprozess der zweiten optischen Harmonischen zu verwirklichen?

Dazu sollte man als erstes einen Einkristall mit einem ausreichend hohem Wert der nichtlinearen Empfindlichkeit  $\chi_1$ . (Dies kann, zum Beispiel ein negativer Einkristall Kalium-Dihydrophosphat  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  sein.) Der Kristall muss in der Form eines, zum Beispiel, rechteckigen

Parallelepiped, dessen Achse mit der Synchronismusrichtung für die gegebene Frequenz  $\nu$  der Pumpenwelle übereinstimmt, geschnitten sein. Zum Erhalten der Pumpenwelle muss man einen Laser benutzen.

Dabei ist es nötig, dass die Pumpenwelle ebenpolarisiert ist und dass ihre Polarisationssebene senkrecht zur Ebene

des Hauptschnitts des nichtlinearen Kristalls (der Ebene, die durch die Hauptachse des Kristalls und die Parallelepipedachse durchgeht) ist. Eine solche Polarisation der Pumpenwelle ist dafür nötig, damit diese Welle die Rolle einer gewöhnlichen Welle spielt (Polarisationsebene der gewöhnlichen Welle ist eben senkrecht zur Ebene des Hauptschnitts).

Wenn diese Bedingungen erfüllt werden, so entsteht bei der Ausbreitung im nichtlinearen Kristall einer Pumpenwelle mit Frequenz eine zusätzliche Lichtwelle, die zweite optische Harmonische. Die Ausbreitungsrichtung dieser Welle wird mit der Richtung der Pumpenwelle zusammenfallen (wobei auch die Gegenrichtung möglich ist), die Frequenz wird doppelt so groß sein, und die Polarisationssebene wird mit der Ebene des Hauptschnitts zusammenfallen, was für eine ungewöhnliche Welle charakteristisch ist. Bei Verwendung von nichtlinearen Kristallen mit Länge von einigen Zentimetern gelingt es, mehr als 10% der Lichtenergie der Pumpenwelle in die zweite Harmonische zu übertragen.



Рис 6

(4.4)

#### 4.4.3. Klassische Erklärung der Generationserscheinung der zweiten Harmonischen

Bisher betrachteten wir die Generation der zweiten optischen Harmonischen, indem wir uns auf Photonenvorstellungen stützten, d.h. wir meinten einen Dreiphotonenprozess, der im Bild 4 dargestellt ist. Jedoch ist es nicht schwer, dieser Erscheinung auch eine rein klassische Erklärung zu geben.

Auf ein quadratisch-nichtlineares Medium fällt eine kohärente Pumpenwelle mit der Frequenz  $\nu$ :

$$E = E_0 \cos(2\pi\nu t) \quad (4.5)$$

Wenn das Medium linear wäre, würde sich seine Polarisation genauso in der Zeit verändern, wie die Pumpenwelle, d.h. mit der Frequenz  $\nu$ .

$$P(t) = \chi_0 E_0 \cos(2\pi\nu t) \quad (4.6)$$

Aber in einem nichtlinearen Medium enthält die Polarisation zum Teil eine zweite Harmonische, den Summand. Die Polarisationsänderung mit der Frequenz  $2\nu$  kann selbstverständlich zur Lichtstreuung mit der Frequenz  $2\nu$ , d.h. zur Erscheinung der zweiten Lichtwelle mit der Frequenz  $2\nu$  führen.

Die Polarisationswelle (zum Teil, die zweite Polarisationsharmonische) breitet sich im Medium mit der Geschwindigkeit der Pumpenwelle, d.h. mit der Geschwindigkeit  $v$  aus. Damit die Energieübertragung von der Polarisationsebene zur gestreuten Lichtwelle effektiv geschieht, ist notwendig, dass die Geschwindigkeit von beiden Wellen übereinstimmt. Da die Geschwindigkeit der Lichtwelle mit der Frequenz  $2\nu$  gleich  $v$  ist, so muss für die Lichtstreuung mit der Frequenz  $2\nu$  die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$n(\nu) = n(2\nu) \quad (4.7)$$

welches, wie schon bekannt, die Bedingung des Wellensynchronismus ist.

Dies ist die klassische Erklärung der nichtlinear-optischen Generationserscheinung der zweiten Harmonischen. Bemerken wir, dass bei einer solchen Erklärung die Mediumrolle als die eines "Vermittlers" in der Wechselwirkung der Primär- und Sekundärlichtwelle überaus übersichtlich auftritt, da die "Wechselwirkungsübertragung" nach einer "Kette" geht: Pumpenwelle - Polarisationswelle - Sekundärlichtwelle.

Es ist nicht schwer, sich den Prozess der Generation der dritten optischen Harmonischen vorzustellen. Auf der "Photonensprache" ist es ein bestimmter Vierphotonenprozess, es werden 3 Photonen von Energien  $h\nu$  vernichtet und ein Photon mit der Energie  $3h\nu$  entsteht. Auf der Sprache klassischer Wellenvorstellungen ist dies das Ergebnis der Lichtstreuung, welches unmittelbar aus der Tatsache der Existenz der dritten Harmonischen der nichtlinearen Mediumpolarisation entsteht. Es sind auch Generationsprozesse energetischer Harmonischen von höheren Ordnungen, der vierten Harmonischen, der fünften usw., möglich.

Nichtlineare Mediumpolarisation erlaubt es, Vermischung der Frequenzen zu verwirklichen. Die Polarisation des nichtlinearen Mediums wird durch den Ausdruck beschrieben:

$$P = \chi_0 E + \chi_1 E^2 \quad (4.8)$$

Nehmen wir an, dass auf das Medium zwei kohärente Lichtwellen mit verschiedenen Frequenzen fallen: wenn man die Summe dieser Wellen

$$E = E_1 \cos(2\pi\nu_1 t) + E_2 \cos(2\pi\nu_2 t) \quad (4.9)$$

in (4.8) einsetzt, so wird in der Formel für die Polarisation des Mediums unter anderem der folgende Faktor vorhanden sein:

$$P_{1,2} = 2\chi_1 E_1 E_2 \cos(2\pi\nu_1 t) \cos(2\pi\nu_2 t) \quad (4.10)$$

In dem wir das folgende Verhältnis benutzen:

$$2 \cos(\alpha) \cos(\beta) = \cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta),$$

formen wir (4.8) wie folgt um:

$$P_{1,2} = \chi_1 E_1 E_2 \cos [2\pi(\nu_1 + \nu_2)t] + \chi_1 E_1 E_2 \cos [2\pi(\nu_1 - \nu_2)t] \quad (4.11)$$

Auf diese Art und Weise sehen wir die Möglichkeit der Lichtrückstrahlung mit Frequenzen  $(\nu_1 + \nu_2)$  und  $(\nu_1 - \nu_2)$ . Somit erlaubt die nichtlineare Polarisierung des Mediums, Addition und Subtraktion der Frequenzen von Lichtwellen zu verwirklichen. In dem hier betrachteten Fall kann die Wechselwirkung der Wellen mit Frequenzen  $\nu_1$  und  $\nu_2$ , wie wir sehen, zur Entstehung neuer Lichtwellen mit Frequenzen  $(\nu_1 + \nu_2)$  und  $(\nu_1 - \nu_2)$ .

Die Formel (4.8) ist der einfachste Ausdruck für die Polarisierung des nichtlinearen Mediums, nichtlineare Polarisierung wird durch das Glied, welches in der Spannung quadratisch ist, beschrieben. In einem allgemeineren Fall in der Formel für die Polarisierung können ebenfalls auch die Glieder  $E^3$ ,  $E^4$  usw. anwesend sein. Die Berücksichtigung solcher Glieder führt dazu, dass beim Einsetzen von (4.9) in die Formel für die Polarisierung Summanden mit Frequenzen:  $\nu_{nm} = n\nu_1 + m\nu_2$ , wo  $n$  und  $m$  ganze Zahlen sind, erscheinen. Dies bedeutet, dass außer der Addition und Subtraktion auch anderen Varianten der *Frequenzmischung* möglich sind.

#### 4.5 Polarisations-"Reaktion" des Mediums (Stoffes)

Also dient im Endeffekt irgendeine Mediumveränderung, welche beim Durchgehen durch das Medium einer ausreichend leistungsfähiger optischen Strahlung beobachtet wird, als die Ursache einer beliebigen nichtlinearen Erscheinung. Diese Veränderung der Medieneigenschaften sollte man als eine bestimmte Reaktion des Mediums auf die Lichtwelle betrachten.

Die Natur der "Reaktion" kann unterschiedlich sein. Normalerweise werden 2 Arten der "Reaktion" unterschieden: die Polarisations-"Reaktion" und die "Reaktion der Besetzungsniveaus".

Die **Polarisations-"Reaktion"** ist mit der Erscheinung der nichtlinearen Polarisierung des Mediums unter dem Einfluss einer Ausgangswelle verbunden. Dabei passieren innerhalb des Mediums Prozesse der Umorientierung der elektrischen Dipolmomente, es entstehen auch gerichtete Dipolmomente. Die "Trägheit" der Polarisationsreaktion wird durch den kleinen Zeitabstand - bis  $10^{-13}$  s charakterisiert.

#### 4.6 Theoretische Grundlagen der Funktionsweise der Diffraktionsgitter

In vorliegendem Kapitel wird das Diffraktionsgitter als ein Mehrstrahl-Spektrumgerät, das über eine hohe Auflösung verfügt, untersucht. Das einfachste Gitter ist das Amplituden-Diffraktionsgitter, das aus einer periodischen Reihenfolge von Spalten, die durch undurchsichtige Abstände (bis einige Hunderttausende) getrennt sind, besteht. Im Gitter wird eine Mehrstrahlinterferenz kohärenter Lichtbündel, die aus verschiedenen Spalten ausgehen, verwirklicht (Bild 3.1).

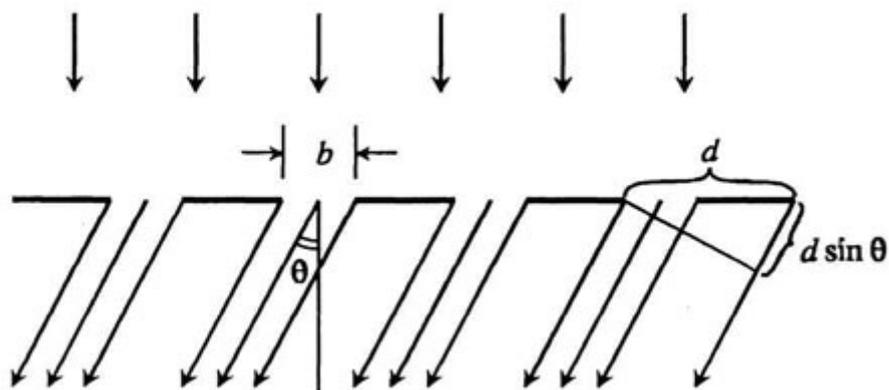


Bild 54

Diffraktionsgitter.

Das Gitter wird von einem parallelen Lichtbündel beleuchtet und es wird eine Fraunhoferdiffraktion-Erscheinung beobachtet. Die Beobachtung wird entweder auf einem ausreichend entfernten Bildschirm, oder in der Fokusebene der Linse, die im Weg des Lichts hinter dem Gitter gestellt ist, durchgeführt. Die Berechnung des Diffraktionsbildes bei der Lichtdiffraktion auf dem Amplitudengitter, die auf der Grundlage des Huygens-Fresnel-Prinzips aufgebaut ist, führt

zu folgender Formel der Intensitätsverteilung .

$$I(\theta) = I_1(\theta) \left[ \frac{\sin \frac{N\delta}{2}}{\sin \frac{\delta}{2}} \right]^2 \quad (3.1)$$

wo - Intensitätsverbreitung bei der Lichtdiffraktion auf einer einzigen Spalte

$$I_1(\theta) = I_0 \left[ \frac{\sin \frac{kb \sin \theta}{2}}{\frac{kb \sin \theta}{2}} \right]^2 \quad (3.2)$$

In den Formeln (3.1) und (3.2) ist  $\delta$  die Phasenverschiebung zwischen den Schwingungen von den benachbarten Gitterspalten, die gleich  $k d \sin \theta$  ist, wo  $d$  - Gitterperiode ist; durch  $b$  wird die Spaltenbreite, durch  $N$  - die ganze Zahl der Gitterperioden (Spaltenanzahl) ausgedrückt. Die allgemeine Gestalt der Verteilung (3.1) wird im Bild 3.2 dargestellt

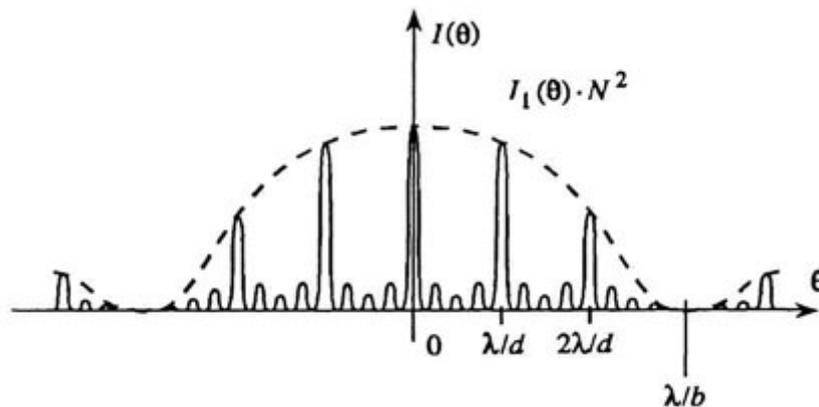


Bild 55

*Intensitätsverteilung bei der Lichtdiffraktion auf dem Amplitudengitter*

Das Interessanteste im Bild der Lichtdiffraktion auf dem Gitter ist die Anzahl der engen intensiven Hauptmaximen. Ihr Zustand wird durch das folgende Verhältnis bestimmt:

$$d \sin \theta = m \lambda \quad (3.3)$$

Die ganze Zahl  $m$  wird Ordnung des Diffraktionsmaximums (oder Spektrumordnung) genannt. Die Formel (3.3) hat einen einfachen physischen Sinn. Im Betrachtungspunkt, welcher der Bedingung (3.3) entspricht, werden Schwingungen von allen Spalten phasenartig addiert. Im Vektordiagramm wird diese Situation mit einer Kette kollinearere Vektoren dargestellt, jeder von denen stellt einen Beitrag zur resultierenden Schwingung von einer einzelnen Gitterspalte (Bild 3.3a) dar. Die

Amplitude der summarischen Schwingung ist gleich  $N A_1$ , wo  $A_1$  - Schwingungsamplitude im

$$I = N^2 I_1(\theta)$$

Beobachtungspunkt von einem einzelnen Gitterspalt.

Auf diese Art und Weise ist im Hauptmaximum die Intensität der summarischen Schwingung .

Betrachten wir nun den Beobachtungspunkt, für welchen das Vektordiagramm das Aussehen Bild 3.3b hat. Die Amplitude der summarischen Schwingung in diesem Punkt ist gleich Null.

Phasendifferenz zwischen dem ersten und dem  $N$ -ten Vektor hat sich um  $2\pi$  verändert, und folglich

zwischen benachbarten Vektoren um  $\frac{\lambda}{N}$ . Der dementsprechende Gangunterschied veränderte sich um  $\frac{\lambda}{N}$ .

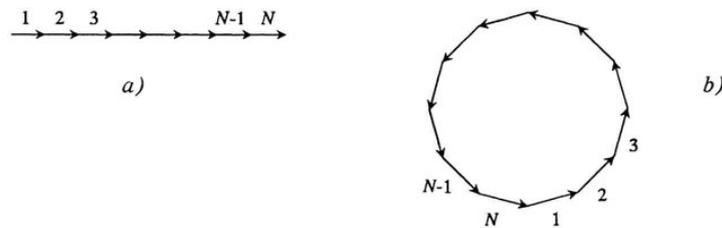


Bild 56

Vektordiagramm der Schwingungen im Hauptmaximum (a) und dem benachbarten Minimum (b).

Dieser Beobachtungspunkt entspricht dem nächstliegenden (im Verhältnis zum Hauptmaximum) Nullpunkt der Funktion.

Wenn wir die Diffraktionswinkel als klein genug annehmen, finden wir für die Halbbreite des Winkels des Hauptmaximums:

$$\Delta\epsilon \approx \frac{\lambda}{Nd} = \frac{\lambda}{D} \quad (3.4)$$

Die Formel (3.4) steht in Übereinstimmung mit den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der Fraunhofer-Beugung. Wie man aus (3.4) sieht, wird die Winkel-Halbbreite des Hauptmaximums durch die Wellenlänge  $\lambda$  und der allgemeinen Gittergröße  $D = Nd$  bestimmt.

#### 4.6.1 Spektralmethode

Bei der Betrachtung der Interferenz nichtidealer monochromatischer Wellen ist die Spektralmethode überaus effektiv.

Wir können den realen Prozess in der Form (1.8) als Gesamtheit einer großen Anzahl monochromatischer Komponenten (Fourier-Theorem), die verschiedene Frequenzen haben, betrachten. Das Licht der Quelle, welche im Interferenz-Experiment verwendet wird, wird mit Hilfe eines beliebigen Spektralgerätes (Prisma, Beugungsgitter) auf eine Menge monochromatischer Bündel zerlegt.

Da der Ausgangsprozess nicht periodisch ist, werden wir im Ergebnis ein "durchgehendes" Spektrum, das heißt eine Kombination monochromatischer Komponenten, dessen Frequenzen ununterbrochen einen gewissen Spektralbereich ausfüllen, erhalten. Die Lichtintensität in einem gewissen (ausreichend kleinem) Frequenzintervall kann in der Form aufgeschrieben werden, wo  $I$  die sogenannte Spektralintensität. Die Summe der Intensitäten aller monochromatischer Bündel ist offensichtlich gleich der von der Quelle ausgestrahlten Lichtintensität:

$$I = \int_0^{\infty} J(\omega) d\omega.$$

Der Sinn von diesem Verhältnis besteht darin, dass es das Additions-gesetz von Intensitäten der Spektralkomponenten, aus welchem folgt, dass Spektralkomponenten mit verschiedenen Frequenzen nichtkohärent zwischen einander sind, aufstellt. Wir können nun das Interferenzbild, das bei der Verwendung der gegebenen Quelle entsteht, berechnen. Die Intensitätsverteilung, das bei einem beliebigen Interferenzschema entsteht, ist das Ergebnis der Überlagerung einer großen Zahl unabhängiger Interferenzbilder, die im monochromatischen Licht erhalten wurden (für jede der Spektralkomponenten).

Betrachten wir die monochromatische Komponente der Frequenz und der Intensität. Aus der Interferenztheorie monochromatischer Wellen (Formel (1.5)) ergibt sich das folgende Verhältnis (hier und im Folgenden nehmen wir an, dass die Interferenzbündel gleiche Intensitäten haben)

$$I = \int_0^{\infty} J(\omega) d\omega.$$

wo Delta - Gangunterschied, der die Lage des Beobachtungspunkt charakterisiert. Nach der Integration im ganzen Spektrum erhalten wir

$$dI = 2 \int_0^{\infty} J(\omega) \left[ 1 + \cos \frac{\omega}{c} \Delta \right] d\omega. \quad (1.15)$$

Dieses Verhältnis ist universell. Es beschreibt die Intensitätsverteilung im Interferenzbild bei Verwendung einer nichtmonochromatischen Lichtquelle.

#### 4.6.2. Quelle mit "rechteckigem" Spektrum

Als Beispiel betrachten wir eine Quelle mit "rechteckiger" Spektralverteilung (Bild 1.6).

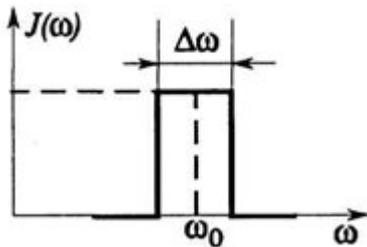


Bild 57  
"Rechteckige" Spektralverteilung.

Mit Verwendung von (1.15), finden wir

$$I = 2 \int_0^{\infty} J(\omega) \left[ 1 + \cos \frac{\omega}{c} \Delta \right] d\omega = 2I_0 \left[ 1 + \left[ \frac{\sin \frac{\Delta \omega}{2c} \Delta}{\frac{\Delta \omega}{2c} \Delta} \right] \cos \frac{\omega_0}{c} \Delta \right]. \quad (1.16)$$

Die Funktion  $I(\Delta)$  ist im Bild 1.7 dargestellt. Im Fall  $\Delta \omega \ll \omega_0$  verändert sich der Faktor in eckigen Klammern in (1.16) wesentlich langsamer, als  $\cos \frac{\omega_0}{c} \Delta$ .

Dieser sich langsam verändernde Faktor bestimmt die Ausweichende  $I(\Delta)$ , die im Bild 17 als punktierte Linie dargestellt ist. Bei großen Delta-Werten verschwinden die Interferenzstreifen. Wir haben zuvor gesagt, dass es in Folge des Kohärenzverlustes wegen der großen Gangdifferenz passiert.

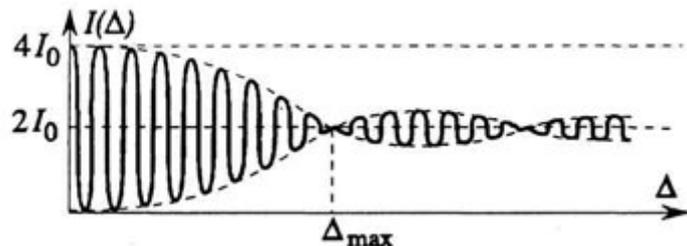


Bild 58

#### Welleninterferenz mit "rechteckigem" Spektrum.

Nun, aus Sicht der Spektralmethode, müssen wir diese Erscheinung als das Ergebnis der Überlagerung einer großen Zahl von Interferenzbildern der Art (1.14), die im monochromatischen Licht erhalten wurden, erklären. Eine wesentliche Rolle spielt der Umstand, dass Interferenzbilder, die von verschiedenen Spektralkomponenten geformt wurden, einen unterschiedlichen räumlichen

Maßstab (Streifenbreite) haben.

Die Sichtbarkeit des Interferenzbildes, das durch das Verhältnis (1.16) beschrieben wird, hängt vom Gangunterschied Delta ab.

$$V(\Delta) = \frac{\left| \frac{\sin \frac{\Delta_0}{2c} \Delta}{\frac{\Delta_0}{2c} \Delta} \right|}{1} \quad (1.17)$$

Diese Abhängigkeit wird im Bild (1.8) dargestellt.

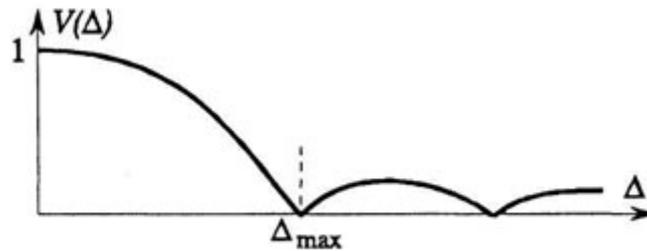


Bild 59

Sichtbarkeit des Interferenzbildes für die Quelle mit "rechteckigem" Spektrum.

Wenn man  $\Delta_{\max}$  nach dem ersten Nullpunkt der Funktion bewertet  $V(\Delta)$ , so ist es nicht schwer, sich in der Richtigkeit von (1.12) und (1.13) zu überzeugen.

Es ist notwendig, eine wesentliche Bemerkung zu machen. Die Aufgabe der Spektralverteilung in Form der Frequenzfunktion entspricht der Idee der Fourier-Transformation, und deshalb wird es in der Theorie bevorzugt, als Variable die Frequenz  $\omega$  zu verwenden. Selbstverständlich könnte man im oben betrachteten Beispiel eine "rechteckige" Verteilung nach Wellenlängen vorzugeben. In diesem Fall würde sich die exakte Form der Funktion ein wenig von (1.17) unterscheiden. Jedoch bleiben alle qualitativen Schlussfolgerungen von (1.12) und (1.13) gerecht.

#### 4.6.3. Quelle mit zwei naheliegenden Spektrallinien

Das Bild 1.9 illustriert die Kontrastveränderung der betrachteten Streifen bei der Überlagerung von

zwei Interferenzbildern für zwei monochromatische Komponenten ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) von gleicher Intensität. In diesem Fall verschwimmt das resultierende Bild periodisch (nach Delta) und stellt sich wieder her, es wird das charakteristische Bild der Schwebungen beobachtet. Solche Bilder entstehen im Experiment, wenn die Lichtquelle nah beieinander liegende Spektrallinien (zum Beispiel, das

gelbe Dublet Na:  $\lambda_1 = 589.0$  nm und  $\lambda_2 = 589.6$  nm). Es ist leicht zu zeigen, dass Verschwommenheiten bei der folgenden Bedingung eintreten:

$$\Delta_m = \left( m - \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda}, \quad (m = 1, 2, \dots), \quad (1.18)$$

wo  $\lambda_0$  - Mittelwert der Wellenlänge von zwei Spektralkomponenten.

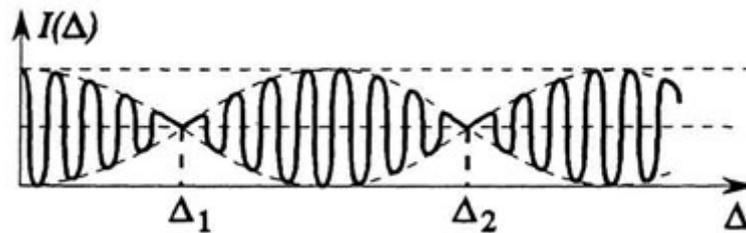


Bild 60

Überlagerung von zwei Interferenzbildern mit unterschiedlichen räumlichen Perioden.

#### 4.7 Aufbauprinzip der Einrichtung FOSTAC Chip

Einrichtungen des Typus FOSTAC Chip bestehen aus einer Ansammlung von Fäden aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff, die eine spezielle Verflechtung haben.

Diese Verflechtung entspricht den Bedingungen der Entstehung von Effekten der Interferenz, Polarisation und Diffraktion elektromagnetischer Wellen beim Durchgehen durch das Material von der Einrichtung FOSTAC Chip. Zur Einfachheit der Darstellungsweise nehmen wir an, dass EM-Strahlung die Form einer rechteckigen Welle hat. Auf diese Art und Weise, wenn wir die oben wiedergegebenen theoretischen Begründungen berücksichtigen (Kapitel 4.1 - 4.6), erhalten wir das folgende Bild von der Modifikation der EM-Wellen im Material FOSTAC Chip.

Bei Durchdringen stochastischer EM-Wellen durch die erste Materialschicht entstehen Polarisationserscheinungen dieser Wellen in der Ebene der Verflechtungsüberschneidung (s. Bild 61).

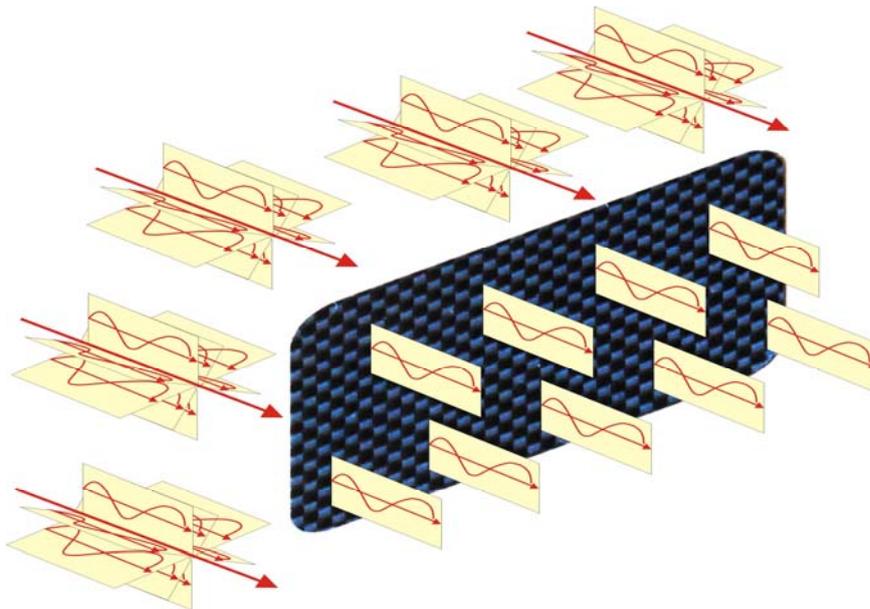


Bild 61 Polarisation elektromagnetischer Wellen bei Durchdringen der ersten Schicht des Materials FOSTAC Chip.

Beim Durchdringen elektromagnetischer Wellen des zweiten und folgender Schichten des Materials FOSTAC Chip geschieht die Interferenzerscheinung mit Brechung und Reflexion modifizierter EM-Wellen in jeder folgenden Schicht, in Übereinstimmung mit 4.6.2 (s. Bild 62)

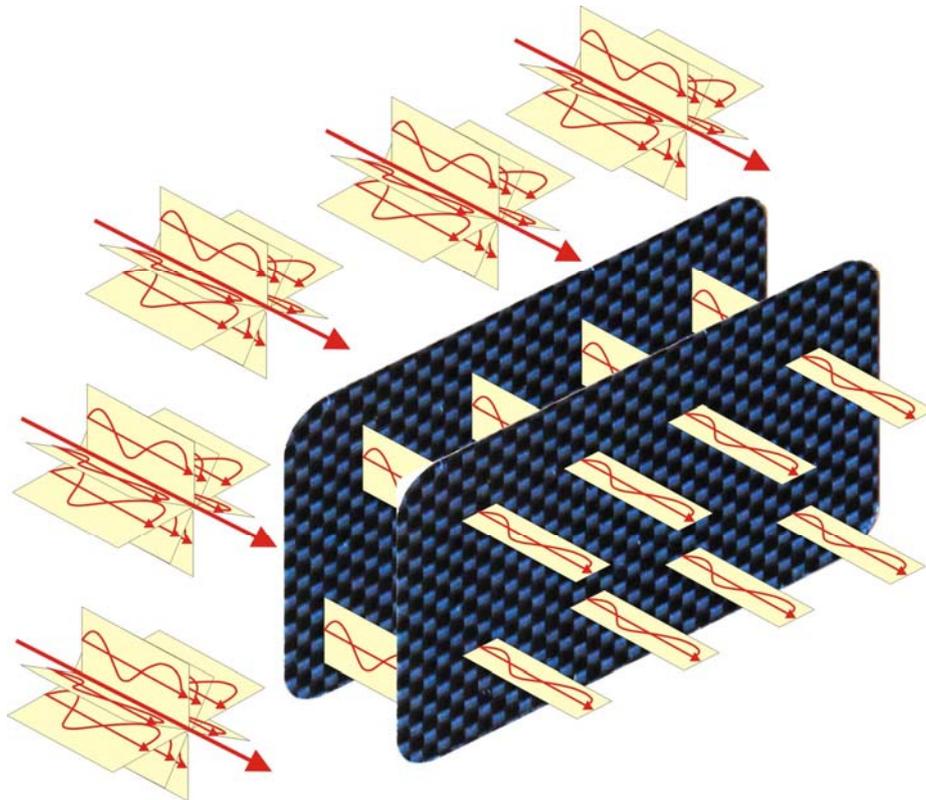


Bild 62. Interferenz elektromagnetischer Wellen beim Durchdringen des zweiten und folgender Schichten des Materials FOSTAC Chip

In Übereinstimmung mit den Formeln 1.16 und 1.17 des Punktes 4.6.2 erhalten wir als mittelgewichtige rechnerische Dämpfung des elektromagnetischen Felds beim Heraustreten aus dem Material einer Einrichtung des Typus FOSTAC Chip ungefähr 60,5%. Die vollständige rechnerische Amplitude-Frequenz-Charakteristik der Dämpfung elektromagnetischer Wellen im Material einer Einrichtung FOSTAC Chip wird im Bild 64 vorgestellt.

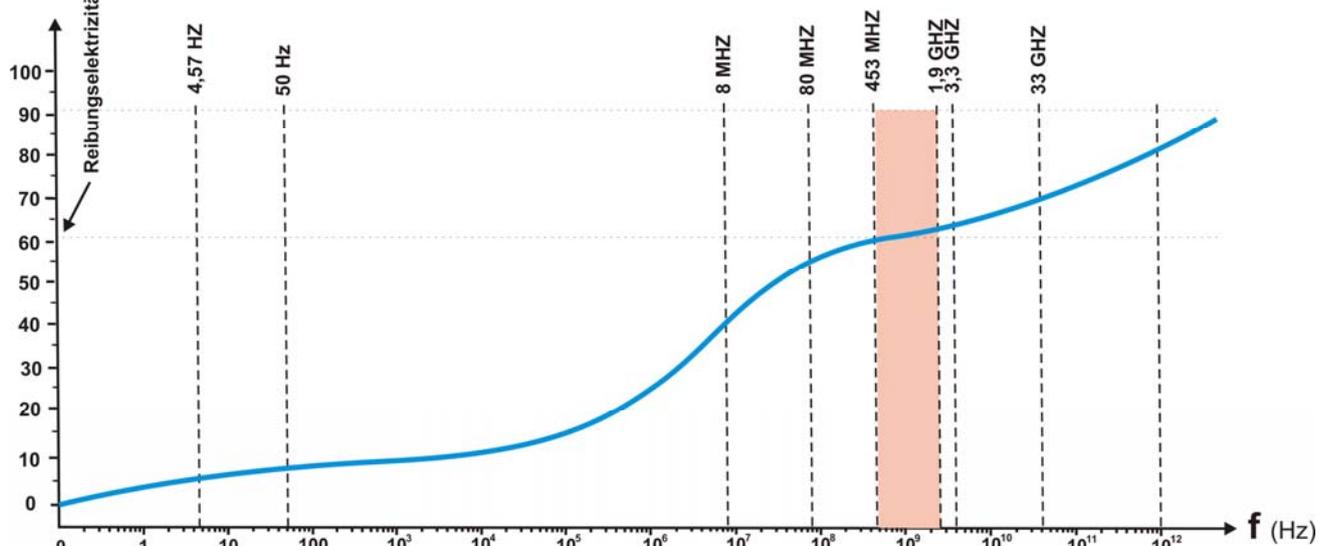
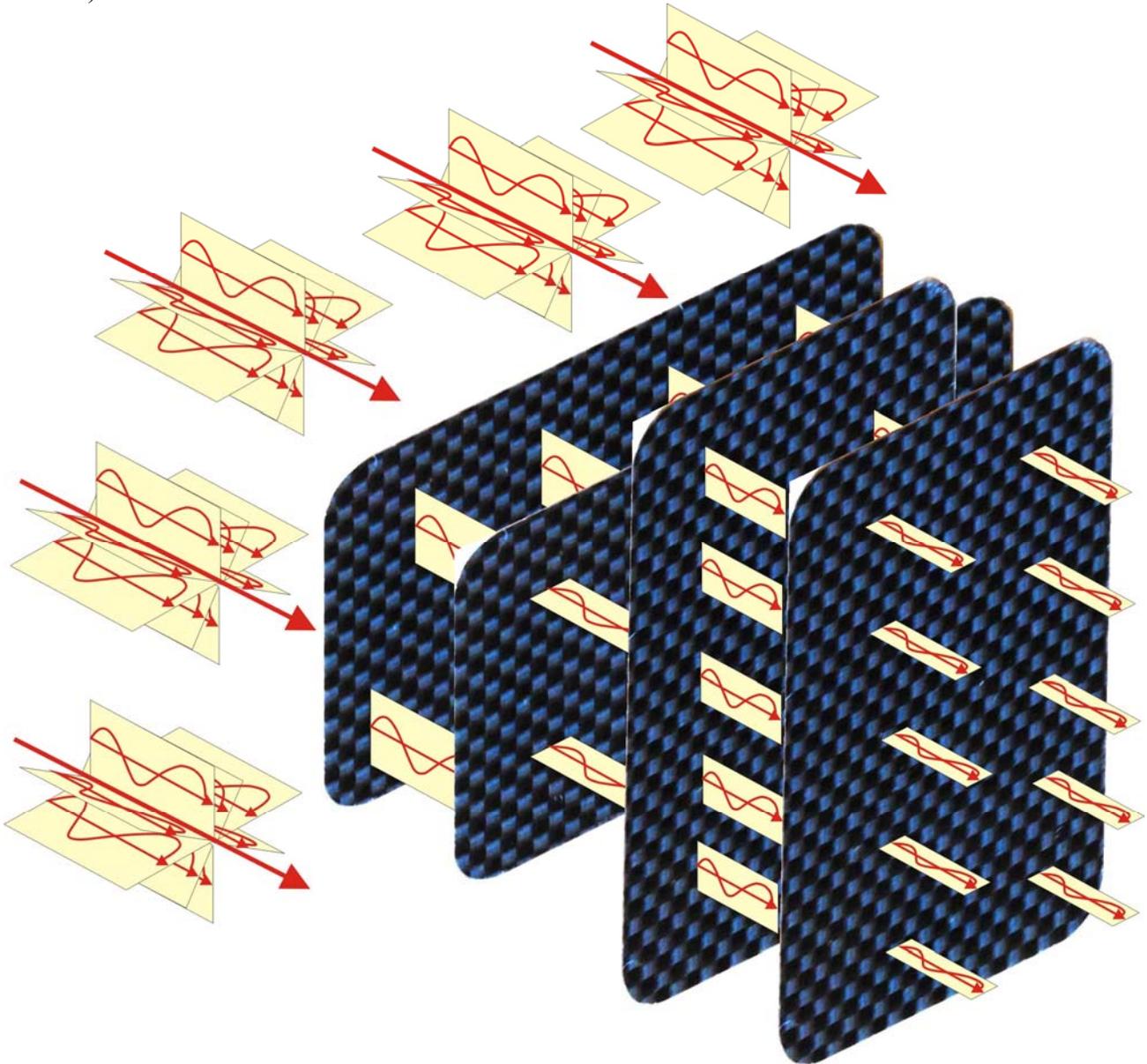


Bild 63 Rechnerische Amplitude-Frequenz-Charakteristik der Dämpfung elektromagnetischer Wellen im Material einer Einrichtung FOSTAC Chip

Beim Durchdringen von elektromagnetischer Wellen der zweiten Einrichtung FOSTAC Chip geschieht die Addition der Erscheinung der Interferenz mit Brechung und Reflexion modifizierter EM-Strahlen in jeder folgenden Schicht, in Übereinstimmung mit dem Punkt 4.6. Außerdem

geschieht in der letzten Schicht der zweiten Einrichtung FOSTAC Chip eine Modifikation der EM-Wellen gemäß der Art des Brechungsgitters. Die Hauptbedingung der maximalen Kompensation elektromagnetischer Wellen in der zweiten Einrichtung ist die Drehung dieser Einrichtung um  $90^\circ$  bezüglich der Querschnittsachse der ersten Einrichtung. Dies ist notwendig für die Erfüllung der zweiten Bedingung der Additionsdämpfung polarisierter EM-Wellen in der ersten und der zweiten Schicht der Einrichtung vom Typus FOSTAC Chip. Dieser Effekt wird dadurch bedingt, dass eine Reihenfolgemodifikation elektromagnetischer Wellen in vorhergehenden Materialschichten der Einrichtung FOSTAC Chip in Übereinstimmung mit den oben dargelegten Prozessen stattfindet (s. Bild 64).



*Bild 42 Polarisation und Interferenz elektromagnetischer Wellen beim Durchdringen des zweiten FOSTAC Chip*

Als Ergebnis erhalten wir eine vollständige mittelgewichtige rechnerische Dämpfung des elektromagnetischen Feldes beim Verlassen des Materials von zwei Einrichtungen vom Typus FOSTAC Chip von 97,1025% (s. Bild 65).

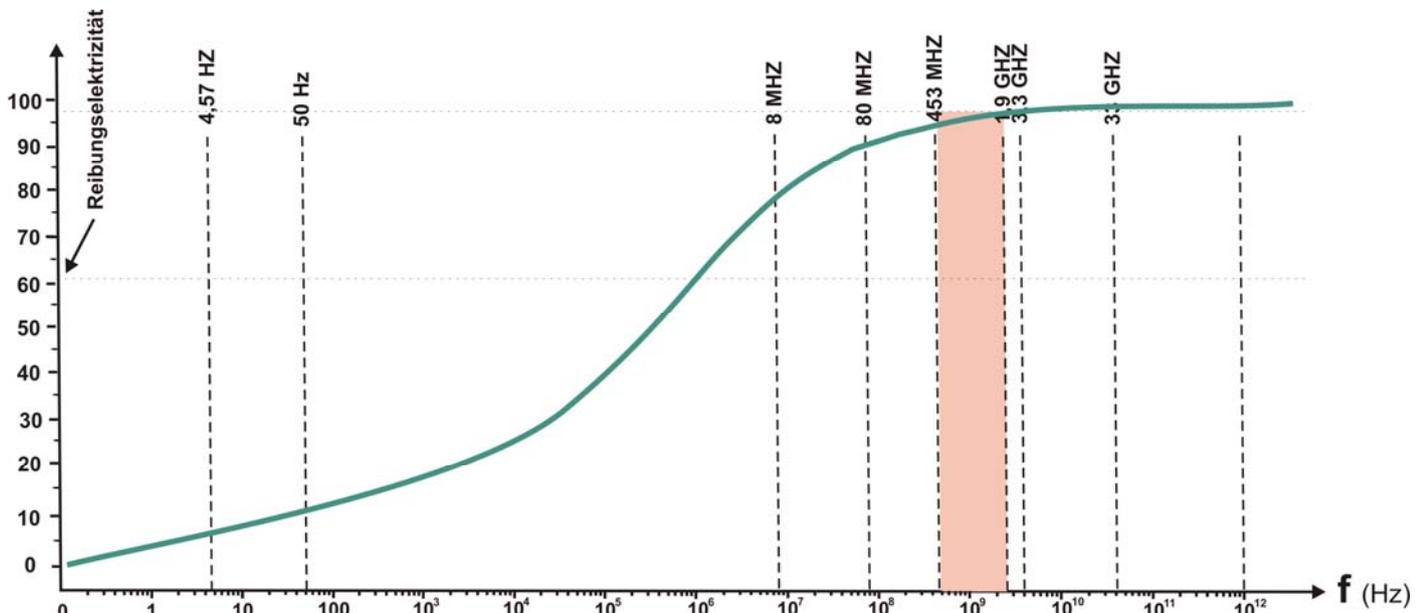


Bild 65. Summarische rechnerische Amplituden-Frequenz-Charakteristik der Dämpfung der EM-Wellen in zwei Einrichtungen FOSTAC Chip

Als Ergebnis der Messdurchführung der Dämpfung des Stromdurchflusses vom elektromagnetischen Feld mit Hilfe von Messgeräten (s. Kapitel 2) wurden folgende Ergebnisse, die in Bildern 66 und 67 dargestellt sind, erhalten.

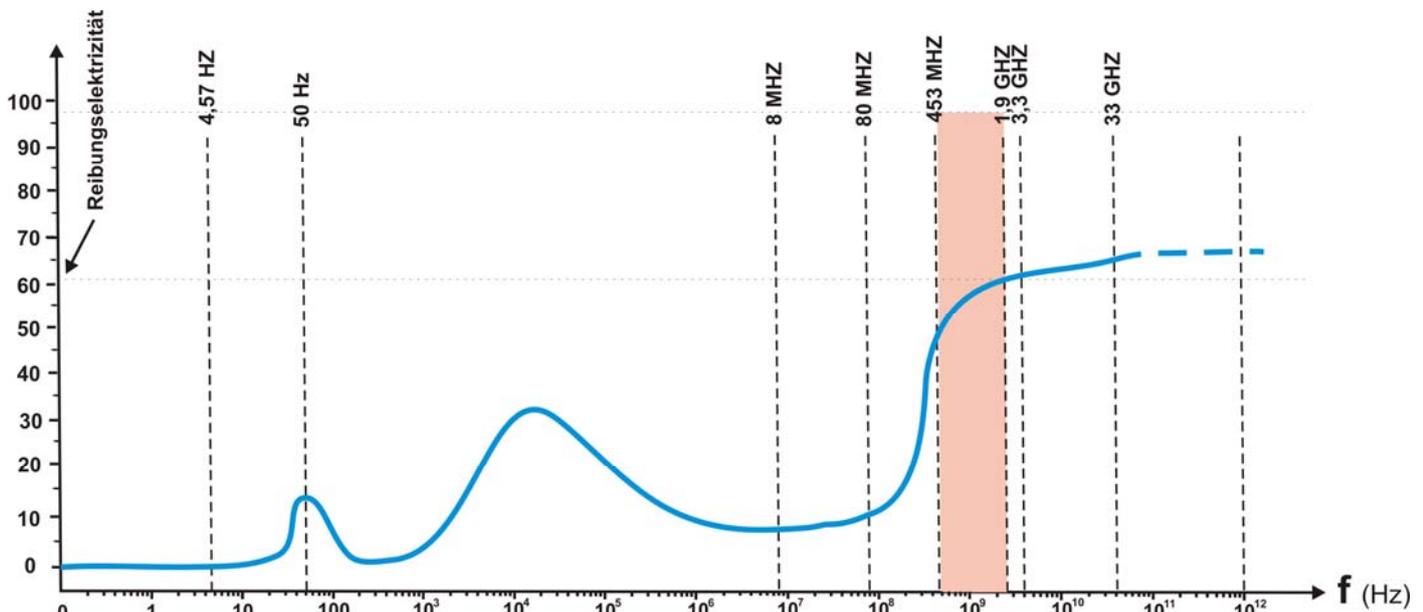


Bild 66 Gemessene Amplituden-Frequenz-Charakteristik der Dämpfung von EM-Wellen in einer Einrichtung FOSTAC Chip

Die Verarbeitung der Messergebnisse für **eine Einrichtung** FOSTAC Chip zeigte eine Stromflussabnahme des EM-Feldes im Frequenzbereich des Betriebs der Mobiltelefone um **51,2%** im Vergleich zu Messungen, die ohne Schutzeinrichtungen durchgeführt wurden. Die mittelgewichtige Zahl der Stromflussabnahme beträgt **32,4%**.

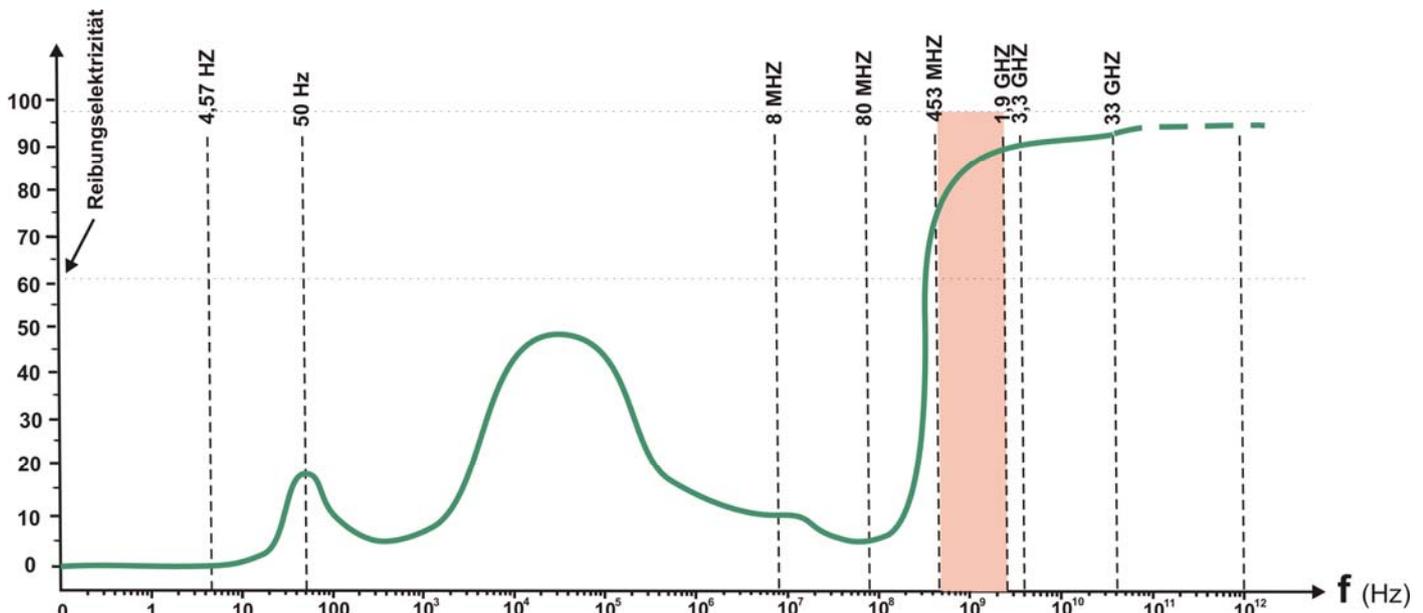


Bild 67. Summarische gemessene Amplituden-Frequenz-Charakteristik der Dämpfung von EM-Wellen in zwei Einrichtungen FOSTAC Chip

Die Verarbeitung der Messergebnisse für **zwei Einrichtungen FOSTAC Chip** zeigte eine Stromflussabnahme des EM-Feldes im Frequenzbereich des Betriebs der Mobiltelefone um **81,5%** im Vergleich zu Messungen, die ohne Schutzeinrichtungen durchgeführt wurden. Die mittelgewichtige Zahl der Stromflussabnahme der schädlichen elektromagnetischen Strahlung beträgt **52,8%**.

### Schlussfolgerungen

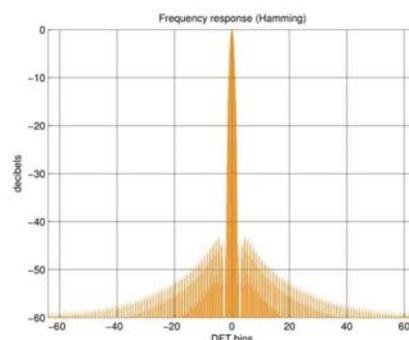
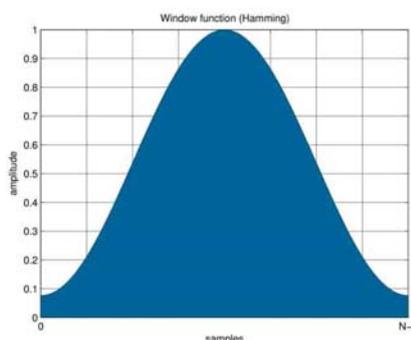
Mit den Ergebnissen der durchgeführten Messungen wurde eine statistische Verarbeitung der erhaltenen Daten in Übereinstimmung mit der folgenden Berechnungsmethodik. Mittelgewichtige Effektivitäts-Koeffizienten der Verwendung von Schutzeinrichtungen vor elektromagnetische Strahlungen des Typus FOSTAC Chip werden mit Verwendung der Fourier-Verteilung für mittelquadratische Abweichungen absoluter dynamischer Werte der Amplituden-Frequenz-Charakteristiken dieser Einrichtungen.

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^m \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$

Wo:

- $a_0$  - Anfangsniveau der Effektivität von Schutzeinrichtungen,
- folgende Koeffizienten ( $a_n, b_n, \dots, m_n$ ) stellen mittelquadratische Effektivitätsabweichungen in folgenden nichtharmonischen Frequenzbereichen, die nach der Methode zufälliger Variationen gewählt wurden.

Die Koeffizienten kann man in Form der Hamming-Funktion darstellen:



Alle Berechnungen wurden in relativen Einheiten der Stromflussdichteveränderung des elektromagnetischen Feldes mit Verwendung von Schutzeinrichtungen ausgeführt, im Verhältnis zu Ergebnissen, welche bei Messungen erhalten wurden, die ohne Verwendung von Schutzeinrichtungen durchgeführt wurden.

$$\Delta \Pi \Pi \Theta = \frac{[\Pi \Pi \Theta_{\text{mit Chip Fostac}}]}{[\Pi \Pi \Theta_{\text{ohne Chip Fostac}}]} = k_n \{f(s)\}$$

wo  $s$  - mittelquadratische Abweichung der Amplituden-Frequenz-Charakteristik der Einrichtung FOSTAC Chip.

Die Berechnungen wurden ohne Rücksicht auf die Dynamik der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen in der Luft und in Geweben des menschlichen Organismus (ohne Rücksicht auf dielektrische und magnetische Permeabilität der Gewebe des menschlichen Gehirns), mit der Annahme, dass mittelquadratische Abweichungen der absoluten Werte der Amplituden-Frequenz-Charakteristiken der Schutzeinrichtungen eine konstante Größe darstellen:

$$k_n \{f(s)\} = \text{const}$$

Höchste Effektivitäten der Schutzeinrichtung FOSTAC Chip kommen auf Frequenzen, die in der Tabelle 23 angeführt werden.

TABELLE 23

Höchstwerte der Effektivität der Verwendung von Schutzeinrichtungen des Typus FOSTAC Chip.

Elektromagnetische Strahlungsfrequenz, Hz		Effektivität mit Verwendung von einem FOSTAC Chip, %	Effektivität mit Verwendung von zwei FOSTAC Chips, %
50		13,5	18,7
31 200	31,2 kHz	33,6	48,2
10 400 000	10,4 MHz	7,6	11,2
67 200 000	67,2 MHz	9,2	4,1
453 000 000	243 MHz	48,3	74,2
1 900 000 000	1,90 GHz	61,7	90,1
31 700 000 000	31,7 GHz	64,2	92,7

Für **eine Schutzeinrichtung FOSTAC Chip** beträgt die Stromflussabnahme des EM-Feldes im Frequenzbereich des Betriebs der Mobiltelefone **51,2%**, im Vergleich zu Messungen, die ohne Schutzeinrichtungen durchgeführt wurden. Die mittlere Zahl der Stromflussabnahme des EM-Feldes im ganzen Bereich der elektromagnetischen Strahlungen beträgt **32,4%**.

Für **zwei gekoppelte Schutzeinrichtungen FOSTAC Chip** beträgt die Stromflussabnahme des EM-Feldes im Frequenzbereich des Betriebs der Mobiltelefone **81,5%**, im Vergleich zu Messungen, die ohne Schutzeinrichtungen durchgeführt wurden. Die mittlere Zahl der Stromflussabnahme des EM-Feldes im ganzen Bereich der elektromagnetischen Strahlungen beträgt **52,8%**.

*Die durchgeführte statistische Aufbereitung der gegebenen Messungen erlaubt es, zu behaupten, dass die Verwendung von Schutzeinrichtungen des Typus **FOSTAC Chip** den Einfluss*

*elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich der Mobiltelefone aller Verbindungsstandarte  
(Standarte NMT-450i, GSM-800, GSM-900, GSM-1800, GSM-1900, CDMA-2000, 3G - 2200 MHz)  
effektiv senkt und den schädlichen Einfluss elektromagnetischer Felder im ganzen Frequenzbereich  
wesentlich verringert.*