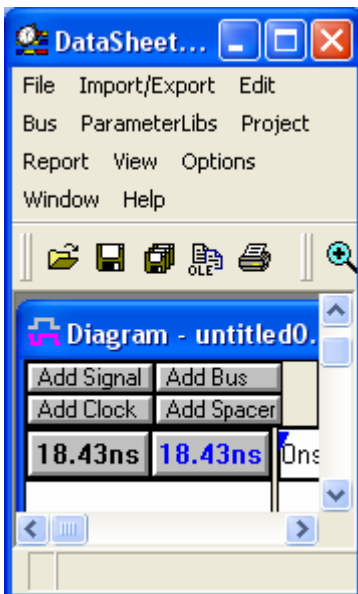
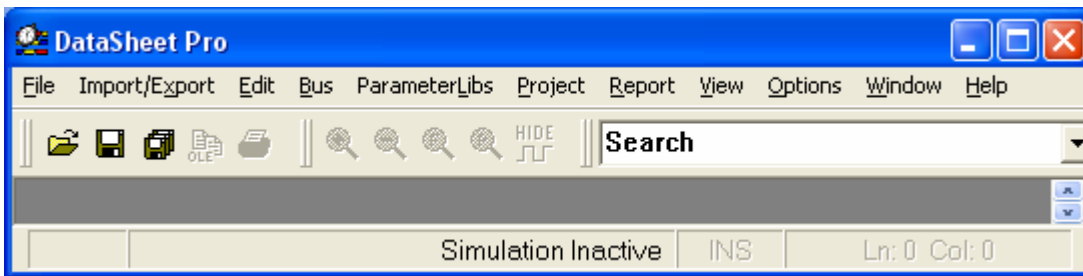


Erste Schritte, ganz schnell – ultra quick in TimingDiagrammer Pro, WaveFormer Pro, DataSheet Pro & Co

**File > New Timing Diagram oder
File > Open Timing Diagram**

Wie in jedem Programm für Windows legen Sie neue Dateien, bzw. öffnen Sie neue Dateien an. Das Dateiformat ist hier .btim.



In der linken oberen Ecke des neuen Fensters für das neue Timing Diagramm finden Sie die Schaltflächen zum Anlegen neuer:

- Signale
- Clock-Signale,
- Bus Signale und
- Spacer.

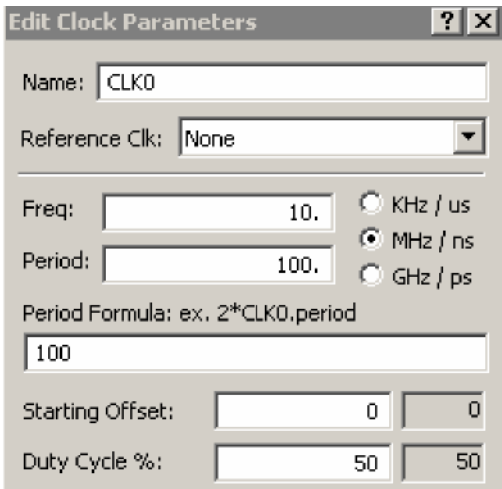
Spacer erzeugen zusätzliche vertikale Abstände zwischen den Signalen. Spacer dienen der besseren Übersichtlichkeit, wenn Sie z. B. im Timing Diagramm Textblöcke zur Beschreibung von Signal Situationen einsetzen.



Mit der Schaltfläche

Add Clock

fügen Sie in das Timing Diagramm ein Clock-Signal ein.



Jedes Signal hat Eigenschaften:

Parameters oder Properties.

Beim Anlegen einer neuen Clock erscheint das

Edit Clock Parameters

Fenster.

Default Frequenz ist 10 MHz – könne Sie natürlich ändern.

Ein Clock Signal kann von einer anderen Clock abgeleitet werden – siehe

Reference Clk und Period Formular.

Wenn Sie später nochmals in die Edit Clock Parameters einsteigen wollen, machen Sie das mit einem Doppelklick linke Maustaste (DLM) im Signalbereich des Timing Diagramms.

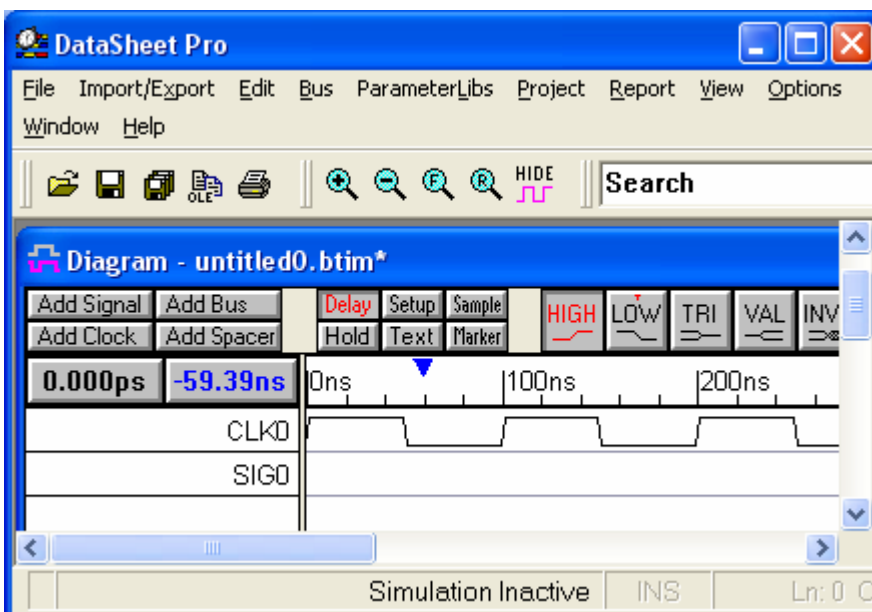
Weiter unten finden Sie **OK** und eine Markierung für den Zustand der Clock beim Start.



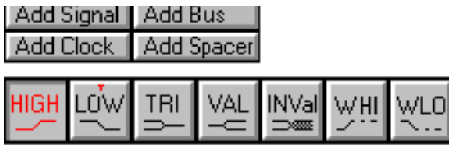
Mit der Schaltfläche

Add Signal

fügen Sie in das Timing Diagramm einfach ein Signal ein.



Im Timing Diagramm erscheint zunächst das neue Signal nur mit dem vom Programm vorgegebenen Namen - können Sie natürlich ändern – und ohne Signalzustände. Die kennen nur Sie, müssen also von Ihnen in das Timing Diagramm eingebracht werden – mit der Maus oder mit anderen Methoden.



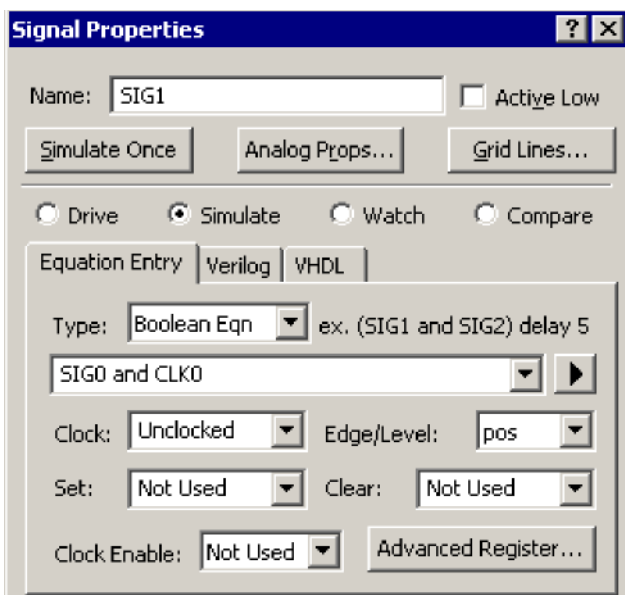
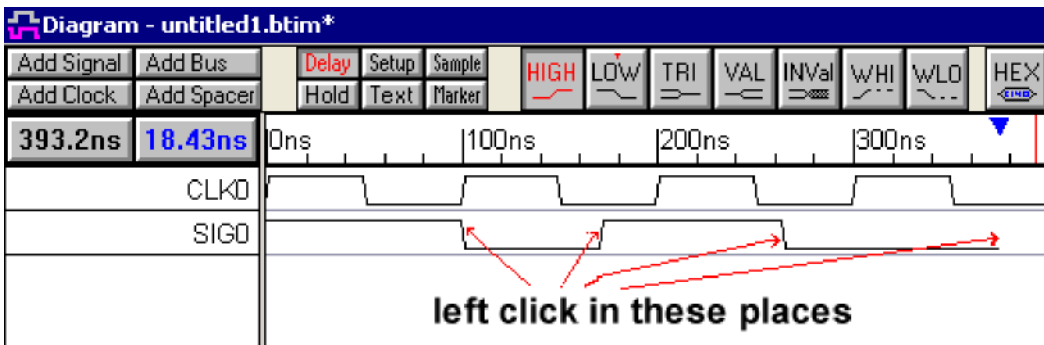
Diese Signalzustands Schaltflächen repräsentieren alle möglichen Signalzustände.

Wenn Sie die Signalzustände mit der linken Maustaste in das Timing Diagramm einbringen, so sind die Schaltflächen für die Signalzustände ganz wichtig – Sie werden sich schnell daran gewöhnen.

Die rote Schaltfläche definiert den nächsten Signalzustands Eintrag in das Timing Diagramm.

Danach wird der Signalzustand entsprechend der Schaltfläche mit dem roten T (manchmal nur als Dreieck zu erkennen) eingetragen.

Die Umschaltung erfolgt automatisch, wenn Sie die linke Maustaste loslassen.



Weiter unten finden Sie **OK** zum Schließen der **Signal Properties**.

Eine der Alternativen zur Signalzustands Definition mit den Schaltflächen ist das vom Hersteller sog. **Simulated Signal**. TimingDiagrammer Pro kann das nicht, aber WaveFormer Pro, DataSheet Pro & Co können das.

Bringen Sie ein zweites Signal in Ihr Timing Diagramm – Sie wissen schon: Mit

Add Signal.

Ein **DLM** auf dem wieder vom Programm vorgegebenen Signal Namen öffnet Ihnen das **Signal Properties** Fenster. Hier können Sie u. a. den Signal Namen ändern.

Unter dem Dropdown Feld **Boolean Eqn** tragen Sie bitte in das Feld **SIG0 and CLK0** ein und klicken Sie dann auf **Simulate**.

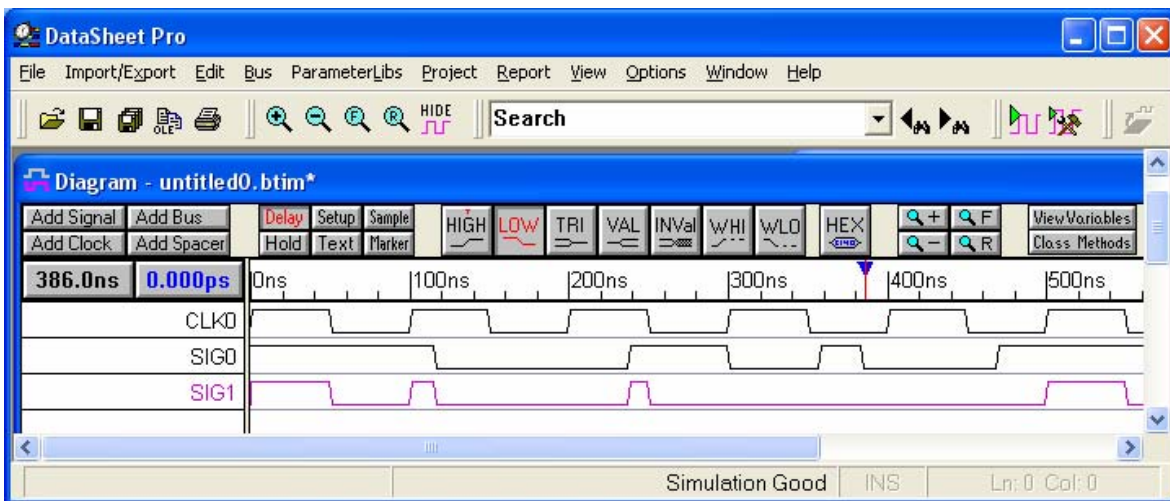
Eine Alternative zur Booleschen Gleichung wäre hier die Eingabe eines HDL Codes - z. B. VHDL - gewesen.

Dafür müssen Sie auf den Reiter **VHDL** in den **Signal Properties** klicken und schon kommt ein beliebig großes Eingabe Fenster.

```
SIG1 <= SIG0 and CLK0
  when (tb_status = TB_ONCE) or (tb_status = TB_LOOPING)
  else 'Z';
```

Das aus SIG0 & CLK0 abgeleitete Signal hat eine andere Farbe – by default.

Mit einem Klick rechte Maustaste auf einem Signal Namen können auch Sie die Farbe und Erscheinungsweise des Signals einstellen.

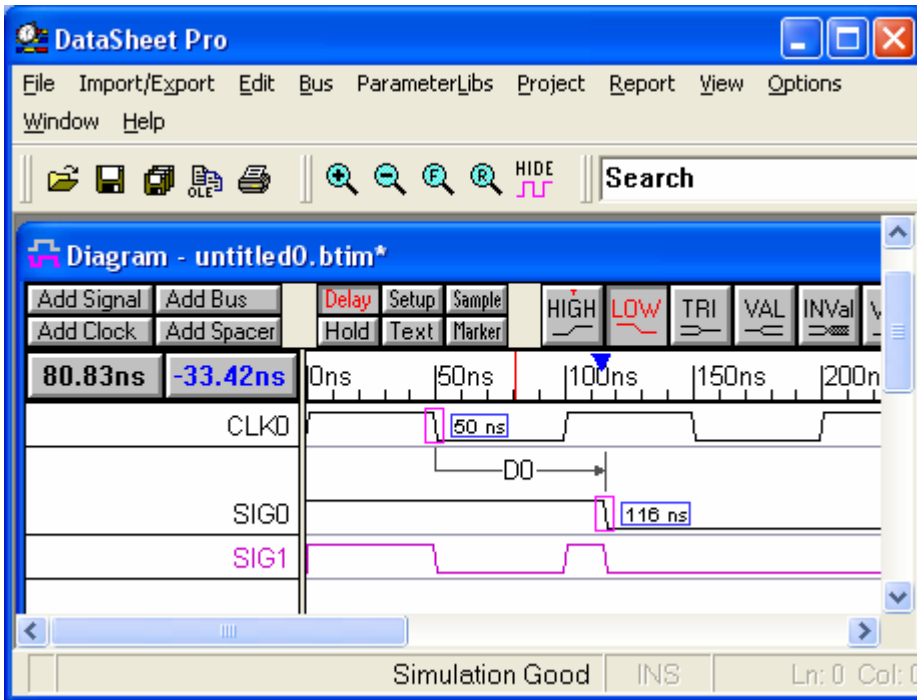


Verändern Sie mal mit der linken Maustaste die Position einer Signalfanke von SIG0 – die Flanken der Clock können Sie nicht mit der Maus verschieben: Sie werden sehen, dass die entsprechende Flanke von SIG1 mitwandert. Die Simulation läuft also im Hintergrund weiter.



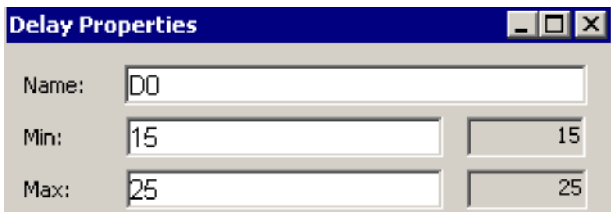
Viele Signale in einem Timing Diagramm haben weitere Abhängigkeiten zueinander, z. B. **Delays**.

So geht's: Markieren Sie mit der linken Maustaste eine Flanke auf die sich die Verzögerung beziehen soll und danach markieren Sie mit der rechten Maustaste die verzögerte Flanke des betreffenden Signals.



So sieht's aus: Ein Delay von einer CLK0-Flanke zu einer SIG0-Flanke.

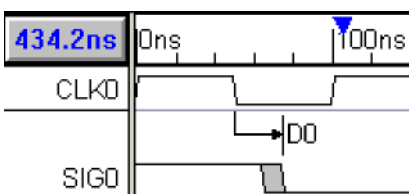
Die hier gezeigten zeitlichen Positionen der der Signal Flanken bekommen Sie angezeigt, wenn Sie den Cursor über dem Delay D0 plazieren.



Verzögerungen haben selten feste Zeiten – zur Einstellung hat auch ein **Delay Properties**.

Mit DLM auf dem Delay öffnen Sie das **Delay Properties** Fenster und können hier bessere Namen und Min / Max – Zeiten eingeben.

Weiter unten in **Delay Properties** im Feld **Display Label** bestimmen Sie die Anzeige im Timing Diagramm: D0 oder etwas sinnvoller.



So sieht's aus: Ein Delay von einer CLK0-Flanke zu einer SIG0-Flanke mit Min-/Max-Zeiten.

Weiter unten in **Delay Properties** im Feld **Display as Curved Arrow** bestimmen Sie die Anzeige der Delay Bemaßung.

Dieses Dokument ist in Anlehnung an das Tutorial „Timing Diagram Editing and Analysis 2007“ entstanden. Im Help Menue und im help Ordner der installierten Software finden Sie weitere sehr hilfreiche Tutorials. Weitere Fragen beantworten wir Ihnen gern.

Bearbeitung und Analyse der Zeitdiagramme

Dieses Tutorial demonstriert die grundlegenden Eigenschaften des Zeitdiagramm-Editors vom WaveFormer Pro, Timing Diagrammer Pro, VeriLogger Pro, DataSheet Pro und dem TestBencher Pro. Es wird gezeigt, wie die Zeitdiagramme gezeichnet werden und die Definition der Parameter für Verzögerungszeiten, Setup- und Hold-Zeiten, Taktfrequenzen und Bauteilbibliotheken erfolgt.

Die Zeitdiagramme sollen anschließend dem Anwender beim Auffinden von kritischen Signalverläufen (Critical Races, Hazards,...) in digitalen Designs behilflich sein. Außerdem werden die Funktionen für das Bearbeiten der Signalformen, Messen der Zeitinformationen und die Programmoberfläche (Shortcuts, Buttons) behandelt.

Sie werden das zeitliche Verhalten für die Schaltung **Figure 1** zeichnen und analysieren. Der Schaltkreis halbiert die Taktrate. Das Flip-Flop und der Inverter haben Signallaufzeiten, welche die Ankunft des Signals *Dinput* verzögern. Sollte sich *Dinput* zu sehr verspäten, wird die Setup-Zeit (data-to-clock) verletzt. Hierdurch steigt das Risiko, dass das Flip-Flop nicht während des Clocks den gewünschten (invertierten) *Qoutput*-Zustand am Dateneingang (*Dinput*) vorfindet. Der Schaltkreis wird Metastabil.

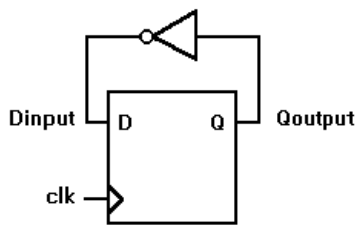


Figure 1: Tutorial circuit

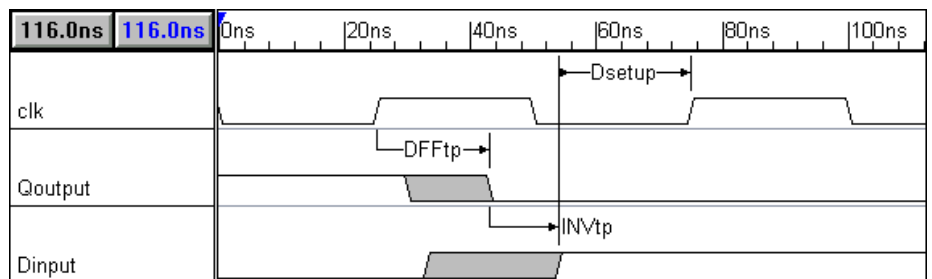


Bild 2 : Vollständiges Zeitdiagramm (Eingefügt per Copy-to-Clipboard)

Schaltungsparameter:

clk	20MHz	(50ns period)
DFFtp	5-18ns	D flip-flop (74ALS74): Clock to Q propagation time
Dsetup	15ns minimum	D flip-flop (74ALS74): D to rising edge Clock setup time
INVtp	3-11ns	Inverter (74ALS04): propagation time

Das **Bild 2** zeigt das vollständige Zeitdiagramm des Schaltkreises. Das erste was auffällt, sind die grau hinterlegten Signalwechsel, welche aus den min/max-Werten der Komponenten resultieren. Die grauen Felder stellen unbestimmte Zeitbereiche dar, in denen zu jedem beliebigen Zeitpunkt ein Signalwechsel möglich wäre. Dieses ist ein wenig ungewöhnlich, insbesondere wenn man Simulatoren verwendet, die nicht in der Lage sind min- und max-Werte zur gleichen Zeit zu simulieren. Diese Art der Darstellung zeigt den gesamten Bereich der möglichen Arbeitsweise der Schaltung. Mit dem WaveFormer gibt es keine bösen Überraschungen bei der Produktion wenn Komponenten am äußersten Rand des Toleranzbereiches verwendet werden.

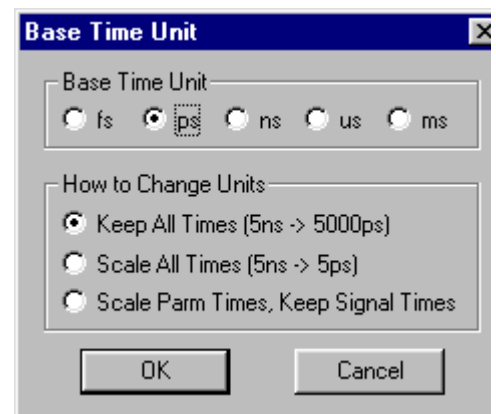
@ copyright für dies Ausführung liegt bei Karl-Heinz Stryi. Diese Anleitung darf nur für das Selbststudium verwendet werden. Eine kommerzielle Nutzung oder Handel hiermit ist untersagt.

1) Einstellen der Zeitbasis (Base Time Unit)

Am Anfang eines Projektes wird die Einheit der Zeitbasis gewählt. Die Einheit repräsentiert den kleinstmöglichen Zeitwert, die der WaveFormer abbilden kann. D.h. die Einheit der Zeitbasis definiert den Bereich des gesamten Zeitdiagramms. Alle Zeitwerte werden intern in der "Base Time Unit" abgelegt.

In der Schaltung **Figure1** sind die Signallaufzeiten der Gatter in der Einheit Nanosekunden angegeben. Die Periodendauer des Taktsignals ist 20ns. Allgemein ist es sinnvoll, die Zeitbasis eine Einheit geringer als die Arbeitseinheit zu wählen. Man erhält so vernünftige Rundungsergebnisse bei mathematischen Operationen (Frequenzangaben werden invertiert und als Periodendauer verwendet). Deshalb wird in dem Beispiel als Zeitbasis Picosekunden gewählt.

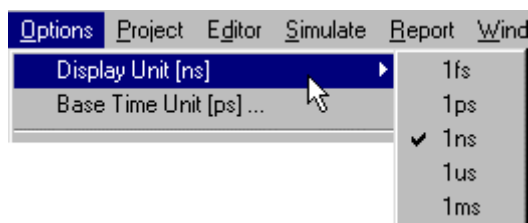
1. Selektieren des Menus **Options > Base Time Unit**. Es wird die Dialogbox *Base Time Unit* angezeigt, in dem per Selektion die Einheit der Zeitbasis definiert wird. Die weiteren Einstellungen kontrollieren, wie sich Änderungen der Zeitbasis auf existierende Parameter auswirken sollen. In der Online-Hilfe sind weitere Informationen zu den einzelnen Optionen zu finden.
2. Klick auf **ps** um Picosekunden als Zeitbasis zu definieren.
3. Klick auf **OK** um die Änderung zu übernehmen.



2) Einstellen der Anzeige (Display Time Unit)

Als nächstes muss die Einheit für den Anzeigewert definiert werden. Die Einheit der Zeitanzeige bestimmt für alle Zeiten die eingegeben bzw. angezeigt werden, deren Einheit. Es sollte die Einheit gewählt werden, die im allgemeinen im Entwurf verwendet werden.


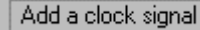

1. Aktivieren des Menus **Options > Display Unit**. In einem Untermenü werden die verfügbaren Einheiten angezeigt. Die mit dem „Korrekt“-Marker versehene Einheit ist in Gebrauch (Default is ns = nanoseconds).

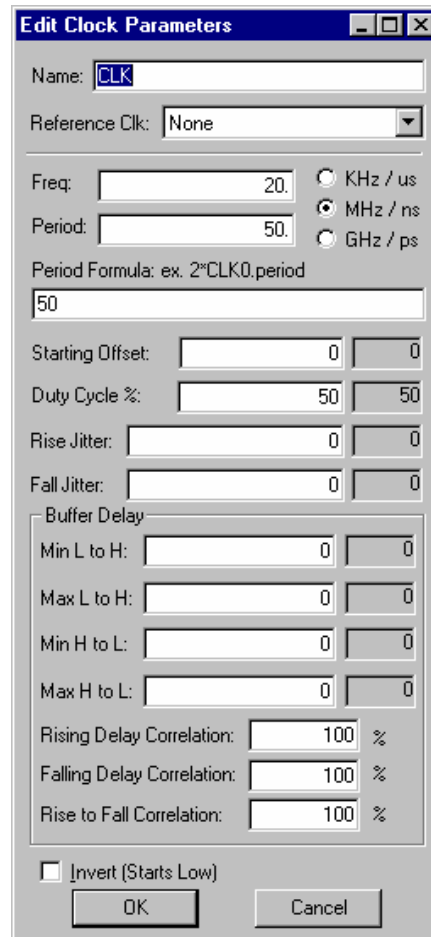


2. Klick auf **ns**.

3) Anlegen einer Taktfrequenz (Clock)

Zuerst soll der Takt erstellt werden. Der Name des Taktes ist **clk**, hat eine Periodendauer von **50ns** (20MHz) und beginnt mit einem „Low“-Segment


1. Führen Sie den Mauszeiger über den Add Clock Schalters  (NOCH NICHT AKTIVIEREN) , links oben im Zeitdiagrammfenster.
2. Beachten Sie, dass im Statusbalken links unten eine Meldung erscheint, welche die Funktion der Operation beschreibt  . Die Meldungen im Statusbalken sind abhängig von der Position des Mauszeigers und in welchem Mode gearbeitet wird. Der Statusbalken ist besonders hilfreich, wenn man die Funktion von Druckknöpfen oder die Reihenfolge von Programmoperationen erklärt haben möchte.
3. Drücken Sie den Add Clock Schalter .
4. Das Edit Clock Parameters Dialogfenster erscheint.
5. Geben Sie den Namen clk ein.
6. Geben Sie die Periode 50 ein. Vergewissern Sie sich, dass MHz/ns eingestellt ist. Beachten Sie, dass die Taktfrequenz sich entsprechend des neuen Periodenwertes ändert, sobald ein anderes Eingabefenster selektiert wird.
7. Selektieren Sie invert. Clocks beginnen normalerweise mit einem High-Zustand zum Zeitpunkt "Null".
8. Bestätigen Sie mit OK.

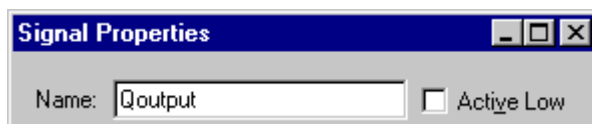



Bemerkung: Weitere Informationen zu Clocks, Master Clocks, Clocks mit Formeln und Clockraster stehen im *Kapitel 2 : Clocks* in der Online-Hilfe. Sollte Ihnen bei der Definition des Clocks ein Fehler unterlaufen sein, lässt sich dieses nachträglich beheben. Einfach ein doppelten Mausklick auf ein Taktsegment, um das Fenster *Edit Clock Parameters* erneut zu öffnen. Man kann auch einen doppelten Mausklick auf den Namen des Taktes durchführen um in das *Signal Properties* Dialogfenster und von dort mit **Clock Properties** in das entsprechende Fenster zu gelangen.

4) Das Hinzufügen von Signalen (Add Signals)

Als nächstes sollen zwei Signal hinzugefügt werden. Nennen Sie die "Qoutput" und "Dinput".

1. Doppelte Mausklick Links (2*LMB - Left Mouse Button) auf den **Add Signal** Schalter  um zwei neue Signale hinzuzufügen. Die Signale erhalten „Default“-Namen wie SIG0 und SIG1. **Aufgabe : Verändern Sie den Defaultwert!**
2. **2*LMB** auf den Signalnamen **SIG0** um das *Signal Properties* Dialogfenster zu öffnen.
3. Tragen Sie das Eingabefeld „Name“ **Qoutput** ein. (NICHT DAS FENSTER SCHLIESSEN!)

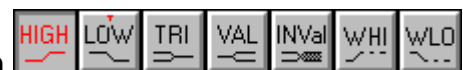


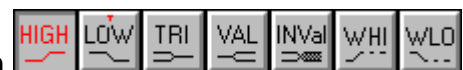

4. Durch betätigen des Schalters  oder der Hotkey **ALT-N** gelangt man zum nächsten Signal im Zeitdiagramm. SIG1 wird jetzt im Eingabefeld "Name" angezeigt.
5. Tragen Sie **Dinput** in das Eingabefeld "Name" und bestätigen Sie mit **OK**, um das Dialogfenster zu schließen

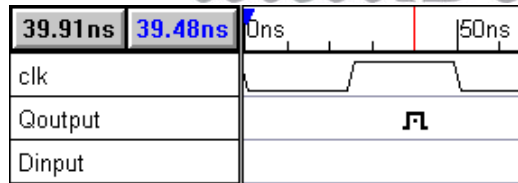
Sollte das Dialogfenster *Signal Properties* versehentlich geschlossen worden sein, genügt ein erneuter Mausklick (2*LMB) um das Fenster zu öffnen. Die Funktionen der booleschen Ausdrücke bzw. Simulation werden später beschrieben. Die *Signal Properties* sind unabhängig von dem gerade verwendeten Arbeitsmodus, d.h. das Fenster kann durchaus geöffnet bleiben, während im Zeitdiagramm editiert wird.



5) Das Zeichnen von Signalformen

Als nächstes sollen wahllos Signalverläufe gezeichnet werden, um sich an die Funktionsweise des Werkzeuges zu gewöhnen.



1. Beachten Sie die Schalter mit den Signalsymbolen . Es handelt sich um die jeweiligen Signalzustände. Der aktive Schalter ist rot und beschreibt den Signaltyp der als nächstes gezeichnet wird. In diesem Fall ist das HIGH Signal  aktiv.
2. **Bewegen** Sie den Mauszeiger in das Zeitdiagramm (auf Höhe des Signalnamens **Qoutput**) bei ca. **40ns**.





- LMB** (Left Mouse Button) um ein Signalsegment von 0 ns bis zum Mauszeiger zu zeichnen. Beachten Sie, dass ein HIGH-Signal angelegt wurde.
- Ein anderer Signalschalter ist jetzt aktiv. Die Schalter „springen“ automatisch zwischen den beiden zuletzt verwendeten Zuständen hin und her. Das kleine rote **T** (Toggle) verweist auf den nächsten Zustand, z.B. . (Bei einer 3-Tasten-Maus kann mit dem mittleren Mausknopf zwischen den beiden zuletzt aktivierten Signalen „getoggelt“ werden)
- Platzieren Sie den Mauszeiger bei etwa **80 ns** im gleichen Signal und betätigen Sie den **LMB**. Jetzt sollte ein LOW-Segment vom Ende des HIGH-Signals zu der jetzigen Position gezeichnet worden sein.
- LMB auf den TRI-Schalter  um den Tri-State-Mode zu aktivieren und ein entsprechendes Signal zu zeichnen.
- Zeichnen Sie verschiedene Segmente in allen beliebigen Zuständen, ausschließlich dem HEX-Schalter. Der HEX-Schalter wird zur Definition von Multi-Bit-Signalen bzw. benutzerdefinierten VHDL-Typen benutzt. Dazu später noch mehr. Jetzt sollen vorerst die grafischen Zustände ausreichen..

Das Zeitdiagramm sollte jetzt sehr einfach erstellt werden und zuletzt wie in **Bild 2** aussehen (ohne Delays und Setups).

6) Das Bearbeiten von Signalfolgen

Es gibt 4 Grundtechniken, um existierende Signale zu modifizieren (Achtung! Diese Techniken funktionieren nicht bei Clocks). Die am häufigsten verwendete Technik ist das Verschieben von Signalfanken zu einer neuen Position. Die anderen 3 Techniken beziehen sich jeweils auf das Segment zwischen zwei Signalfanken. Segmente lassen sich löschen, modifizieren usw. Probieren Sie jede der folgenden:

- Verschieben Sie eine Flanke:** LMB (gedrückt halten) und verschieben zur gewünschten Position. Ein grüner Strich erscheint und folgt den Zeigerbewegungen . LMB loslassen an der gewünschten Position.
- Modifizieren des Signalzustands:** LMB auf das Segment (das selektierte Segment wird mit einer grünen Umrandung dargestellt ). Anschließend den gewünschten Schalter mit dem Signalzustand betätigen.

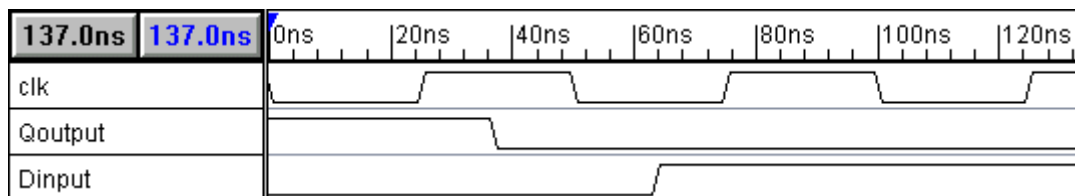
3. **Löschen eines Segments:** Segment selektieren (siehe oben) und dann die **Entfernen**-Taste betätigen
4. **Einfügen eines Segments:** Innerhalb eines größeren Segments LMB (gedrückt halten) und nach rechts verschieben. Dann Mausknopf loslassen. Ein neues Segment wird eingefügt.

Die Techniken arbeiten nicht bei Clocks, da ein Takt vordefinierte Segmente und Signalfanke besitzt. Um die Taktfrequenz zu modifizieren, genügt ein 2*LMB auf ein Clocksegment im Zeitdiagramm. In dem erscheinenden Dialogfenster *Edit Clock Parameters* lassen sich alle Eigenschaften des Taktes editieren.

Mehr Informationen in der Online-Hilfe Kapitel 4 "Drawing WaveForms"

7) Einstellen des Zeitdiagramms

Jetzt sollen die bisher beschriebenen Techniken dazu verwendet werden, dass alle Signale so ähnlich wie in dem unten abgebildeten Timing dargestellt werden. Das ist zwar nicht der übliche Weg Zeitdiagramme anzulegen, übt aber die Editierfunktionen des WaveFormers. Probieren Sie jede der beschriebenen Techniken.



Legen das Zeitdiagramm und die Parametertabelle nebeneinander um deren Synchronität zu beobachten. Das Report-Fenster wird in dieser Übung nicht benötigt. Schalten Sie es deswegen aus, um möglichst viel Bildschirmfläche für den Rest zu haben.

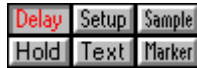
- Selektieren Sie eine der Optionen **Window > Tile.....**

Richten Sie die Ansicht so ein, dass nur 3 Taktzyklen auf dem Bildschirm gezeigt werden.

- LMB auf die Schalter **Zoom In** oder **Zoom Out**, die rechts oben über dem Zeitdiagramm zu finden sind, um mehr bzw. weniger von den Signalen zu Zeigen.
- Selektion eines Segments bzw. Flanke und anschließend **Zoom In/Zoom Out**
- LMB (gedrückt halten) und bis zu der gewünschten Position mit dem Mauszeiger nach rechts verfahren. Dort LMB loslassen. Der Start- und Endpunkt der Zeitachse definiert ein Zeitfenster, welches vergrößert dargestellt wird.
- RMB /Right Mouse Button) in die Zeitleiste entspricht dem Befehl Zoom Out.

8) Der rechte Mausknopf (Modus):


Jetzt sollen Verzögerungszeiten, Setup- und Hold-Zeiten oder einfach nur Textkommentare platziert werden. Diese Objekte sind per RMB einzufügen. Die Schalter DELAY, HOLD,



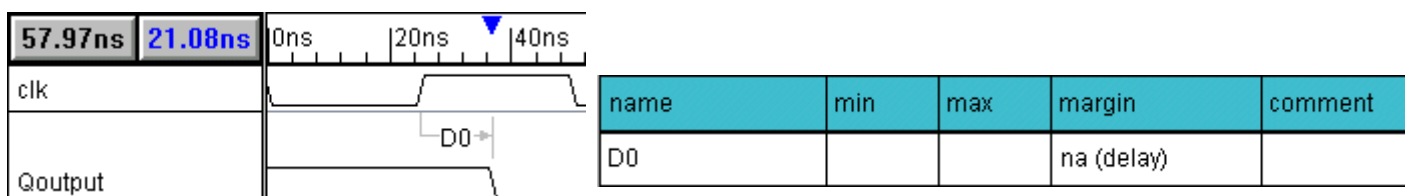
SETUP, TEXT, SAMPLE und MARKER definieren den Arbeitsmodus. Der rote Schalter kennzeichnet den jeweiligen aktiven Arbeitsmodus, welcher mit einem LMB umgeschaltet wird.

9) Hinzufügen der Verzögerungszeit des D-Flip-Flops

Definieren Sie die Verzögerungszeit zwischen positiver Taktflanke und Qoutput des D flip-flop. Gehe folgendermaßen vor:

1. Aktivieren Sie ggf. den Delay-Modus .
2. LMB auf die erste ansteigende Flanke des Clocks.
3. **RMB** auf die erste fallende Flanke des Signals **Qoutput**.

Es wird die Signallaufzeit des D-flip-flop angezeigt und im Parameterfenster ein "leerer" Parameter D0 angelegt.



Wenn Delays angelegt werden, sind diese Anfangs immer undefiniert und haben keine Auswirkung auf das zeitliche Verhalten. Delays die keine zeitlichen Informationen besitzen, werden in grauer Farbe angezeigt. Jetzt editieren Sie die Parameter von D0:

1. **2*LMB** auf den Parametername **D0** im Parameterfenster. Richten Sie sich das Dialogfenster *Parameter Properties* so ein, dass die Informationen in der Parametertabelle und im Zeitdiagramm zu sehen sind. Zur Vereinfachung wird zu den Dialogfenstern *Delay Properties* und *Signal Properties* ab sofort *Parameter Properties* gesagt
2. Geben Sie den Wert **5** in das Eingabefeld "min" und drücken **TAB**, um in das max-Feld zu gelangen (max soll vorerst noch undefiniert bleiben).

Zwei Sachen passieren durch die TAB-Taste:

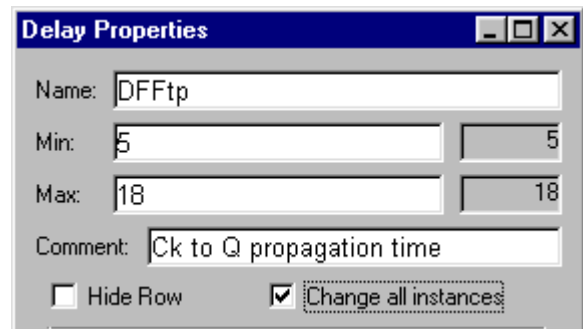
1. Zuerst verschiebt sich die fallende Flanke von Qoutput so, dass sie 5ns von der Taktflanke entfernt ist. Kontrollieren Sie dieses mit den beiden Zeitanzeigen über den

Fenster der Signalnamensignal. LMB auf die erste Flanke. Verschieben Sie die Maus zu der zweiten Flanke. Beachten Sie, dass ca. 5ns in der blauen Zeitanzeige zu lesen sind. Es wird die Differenz angezeigt! Eine weitere Möglichkeit gibt es im *Parameter Properties* Dialogfenster. Es lässt sich unter **Display label** auch die Differenz (**distance**) der Flanken anzeigen.

2. Zum Zweiten verändert sich die Farbe der Delay von Grau in **Blau**. Delays sind farbkodiert, um anzuzeigen welche Delays den min bzw. max Wert einer Flanke verursacht. Die Anzeige der kritischen „Pfade“ ist notwendig, wenn mehrere Delays mit der gleichen Flanke verbunden sind (Rekonvergente Fanouts). Die Farben sind Grau = keine, **Blau** = Min, **Grün** = Max, Black = Min und Max. Später empfiehlt es sich mit der Datei **multdely.tim** zu experimentieren, um die Auswirkungen von rekonvergenten Fanouts zu analysieren.

Geben Sie den Rest der Parameter ein. Der Parametername ist "DFFtp", mit 18nx max Wert, der Beschreibung "Clk to Q propagation time".

1. LMB in das Feld "**Name**" und **DFFtp** eingeben.
2. Betätigen Sie zweimal die **TAB-Taste**, damit das max-Feld aktiv ist.
3. Geben Sie 18 ein. (Entspricht 18 display time units => 18ns)
4. **TAB**, um in das Kommentarfeld zu gelangen.
5. Geben Sie **Ck to Q propagation time** ein



Beachten Sie, dass DFFtp in Schwarzer Farbe dargestellt wird, d.h. die früheste bzw. späteste Flanke des Signals Qoutput ist ausschließlich abhängig von dem Clock. Weiterhin zeigt die fallende Flanke von Qoutput einen unbestimmten Zeitbereich, der Grau dargestellt ist.

Messen Sie die Differenz des Zeitbereichs ($18-5=13\text{ns}$) einmal mit Hilfe der Zeitanzeigen und zum anderen per $2 \cdot \text{LMB}$ auf die Flanke (zeigt die exakten Werte an).

Das Dialogfenster *Parameter Properties* ist **modeless** (d.h. es kann geöffnet bleiben während man andere Operationen durchführt) und **interactive** (alle Änderungen werden übernommen, sobald das Eingabefeld verlassen wird). In den Übungen wurde das Fenster häufig geschlossen und wieder geöffnet, so das der Anwender verschiedene Wege kennen lernen konnte. Wahrscheinlich bevorzugt man beim täglichen Gebrauch ein Arbeiten mit offenem Parameterfenster.

Tip: Wenn das Fenster *Parameter Properties* geöffnet ist, lassen sich die verschiedenen Parameter mit einem Doppelklick im Zeitdiagramm bzw. Parametertabelle einfach editieren. Mit einem Doppelklick im Zeitdiagramm wird der bestimmte Parameter bearbeitet

(die **Change All Instances** check box ist NICHT selektiert). Wenn dagegen ein Parameter per Doppelklick in der Parametertabelle aktiviert wird, sind alle gleichnamigen Parameter betroffen (die **Change All Instances** check box ist selektiert).

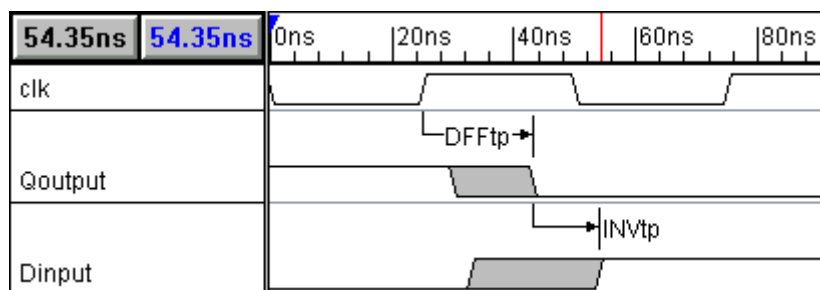
10) Hinzufügen der Verzögerungszeit des Inverters

Als nächstes soll die Signallaufzeit des Inverters zwischen dem Eingang Q und dem Ausgang D.

1. Aktivieren Sie den DELAY mode (LMB).
2. **LMB** auf die erste fallende Flanke des Signals **Qoutput** (Die Flanke, auf der "DFFtp" endet).
3. **RMB** auf die erste ansteigende Flanke des **Dinput** Signal.

Hierdurch wird die Verzögerung des Inverters angelegt und ein leeres Feld erscheint im Parameterfenster. Jetzt soll der Parameter im Zeitdiagramm editiert werden, anstatt in das Parameterfenster zu gehen.

1. **LMB** auf die neue "delay" im Zeitdiagramm und die folgende Werte in die erscheinende Dialogbox eintragen:
 - Name ist **INVtp**.
 - Min time ist **3 ns**.
 - Max time ist **11 ns**.
 - Comment ist **Inverter (Q to D) delay**.
 - Click auf **OK**, um das Fenster zu schließen.




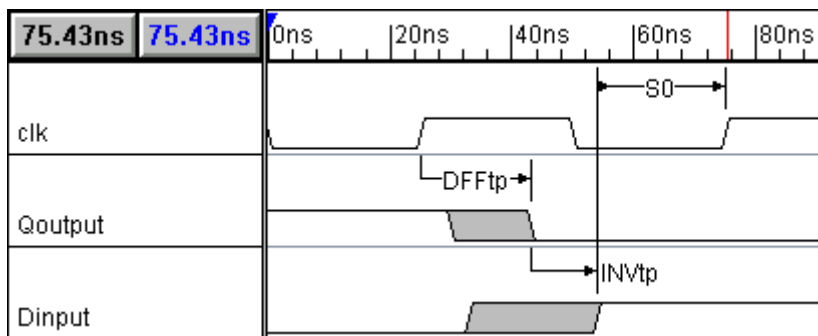
Beachten Sie den unbestimmten Zeitbereich von *Dinput* . LMB auf die erste ansteigende Flanke von **Dinput**, dann benutzen Sie die blaue Zeitanzeige um zu prüfen, dass der unbestimmte Zeitbereich bei 21 ns endet (13ns von DFFtp + 8ns von INVtp = 21ns).

Danach klicken Sie auf die erste Flanke von *clk* und messen den Abstand zum Ende des unbestimmten Zeitbereichs von. Wenn der Inverter und das D flip-flop langsam sind, wird *Dinput* möglicherweise nicht vor 29ns nach der Taktflanke schalten.

11) Hinzufügen von Setup zu dem Dinput Signal

Fügen Sie die Zeit für das "setup" von *Dinput* zum Takt ein.

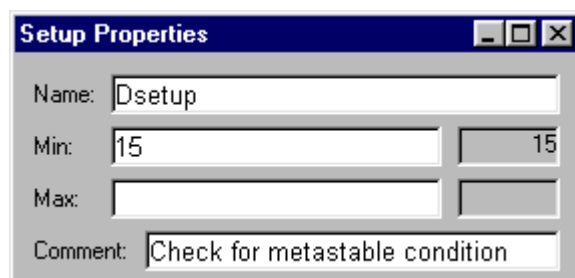
1. Aktivieren Sie den **Setup** mode .
2. **LMB** auf die erste ansteigende Flanke des Signals **Dinput** signal (dort wo die "INVtp" delay endet).
3. **RMB** auf die zweite ansteigende Flanke des Taktes clk.



Es erscheint ein Setup Parameter. Beachte das die Pfeile des Setup-Parameters zum kontrollierenden Signal zeigen. Das bedeutet, dass das Setup korrekt platziert wurde.

Genau wie bei Verzögerungszeiten, werden Setups mit leeren min/max Werten angelegt. Es muß ein min-Wert eingetragen werden, bevor die Signalposition beobachtet werden kann.

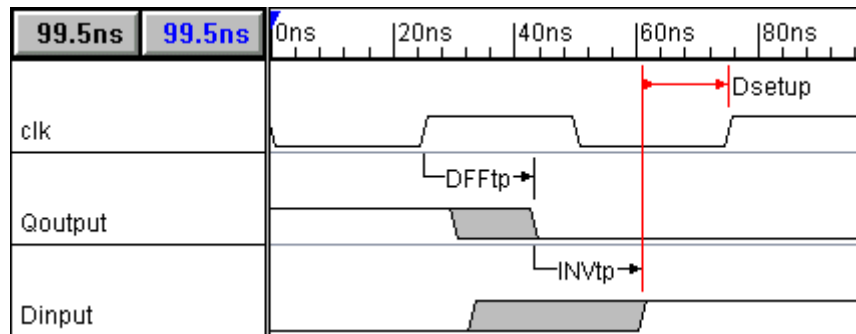
1. **2*LMB** auf den Namen des Setups im Zeitdiagramm. Das *Parameters Properties* Fenster erscheint.
2. Tragen Sie den Namen **Dsetup** ein.
3. Tragen Sie **15** in das min-Eingabefenster.
4. Tragen Sie **Check for metastable condition** in das Kommentarfeld.
5. **OK**, um das Dialogfenster zu schließen.



Beachte Sie, dass die Spalte "margin" in der Parametertabelle einen Wert von **6ns** anzeigt, bevor die Setup-Zeit verletzt wird. Überprüfen Sie den Wert, indem Sie zuerst die zweite ansteigende Flanke des Clocks und dann das Ende des unbestimmten Zeitbereichs von *Dinput* selektieren. Die blaue Zeitanzeige (Delta-Marker) sollte **-21ns** anzeigen (setup 15ns - gemessene 21ns = -6ns margin).

Als nächstes soll eine Verletzung der Setup-Zeit ausprobiert werden. Vergrößern Sie die Verzögerungszeit des Inverters auf 18ns anstatt 11ns.

1. 2*LMB auf **INVtp** im Zeitdiagramm.
2. Tragen Sie den Wert **18** in das **max** Eingabefeld und gehe mit **TAB** in ein anderes Feld.



Die Setup-Zeit wird jetzt im Zeitdiagramm und Parametertabelle in roter Farbe dargestellt. Ändern Sie die Verzögerungszeit des Inverters zurück auf **11ns** und bestätigen Sie mit **OK**.

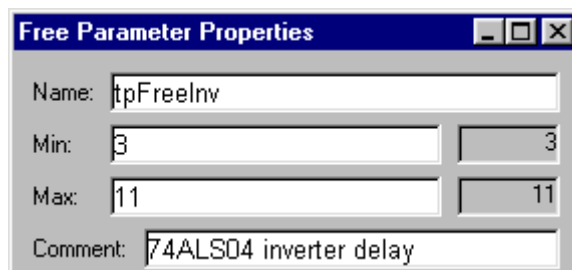
12) Hinzufügen einer Variablen (Free parameter)

Bisher wurde alle Parameter direkt bearbeitet bzw. Eingegeben. Das ist jedoch in der Regel nicht gerade sehr effizient und bei größeren Schaltungen dazu fehlerträchtig. Es ist besser eine Variable zu definieren, welche einen bestimmten Wert symbolisiert. Wenn der Wert geändert werden sollte, genügt die Bearbeitung nur einer Variablen.

„Free Parameter“ sind solche Variable, die in anderen Parametern referenziert werden können. Die Parameter werden als "free" bezeichnet, weil sie keinem Signalwechsel im Zeitdiagramm direkt zugeordnet sind. Legen Sie einen Free Parameter für den Inverter an:

Hinzufügen eines Free Parameter:

1. LMB auf **Add Free Parameter** in der *ParameterTabelle*. Ein Free Parameter erscheint (mit leerem Eingabefeld).
2. 2*LMB auf die Variable zum Öffnen der Dialogbox *Parameter Properties*. Tragen Sie die folgenden Informationen ein (**tpFreeInv**, **3ns**, **11ns** und **74ALS04 inverter delay**) für (name, min, max und comment cells) des freien Parameters.



3. Verwenden Sie die Schalter **Previous** und **Next** in der Dialogbox *Parameter Properties*, um den Parameter **INVtp** zu finden.

4. Tragen Sie **tpFreeInv** in die min und max Felder von **INVtp** ein. Änderungen in der Variablen betreffen jetzt auch INVtp.

Achtung: Free Parameter lassen sich in speziellen Bibliotheken abspeichern, welche dann in anderen Projekten wieder eingebunden werden können. Man kann sogar auf Variable referenzieren, ohne diese in ein bestehendes Projekt zu laden. Hierzu sind die Bibliotheken nur im Suchpfad „library search path“ (**Libraries > Library Preferences** menu option) einzutragen.

13) Die Verwendung von Formeln und Konstanten

Parameter können mathematische Formeln enthalten, genauso wie numerische Zeitwerte. Legale Operationen sind: Multiplikation(*), Division(/), Addition(+) und Subtraktion(-). Z.B., der Inverter in diesem Schaltkreis könnte 3 hintereinander geschaltete Inverter repräsentieren, um eine minimale Verzögerung von 9ns darzustellen.

1. Tragen Sie den folgenden Ausdruck in das min Eingabefeld von **INVtp**:

$$3 * \text{tpFreeInv}$$

- Freie Parameter können außerdem mit einem Attribut versehen werden (**tpFreeInv.min** und **tpFreeInv.max**). Dieses ermöglicht die Formeln individuell gestalten zu können. Wenn kein min bzw. max Attribut vergeben wurde, berücksichtigt das Programm den Wert in dem der Eintrag vorgenommen wurde.