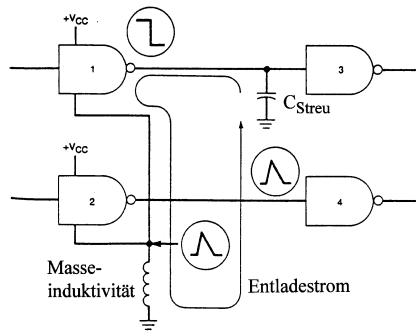
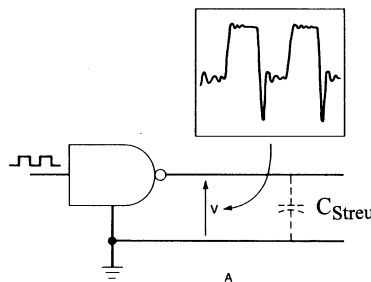


## EIN- UND ABSTRAHLUNG VON PRINTPLATTEN

Bild 6/1: Entstehung von Störsignalen in einer Digitalschaltung beim Schalten eines Gatters



- a) Streukapazität, Leiterinduktivität und Masseinduktivität bilden einen Schwingkreis



- b) Dämpfung der Schwingungen durch Einfügen eines Serienwiderstandes

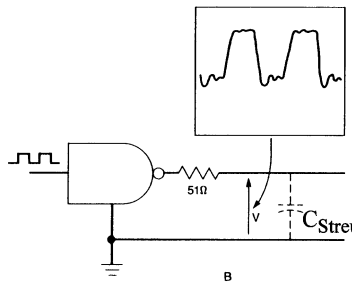
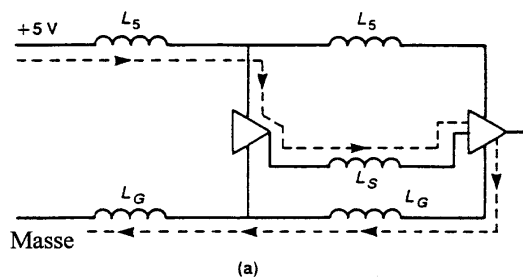


Bild 6/2: Signalformen am Ausgang eines Gatters

- a) 1. Gatter High,  
2. Gatter Low



- b) 1. Gatter Low,  
2. Gatter High

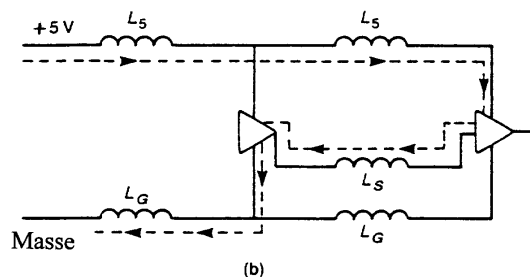
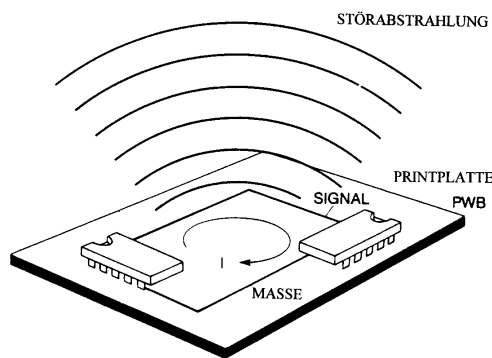


Bild 6/3: Pfade der Stoßströme beim Schalten von Gattern

Tabelle 6/1: Impedanz einer 2,54 cm langen und 0,5 mm breiten Printbahn  
(Ohmscher Widerstand 12 mΩ, Induktivität 15 nH)

Anstiegszeit $\tau_r$ [ns]	Bandbreite $BW = 1/\pi\tau_r$ [MHz]	Impedanz [Ω]
318	1	0,1
31,8	10	1,0
10,6	30	2,8
3,18	100	10
1,06	300	28

a) Abstrahlung durch Gegentaktströme zwischen Bauelementen



b) Abstrahlung durch Gleichtaktströme auf Kabeln

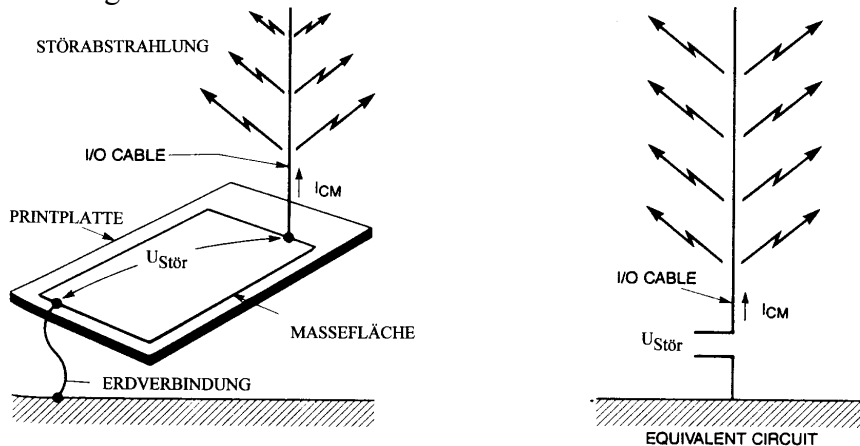
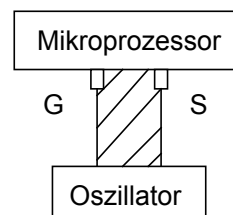
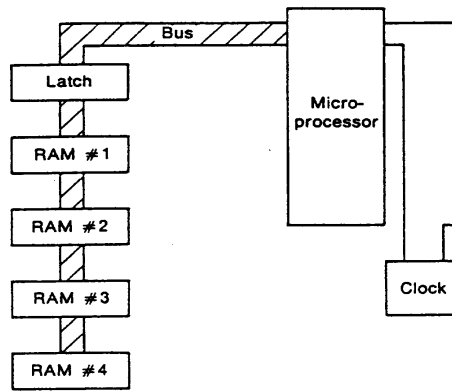


Bild 6/6: Abstrahlung von Printplatten durch Gleichtakt- und Gegentaktströme

Bild 6/7: Anordnung eines Taktgenerators unmittelbar neben dem Prozessor um die Schleifenfläche der Verbindungsleitung zu minimieren



a) Ungünstiges Layout:  
Lange Leitung,  
große Schleifenfläche



b) Richtiges Layout

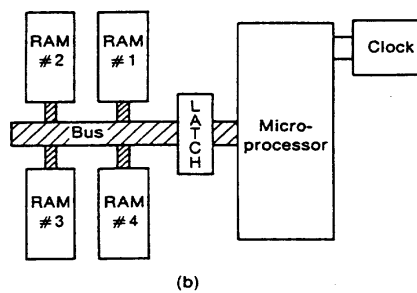


Bild 6/8: Anordnung von Memories auf einem Print

Bild 6/9:  
Zweckmäßige Anordnung  
von "schnellen" und  
"langsamen" Bauelementen  
auf einem Print

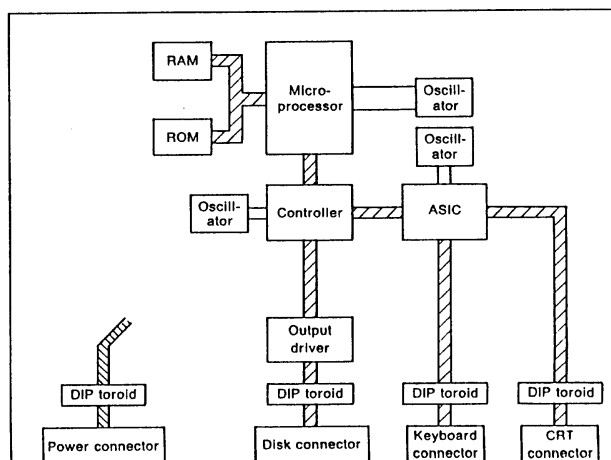
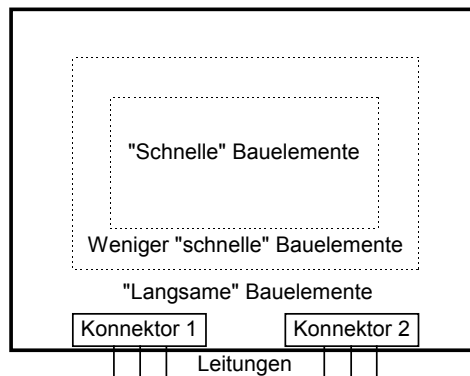
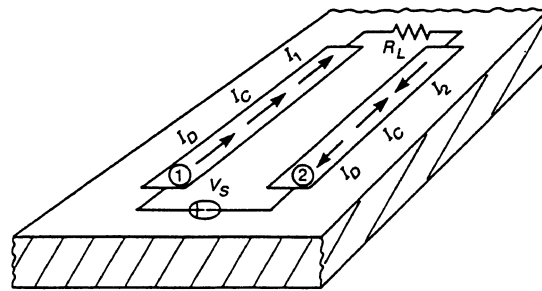
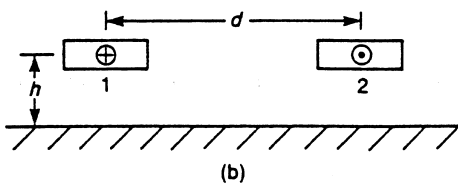


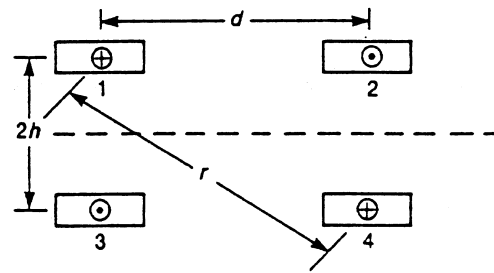
Bild 6/10: Beispiel eines vom EMV-Standpunkt aus günstigen Layouts einer  
Digitalschaltung mit Leitungsanschlüssen



(a)



(b)



(c)

a) Zwei parallele Printbahnen, die einen Stromkreis bilden

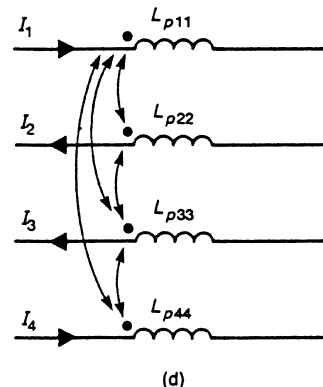
$I_C$  .... Gleichtaktströme

$I_D$  .... Gegentaktströme

b) Querschnitt der Printplatte

c) Ersatzschaltbild (Spiegelungsprinzip)

d) Modell mit partiellen Induktivitäten



(d)

Bild 6/14: Prinzip der virtuellen Masse zur Minimierung von Störaussendungen und Spannungsabfällen

$$U_1 = j\omega L_{p11}I_1 - j\omega L_{p12}I_2 - j\omega L_{p13}I_3 + j\omega L_{p14}I_4 \quad (6-7)$$

und

$$U_2 = -j\omega L_{p12}I_1 + j\omega L_{p22}I_2 + j\omega L_{p23}I_3 - j\omega L_{p24}I_4 \quad (6-8)$$

Mit  $I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$  wird die partielle Induktivität der beiden Leiter

$$L_{p1} = L_{p11} - L_{p12} - L_{p13} + L_{p14} \quad (6-9)$$

$$L_{p2} = L_{p22} - L_{p12} + L_{p23} - L_{p24} \quad (6-10)$$

Bei einer Printdicke  $h$ , Printbahnlänge  $l$  und -breite  $w$  und einem Leiterabstand  $d$  kann man aus (6-5) bis (6-10) die partiellen Gegeninduktivitäten berechnen. Für die partielle Gesamtinduktivität  $L_p$  jeder der beiden Printbahnen *mit virtueller Masse* ergibt sich

$$L_{p1} = L_{p2} = 2 \cdot 10^{-7} l \left[ \ln\left(\frac{2h}{w}\right) + \ln\left(\frac{d}{r}\right) + \frac{3}{2} + \frac{r - 2h - d}{2l} \right] \quad (6-11)$$

mit

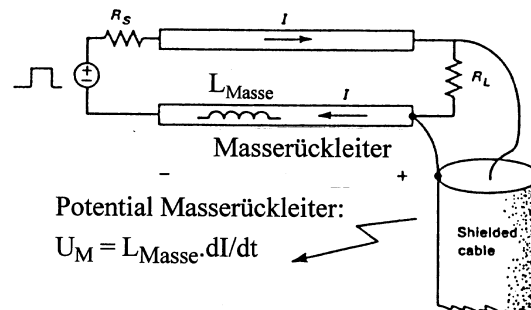
$$r = \sqrt{d^2 + 4h^2} \quad (6-12)$$

Im Vergleich dazu ist die gesamte partielle Induktivität einer von zwei Leiterbahnen **ohne Massefläche** darunter

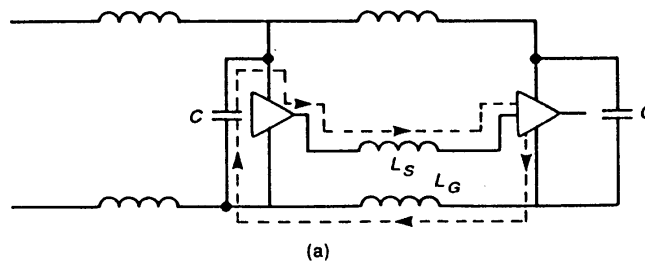
$$L_{p1} = L_{p2} = L_{p11} - L_{p12} = 2 \cdot 10^{-7} l \left[ \ln\left(\frac{d}{w}\right) + \frac{3}{2} - \frac{d}{2l} \right] \quad (6-13)$$

Der Vergleich von (6-11) und (6-13) in der Tabelle 6/2 zeigt, dass die Massefläche einen eng benachbarten Rückleiter weitgehend ersetzt!

Bild 6/15: Störstrahlung vom Kabelschirm infolge Massepotential-schwankungen



- a) 1. Gatter High,  
 2. Gatter Low



- b) 1. Gatter Low,  
 2. Gatter High

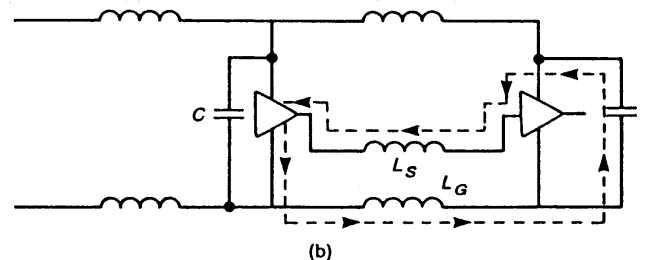
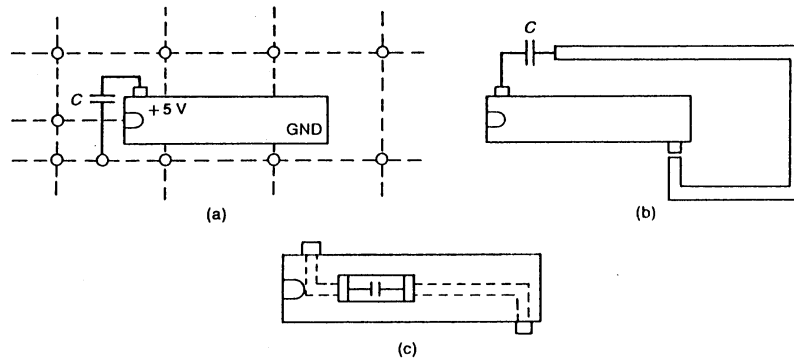
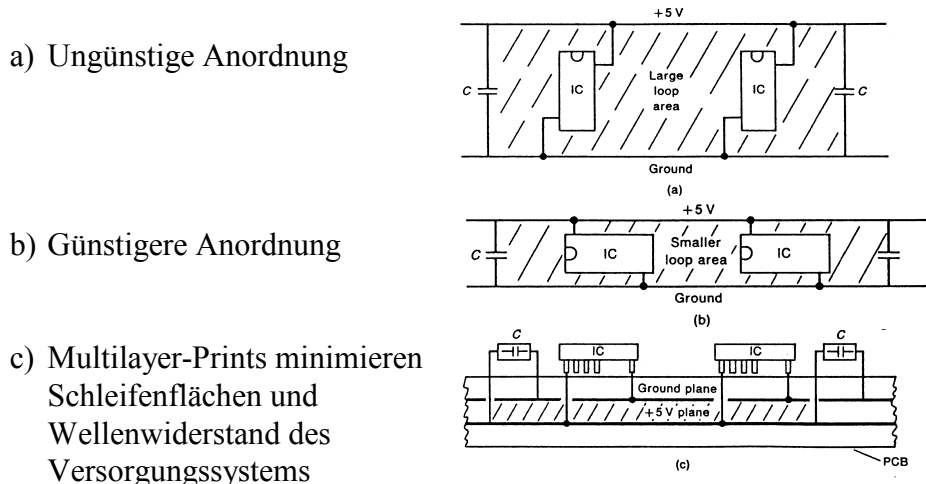


Bild 6/18: Einsatz von Entkopplungskondensatoren zur Verkleinerung der Schleifenflächen beim Schalten der Gatter



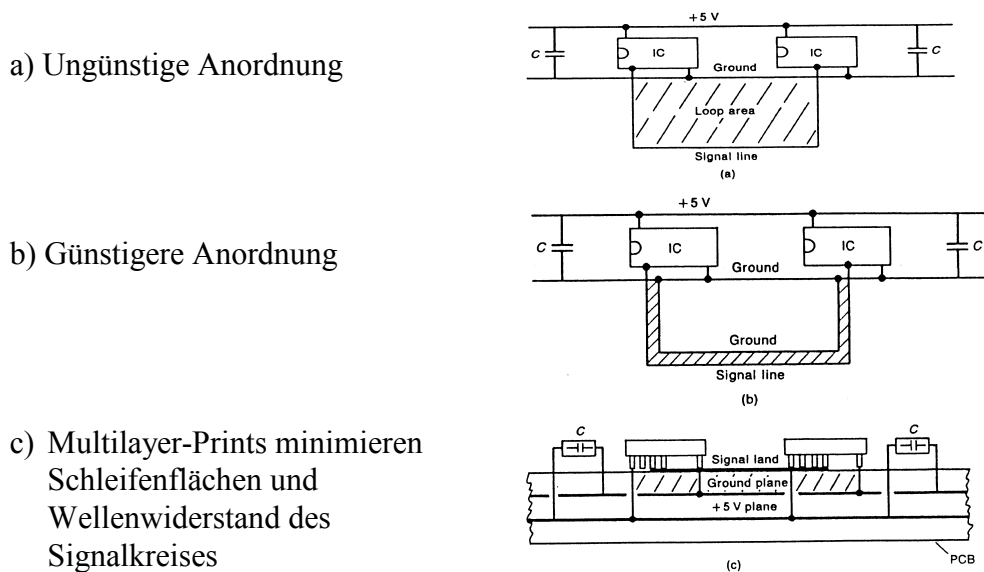
- a) IC über gitterförmiger Massefläche
- b) schlechte Printbahnführung, weil eine große Induktivität in Serie zur Kapazität entsteht
- c) SMD-Kondensator unter dem IC minimiert die Anschlußlänge

Bild 6/19: Anordnung von Entkopplungskondensatoren



- a) Ungünstige Anordnung
- b) Günstigere Anordnung
- c) Multilayer-Prints minimieren Schleifenflächen und Wellenwiderstand des Versorgungssystems

Bild 6/27: Stromschleifen mit Gegentaktströmen, die Störabstrahlung verursachen



- a) Ungünstige Anordnung
- b) Günstigere Anordnung
- c) Multilayer-Prints minimieren Schleifenflächen und Wellenwiderstand des Signalkreises

Bild 6/28: Minimierung von Stromschleifen, die durch Signalpfade gebildet werden