

ICS 33.100.20

Dieses Beiblatt enthält Informationen zu VG 95371-10, jedoch keine zusätzlich genormten Festlegungen.
This supplement provides information relating to VG 95371-10, but does not contain any additional specifications.

**Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektromagnetischen Impuls (EMP) und Blitz —
Allgemeine Grundlagen —
Teil 10: Bedrohungsdaten für NEMP und Blitz;
Beiblatt 3: Erläuterung der NEMP-Bedrohungsdaten;
Text Deutsch und Englisch**

Electromagnetic compatibility (EMC) including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection —
Fundamentals —
Part 10: Threat levels for NEMP and lightning;
Supplement 3: Comments on HEMP threat;
Text in German and English

Compatibilité électromagnétique (CEM), inclus protection contre l'impulsion électromagnétique (IEM) et les décharges atmosphériques —
Principes fondamentaux —
Partie 10: Valeurs de menace pour l'impulsion électromagnétique nucléaire (IEMN) et les décharges atmosphériques;
Supplément 3: Notes explicatives relatives aux valeurs de menace définies pour la foudre;
Texte en allemand et anglais

Gesamtumfang 27 Seiten
Total extent 27 pages

DIN-Normenstelle Elektrotechnik (NE)

The English version is a translation. In case of dispute the German original will govern.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorwort	4	Foreword	4
1 Anwendungsbereich	4	1 Scope	4
2 Erläuterung und Hintergrund der mathematischen Formulierungen des Exo-NEMP	4	2 Comments and background on the mathematical descriptions of the HEMP	4
2.1 Allgemeines	4	2.1 General	4
2.2 Mathematische Grenzen der Doppelt-Exponentiellen (DEXP) Formulierung	6	2.2 Mathematical limitations of the double-exponential (DEXP) equation	6
2.3 Formulierung nach Heidler (VG 95371-10:2011-09)	8	2.3 Description according to Heidler (VG 95371-10:2011-09)	8
2.4 Formulierung nach Giri	11	2.4 Description according to Giri	11
2.5 DEXP-Formulierung nach VG 95371-10:2003-08	17	2.5 DEXP equation according to VG 95371-10:2003-08	17
2.6 QEXP-Formulierung	22	2.6 QEXP equation	22
Literaturhinweise	27	Bibliography	27
Bilder		Figures	
Bild 1 — Feldverlauf und Unstetigkeit für dE/dt bei $t = 0$ bei Verwendung der doppelt-exponentiellen Formulierung	6	Figure 1 — Field strength waveform and discontinuity for dE/dt at $t = 0$ when using the double-exponential equation	6
Bild 2 — Zeitlicher Verlauf bei Verwendung der Formulierung nach Heidler	9	Figure 2 — Waveform obtained from the description according to Heidler	9
Bild 3 — Amplitudengang der Kurve nach Bild 2	10	Figure 3 — Amplitude/frequency characteristic of the curve according to Figure 2	10
Bild 4 — Darstellung der Anstiegsflanke und der Steigung der Kurve nach Bild 2	11	Figure 4 — Presentation of the rising edge and the gradient of the curve according to Figure 2	11
Bild 5 — Zeitliche Verläufe der Formulierung nach Giri und nach Bild 2	14	Figure 5 — Waveforms of the description according to Giri and Figure 2	14
Bild 6 — Zeitliche Verläufe der Anstiege der Kurven nach Bild 5 und Bild 2	15	Figure 6 — Waveforms of the rising edges of the curves according to Figure 5 and Figure 2	15
Bild 7 — Relative Differenz der Kurven nach Bild 5 und Bild 2	16	Figure 7 — Relative difference of the curves according to Figure 2 and Figure 5	16

Bild 8 — Zeitliche Verläufe der DEXP-Formulierung und der Formulierung nach Bild 2	19	Figure 8 — Waveforms of DEXP equation and the description according to Figure 2	19
Bild 9 — Zeitliche Verläufe der Anstiege der Kurven nach Bild 8 und Bild 2	20	Figure 9 — Waveforms of the rising edges of the curves according to Figure 8 and Figure 2	20
Bild 10 — Relative Differenz der Kurven nach Bild 8 und Bild 2	20	Figure 10 — Relative difference of the curves according Figure 8 and Figure 2	20
Bild 11 — Zeitliche Verläufe der QEXP-Formulierung und der Formulierung nach Bild 2	24	Figure 11 — Waveform of QEXP equation and description according to Figure 2	24
Bild 12 — Zeitliche Verläufe der Anstiege der Kurven nach Bild 11 und Bild 2	25	Figure 12 — Waveforms of the rising edges of the curves according to Figure 11 and Figure 2	25
Bild 13 — Relative Differenz der Kurven nach Bild 11 und Bild 2	25	Figure 13 — Relative difference of the curves according to Figure 11 and Figure 2	25
Tabellen		Tables	
Tabelle 1 — Parameter der Formulierung nach Heidler	9	Table 1 — Parameters of the description according to Heidler	9
Tabelle 2 — Parameter der Formulierung nach Giri	12	Table 2 — Parameter of the description according to Giri	12
Tabelle 3 — Parameter der DEXP-Formulierung	18	Table 3 — Parameters of DEXP equation	18
Tabelle 4 — Parameter der QEXP-Formulierung	23	Table 4 — Parameters of QEXP equation	23

Vorwort

Dieses Dokument wurde von der DIN-Normenstelle Elektrotechnik (NE), Arbeitsausschuss NA 140-00-19 AA „Schutz gegen den Nuklear Elektromagnetischen Impuls (NEMP) und Blitz“, erarbeitet.

Bei dem vorliegenden Dokument handelt es sich um ein Beiblatt aus dem Bereich „Schutz gegen NEMP- und Blitzschlag“.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

VG 96903, *Schutz gegen Nuklear-Elektromagnetischen Impuls (NEMP) und Blitzschlag — Prüfverfahren, Prüfeinrichtungen und Grenzwerte* besteht aus:

siehe VG 95372, *Übersicht*.

VG 95372 enthält eine Übersicht über alle VG-Normen für EMV und zum Schutz gegen EMP und Blitz.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält weitere Informationen zur Anwendung der NEMP-Bedrohungsdaten nach VG 95371-10.

2 Erläuterung und Hintergrund der mathematischen Formulierungen des Exo-NEMP

2.1 Allgemeines

Dieses Dokument gibt nähere Erläuterungen zu denjenigen Normen der Reihe VG 96903, die bei der Entwicklung, Beschaffung und Beistellung von Geräten und Systemen der Bundeswehr im Falle von Forderungen zum Schutz gegen die Wirkungen eines in großer Höhe erzeugten Nuklear-Elektromagnetischen Impulses (Exo-NEMP) anzuwenden sind.

Die in VG 95371-10 beschriebenen Anforderungen an den zeitlichen Pulsverlauf des Exo-NEMP dienen zum Nachweis der geforderten Stör-/Zerstörfestigkeit von Systemen/Geräten gegenüber einer unmittelbaren Einwirkung eines Exo-NEMP.

Die Anforderungen gelten für die Prüfung von mobilen und transportablen Systemen.

Foreword

This document has been prepared by DIN-Normenstelle Elektrotechnik (NE), committee NA 140-00-19 AA „Nuclear electromagnetic pulse (NEMP) and lightning protection“.

The presented document is a supplement for nuclear electromagnetic pulse (NEMP) and lightning protection.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. DIN shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

VG 96903, *Nuclear electromagnetic pulse (NEMP) and lightning protection — Test methods, test equipment and limiting values* consists of:

see VG 95372, *Survey*.

VG 95372 provides an overview over the VG standards relating to EMC and EMP/lightning protection.

1 Scope

This document includes further information on the application of NEMP threat levels according to VG 95371-10.

2 Comments and background on the mathematical descriptions of the HEMP

2.1 General

This document includes comments on those standards of the VG 96903 series that apply to systems and equipment to be developed or procured for, or to be furnished to the German Armed Forces (Bundeswehr) in case of requirements for the protection against the effects of a high-altitude nuclear electromagnetic pulse (HEMP).

The requirements described in VG 95371-10 regarding the HEMP waveform are used to verify the specified immunity/resistibility of systems/equipment to direct HEMP effects.

The requirements apply to testing of mobile and transportable systems.

Der Exo-NEMP besteht aus den drei Komponenten Anfangsimpuls (E1), Folgeimpuls (E2) und Langzeitimpuls (E3). Aufgrund seiner kurzen Stirnzeit reicht das Spektrum des Anfangsimpulses (E1) bis in den hohen Megahertzbereich [1]. Hierdurch koppelt dieser effizient in mobile und transportable Systeme und Geräte ein.

Die deutlich längeren Stirnzeiten des Folgeimpulses (E2) als auch die langsameren zeitlichen Änderungen des Langzeitimpulses (E3) führen zu einer erheblich schwächeren Einkopplung in mobile und transportable Systeme und Geräte. Bedingt durch ihre niederfrequenten Spektren liegt ihre Hauptwirkung in der Kopplung zu langen (E2, $l > 100$ m) bis sehr langen (E3, $l > 1$ km) Leitern. Aufgrund der beschränkten Baugröße der NEMP-Simulatoren ist dieses Verfahren nicht geeignet die Wirkung des Folgeimpulses und des Langzeitimpulses auf ausgedehnte Leitungsstrukturen zu untersuchen.

Die Verfahren nach VG 96903 sind daher auf die Prüfung der Stör-/Zerstörfestigkeit gegenüber dem Anfangsimpuls des Exo-NEMP beschränkt, da dieser in Bezug auf die Kopplung zu mobilen und transportablen Systemen und Geräte die stärkste Wirkung aufweist.

Die Theorie zur Entstehung eines Nuklear Elektromagnetischen Pulses (NEMP) bei einer exo-atmosphärischen Detonation einer Kernwaffe ist verschiedentlich beschrieben worden [2], [3], [4]. Der Prozess lässt sich vereinfacht wie folgt beschreiben:

Durch die Umsetzung des spaltbaren Materials kommt es zu einem Ausstoß von γ -Quanten, welche wiederum aus den Molekülen der Atmosphäre Compton-Elektronen erzeugen. Durch Beschleunigung der Elektronen im Erdmagnetfeld entsteht ein Compton-Strom, der die primäre Quelle des NEMP bildet. In der Berechnung dient dieser Photo-Strom zum Lösen der Maxwell'schen Gleichungen. Im Falle der exo-atmosphärischen Detonation lässt sich der Lösungsansatz mathematisch vereinfachen. Unter Vernachlässigung der Oberflächenreflexion und die Beschränkung auf ein kleines Raumelement kann zum einen die Lösung in einen orts- und einen zeitabhängigen Anteil separiert und zum anderen die Lösung des zeitabhängigen Anteils als ebene Welle formuliert werden. Für diese Lösung können dann verschiedene analytische Ansätze verwendet werden. Einige der am häufigsten genutzten werden in diesem Beiblatt erläutert.

The HEMP consists of the three components early-time HEMP (E1), intermediate HEMP (E2) and late-time HEMP (E3). Due to its short rise time, the spectrum of the early-time HEMP (E1) extends into the high megahertz range [1]. For this reason, it couples efficiently into mobile and transportable systems and equipment.

The significantly longer rise times of intermediate HEMP (E2) and also the slower time-related changes of late-time HEMP (E3) result in a considerably lower coupling into mobile and transportable systems and equipment. Due to their low-frequency spectra, they couple mainly into long (E2, $l > 100$ m) to very long (E3, $l > 1$ km) conductors and cables. Due to the restricted dimensions of NEMP simulators, this procedure is not appropriate for determining the effects of intermediate and late-time HEMP on extended cable structures.

This test procedure according to VG 96903 are therefore restricted to the testing of immunity to early-time HEMP as it has the strongest effects regarding coupling to mobile and transportable systems and equipment.

The theory on the generation of a nuclear electromagnetic pulse (NEMP) during an high-altitude detonation of a nuclear weapon is described in various documents [2], [3], [4]. The process can be simplified as follows:

The reaction of fissile material results in an emission of γ -quanta which, on the other hand, generate Compton electrons out of the molecules of the atmosphere. Due to the acceleration of the electrons in the terrestrial magnetic field a Compton current occurs forming the primary source of the NEMP. With respect to calculation this photo current is the basis for the solving of Maxwell's equations. With respect to a high-altitude detonation the approach to finding a solution can be simplified mathematically. Neglecting surface reflections and the restriction on a small volume element, the solution can be separated into a location-dependent and a time-dependent part, and furthermore, the solution of the time-dependent part can be formulated as plane wave. For this solution various analytical approaches can be used. Some of the most frequently used are explained in this supplement.

2.2 Mathematische Grenzen der Doppelt-Exponentiellen (DEXP) Formulierung

Die relevanten Normen der Reihe VG 96903 beschreiben alternative mathematische Formulierungen des Pulsverlaufs des Exo-NEMP, die besonders im Bereich der numerischen elektromagnetischen Feldsimulation verwendet werden. Diese Programme benötigen eine überall stetig differenzierbare Funktion zur Beschreibung des Verlaufes. Die häufig verwendete doppelt-exponentielle Beschreibung (siehe 2.5) erfüllt diese Bedingung für $t = 0$ nicht. Dies liegt daran, dass der Gesamtverlauf für $t < 0$ und für $t \geq 0$ mit Hilfe zweier Funktionen definiert werden muss.

Die Notwendigkeit der abschnittsweisen Definition wird im Bild 1 deutlich. Hier ist das E-Feld als Funktion der Zeit in der doppelt-exponentiellen Formulierung dargestellt.

2.2 Mathematical limitations of the double-exponential (DEXP) equation

The relevant standards of the series VG 96903 describe alternative mathematical descriptions of the HEMP waveform which are used mainly for numerical simulations of electromagnetic fields. These programs require an overall continuously differentiable function for the description of the waveform. The frequently used double-exponential description (see 2.5) does not meet this requirement for $t = 0$. This is based on the fact that the overall curve has to be specified by means of two functions, one for $t < 0$ and the second for $t \geq 0$.

The need for the definition in sections becomes apparent in Figure 1. The electric field is therein presented in the double-exponential formulation as a function of time.

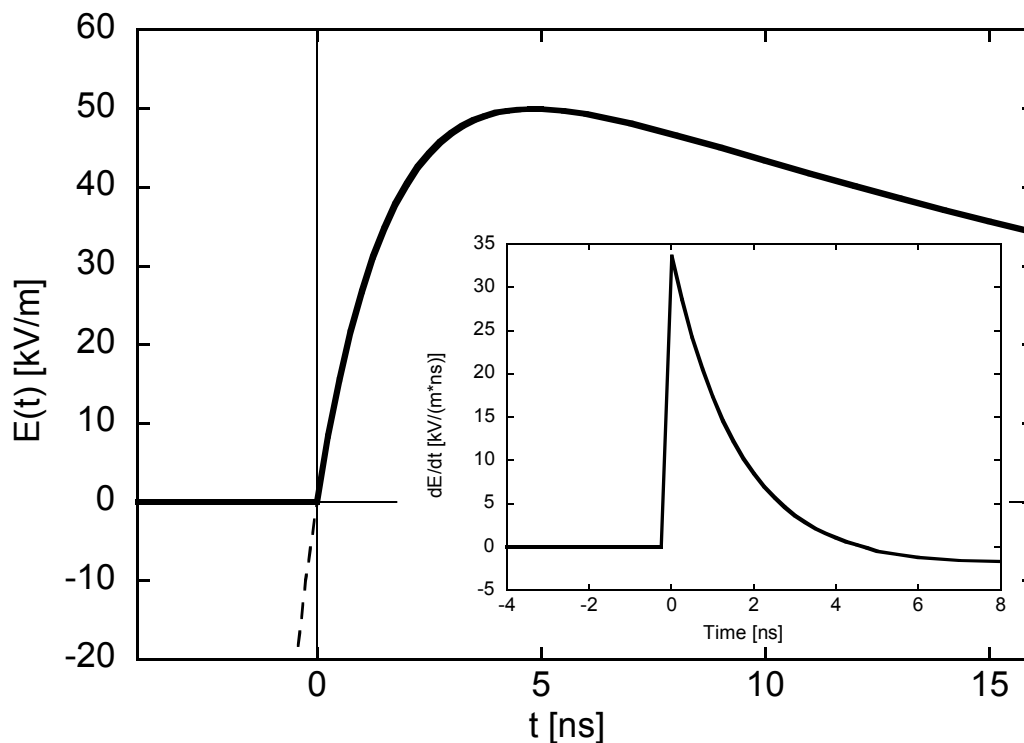


Bild 1 — Feldverlauf und Unstetigkeit für dE/dt bei $t = 0$ bei Verwendung der doppelt-exponentiellen Formulierung

Figure 1 — Field strength waveform and discontinuity for dE/dt at $t = 0$ when using the double-exponential formulation

Es ist zu sehen, dass für $t < 0$ die doppelt-exponentielle Gleichung sofort Werte für das E-Feld annimmt, die kleiner 0 sind. Da dies für die Auswertung von experimentellen Daten insbesondere für die Berechnung des Frequenzspektrums zu Problemen führt, ist man darauf angewiesen, diese Funktion bei $t = 0$ abzuschneiden und für $t < 0$ $E = 0$ zu setzen. Dadurch ergibt sich mathematisch gesehen für $t = 0$ eine Unstetigkeitsstelle. Dieses wird deutlich, wenn man die Ableitung dE/dt der Kurve bildet, wie im Insert von Bild 1 abgebildet. Beim Übergang von $t < 0$ zu $t > 0$ ergibt sich bei $t = 0$ ein theoretisch unendlicher Steigungswert. Zur Beseitigung dieses Problems bei der numerischen Berechnung sind daher alternative mathematische Beschreibungen erforderlich, die diese Unstetigkeit zumindest bei $t = 0$ vermeiden. Die Schwierigkeit hier liegt darin Funktionen zu finden, die für $t < 0$ Werte $E \geq 0$ besitzen, so dass sie bei $t < 0$ abgeschnitten werden können und somit geschlossene Lösungen ermöglichen. Außerdem müssen die Parameter in den alternativen Formulierungen so gewählt werden, dass die daraus entstehenden Pulsverläufe nicht oder in einem akzeptablen Maß von dem der doppelt-exponentiellen abweichen.

Einige, die angewendet werden können, sind in diesem Beiblatt zur VG 95371-10 aufgelistet. Dabei dient die in der VG 95371-10:2011-09 beschriebene Form als Referenz mit der die anderen in dieser Auflistung beschriebenen Formulierungen verglichen werden.

It is obvious that for $t < 0$ the double-exponential equation immediately attains negative values for the electric field. Because this creates problems when evaluating experimental data, in particular, with respect to the calculation of the frequency spectrum, the function has to be cut off at $t = 0$ and for times $t < 0$ the field strength E shall be set to zero. In mathematical terms this results in a point of discontinuity at $t = 0$. This becomes apparent when considering the derivative dE/dt of the curve as shown in the insert in Figure 1. At the transition from $t < 0$ to $t > 0$ a theoretically infinite slope value occurs at $t = 0$. To solve this problem regarding the numerical calculation, alternative mathematical calculations are required which avoid that discontinuity at least at $t = 0$. The difficulty here lies in finding functions with values E greater than or equal to zero for $t < 0$, so that they can be cut off at $t < 0$, thus enabling closed solutions. Furthermore, the parameters of the alternative formulations shall be selected so as to ensure that the resulting pulse waveforms do not deviate from the double-exponential waveform or if so, then only in an acceptable extent.

Some of those, that can be used, are listed in the presented supplement to the standard VG 95371-10. Thereby, the formulation specified in VG 95371-10:2011-09 serves as reference which the other descriptions in the listing are compared with.

2.3 Formulierung nach Heidler VG 95371-10:2011-09

Die hier beschriebene Formulierung ist Bestandteil der VG 95371-10:2011-09 und dient daher als Referenzformel. Die mit ihr ermittelten Werte für die elektrische und magnetische Feldstärke bilden die Bezugswerte zur Bestimmung der relativen Abweichungen nach den Bildern 7, 10 und 13 im Rahmen der Beschreibungen der alternativen Gleichungen nach 2.3 bis 2.5.

Die in diesem Abschnitt benutzte Formulierung verwendet eine Kombination aus einer Exponentialfunktion zur Darstellung der abfallenden Pulsflanke und eines polynominalen Gliedes 10. Grades. Der Blick in [5] zeigt, dass diese Gleichung zur Beschreibung des Kurvenverlaufs eines NEMP analog zur der Beschreibung von Stoßströmen des negativen oder positiven Erstblitzes formuliert ist. Im Gegensatz zum doppelt-exponentiellen Puls ist hier der Beginn des Definitionsintervalls auf $t < 0$ festgelegt, so dass für den Übergang bei $t = 0$ die Stetigkeit gewährleistet ist. Die Gleichung ist somit für alle Zeiten t stetig differenzierbar, da ferner durch diese Art der Beschreibung jegliche Polstelle vermieden wird. Diese Form ist also für numerische Feldberechnungen sehr gut geeignet, da sie keine grundlegende mathematisch bedingten Grenzen enthält. Der Nachteil der Heidler-Formulierung liegt allerdings darin, dass sie nicht analytisch zeitintegrierbar ist. Eine analytische Darstellung des Amplitudenspektrums ist somit nicht möglich.

$$E_{AP}(t) = \frac{E_{AP/\max}}{\eta} \times \frac{\left(\frac{t + t_{AP/off}}{T_{AP}}\right)^{10}}{1 + \left(\frac{t + t_{AP/off}}{T_{AP}}\right)^{10}} \times e^{-\left(\frac{t + t_{AP/off}}{\tau_{AP}}\right)}$$

2.3 Description according to Heidler VG 95371-10:2011-09

The formulation described in the following forms part of the VG 95371-10:2011-09 and serves therefore as reference equation. The electric and magnetic field strength values obtained from it serve as reference values for the determination of the relative deviations according to Figures 7, 10 and 13 in the context of describing the alternative equations according to 2.3 to 2.5.

The description used in this clause uses a combination of an exponential function for the representation of the falling pulse slope and a tenth-degree polynomial. As [5] shows, this equation for the description of the NEMP waveform is formulated analogously to the description of the first negative and positive lightning short strokes. In contrast to the double-exponential pulse, the definition interval begins at times $t < 0$ in order to ensure continuity for the transition at $t = 0$. The equation is thus continuously differentiable for any time t because, furthermore, any singularity is avoided by means of this type of characterization. This form is therefore highly suitable for numerical field calculations since it lacks any limitation caused by mathematical fundamentals. One of the disadvantages of the Heidler equation is the non-analytical time integration. Therefore an analytical formulation of the amplitude spectrum is not possible.

$$\begin{aligned} &\text{für Zeit } t \geq -t_{AP/off} \\ &\text{for time } t \geq -t_{AP/off} \end{aligned} \quad (1)$$

wobei

t	Zeit in s;
E_{AP}	Elektrische Feldstärke des Anfangsimpulses in V/m;
$E_{AP/\max}$	Scheitelwert der Elektrischen Feldstärke des Anfangsimpulses in V/m;
τ_{AP}	Zeitkonstante der abfallenden Signalfanke des Anfangsimpulses in s;
T_{AP}	Kennwert für die Stirnzeit des Anfangsimpulses in s;
$t_{AP/off}$	Zeitkorrekturfaktor des Anfangsimpulses in s;
η	Anpassungsfaktor.

where

t	time in s;
E_{AP}	electrical field strength of early-time pulse in V/m;
$E_{AP/\max}$	peak value of electrical field strength of early-time pulse in V/m;
τ_{AP}	time constant of falling edge of early-time pulse in s;
T_{AP}	nominal front time of early-time pulse in s;
$t_{AP/off}$	time correction factor of early-time pulse in s;
η	scaling factor.

Tabelle 1 — Parameter der Formulierung nach Heidler
Table 1 — Parameters of the description according to Heidler

$E_{AP/max}$	η	T_{AP}	τ_{AP}	$t_{AP/off}$
V/m		s	s	s
50×10^3	0,6822	$6,67 \times 10^{-9}$	$26,8 \times 10^{-9}$	$5,096 \times 10^{-9}$

Die zulässigen Werte für den Scheitelwert der Elektrischen Feldstärke $E_{AP/max}$, die Zeitkonstanten für die ansteigende in abfallende Signalfanke, sowie den Zeitkorrekturfaktor finden sich in Tabelle 1. Mit Hilfe der Gleichung 1 und den Werten der Tabelle 1 ergeben sich die in den Bildern 2, 3 und 4 dargestellten Kurven.

The permissible peak values of the electric field strength $E_{AP/max}$, the time constants of the rising and the falling edge as well as the time correction factor is listed in Table 1. Based on Equation 1 and the values of Table 1, the curves illustrated in Figures 2, 3 and 4 are obtained.

Hierbei zeigt Bild 2 eine Gesamtdarstellung des Verlaufes der elektrischen Feldstärke als Funktion der Zeit.

In Figure 2 the entire electrical field strength waveform is presented as a function of time.

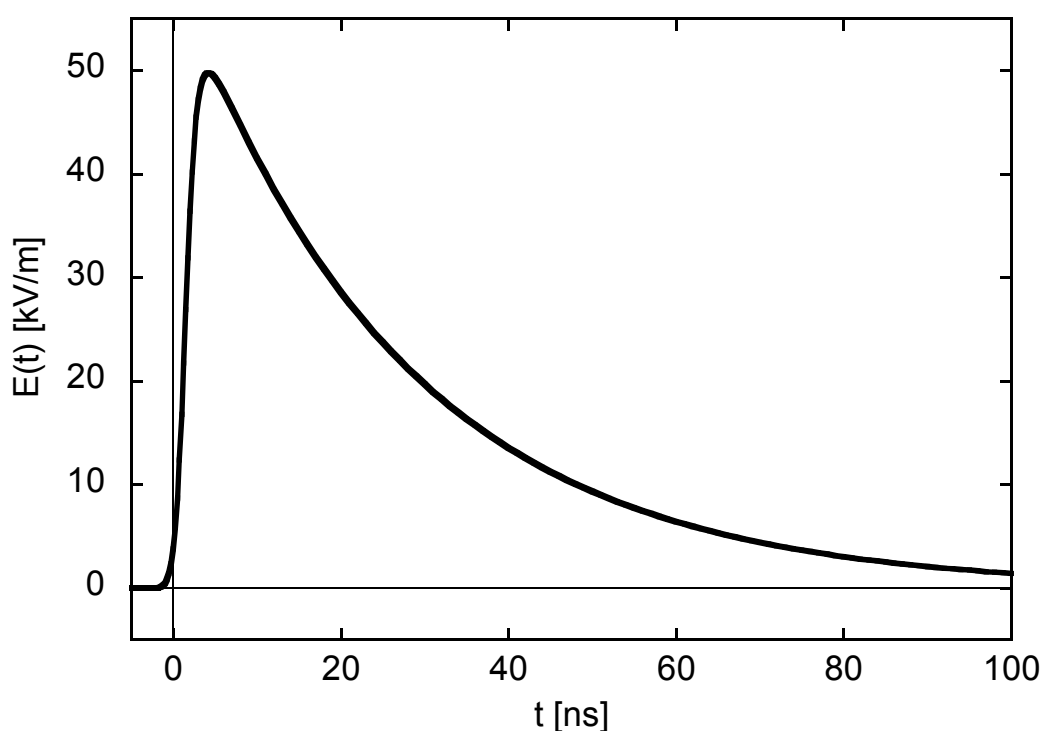


Bild 2 — Zeitlicher Verlauf bei Verwendung der Formulierung nach Heidler
Figure 2 — Waveform obtained from the description according to Heidler