

Download von:

# GCCSI

Ihr Dienstleister in:

Sicherheitslösungen  
Netzwerk-Technologie  
Technischer Kundendienst  
Dienstleistung rund um Ihre IT

Gürbüz Computer Consulting & Service International 1984-2007 | Önder Gürbüz | Aar Strasse 70 | 65232 Taunusstein  
info@gccsi.com | +49 (6128) 757583 | +49 (6128) 757584 | +49 (171) 4213566

## 2 Einführung in die physikalischen Grundlagen

### 2.1 Elektrische und magnetische Felder

Ein elektrisches Feld entsteht überall dort, wo auf Grund getrennter Ladungsträger eine Potenzialdifferenz, d.h. eine elektrische Spannung  $U$  mit der Einheit Volt, vorhanden ist. Dies ist auch dann der Fall, wenn kein Strom fließt.

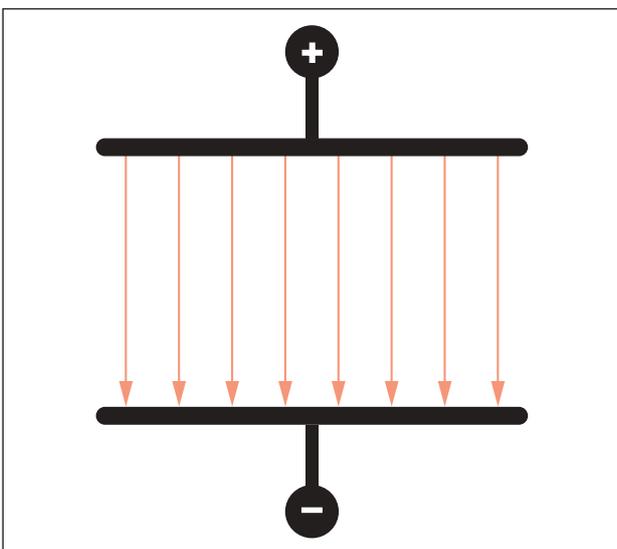


Abbildung 2.1: Homogenes elektrisches Feld

Die Einheit der elektrischen Feldstärke ist Volt pro Meter [V/m]. Die Stärke des elektrischen Feldes nimmt mit steigender Spannung zu und mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab. Hat die Feldstärke an jedem Ort den gleichen Betrag und die gleiche Richtung, so handelt es sich um ein homogenes Feld (Abbildung 2.1), wie es beispielsweise innerhalb eines Plattenkondensators auftritt. Im Unterschied dazu sind Betrag und Richtung in einem inhomogenen Feld (Abbildung 2.2), beispielsweise bei einem zweiadrigen Stromkabel, abhängig vom jeweiligen Ort.

Das elektrische Feld wird stark durch seine Umgebung beeinflusst, da jedes leitfähige Objekt das elektrische Feld verändert. Ursache hierfür ist die unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes in einem leitfähigen Objekt bewirkte Ladungstrennung, auch Influenz

genannt. Im Falle eines geschlossenen und leitfähigen Käfigs (sog. „Faradayscher Käfig“) führt dies dazu, dass das elektrische Feld im Innern praktisch gleich null ist (Abbildung 2.3).

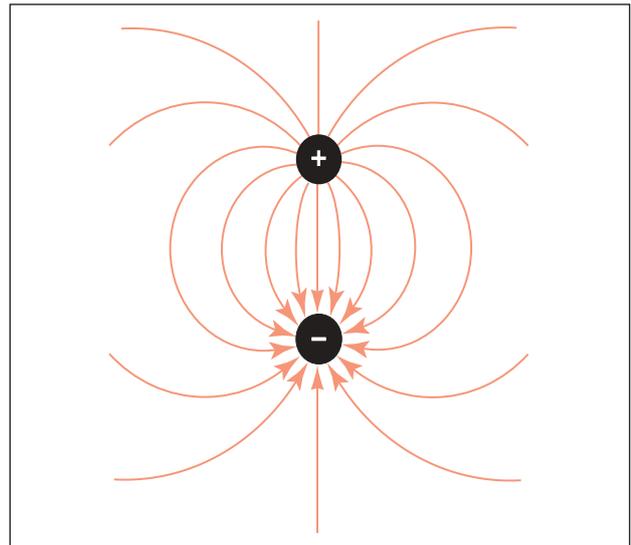


Abbildung 2.2: Inhomogenes elektrisches Feld

Auch Gebäude schirmen ein von außen einwirkendes elektrisches Feld nahezu vollständig ab, so dass im Gebäudeinnern die elektrische Feldstärke im Vergleich zu den von außen einwirkenden Feldern vernachlässigbar gering ist. In umgekehrter Weise kann auch ein im Innern eines leitfähigen Objektes erzeugtes elektrisches Feld, z.B. in einem Mikrowellenherd, nach außen hin abgeschirmt werden.

Wirkt ein zeitlich sich änderndes elektrisches Feld auf einen elektrisch leitfähigen Körper ein, so führt der ständige Ladungswechsel im Körper zu Wechselströmen mit der Einheit Ampere [A]. Der Strom pro Fläche wird als elektrische Stromdichte mit der Einheit  $[A/m^2]$  bezeichnet.

Ein magnetisches Feld entsteht überall dort, wo elektrische Ladungen bewegt werden, d.h. wo ein elektrischer Strom fließt. Die Stärke des magnetischen Feldes wird in Stromstärke pro Meter  $[A/m]$  angegeben und als magneti-

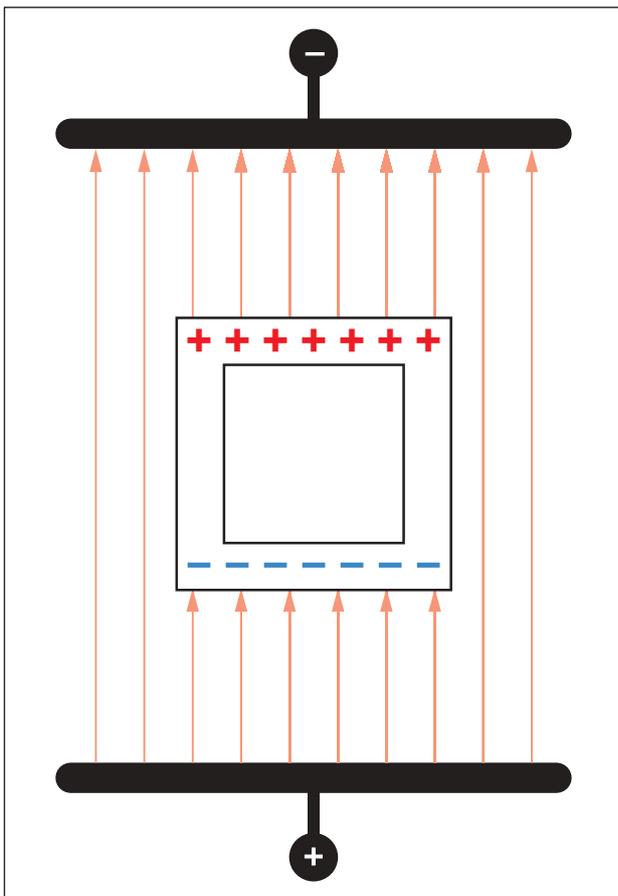


Abbildung 2.3: Vollständige Abschirmung durch einen Faradayschen Käfig

sche Feldstärke  $H$  bezeichnet. Im Gegensatz zur elektrischen Feldstärke  $E$  gibt die magnetische Feldstärke  $H$  nicht die gesamte Kraftwirkung des Magnetfeldes wieder, da diese Kraftwirkung nicht nur von der Stromstärke, sondern auch vom Material abhängt, das vom Magnetfeld durchdrungen wird. Zur Beschreibung der Stärke des magnetischen Feldes verwendet man daher die magnetische Flussdichte  $B$  mit der Einheit Tesla [T]. Für die magnetische Flussdichte  $B$  wird häufig auch der Begriff magnetische Induktion verwendet. In vielen Fällen ist die magnetische Flussdichte mit der magnetischen Feldstärke über eine Materialkonstante, der Permeabilität  $\mu$  direkt verknüpft ( $H = 1 \text{ A/m}$  entspricht in Luft  $B = 1,257 \mu\text{T}$ ).

Die Stärke des Magnetfeldes nimmt mit zunehmender Stromstärke zu und mit wachsendem Abstand von der Quelle ab. Als Beispiel

für ein magnetisches Feld sind in Abbildung 2.4 die Magnetfeldlinien eines geraden, stromdurchflossenen Leiters dargestellt.

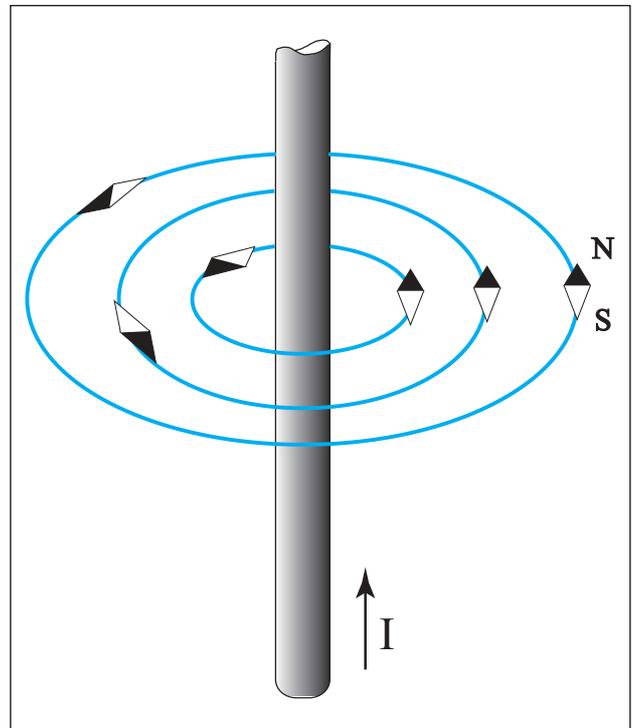


Abbildung 2.4: Magnetfeldlinien eines stromdurchflossenen Leiters

Das Magnetfeld hat im Gegensatz zum elektrischen Feld die Eigenschaft, dass es die meisten Materialien nahezu unvermindert durchdringt. Eine Abschirmung ist, wenn überhaupt, nur mit großem Aufwand und teuren Spezialwerkstoffen zu erreichen. Dagegen lässt sich in Abhängigkeit von der Art des jeweiligen Stromkreises eine mit zunehmender Entfernung von der Quelle deutliche Abnahme der magnetischen Feldstärke erreichen (Abbildung 2.5).

Die elektrische Leistung  $P$  ist das Produkt aus der Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$ . Die Einheit der elektrischen Leistung ist Watt [W]. Auf Grund dieser Wechselbeziehung verhalten sich auch die elektrischen und magnetischen Felder bei gleicher elektrischer Leistung wie folgt: Eine hohe Spannung bewirkt ein relativ starkes elektrisches Feld bei relativ schwachem magnetischen Feld. Bei niedriger Spannung ist es umgekehrt.

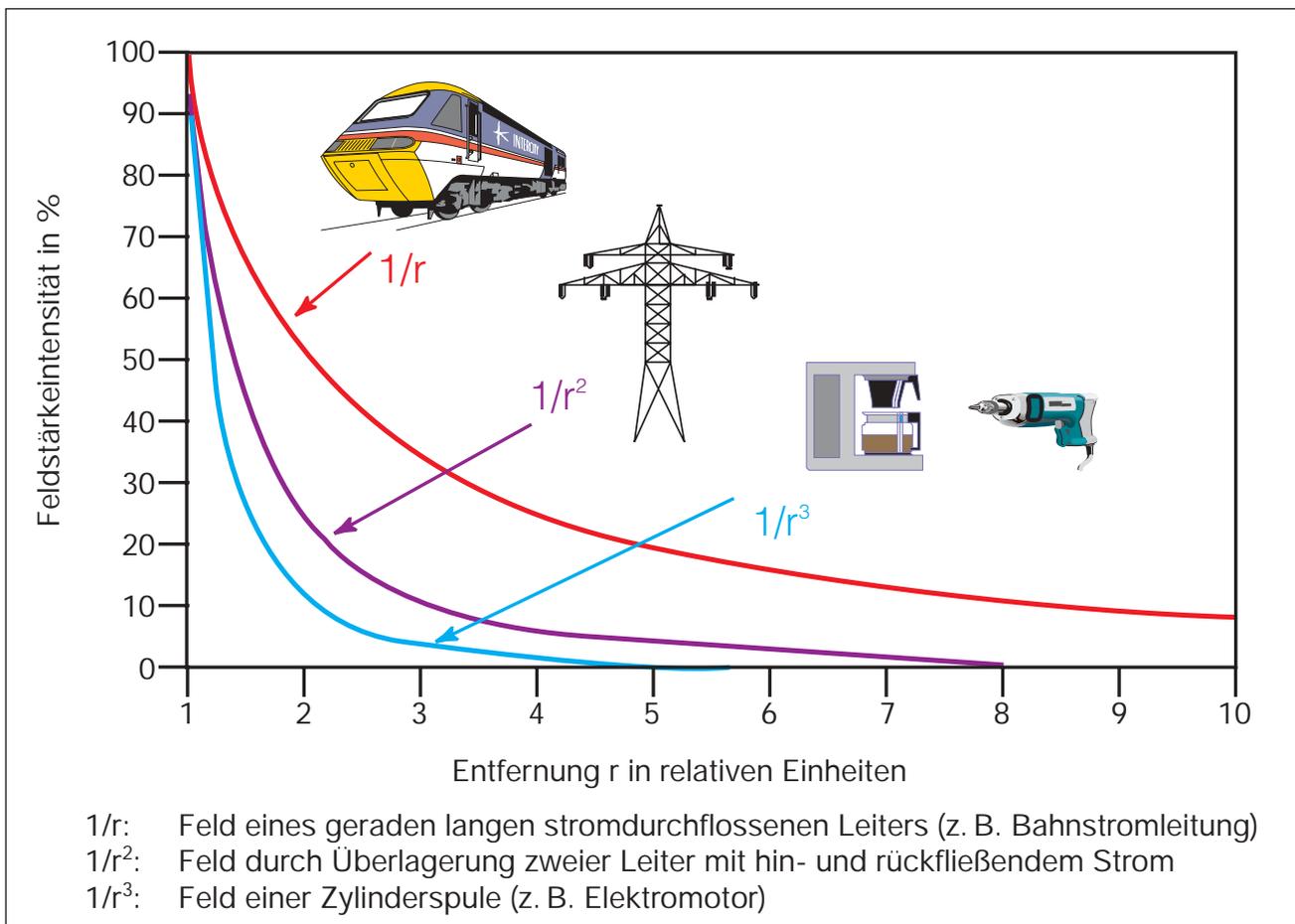


Abbildung 2.5: Abnahme des magnetischen Feldes mit der Entfernung für verschiedene Quellen

## 2.2 Elektrische und magnetische Wechselfelder

Elektrische und magnetische Felder, die sich über die Zeit nicht verändern, nennt man Gleichfelder oder statische Felder. Bei elektrischen Wechselfeldern ändert sich die Polarität (+/-) des Feldes mit der Zeit. Fließt ein Strom, d. h. werden elektrische Ladungen bewegt, entstehen zeitgleich magnetische Wechselfelder. Umgekehrt erzeugen magnetische Wechselfelder elektrische Wirbelfelder und Ströme, was als Induktion bezeichnet wird.

Wechselfelder werden anhand ihrer zeitlichen Form (z. B. sinusförmig, siehe Abbildung 2.6) und Frequenz  $f$  beschrieben. Die Frequenz wird in Hertz [Hz] angegeben. Bei der öffentlichen Stromversorgung handelt es sich zum Beispiel um sinusförmige Wechselfelder mit einer Frequenz von 50 Hertz, d. h. die Polarität

des elektrischen Feldes ändert sich 100 Mal pro Sekunde.

## 2.3 Elektromagnetische Felder und Strahlen

Die elektrischen und magnetischen Felder stehen, wie in den Kapiteln 2.1 und 2.2 ausgeführt, in engem Zusammenhang: Elektrische Felder bewegen elektrische Ladungen, bewegte elektrische Ladungen erzeugen magnetische Felder und magnetische Wechselfelder erzeugen (induzieren) elektrische Felder. Diese wechselseitige enge Verknüpfung ist umso stärker, je schneller die Feldänderungen erfolgen, d. h. je höher die Frequenz ist. Bei hohen Frequenzen über 30 Kilohertz (kHz) kann daher das elektrische und das magnetische Feld nicht mehr getrennt betrachtet werden. Man spricht nun von elektro-

magnetischen Feldern oder Wellen. Elektromagnetische Felder können sich von der Quelle, zum Beispiel einer Antenne, lösen und sich im Raum über große Entfernungen ausbreiten. Diese Eigenschaft wird zur Übertragung von Informationen zum Beispiel beim Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk genutzt. Elektromagnetische Wellen transportieren Energie, die sich aus den Energieanteilen des elektrischen und magnetischen Feldes zusammensetzt. Das Maß für die Stärke einer Welle ist die Leistungsflussdichte  $S$ . Die Leistungsflussdichte charakterisiert die Energie, die pro Zeiteinheit eine Fläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle durchströmt. Sie ist das flächenbezogene Produkt aus elektrischer  $E$  und magnetischer Feldstärke  $H$  und wird in Watt pro Meterquadrat [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] angegeben. Die Leistungsflussdichte  $S$  nimmt mit zunehmender Entfernung von der Quelle mindestens mit dem Quadrat des Abstandes ab. Die einfachste und zugleich am häufigsten vorkommende Wellenform ist die sinusförmige Welle (Abbildung 2.6).

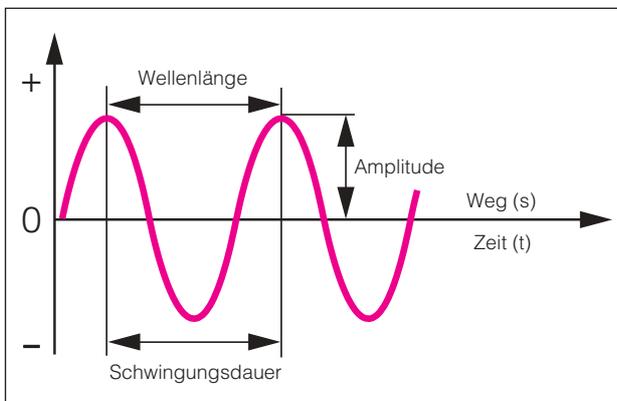


Abbildung 2.6: Zeitlicher Verlauf einer sinusförmigen Welle

Die Schwingungsdauer  $T$  und die Frequenz  $f$  der Welle sind dabei durch folgende Beziehung miteinander verknüpft:

$$f = 1/T$$

mit  $f =$  Frequenz [ $1/\text{s} = 1 \text{ Hz}$ ]

und

$T =$  Schwingungsdauer oder  
Periodendauer [s]

Im Vakuum und in guter Näherung in Luft ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromag-

netischer Wellen für alle Frequenzen gleich und entspricht der Lichtgeschwindigkeit  $c$ . Daraus leitet sich folgender physikalischer Zusammenhang zwischen der Wellenlänge  $\lambda$ , der Schwingungsdauer  $T$  einer Welle sowie der Lichtgeschwindigkeit ab:

$$\lambda = T \times c$$

mit  $c = 300\,000\,000 \text{ m/s}$

und  $\lambda =$  Wellenlänge [m]

Neben sinusförmigen Wellen werden in der Technik auch andere Wellentypen wie Rechteckimpulse oder modulierte Signale eingesetzt.

Der physikalische Begriff der elektromagnetischen Wellen bzw. Felder und Strahlen umfasst einen weiten Frequenzbereich (Abbildung 2.7). In einer groben Aufteilung wird der Bereich bis etwa 30 kHz als Niederfrequenz und der Bereich von 100 kHz bis 300 GHz als Hochfrequenz bezeichnet. Das Frequenzband von 30 kHz bis 300 MHz wird vielfach als Radiofrequenz, zusammengesetzt aus Langwellen (LW), Mittelwellen (MW), Kurzwellen (KW) und Ultrakurzwellen (UKW), der Bereich von 300 MHz bis 300 GHz als Mikrowellen bezeichnet. Den Mikrowellenbereich nutzen zum Beispiel Fernsehsender, Mobilfunknetze, Radaranlagen und Mikrowellenherde.

Die nichtionisierenden Felder und Wellen sind deutlich von den ionisierenden Strahlen zu unterscheiden. Die ionisierenden UV-, Röntgen- oder Gamma-Strahlen tragen eine hohe elementare Energie und können die Bindungen zwischen Atomen und Molekülen im Körper auflösen. Eine Schädigung durch solche Strahlen, die sich mit der Expositionszeit addieren, kann sogar Krebs auslösen. In der vorliegenden Broschüre wird ausschließlich auf den Bereich der nichtionisierenden Felder eingegangen, die derartige Wirkungen im Körper nicht ausüben können. Zur Erläuterung der unterschiedlichen Wirkungsweisen dieser Felder ist eine weitere Einteilung in Gleichfelder, niederfrequente elektrische und magnetische Wechselfelder sowie hochfrequente elektromagnetische Felder erforderlich. In Abbildung 2.7 ist das Frequenzspektrum ionisierender und nichtionisierender Strahlen mit Beispielen dargestellt.

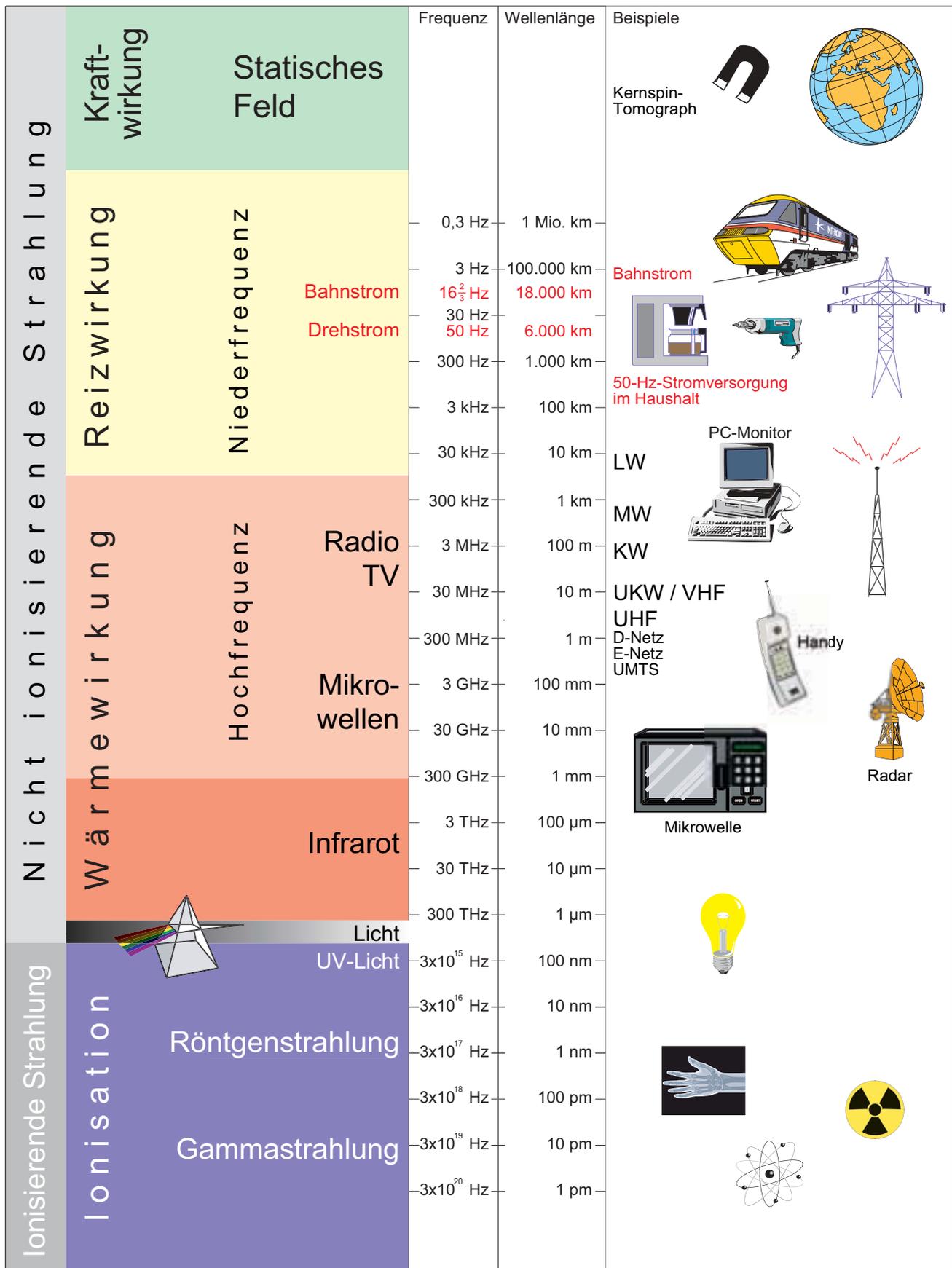


Abbildung 2.7: Frequenzspektrum ionisierender und nichtionisierender Strahlen mit Beispielen