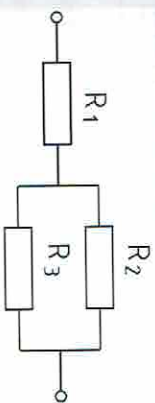


Prüfungsaufgabe TD102

Wie groß ist der Ersatzwiderstand der Gesamtschaltung?

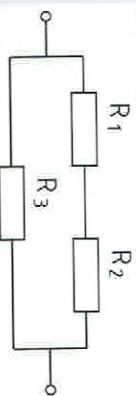
Gegeben: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2000 \text{ }\Omega$ und $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$



Lösung: Die beiden parallel geschalteten Widerstände R_2 und R_3 sind gleich. Beide haben 2000 Ohm. Parallel geschaltet ergeben sich also 1000 Ohm. Für die Berechnung des Gesamtwiderstandes braucht man noch R_1 in Reihe geschaltet (addiert) zu werden. Als Gesamtlösung ergibt sich also $R_G = 2 \text{ k}\Omega$.

Prüfungsaufgabe TD103

Wie groß ist der Ersatzwiderstand der Gesamtschaltung? $R_1 = 500 \text{ }\Omega$, $R_2 = 500 \text{ }\Omega$ und $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$



Lösung: Diesmal müssen erst die beiden Widerstände R_1 und R_2 addiert werden. R_1 und R_2 in Reihe geschaltet ergeben $1 \text{ k}\Omega$. Damit sind zwei gleiche Widerstände von $1 \text{ k}\Omega$ parallel geschaltet und ergeben die Hälfte, also $R_G = 500 \text{ }\Omega$ ist die Lösung.

Prüfungsaufgabe TD104

Berechnen Sie den Ersatzwiderstand der Gesamtschaltung wie in Aufgabe TD103. Gegeben: $R_1 = 500 \text{ }\Omega$,

- $R_2 = 1,5 \text{ k}\Omega$ und $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$
A $500 \text{ }\Omega$ **B** $1 \text{ k}\Omega$
C $2 \text{ k}\Omega$ **D** $4 \text{ k}\Omega$

Ähnlich auch hier: R_1 und R_2 ergeben zusammen $2 \text{ k}\Omega$. Zu diesem Ersatzwiderstand wird ein gleich großer zu $2 \text{ k}\Omega$ parallel geschaltet. Der Gesamtwiderstand ist dann halb so groß, also $1 \text{ k}\Omega$.

Zusammenfassung**Reihenschaltung**

- Der Strom ist überall gleich.
- Die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung.
- Die Spannungen verhalten sich wie die zugehörigen Widerstände.
- Der Gesamtwiderstand ist gleich der Summe der Einzelwiderstände.

Parallelschaltung

- Die Spannung ist überall gleich.
- Die Summe der Teilströme ist gleich dem Gesamtstrom.
- Die Ströme verhalten sich umgekehrt wie die zugehörigen Widerstände.
- Der Gesamtleitwert ist gleich der Summe der Einzelwerte.
- Der Gesamtwiderstand ist immer kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

Gemischte Schaltung

Bei einer gemischten Schaltung geht man so vor, dass man zunächst die Widerstände, die eindeutig parallel oder eindeutig in Reihe geschaltet sind, zu einem Ersatzwiderstand zusammenfasst und dann mit diesem Ersatzwiderstand weiter rechnet.

Hinweis

Wenn Sie im Text nicht alle Auswahlantworten einer Aufgabe finden, sehen Sie bitte im Anhang 1 nach. Die Lösungen der nicht beantworteten Prüfungsaufgaben finden Sie im Anhang 2 dieses Buches.

Lektion 5: Der Kondensator

In den vorangegangenen Lektionen haben Sie als wichtigstes Bauelement der Elektrotechnik den elektrischen Widerstand mit seinen Schaltungsarten kennen gelernt. In dieser Lektion werden Sie in ähnlicher Weise den Kondensator als Bauelement und in seinen Schaltungsarten kennen lernen.

Übersicht:

- Was ist ein Kondensator?
- Kapazität
- Parallelschaltung
- Reihenschaltung
- Gemischte Schaltungen
- Wechselstromwiderstand
- Bauformen
- Kennzeichnung

Der Kondensator

In elektronischen Geräten, in Sendern und Empfängern, werden Sie an Bauelementen außer Widerständen recht häufig Kondensatoren finden.

Ein Kondensator besteht aus zwei voneinander isolierten, sich gegenüberstehenden Leitern (z.B. Metallflächen wie in Bild 5-1) und dem dazwischen liegenden Isolierstoff (Dielektrikum, spricht: Di-Elektrikum).

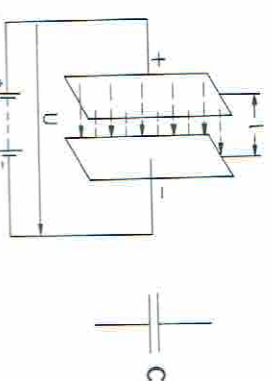


Bild 5-1: Kondensator und Schallsymbol

Kapazität

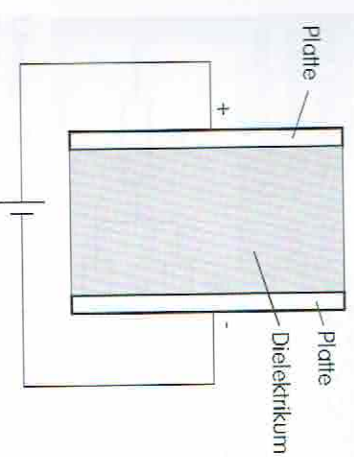


Bild 5-2: Aufbau eines Kondensators

Legt man an die Platten eine elektrische Spannung, werden von der einen Platte Elektronen abgezogen und auf der anderen Platte Elektronen zugefügt. Entfernt man nun die Spannung als Ursache des elektrischen Feldes von den beiden Elektroden, bleibt der derzeitige Zustand erhalten, weil sich die Platten gegenseitig anziehen.

Es können also elektrische Ladungen auf den Platten eines Kondensators gespeichert werden. Dieses Speichervermögen bezeichnet man als *Kapazität* C . Ein Kondensator vermag umso mehr elektrische Ladungen Q zu speichern, je größer seine Kapazität C und je höher die angelegte Spannung U ist. Dies kann durch folgende Formel ausgedrückt werden.

$$Q = C \cdot U \quad \text{bzw.} \quad I \cdot t = C \cdot U$$

$$C = \frac{I \cdot t}{U}$$

Die Einheit der Kapazität ist das Farad F.

$$1 \text{ F} = 1 \frac{\text{As}}{\text{V}}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ Mikrofara} &= 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} = 1000 \text{ nF} \\ 1 \text{ Nanofara} &= 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} = 1000 \text{ pF} \\ 1 \text{ Pikofara} &= 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F} \end{aligned}$$

Die Kapazität C hängt von der Fläche A der gegenüberliegenden leitenden Flächen und dem Abstand d zwischen diesen Flächen, sowie vom Werkstoff des Dielektrikums ab. Die Abhängigkeit vom Werkstoff wird in der Dielektrizitätszahl ϵ (griechisch: epsilon) ausgedrückt.

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

Damit lässt sich die Kapazität eines Kondensators aus seinen geometrischen Abmessungen errechnen.

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \quad (1)$$

Merke

Die **Kapazität C** eines Kondensators ist umso **größer**, je **größer die Fläche A** und je **geringer der Abstand d** der Platten ist. Die **Einheit** ist das Farad F.

Prüfungsaufgabe TC201

Welche Aussage zur Kapazität eines Plattenkondensators ist richtig?

- A** Je größer der Plattenabstand ist, desto kleiner ist die Kapazität.
- B** Je größer die angelegte Spannung ist, desto kleiner ist die Kapazität.
- C** Je größer die Plattenoberfläche ist, desto kleiner ist die Kapazität.
- D** Je größer die Dielektrizitätszahl ist, desto kleiner ist die Kapazität.

Lösung: Betrachten Sie die Formel (1): Der Plattenabstand steckt in d , die Plattenoberfläche in A und das Dielektrikum in ϵ_r . Die Spannung kommt in der Formel nicht vor. Größen, die auf dem Bruchstrich stehen, sind zur Kapazität proportional (C steigt, wenn diese Größe steigt). d steht unter dem Bruchstrich (umgekehrt proportional). Die Aussage A ist also richtig.

Parallelschaltung von Kondensatoren

Wie bei Widerständen gibt es bei Kondensatoren eine Parallelschaltung, eine Reihenschaltung und die gemischte Schaltung.

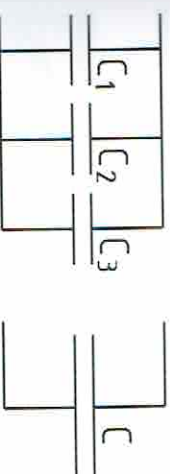


Bild 5-3: Parallelschaltung von Kondensatoren

Bei der Parallelschaltung vergrößert sich die wirksame Fläche (Bild 5-3) der gegenüberstehenden Platten. Mit größerer Fläche ergibt sich eine im Verhältnis größere Kapazität. Daraus lässt sich Folgendes ableiten.

Merke:

Die Gesamtkapazität C bei der Parallelschaltung von Kondensatoren ist gleich der Summe der Einzelkapazitäten.

$$C_G = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Prüfungsaufgabe TC206

Drei Kondensatoren mit den Kapazitäten $C_1 = 0,1 \mu\text{F}$, $C_2 = 150 \text{ nF}$ und $C_3 = 50000 \text{ pF}$ werden parallel geschaltet. Wie groß ist die Gesamtkapazität?

Lösung: Zunächst wandeln wir die Kapazitätswerte in eine gemeinsame Größenordnung um. Ich wähle in diesem Fall Nanofarad (nF). $1000 \text{ pF} = 1 \text{ nF}$, $1000 \text{ nF} = 1 \mu\text{F}$. Damit erhalten wir folgende Kapazitäten

$$\begin{aligned} C_1 &= 100 \text{ nF}, C_2 = 150 \text{ nF} \text{ und } C_3 = 50 \text{ nF}, \\ C_G &= 100 \text{ nF} + 150 \text{ nF} + 50 \text{ nF} = 300 \text{ nF} \\ C_G &= 0,3 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Reihenschaltung von Kondensatoren

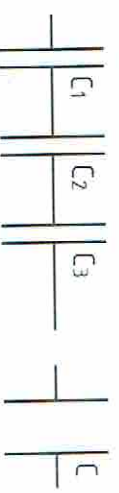


Bild 5-4: Reihenschaltung von Kondensatoren

Die Reihenschaltung mehrerer Kondensatoren (Bild 5-4) entspricht einer Vergrößerung des Plattenabstandes, was wiederum eine Kapazitätsverminderung bedeutet. Die Gesamtkapazität ist bei einer Reihenschaltung kleiner als die kleinste Einzelkapazität.

$$\frac{1}{C_G} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Entsprechend der Formel für die Parallelschaltung von zwei Widerständen kann für die Reihenschaltung von zwei Kondensatoren folgende Formel hergeleitet werden.

$$C_G = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Übungsaufgabe ÜB501

Zwei Kondensatoren von 100 pF und 150 pF sind hintereinander (in Serie) geschaltet. Berechnen Sie die Gesamtkapazität.

Lösung mit der zweiten Formel

$$C_G = \frac{100 \text{ pF} \cdot 150 \text{ pF}}{100 \text{ pF} + 150 \text{ pF}} = 60 \text{ pF}$$

C_G kürzt sich einmal heraus.

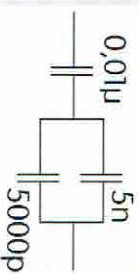
$$C_G = 60 \text{ pF}$$

Werden zwei gleich große Kondensatoren in Reihe geschaltet, halbiert sich die Kapazität, schaltet man drei gleiche Kondensatoren in Reihe, beträgt die Kapazität ein Drittel der eines Einzelkondensators und so weiter.

Gemischte Schaltungen

Wie bei Widerständen gibt es bei der gemischten Schaltung von insgesamt drei Kondensatoren die beiden Prinzipschaltungen: Zwei Kondensatoren parallel und dazu einer in Reihe oder zwei Kondensatoren in Reihe und dazu einer parallel, wie man dies in den beiden folgenden Prüfungsaufgaben sehen kann.

Prüfungsaufgabe TD105



Berechnen Sie die Gesamtkapazität der gemischten Schaltung. Lösung:

- A 0,015 nF B 5 nF
C 7,5 nF D 10 nF

Lösung: Zunächst wandeln wir die Kapazitätswerte in eine gemeinsame Größenordnung um. Ich wähle Nanofarad (nF). $1000 \text{ pF} = 1 \text{ nF}$, $1000 \text{ nF} = 1 \text{ µF}$. Als Bezeichnung wähle ich für den Serienkondensator C_1 und für die beiden parallel geschalteten Kondensatoren C_2 und C_3 .

$C_1 = 0,01 \text{ µF}$. Um nach Nanofarad zu kommen, muss ich das Komma um drei Stellen nach rechts versetzen. $C_3 = 5000 \text{ pF}$. $1000 \text{ pF} = 1 \text{ nF}$, 5000 pF sind also 5 nF .

Damit erhalten wir als Kapazitäten $C_1 = 10 \text{ nF}$, $C_2 = 5 \text{ nF}$ und $C_3 = 5 \text{ nF}$

Dann wird die Parallelschaltung von C_2 und C_3 berechnet.

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 5 \text{ nF} + 5 \text{ nF} = 10 \text{ nF}$$

Dann wird die Reihenschaltung von C_1 und C_{23} berechnet.

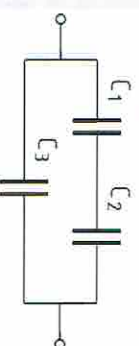
$$C_G = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} \text{ nF} = 5 \text{ nF}$$

In diesem speziellen Fall hätte folgende Überlegung schneller zum Ziel geführt. Schaltet man zwei gleiche Kondensatoren in Reihe (hier 10 und 10 nF), erhält man genau die Hälfte der Kapazität (hier: 5 nF).

Prüfungsfrage TD107

Welche Gesamtkapazität hat die folgende Schaltung?

Gegeben: $C_1 = 0,01 \text{ µF}$; $C_2 = 10 \text{ nF}$; $C_3 = 5000 \text{ pF}$



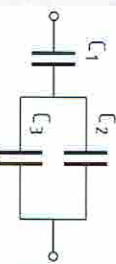
- A 2,5 nF B 5 nF
C 10 nF D 0,015 nF

Lösung: Zunächst wandeln wir wieder die Kapazitätswerte in eine gemeinsame Größenordnung um. Ich wähle Nanofarad (nF). Damit erhalten wir als Kapazitäten $C_1 = 10 \text{ nF}$, $C_2 = 10 \text{ nF}$ und $C_3 = 5 \text{ nF}$

C_1 und C_2 sind in Serie geschaltet. Da die beiden Kapazitätswerte gleich sind, ergibt sich bei der Reihenschaltung die Hälfte, also 5 nF . Zu diesen 5 nF sind die 5 nF von C_3 parallel geschaltet. Damit ergibt sich insgesamt $C_G = 10 \text{ nF}$.

Prüfungsaufgabe TD106

Welche Gesamtkapazität hat die folgende Schaltung? Gegeben: $C_1 = 0,02 \text{ µF}$; $C_2 = 10 \text{ nF}$; $C_3 = 10000 \text{ pF}$



- A 2,5 nF B 5 nF
C 10 nF D 40 nF

Wechselstromwiderstand

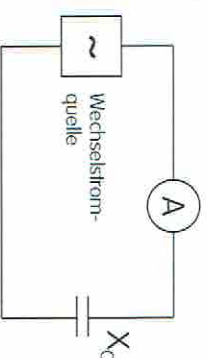


Bild 5-5: Kondensator an Wechselspannung

Ein Kondensator sperrt Gleichstrom.

Schließt man ihn aber an Wechselspannung (Bild 5-5), entspricht dies einer dauernden Ladung und Entladung des Kondensators. Je schneller die Wechsel sind, desto rascher erfolgt die Umladung. Dabei zeigt ein Strommesser, der in den Stromkreis geschaltet ist, einen Wechselstrom an, der sich aus Lade- und Entladestrom zusammensetzt.

Entsprechend dem Widerstand nach dem ohmschen Gesetz bezeichnet man das Verhältnis aus anliegender Spannung zum fließenden Wechselstrom als "Wechselstromwiderstand" des Kondensators X_C .

$$X_C = \frac{U_C}{I_C}$$

Der Wechselstromwiderstand lässt sich auch aus Kapazität und Frequenz berechnen.

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Aus dieser Formel erkennt man aber, dass der Wechselstromwiderstand umso kleiner wird, je höher Frequenz oder Kapazität sind. Also: Bei höherer Frequenz leitet ein Kondensator den Wechselstrom besser. Ein Kondensator größerer Kapazität leitet den Wechselstrom besser.

Bearbeiten Sie nun Frage **TC208**.

Aufbau von Kondensatoren



Bild 5-6: Elektrolytkondensator

Kondensatoren bestehen immer aus zwei gegenüber liegenden leitenden Flächen mit einem Dielektrikum dazwischen. Häufig bestehen die leitenden Flächen aus Aluminiumfolie, die mit dem Dielektrikum beschichtet und das Ganze dann aufgewickelt wird. Das Dielektrikum muss einerseits gut isolieren, soll aber andererseits einen großen Dielektrizitätswert haben, um eine große Kapazität zu ermöglichen. Als Dielektrikum werden zum Teil keramische Werkstoffe oder auch Kunststoffe (zum Beispiel Styroflex) verwendet. Luft als Dielektrikum kommt bei den mechanisch veränderbaren (Plattendrehkondensatoren) vor.

Für sehr große Kapazitäten verwendet man *Elektrolytkondensatoren*. Bei diesen Kondensatoren besteht die eine "Platte" aus einer (lose aufgewickelten) angerauten Metallfolie und die andere aus einer elektrisch leitenden Flüssigkeit, dem Elektrolyt. Auf der Oberfläche der Metallfolie wird chemisch eine dünne Haut gebildet, die Strom nicht leitet. Sie ist das Dielektrikum dieses Kondensators. Weil sie sehr dünn und die Oberfläche der Metallfolie durch das Anrauen besonders groß ist, erreicht man hohe Kapazitäten.

Im Gegensatz zu den meisten anderen Kondensatoren sind Elektrolytkondensatoren nicht symmetrisch. Man sagt, sie sind gepolt. Auf einem solchen Kondensator sind die "+" und "-" -Anschlüsse markiert. Hält man sich nicht daran und schließt eine Gleichspannung andersherum an, so wird zunächst die dünne Haut zerstört. Der Kon-

densator wird leitend. Der nun fließende Strom zersetzt den Elektrolyten. Es entsteht ein Gas, das den Kondensator zum Platzen bringen kann.

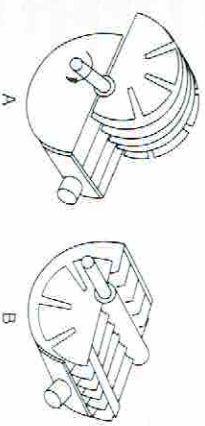


Bild 5-7: Drehkondensator

A: Platten herausgedreht, B: Platten eingedreht

Es gibt mechanisch veränderbare Kondensatoren, die aber aus Kostengründen mehr und mehr durch Kapazitätsdiode ersetzt werden. Im Bild 5-7 ist ein Drehkondensator dargestellt. Mit Hilfe einer Drehachse kann man den drehbaren Teil (Rotor) mehr oder weniger zwischen die Platten des feststehenden Teils (Stator) eindrehen und damit die Kapazität verändern.

Im Bild 5-8 sind die Schaltzeichen für Kondensatoren dargestellt. Veränderbare Kondensatoren erhalten wie veränderbare Widerstände einen Schrägstrich durch das Symbol. Ein Querstrich am Ende bedeutet, dass dieser Kondensator nur mit Hilfe eines Werkzeugs verändert werden kann (Trimmer). Ein Pfeil bedeutet Bedienbarkeit von außen. Gepolte Kondensatoren erhalten entweder ein Pluszeichen auf der entsprechenden Platte (d) oder werden einseitig dicker gezeichnet (e).

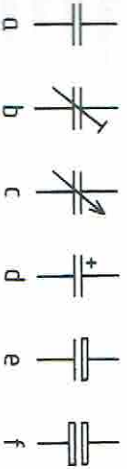


Bild 5-8: Schaltsymbole Kondensatoren:

a allgemein, b einstellbar (Trimmer), c veränderbar, d gepolt, e Elko gepolt, f Elko ungepolt

Kennzeichnung von Kondensatoren

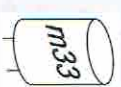
Früher hat man die Daten (Kapazität, Toleranz, maximale Spannung) auf den Kondensator aufgedruckt. Im Zuge der Miniaturisierung ist kein Platz mehr dafür, außer bei den noch immer großen Elektrolytkondensatoren (Bild 5-5). Deshalb verwendet man zur Kennzeichnung des Kapazitätswertes ein ähnliches System wie bei den SMD-Widerständen, nämlich die Größenkennzeichnung Milli (m), Mikro (μ), Nano (n) oder Piko (p) an die Stelle des Kommas zu setzen.

Beispiele

$m47 = 0,47 \text{ mF} = 470 \text{ }\mu\text{F}$
 $4\mu7 = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$
 $n47 = 0,47 \text{ nF} = 470 \text{ pF}$
 $4n7 = 4,7 \text{ nF}$
 $4p7 = 4,7 \text{ pF}$

Prüfungsfrage TC203

Welche Kapazität hat der folgend abgebildete Kondensator?



- A 3,3 μF
- B 33 μF
- C 330 μF
- D 33000 μF

Die Lösung finden Sie im Anhang 2.

Bearbeiten Sie die Prüfungsfragen TC202, TC207, TC204 und TC205.

Hinweis

Wenn Sie im Text nicht alle Auswahlantworten einer Aufgabe finden, sehen Sie bitte im Anhang 1 nach. Die Lösungen der nicht beantworteten Prüfungsfragen finden Sie im Anhang 2 dieses Buches.

Lektion 6: Spule, Transformator

In der vorigen Lektion haben Sie den Kondensator kennen gelernt. In dieser Lektion geht es um die Spule, die in ihrem Verhalten häufig mit dem eines Kondensators verglichen werden kann.

Übersicht:

- Induktivität
- Wechselstromwiderstand
- Bauelemente
- Transformator

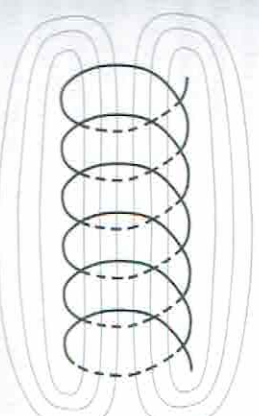


Bild 6-1: Spule mit Magnetfeld

Eine Spule besteht aus aufgewickelm Draht. Wenn durch den Draht einer Spule Strom fließt, ist ein Magnetfeld vorhanden, das gespeicherte Energie darstellt. Das Magnetfeld ist nicht sichtbar. Wenn man mit einer Kompassnadel in die Nähe einer stromdurchflossenen Spule kommt und die Richtung der Nadel als Linie zeichnet, erhält man ein Bild ähnlich 6-1. Innerhalb der Spule verlaufen die Linien parallel. Man sagt, es handelt sich um ein homogenes Feld. Außerhalb schließen sich die Linien in Bögen.

Prüfungsfrage TB402

Wie nennt man das Feld im Innern einer langen Zylinderspule beim Fließen eines Gleichstroms?

- A Homogenes elektrisches Feld
- B Zentriertes magnetisches Feld
- C Konzentrisches Magnetfeld
- D Homogenes magnetisches Feld

Sie finden die richtige Lösung wiederum im Anhang, Vergleichen Sie!