

DIN 1324-1

ICS 17.220.01

Ersatz für
DIN 1324-1:1988-05**Elektromagnetisches Feld –
Teil 1: Zustandsgrößen**Electromagnetic field –
Part 1: State quantitiesChamps électromagnétique –
Partie 1: Grandeurs d'état

Gesamtumfang 38 Seiten

DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG)
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Allgemeines	6
4 Grundbegriffe	9
4.1 Feldgrößen und Quellengrößen des elektromagnetischen Feldes	9
4.2 Feldgleichungen	9
4.3 Felder in bewegten Systemen	11
4.4 Feldkonstanten	11
4.5 Feldlinien	12
5 Ladung und Stromstärke	12
5.1 Elektrische Ladung	12
5.2 Raumladungsdichte	13
5.3 Flächenladungsdichte	13
5.4 Linienladungsdichte	14
5.5 Stromdichte	14
5.6 Strombelag	14
5.7 Elektrische Stromstärke	15
5.8 Verschiebungsstromdichte	15
5.9 Gesamtstromdichte	16
6 Feldstärke und Flussdichte	16
6.1 Elektrische Feldstärke	16
6.2 Elektrische Flussdichte	16
6.3 Elektrischer Fluss	16
6.4 Magnetische Feldstärke	17
6.5 Magnetische Flussdichte	17
6.6 Magnetischer Fluss	17
6.7 Coulomb-Lorentz-Kraft	18
7 Elektrische und magnetische Polarisierung	18
7.1 Elektrische Polarisierung	18
7.2 Elektrisierung	18
7.3 Elektrisches Dipolmoment	19
7.4 Magnetische Polarisierung	19
7.5 Magnetisierung	19
7.6 Magnetisches Flächenmoment	20
7.7 Magnetisches Dipolmoment	20
8 Potentiale und Spannungen	21
8.1 Magnetisches Vektorpotential	21
8.2 Elektrisches Potential	21
8.3 Elektrische Spannung	22
8.4 Induzierte Spannung	22
8.5 Magnetische Spannung	23
8.6 Elektrische Durchflutung	24
9 Energie- und Impulsgrößen	24
9.1 Elektromagnetische Energiedichte	24
9.2 Poynting-Vektor	25
9.3 Elektromagnetische Impulsdichte	25
9.4 Kraftdichte	25

10	Relativistische Elektrodynamik.....	26
10.1	Allgemeines	26
10.2	Viererpotential.....	28
10.3	Feldstärketensor	29
10.4	Viererstromdichte.....	29
10.5	Maxwell-Gleichungen.....	30
10.6	Kontinuitätsgleichung	31
10.7	Elektromagnetische Kräfte	32
10.8	Elektromagnetische Leistungsdichte.....	32
10.9	Energie-Impuls-Tensor	33
	Anhang A (informativ) Erläuterungen.....	35
A.1	Begriff „verketteter Fluss“	35
A.2	Relativistische Elektrodynamik.....	36
	Literaturhinweise.....	38

Vorwort

Für den Anwendungsbereich dieses Dokuments bestehen keine entsprechenden regionalen oder internationalen Normen.

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 152-01-06 AA „Elektrotechnik“ im DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG), in Zusammenarbeit mit dem DKE/GAK 111.0.1 „Allgemeine wissenschaftliche und technische Begriffe“, erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

DIN 1324, *Elektromagnetisches Feld*, besteht aus:

- Teil 1: Zustandsgrößen
- Teil 2: Materialgrößen
- Teil 3: Elektromagnetische Wellen

Änderungen

Gegenüber DIN 1324-1:1988-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Einfügung von Abschnitt 2 „Normative Verweisungen“;
- b) Angleichung der Formelzeichen an den internationalen Stand nach IEC 80000-6:2008;
- c) Einfügung von 4.3 „Felder in bewegten Systemen“ einschließlich Erweiterung auf relativistische Elektrodynamik;
- d) Überarbeitung in 4.4 (vorher 3.3) „Feldkonstanten“;
- e) in 5.5 „Stromdichte“ (vorher 4.5) und in 5.7 „Elektrische Stromstärke“ (vorher 4.7) Unterscheidung zwischen Leitungsstromstärke und Konvektionsstromstärke;
- f) Überarbeitung in 6.2 (vorher 5.2) „Elektrische Flussdichte“;
- g) Überarbeitung in 6.4 (vorher 5.6) „Magnetische Feldstärke“;
- h) Einfügung von 6.7 „Coulomb-Lorentz-Kraft“;
- i) Unterscheidung von „Elektrische Polarisation“ (7.1) und „Elektrisierung“ (7.2);
- j) Unterscheidung von „Magnetische Polarisation“ (7.4) und „Magnetisierung“ (7.5);
- k) Unterscheidung von „Magnetisches Flächenmoment“ (7.6) und „Magnetisches Dipolmoment“ (7.7);
- l) Umstellung und Überarbeitung von Abschnitt 8 (vorher 7) „Spannungen und Potentiale“ bis 8.5 (vorher 7.5);
- m) Überarbeitung von 9.2 (vorher 8.2) „Poynting-Vektor“;
- n) Erweiterung auf „relativistische Elektrodynamik“ in Abschnitt 10;
- o) Einfügen eines informativen Anhangs mit 2 Abschnitten:
 - A1 Erläuterungen zum Begriff „verketteter Fluss“;
 - A2 Erläuterungen zur „relativistischen Elektrodynamik“;
- p) redaktionelle Überarbeitung.

Frühere Ausgaben

DIN 1323: 1926-04, 1958-08, 1961-01, 1966-02

DIN 40130: 1942-01

DIN 1324: 1946-07, 1958-04, 1964-01, 1972-01

DIN 1325: 1946-07, 1958-04, 1964-01, 1967-01, 1972-01

DIN 1324-1: 1988-05

1 Anwendungsbereich

Zweck dieser Norm ist es, die Zustandsgrößen des elektromagnetischen Feldes, die in Teil 121 des Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuches (IEV) einzeln definiert sind, zusammenhängend darzustellen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050-121:1998, *Deutsche Ausgabe des IEV — Teil 121: Elektromagnetismus (2009-02, konsolidierte Fassung einschl. A1:2002 und A2:2008)*

3 Allgemeines

Als elektromagnetisches Feld wird ein Zustand des Raums bezeichnet, der für jeden Punkt des betrachteten Raumgebiets durch einen Satz von vier miteinander verknüpften vektoriellen Größen bestimmt ist, nämlich den elektrischen und magnetischen Feldstärken und Flussdichten.

Quellen für elektrische und magnetische Felder sind ruhende und bewegte elektrische Ladungen. Letztere werden als Ströme bezeichnet. Die elektrische Ladung Q , früher auch Elektrizitätsmenge genannt, wird als Grunderscheinung der Elektrizität betrachtet; sie ist eine skalare Größe; sie besteht aus (positiven und negativen) Elementarladungen, die an Ladungsträger gebunden sind, wie Protonen, Elektronen oder Ionen (siehe Abschnitt 5). Das elektromagnetische Feld charakterisiert zusammen mit den Quellen die elektrischen und magnetischen Zustände eines materiellen Mediums oder des Vakuums.

Als Quellengrößen des elektromagnetischen Feldes werden die elektrische Ladung Q die Raumladungsdichte ρ und die Stromdichte $\vec{j}$ betrachtet.

Das elektromagnetische Feld wird durch Feldgrößen beschrieben. Zusammen mit den Quellengrößen und abgeleiteten Größen bilden sie das System der Zustandsgrößen, welche Gegenstand dieser Norm sind. Es wird die Kontinuums-theorie zugrunde gelegt.

Das Adjektiv „quasi-infinitesimal“ kennzeichnet in einem System einzelner Teilchen (hier Ladungsträger) die Länge, den Flächeninhalt oder das Volumen eines Elements im Raum, wobei die Abmessungen des Elements im Vergleich zu den Abmessungen des betrachteten Gesamtsystems alle klein sind, aber so groß, dass das Element eine sehr große Anzahl einzelner Teilchen enthält. Der Ausdruck „quasi-infinitesimal“ wird benutzt, um diesen Begriff von „infinitesimal“ im mathematischen Sinn zu unterscheiden. Zur Berechnung wird jedoch auf infinitesimale Größen übergegangen; dabei werden die entsprechenden Formelzeichen verwendet.

Die in dieser Norm behandelten Größen und Begriffe sind in Tabelle 1 angegeben.

Mit dem Symbol j wird die imaginäre Einheit bezeichnet; es gilt: $j = +\sqrt{-1}$.

Die Materialgrößen, welche die stoffspezifischen Beziehungen zwischen den Feldgrößen beschreiben, werden in DIN 1324-2 behandelt.

Begriffe und Größen, die im Zusammenhang mit der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen stehen, werden in DIN 1324-3 behandelt.

Tabelle 1 — In dieser Norm behandelte Begriffe und Größen¹⁾

Begriff oder Größe	Formelzeichen	SI-Einheit	Abschnitt
Grundbegriffe			
Feldgrößen, Quellengrößen			4.1
Feldgleichungen			4.2
Feldkonstanten			4.4
magnetische Feldkonstante	μ_0	$\text{H/m} = \text{V} \cdot \text{s}/(\text{A} \cdot \text{m})$	4.4
elektrische Feldkonstante	ε_0	$\text{F/m} = \text{A} \cdot \text{s}/(\text{V} \cdot \text{m})$	4.4
Feldlinien			4.5
Ladung und Strom			
elektrische Ladung	Q	$\text{C} = \text{A} \cdot \text{s}$	5.1
Raumladungsdichte	ρ, ρ_V	$\text{C/m}^3 = \text{A} \cdot \text{s/m}^3$	5.2
Flächenladungsdichte	ρ_A, σ	$\text{C/m}^2 = \text{A} \cdot \text{s/m}^2$	5.3
Linienladungsdichte	ρ_l, τ	$\text{C/m} = \text{A} \cdot \text{s/m}$	5.4
Stromdichte	$\vec{J}$	A/m^2	5.5
Strombelag	$\vec{J}_S$	A/m	5.6
elektrische Stromstärke	I	A	5.7
Verschiebungsstromdichte	$\vec{J}_D$	A/m^2	5.8
Gesamtstromdichte	$\vec{J}_{\text{tot}}$	A/m^2	5.9
Feldstärken und Flussdichten			
elektrische Feldstärke	$\vec{E}$	V/m	6.1
elektrische Flussdichte	$\vec{D}$	$\text{C/m}^2 = \text{A} \cdot \text{s/m}^2$	6.2
elektrischer Fluss	Ψ	$\text{C} = \text{A} \cdot \text{s}$	6.3
magnetische Feldstärke	$\vec{H}$	A/m	6.4
magnetische Flussdichte	$\vec{B}$	$\text{T} = \text{V} \cdot \text{s/m}^2$	6.5
magnetischer Fluss	Φ	$\text{Wb} = \text{V} \cdot \text{s}$	6.6
Coulomb-Lorentz-Kraft	$\vec{F}$	N	6.7

1) Die hier angegebenen Formelzeichen entsprechen denen in DIN EN 80000-6 „Größen und Einheiten — Teil 6: Elektromagnetismus“. Vektoren sind jedoch nicht durch Fettdruck, sondern zur besseren Lesbarkeit entsprechend der Vorgängernorm durch Überpfeilung dargestellt.

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Begriff oder Größe	Formelzeichen	SI-Einheit	Abschnitt
Elektrische und magnetische Polarisation			
elektrische Polarisation	$\vec{P}$	$C/m^2 = A \cdot s/m^2$	7.1
Elektrisierung	$\vec{E}_i$	V/m	7.2
elektrisches Dipolmoment	$\vec{p}$	$C \cdot m = A \cdot s \cdot m$	7.3
magnetische Polarisation	$\vec{J}_m$	$T = V \cdot s/m^2$	7.4
Magnetisierung	$\vec{M}, \vec{H}_i$	A/m	7.5
magnetisches Flächenmoment	$\vec{m}$	$A \cdot m^2$	7.6
magnetisches Dipolmoment	$\vec{j}_m, \vec{j}$	$Wb \cdot m = V \cdot s \cdot m$	7.7
Potentiale und Spannungen			
magnetisches Vektorpotential	$\vec{A}$	$Wb/m = V \cdot s/m$	8.1
elektrisches Potential	V, φ	V	8.2
elektrische Spannung	U	V	8.3
induzierte Spannung	U_i	V	8.4
magnetische Spannung	U_m	A	8.5
elektrische Durchflutung	θ	A	8.6
Energie- und Impulsgrößen			
elektromagnetische Energiedichte	w	$J/m^3 = V \cdot A \cdot s/m^3$	9.1
Poynting-Vektor	$\vec{S}$	$W/m^2 = V \cdot A/m^2$	9.2
elektromagnetische Impulsdichte	$\vec{p}_V$	$N \cdot s/m^3 = V \cdot A \cdot s^2/m^4$	9.3
Kraftdichte	$\vec{f}$	$N/m^3 = V \cdot A \cdot s/m^4$	9.4
Relativistische Elektrodynamik			
Viererpotential	$\underline{\vec{A}}$	$V \cdot s/m$	10.2
Feldstärketensor	$\underline{\underline{F}}$	$T = V \cdot s/m^2$	10.3
Viererstromdichte	$\underline{\vec{j}}$	$A \cdot m^2$	10.4
elektromagnetische Leistungsdichte	$\dot{w}$	$V \cdot A/m^3$	10.8
Energie-Impuls-Tensor	$\underline{\underline{T}}$	J/m^3	10.9

4 Grundbegriffe

4.1 Feldgrößen und Quellengrößen des elektromagnetischen Feldes

Feldgrößen sind

- die elektrische Feldstärke $\vec{E}$ (siehe 6.1);
- die elektrische Flussdichte $\vec{D}$ (siehe 6.2);
- die magnetische Feldstärke $\vec{H}$ (siehe 6.4);
- die magnetische Flussdichte $\vec{B}$ (siehe 6.5).

Feldgrößen sind Größen, die an jedem Punkt eines bestimmten Raumbereichs existieren und von der Lage dieses Punktes abhängen.

Quellengrößen sind

- die Raumladungsdichte ρ (siehe 5.2) und
- die Stromdichte $\vec{j}$ (siehe 5.5).

Quellengrößen sind additive Größen.

4.2 Feldgleichungen

Die Feldgrößen des elektromagnetischen Feldes bilden ein System von Größen unterschiedlicher Tensor-Stufe (siehe DIN 1303:1987-03, Abschnitte 6 und 7). In dieser Norm werden Bi- und Trivektoren durch ihre jeweilige duale Ergänzung, das sind Monovektoren und Skalare, ersetzt.

Die Feldgrößen sind untereinander und mit den oben genannten Quellengrößen durch die Maxwell-Gleichungen, kurz die Feldgleichungen, verknüpft. Sie lauten:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j} \quad (2)$$

mit

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho \quad (3)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (4)$$

dabei ist t die Zeit.

Die Maxwell-Gleichungen (1) bis (4) sind invariant gegenüber Lorentz-Transformationen, d. h. sie gelten auch für bewegte Inertialsysteme, obwohl ihre Bestandteile, z. B. $\vec{E}$ und $\vec{H}$, nicht invariant sind.

Über die Bedeutung der Differentialoperatoren grad, div und rot siehe DIN 4895-2.

Statt in differentieller Form können die Maxwell-Gleichungen auch in Integralform angegeben und mit besonderen Benennungen gekennzeichnet werden:

Induktionsgesetz:

$$\oint_C \vec{E} d\vec{r} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \vec{e}_n dA \quad (5)$$

Durchflutungsgesetz:

$$\oint_C \vec{H} d\vec{r} = \int_S \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \right) \vec{e}_n dA \quad (6)$$

mit

$$\oint_S \vec{D} \vec{e}_n dA = Q = \int_V \rho dV \quad (7)$$

und

$$\oint_S \vec{B} \vec{e}_n dA = 0 \quad (8)$$

ANMERKUNG Die Integrale in den Gleichungen (5) bis (8) sind mehrdimensionale Integrale, deren Integrationsbereiche durch C (curve), S (surface) und V (volume) symbolisch beschrieben werden. Das gilt ebenfalls für ähnliche Gleichungen im Folgenden.

In den Gleichungen (5) und (6) wird mit dem Linienelement $d\vec{r}$ über die Randkurve C und mit dem Flächenelement $\vec{e}_n dA$ über eine durch diese Randkurve begrenzte einfach zusammenhängende Fläche S integriert; t ist die Zeit. Dabei zeigt $\vec{e}_n dA$ nach außen und ist mit $d\vec{r}$ rechtsschraubig verknüpft. In den Gleichungen (7) und (8) wird mit $\vec{e}_n dA$ über die Oberfläche S des Raumbereichs V integriert.

In Materie kann der Zusammenhang zwischen den Feldgrößen durch die Materialgrößen elektrische Leitfähigkeit (Konduktivität) σ , Permittivität ε und Permeabilität μ beschrieben werden.

Sind die Materialgrößen von den Feldgrößen unabhängig, so wird die Materie als ideal bezeichnet. Wenn die Materie im gewählten Bezugssystem ruht, gelten in diesem Fall die Materialgleichungen:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (9)$$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad (10)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (11)$$

4.3 Felder in bewegten Systemen

In einem Koordinatensystem, das sich mit der Geschwindigkeit $\vec{v}$ gegenüber einem System mit einem elektromagnetischen Feld mit den Feldstärken $\vec{E}$ und $\vec{B}$ translatorisch bewegt, ergeben sich die elektrische Feldstärke $\vec{E}'$ und die magnetische Flussdichte $\vec{B}'$ zu:

$$\vec{E}' = \vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (12)$$

$$\vec{B}' = \vec{B} - \frac{\vec{v} \times \vec{E}}{c_0^2} \quad (13)$$

Diese Beziehungen gelten nur im klassischen Fall, d. h. wenn die Geschwindigkeit v zwischen den Systemen klein gegenüber der Vakuumlichtgeschwindigkeit c_0 ist. Anderenfalls sind die Transformationsgleichungen der speziellen Relativitätstheorie anzuwenden:

$$\vec{E}' = \gamma \left(\vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B}) - \frac{\vec{\beta} (\vec{\beta} \cdot \vec{E})}{1 + 1/\gamma} \right) \quad (14)$$

$$\vec{B}' = \gamma \left(\vec{B} - \frac{\vec{v} \times \vec{E}}{c_0^2} - \frac{\vec{\beta} (\vec{\beta} \cdot \vec{B})}{1 + 1/\gamma} \right) \quad (15)$$

Dabei ist $\vec{\beta} = \frac{\vec{v}}{c_0}$ und $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$. Die Gleichungen (12) und (13) ergeben sich hieraus mit $\vec{\beta} = 0$ und $\gamma = 1$.

4.4 Feldkonstanten

Die beiden Feldkonstanten μ_0 und ε_0 verknüpfen elektromagnetische Größen mit mechanischen Größen.

Die magnetische Feldkonstante μ_0 wird durch das Ampere-Gesetz

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{|I_1 I_2|}{d} \quad (16)$$

definiert; dabei ist F/l der Betrag der längenbezogenen Kraft zwischen zwei geradlinigen parallelen Leitern unendlicher Länge und vernachlässigbaren Querschnitts, die einen Abstand d voneinander haben, sich im Vakuum befinden und von elektrischen Strömen der Stromstärken I_1 und I_2 durchflossen werden. Der Größenwert der magnetischen Feldkonstante ergibt sich aus der Definition des Ampere im SI und beträgt

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} = 1,256\,637\,061 \dots \mu\text{H/m} \quad (17)$$

Die elektrische Feldkonstante ε_0 wird durch das Coulomb-Gesetz

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (18)$$

definiert; dabei ist F der Betrag der Kraft zwischen zwei Punktladungen im Vakuum mit den elektrischen Ladungen q_1 beziehungsweise q_2 , die einen Abstand r voneinander haben. Der Größenwert der elektrischen Feldkonstante beträgt

$$\varepsilon_0 = 8,854\,187\,817 \dots \text{ pF/m} \quad (19)$$

Zwischen diesen Größen besteht der Zusammenhang:

$$\varepsilon_0 \mu_0 c_0^2 = 1 \quad (20)$$

dabei ist $c_0 = 299\,792\,458\,m/s$ die Vakuumlichtgeschwindigkeit, deren Größenwert durch die Definition der Längeneinheit Meter im SI festgelegt ist.

Im Vakuum sind Flussdichten und Feldstärken durch die Feldkonstanten verknüpft. Es gelten die Beziehungen:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} \quad (21)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (22)$$

4.5 Feldlinien

Die Konfiguration eines elektromagnetischen Feldes kann durch Feldlinien dargestellt werden. Eine Feldlinie ist die Raumkurve, welche durchlaufen wird, wenn stets in Richtung der zugehörigen vektoriellen Feldgröße fortgeschritten wird. Eine Feldlinie, die zur vektoriellen Ortsfunktion $\vec{E}$ gehört und deren Inkrement des Fortschreitens mit $d\vec{r}$ bezeichnet wird, wird mathematisch durch die Beziehung

$$\vec{E} \times d\vec{r} = \vec{0} \quad (23)$$

beschrieben.

5 Ladung und Stromstärke

5.1 Elektrische Ladung

Formelzeichen: Q, q ; SI-Einheit: $C = A \cdot s$

Es gibt zwei unterschiedliche Ladungsarten, die positiv und negativ genannt werden. Die positive Ladung entspricht derjenigen, die nach Übereinkunft dem Proton zugeordnet wird, und die negative derjenigen, die nach Übereinkunft dem Elektron zugeordnet wird. Die Ladung des Protons wird als Elementarladung bezeichnet; die des Elektrons ist das Negative davon. Beide sind praktisch nicht weiter unterteilbar. Die Elementarladung hat den Wert $e = 1,602\,176\,487\,(40) \cdot 10^{-19}\,C$. Die elektrische Ladung in einem Raumbereich ist die Summe der darin enthaltenen (positiven und negativen) Ladungen. Sie kann in einem abgeschlossenen System weder erzeugt noch zerstört werden. Dieser Sachverhalt wird als Ladungserhaltungssatz bezeichnet.

Ladungen sind an materielle Träger, die Ladungsträger, gebunden. Freie Ladungsträger können sich, zum Beispiel unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes, frei bewegen.

Ladung, die auf einen hinreichend kleinen Raumbereich beschränkt ist, kann als in einem Punkt konzentriert angenommen werden. In Analogie zur Punktmasse wird sie dann als Punktladung bezeichnet und mit dem Formelzeichen q dargestellt.