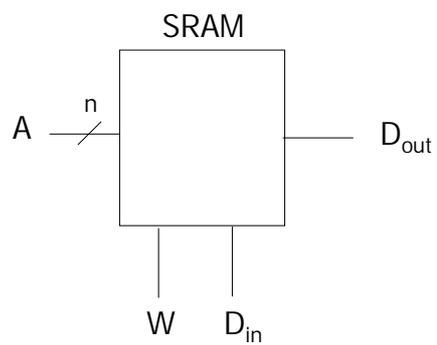


12.3 SRAM

Bernd Becker – Technische Informatik II

Statischer Speicher - Schaltsymbol



BB TI II 12.3/2

Ein N-Bit SRAM

Sei $n \in \mathbf{N}$, $N = 2^n$

Ein N-Bit statischer Speicher oder SRAM

(static random access memory) hat:

- n Eingänge $A = (A_{n-1}, \dots, A_0)$ „Adresse“
- Dateneingang D_{in} , Datenausgang D_{out}
- Kontrollsignal W „write“

BB TI II 12.3/3

N-Bit SRAM (ff)

- Der Speicher enthält N Speicherzellen L_0, \dots, L_{N-1} , die je ein Bit speichern können.
- Zelle $L_{\langle A \rangle}$ wird mit Hilfe der Adresse A ausgewählt.
An D_{out} erscheint der Inhalt von $L_{\langle A \rangle}$.
Durch Schreibpuls an W wird D_{in} nach $L_{\langle A \rangle}$ übernommen.

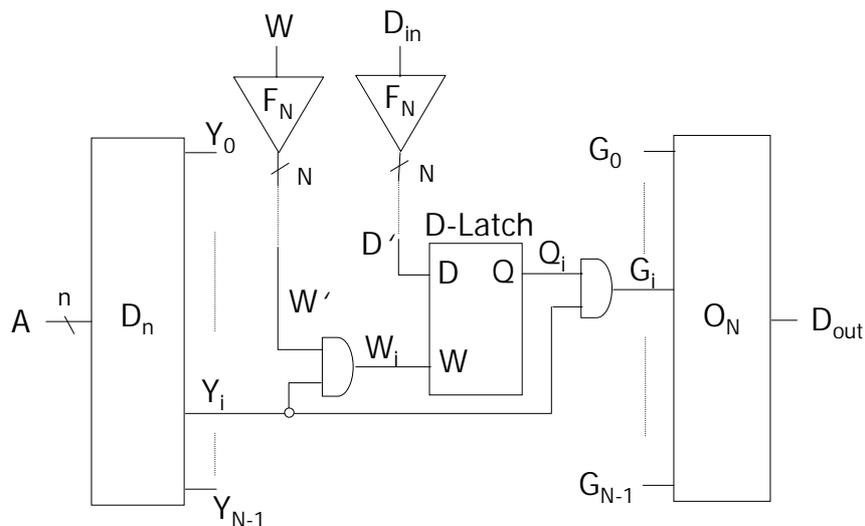
BB TI II 12.3/4

N-Bit SRAM (ff)

- Ein $N \times s$ – SRAM besteht aus s N-Bit SRAMs mit gemeinsamen Adress- und Schreibsignalen.
- s heißt Bitbreite des $N \times s$ – SRAMs
- Ein SRAM besteht im Prinzip aus 3 Hilfsschaltkreisen
 1. mehrfaches OR
 2. Treiberbäume
 3. Dekodierer

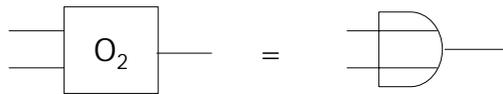
BB TI II 12.3/5

Schaltbild eines SRAMs: Details werden jetzt entwickelt!



Mehrfaches OR

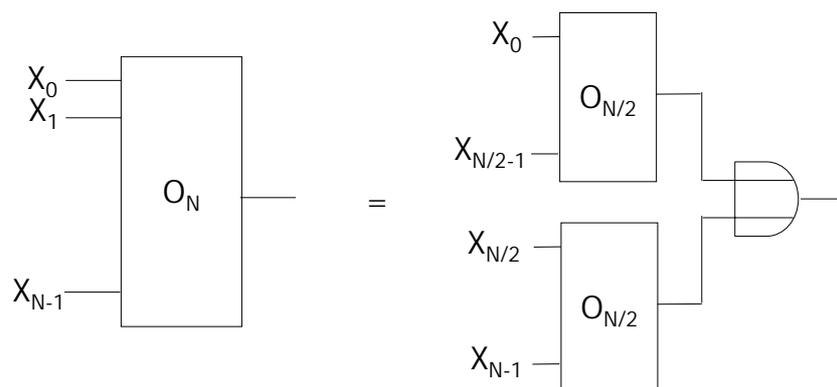
Ein N-faches OR O_N mit $N = 2^n$ ist ein Schaltkreis, der N-faches Oder berechnet.



→ balancierter Baum

BB TI II 12.3/7

Mehrfaches OR (ff)



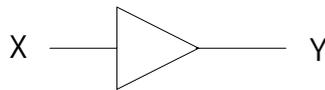
Verzögerungszeit $\rho(n)$ von O_N :
 $3.0 n \leq \rho(n) \leq 6.6 n$

	OR	
	min	max
t_{PLH}	3.0	6.6
t_{PHL}	3.0	6.3

Treiberbäume

Ein Treiber ist ein Gatter mit einem Eingang X und einem Ausgang Y, das die Identität $Y = X$ berechnet.

Symbol:



BB TI II 12.3/9

Verzögerungszeiten bei Treibern

Es gelten folgende Verzögerungszeiten für Treiber (74F244):

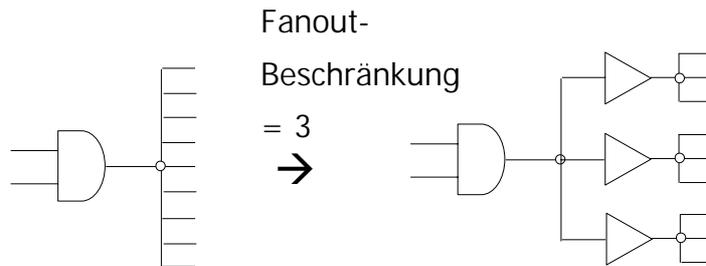
	min	max
t_{PLH}	2.5	6.2
t_{PHL}	2.5	6.5

BB TI II 12.3/10

Zweck von Treibern

Zweck: Überwinden von Fanout-Beschränkungen

Beispiel:



Wir betrachten Fanout-Beschränkungen ≤ 10 und konstruieren deshalb Bäume mit Verzweigungsgrad ≤ 10 .

Beachte:

Hier versteht man unter einem Baum
einen (In-)Baum,

d.h. einen azyklischen Graphen $G = (V, E)$ mit

- genau einer Quelle w und
 $\text{indeg}(v) = 1$ für alle $v \in V \setminus \{w\}$
- Blätter = Knoten $v \in V$ mit $\text{outdeg}(v) = 0$
- innere Knoten = Knoten $v \in V$ mit $\text{outdeg}(v) \geq 1$
(Kantenrichtung umgekehrt wie (out-)Baum !!)

Bemerkung

Für Baum B sei

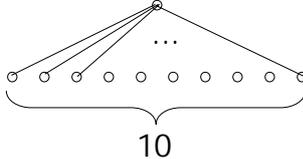
$L(B)$ = Anzahl der Blätter

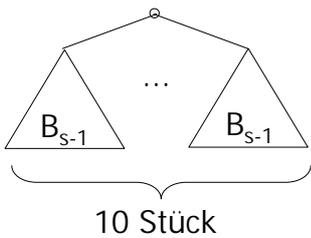
$I(B)$ = Anzahl innerer Knoten

BB TI II 12.3/13

Betrachte 10-näre Bäume

B_0 : 

B_1 : 

B_s : 

BB TI II 12.3/14

Betrachte 10-äre Bäume (ff)

$$L(B_s) = 10^s$$

$$I(B_s) = \sum_{i=0}^{s-1} 10^i = \frac{10^s - 1}{10 - 1} < \frac{L(B_s)}{9}$$

→ Benutze B_s zum x -fachen Vervielfältigen eines Signals mit $x = 10^s$.

Innere Knoten des Baumes werden durch Treiber ersetzt

→ *Treiberbaum* mit Fanoutbeschränkung 10

Mögliches Problem

Ist x mit $10^{s-1} < x < 10^s$ keine Zehnerpotenz, so konstruiere einen Baum $T(x, s)$, der x Blätter hat und bei dem alle Pfade von der Wurzel zu einem Blatt Länge s haben.

Idee:

Fülle Bäume von links her 10-är auf und Sorge zusätzlich für gleiche Tiefe der Blätter!

(Beispiel dazu in der Vorlesung)

Lemma 12.2

$\forall s \in \mathbf{N}$ und $\forall x \in [1, \dots, 10^s]$ gibt es einen Baum $T(x, s)$ mit Ausgangsgrad ≤ 10 an jedem inneren Knoten und den folgenden Eigenschaften:

1. $T(x, s)$ hat x Blätter
2. $I(T(x, s)) \leq \frac{x}{9} + s$
3. Alle Pfade von der Wurzel zu einem Blatt haben Länge s .

Beweis: Induktion über $s \rightarrow$ Übungen

BB TI II 12.3/17

Verzögerungszeit bei Treiberbäumen

■ Für $x \in \mathbf{N}$ betrachte $\lambda(x) = \lceil \log_{10} x \rceil$ und konstruiere $T(x, \lambda(x))$.

■ Wegen $\log_{10} x = \frac{\log x}{\log 10}$ und $3 < \log 10 < 4$

$$\frac{1}{4} \log x < \lambda(x) < \frac{1}{3} \log x + 1 \quad (*)$$

BB TI II 12.3/18

Verzögerungszeit bei Treiberbäumen (ff)

- Ersetze in $T(x, \lambda(x))$ jeden inneren Knoten durch Treiber
 → Schaltkreis F_x mit 1 Eingang und x Ausgängen.



→ Verzögerungszeit $\tau(x)$ von F_x :
 $2.5 \lambda(x) \leq \tau(x) \leq 6.5 \lambda(x)$

	min	max
t_{PLH}	2.5	6.2
t_{PHL}	2.5	6.5

und wegen (*)

$$0.625 \log x \leq \tau(x) < 2.2 \log x + 6.5$$

BB TI II 12.3/19

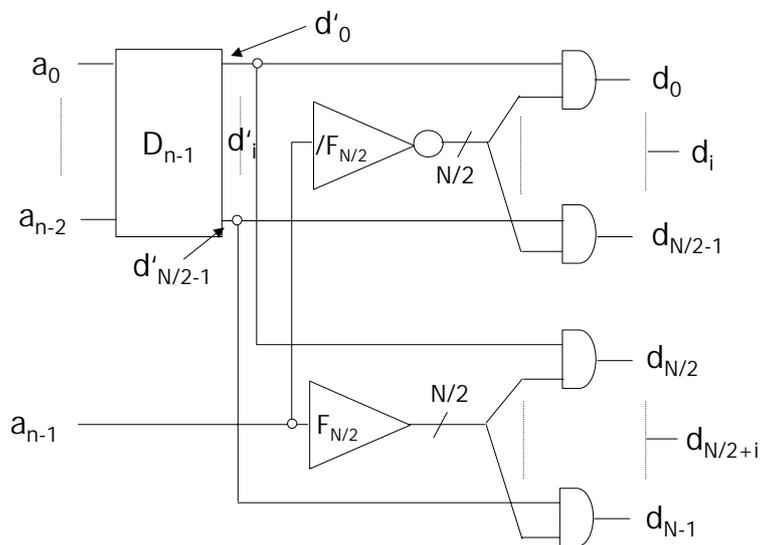
Verzögerungszeit bei Treiberbäumen (ff)

- Invertierender Treiberbaum $/F_x$:
 Ersetze in F_x Treiber an der Wurzel durch Inverter
 → Gegenüber F_x
 minimale Verzögerungszeit um 1 ns geringer,
 maximale Verzögerungszeit um 0.5 ns.



BB TI II 12.3/20

n-Bit-Dekodierer



Verzögerungszeit beim Dekodierer

Obere Abschätzung für Verzögerungszeit $\delta(n)$ von D_n :

$$\delta(1) \leq 6.0,$$

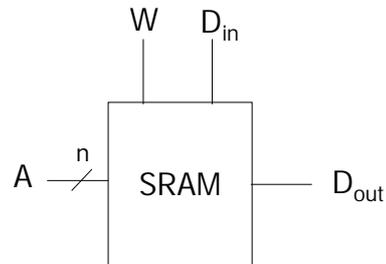
$$\delta(2) \leq 6.6 + \max\{6.0, \tau(2)\} \leq 2 \cdot 6.6$$

$$\begin{aligned} \delta(n) &\leq 6.6 + \max\{\delta(n-1), \tau(2^{n-1})\} \\ &\leq 6.6 + \underbrace{\max\{\delta(n-1), 2.2(n-1) + 6.5\}}_{\leq 6.6(n-1)} \\ &\quad \text{nach I.V.} \end{aligned}$$

Durch Induktion folgt:

$$\delta(n) \leq 6.6 n$$

Aufbau eines SRAM



Das SRAM besteht aus $N = 2^n$ D-Latches L_0, \dots, L_{N-1} .

BB TI II 12.3/25

Schreib- und Lese-Vorgang

Lesen:

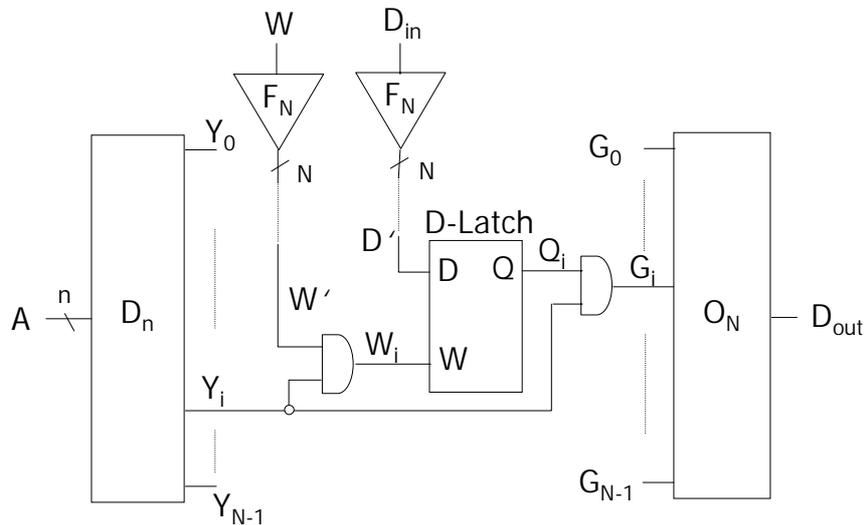
An D_{out} soll der Inhalt von $L_{\langle A \rangle}$ ausgegeben werden.

Schreiben:

Bei Schreibpuls W soll D_{in} nach $L_{\langle A \rangle}$ übernommen werden.

BB TI II 12.3/26

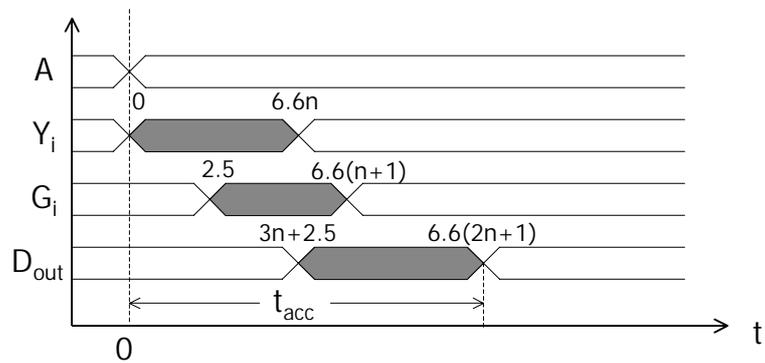
Schaltbild eines SRAMs



Bemerkungen zur Schaltung

- Die vorige Schaltung realisiert ein SRAM funktionell.
- Timing-Analyse nötig, um zu klären, wie lange jeweilige Signale anliegen müssen für zeitlich korrektes Verhalten.

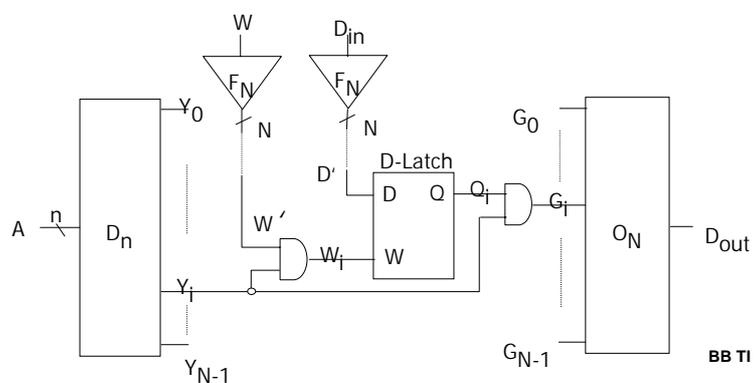
Timing-Analyse für Lesezugriff



Timing-Analyse für Lesezugriff (ff)

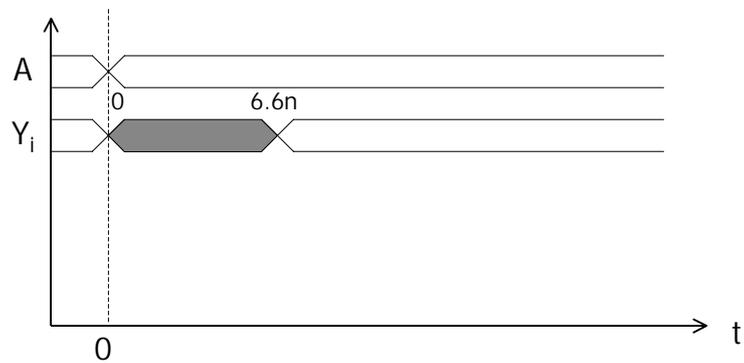
Adresse stabil bei $t = 0$.

→ Y_i stabil zur Zeit $t_1 = \delta(n) = (0, 6.6n)$ ← Decoder



BB TI II 12.3/30

Timing-Analyse für Lesezugriff

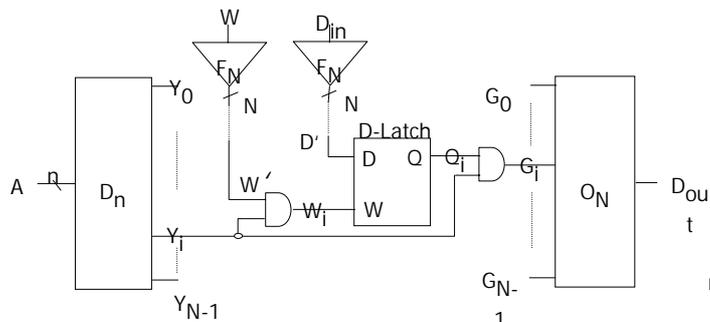


Timing-Analyse für Lesezugriff (ff)

Adresse stabil bei $t = 0$.

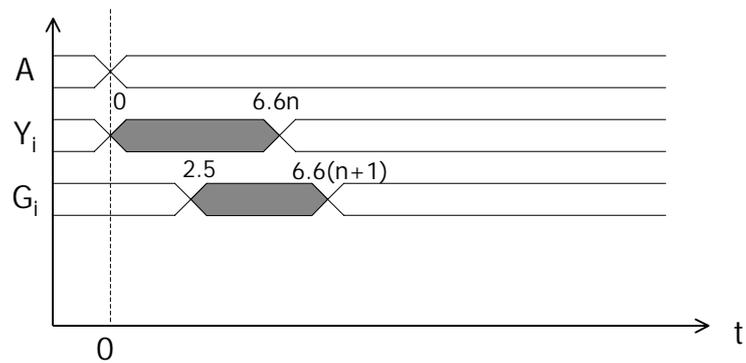
→ Y_i stabil zur Zeit $t_1 = \delta(n) = (0, 6.6n)$ ← Decoder

→ G_i stabil zur Zeit $t_2 = t_1 + (2.5, 6.6)$ ← AND
 $= (2.5, 6.6(n+1))$



BB TI II 12.3/32

Timing-Analyse für Lesezugriff



Timing-Analyse für Lesezugriff (ff)

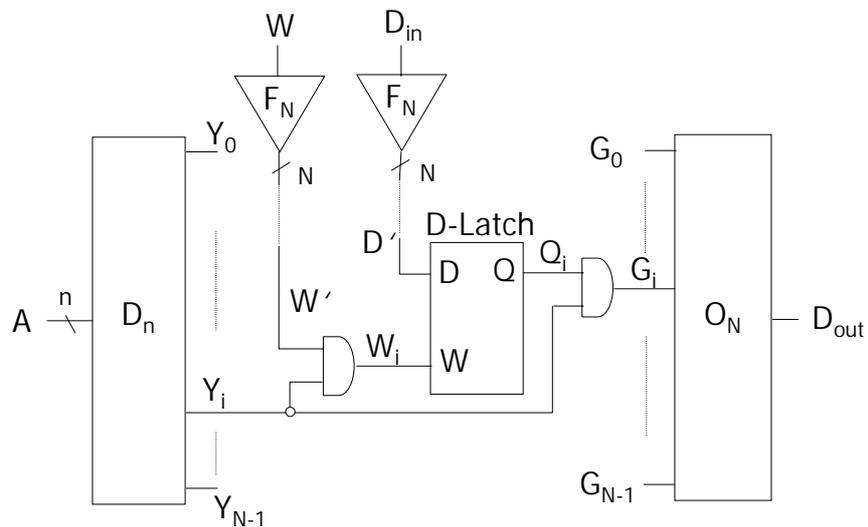
Adresse stabil bei $t = 0$.

→ Y_i stabil zur Zeit $t_1 = \delta(n) = (0, 6.6n)$ ← Decoder

→ G_i stabil zur Zeit $t_2 = t_1 + (2.5, 6.6)$ ← AND
 $= (2.5, 6.6(n+1))$

→ D_{out} stabil zur Zeit t_{acc} ??

Schaltbild eines SRAMs



Timing-Analyse für Lesezugriff (ff)

Adresse stabil bei $t = 0$.

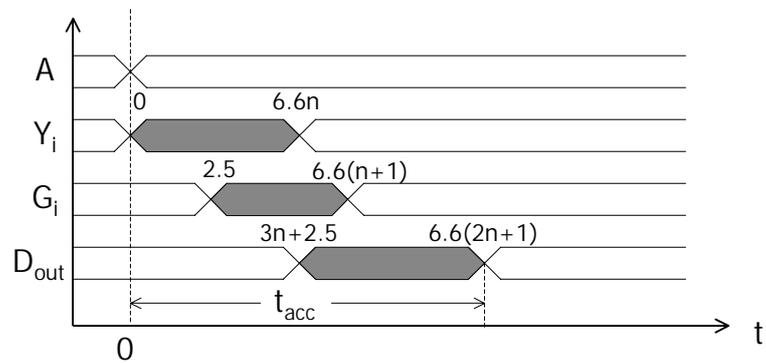
→ Y_i stabil zur Zeit $t_1 = \delta(n) = (0, 6.6n)$ ← Decoder

→ G_i stabil zur Zeit $t_2 = t_1 + (2.5, 6.6)$ ← AND
 $= (2.5, 6.6(n+1))$

→ D_{out} stabil zur Zeit $t_{acc} = t_2 + \rho(n)$ ← OR-Baum
 $= (3n+2.5, 6.6(2n+1))$

t_{acc} = Lesezugriffszeit

Timing-Analyse für Lesezugriff

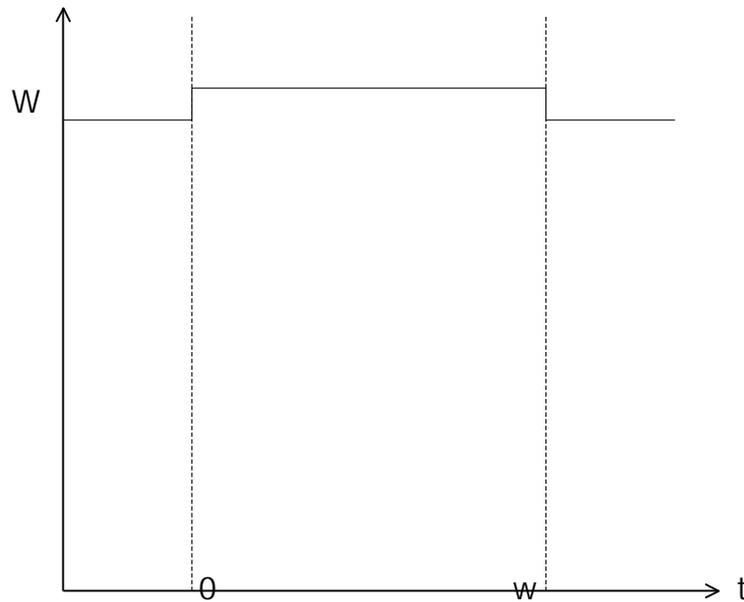


Timing-Analyse für Schreibzugriff

Der Schreibzugriff basiert auf folgenden Parametern:

- Das Schreibsignal W wird von 0 bis w aktiviert

Timing-Diagramm

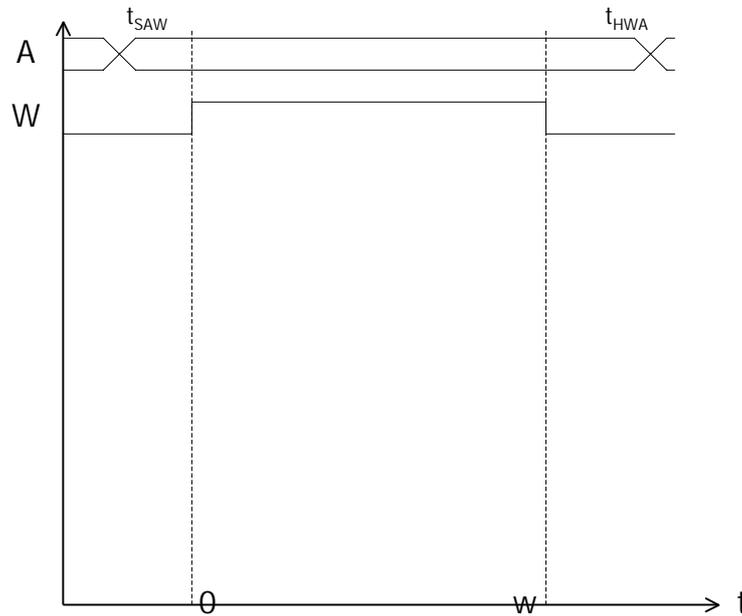


Timing-Analyse für Schreibzugriff

Der Schreibzugriff basiert auf folgenden Parametern:

- Das Schreibsignal W wird von 0 bis w aktiviert
- Adressen werden stabil gehalten von $-t_{SAW}$ bis Zeit $w + t_{HWA}$

Timing-Diagramm

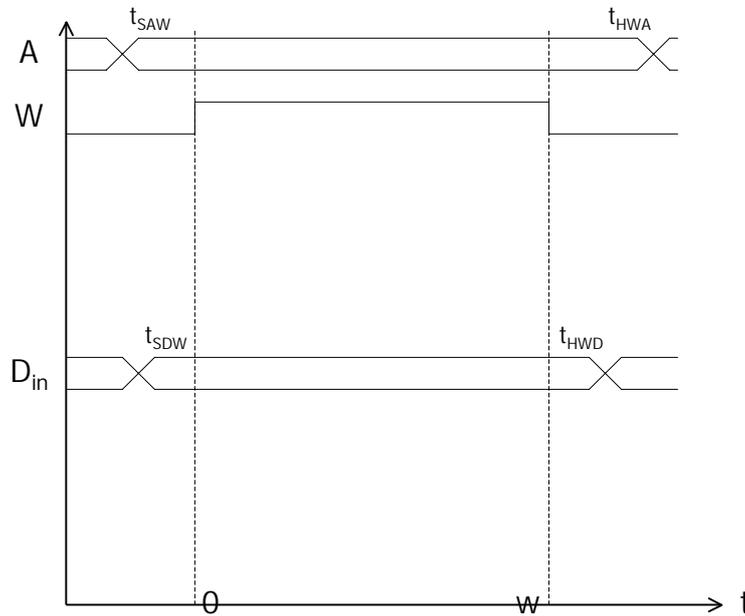


Timing-Analyse für Schreibzugriff

Der Schreibzugriff basiert auf folgenden Parametern:

- Das Schreibsignal W wird von 0 bis w aktiviert
- Adressen werden stabil gehalten von $-t_{SAW}$ bis Zeit $w + t_{HWA}$
- D_{in} wird stabil gehalten von $-t_{SDW}$ bis $w + t_{HWD}$

Timing-Diagramm

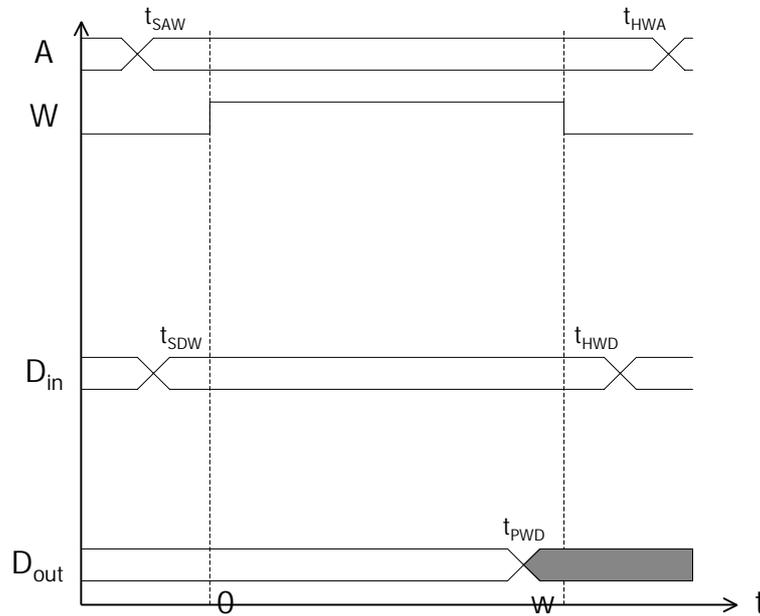


Timing-Analyse für Schreibzugriff

Der Schreibzugriff basiert auf folgenden Parametern:

- Das Schreibsignal W wird von 0 bis w aktiviert
- Adressen werden stabil gehalten von $-t_{SAW}$ bis Zeit $w + t_{HWA}$
- D_{in} wird stabil gehalten von $-t_{SDW}$ bis $w + t_{HWD}$
- Die neuen Daten sind zur Zeit t_{PWD} an D_{out} beobachtbar

Timing-Diagramm



Symbole und Bezeichnungen

Symbol	Bezeichnung	min	max	
w	Schreibpulsweite	$1.575n + 35.8$		I.
t _{SAW}	Setup-Zeit von A bis W	$5.975n + 11.3$		II.
t _{HWA}	Hold-Zeit von A nach W	$2.2n + 17.8$		II.
t _{SDW}	Setup-Zeit von D bis W	$1.575n + 19.8$		III.
t _{HWD}	Hold-Zeit von D nach W	$1.575n + 23.8$		IV.
t _{PWD}	Verzögerungszeit von W bis D	$3.625n + 9.4$	$8.8n + 36.6$	

Korrektheit

Man kann zeigen, dass der Schreibzyklus mit den gegebenen Parameterwerten gelingt.

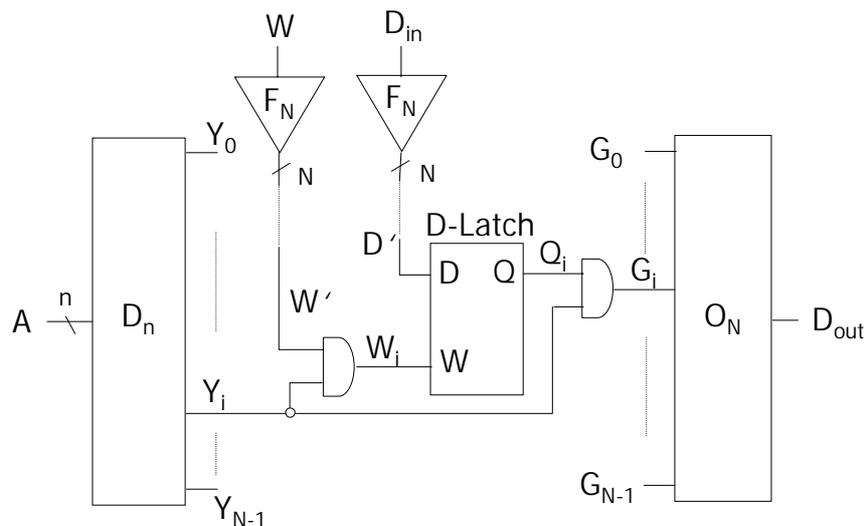
Beweis: → Übungen

Analoge Zeiten werden für den Betrieb von anderen SRAMs angegeben.

(siehe auch Datenblatt)

BB TI II 12.3/47

Bemerkung zum Korrektheitsbeweis (1): Schaltbild eines SRAMs

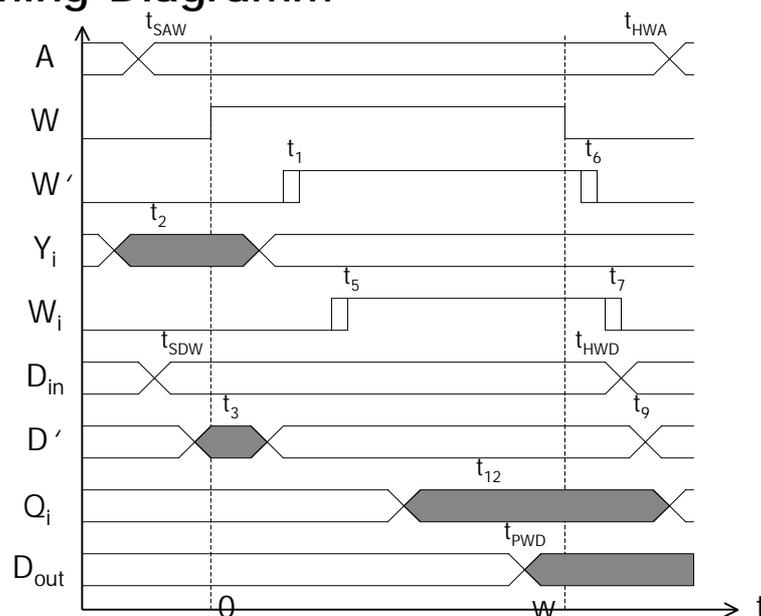


Bemerkung zum Korrektheitsbeweis (2):

- I. Schreibpulsweite für D-Latch muss ausreichend sein.
- II. Auf Signalen W_i (*individuelle Schreibsignale*) dürfen keine Spikes entstehen.
- III. Setup-Zeiten der D-Latches sind zu erfüllen.
- IV. Hold-Zeiten der D-Latches sind zu erfüllen.

BB TI II 12.3/49

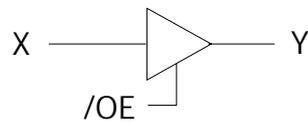
Bemerkung zum Korrektheitsbeweis (3): Timing-Diagramm



Zum Schluss von 12.3: Tristate-Treiber und Busse

Tristate-Treiber sind Treiber mit Eingangssignal X und zusätzlichem Signal /OE, dem Output Enable – Signal

Schaltsymbol:



BB TI II 12.3/51

Tristate-Treiber (ff)

Am Ausgang Y erscheint

$$Y = \begin{cases} X, & \text{falls } /OE = 0 \\ Z, & \text{falls } /OE = 1 \end{cases}$$

Z bezeichnet einen Zustand hoher Impedanz (high Z, Z)

BB TI II 12.3/52

Tristate-Treiber (ff)

Ein Tristate-Treiber, dessen Ausgang mit Leitung I verbunden ist und sich im Zustand Z befindet, verhält sich so, als sei die Verbindung zu I unterbrochen!

Man sagt:

„ *Der Treiber ist disabled.* “

(Gegensatz: *enabled*)

BB TI II 12.3/53

n-Bit-Treiber

n Treiber mit gemeinsamen /OE sind n-Bit-Treiber

Beispiel: 74F244 enthält 2 4-Bit-Treiber

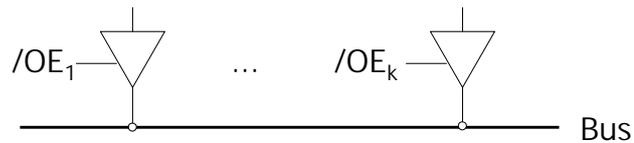
Im Gegensatz zu Ausgängen üblicher Gatter kann man Ausgänge von Tristate-Treibern zusammenschalten.

Man muss dafür sorgen, dass zu jeder Zeit höchstens ein Treiber enabled ist.

BB TI II 12.3/54

Busse

Ein **Bus** ist eine Leitung,
die mehrere Treiberausgänge verbindet.



n-Bit breiter Bus =
n-Bit Treiber mit n Leitungen verbunden

BB TI II 12.3/55

Zeitverhalten von Tristate-Treibern

Enable-Zeit t_{pZX} =
Zeit vom Aktivieren von $/OE$ bis zum Durchschalten

Disable-Zeit t_{pXZ} =
Zeit vom Deaktivieren von $/OE$ bis zum Isolieren
des Ausgangs

BB TI II 12.3/56

Zeitangaben zu Treibern

	Treiber 74F244	min	max
t_{PZL}	Enable-Zeiten	2.0	8.0
t_{PZH}	Enable-Zeiten	2.0	6.7
t_{PLZ}	Disable-Zeiten	2.0	7.0
t_{PHZ}	Disable-Zeiten	2.0	7.0
t_{PLH}	Umschaltverzögerung bei /OE = 0	2.5	6.2
t_{PHL}	Umschaltverzögerung bei /OE = 0	2.5	6.5

BB TI II 12.3/57

Vergleich: Bus vs. Mux

k Tristate-Treiber, die durch einen Bus verbunden sind, wirken ähnlich wie ein k-fach-Multiplexer.

Vorteile Bus gegenüber Multiplexer:

- leicht erweiterbar
(siehe Bus im PC mit Steckkarten)
- Datentransport in verschiedene Richtungen zu verschiedenen Zeiten

BB TI II 12.3/58

Problem

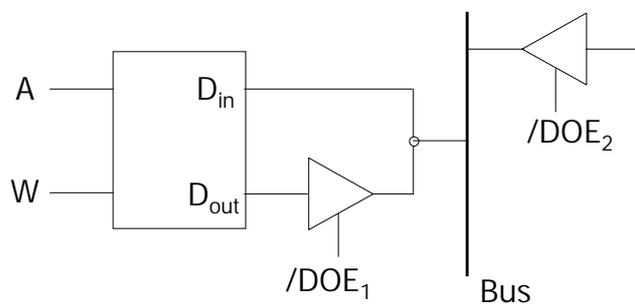
Vermeidung von **Bus Contention**

d.h. nie 2 Treiber auf einem Bus gleichzeitig enablen!!

BB TI II 12.3/59

Beispiel zur Verwendung

SRAM mit gemeinsamem Dateneingang und -ausgang:



BB TI II 12.3/60