



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

EIT

INSTITUT FÜR
MEDIZINTECHNIK

Laborpraktikum

Elektronische Schaltungstechnik (EST)

Versuch ST1: Digitale Schaltungen mit PLD

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Organisation	3
2	Literatur	3
3	Versuchsaufbau	4
4	Versuchsaufgaben	5
4.1	Kennenlernen des Versuchsaufbaus	5
4.2	Kennenlernen der Entwurfssoftware	6
4.3	Kombinatorische und sequentielle Grundsaltungen (<i>nur für Versuchsgruppen ohne Teilnahme am GIT-Laborpraktikum</i>)	10
4.4	Sequentielle Standardschaltungen	11
4.5	Serielle Datenübertragung	12

Abbildungsverzeichnis

1	Frontplatte	4
2	Versuchs- und Messaufbau	5
3	RS232-Anschlüsse	12
4	Zeitdiagramm und Logikwerte an den Bananenbuchsen (gültig nur für RxD und TxD) . . .	12
5	Zeitdiagramm und Logikpegel auf der Übertragungsstrecke (gültig nur für RxD und TxD) .	12
6	RS232-Pegelzuordnungen	12

1 Einführung und Organisation

Ziel des Versuches ist ein vertieftes Verständnis der Struktur und der Funktion von kombinatorischen und sequentiellen digitalen Schaltungen. Dazu ist es unabdingbar, statische und dynamische Eigenschaften von Gattern und Flipflops zu kennen. Die Grundlagen von Gattern und Flipflops sind daher ebenfalls Bestandteil des Versuches.

Aufbauend auf den Versuch Digitale Schaltungen des GIT Laborpraktikums werden Sie komplexere Schaltungen in einen programmierbaren Logikbaustein (PLD) implementieren.

Die Ihnen vorliegenden Praktikumsordnung ist maßgebliche Grundlage der Versuchsdurchführung. Ergänzend dazu ist folgendes zu beachten:

- Für den Versuch steht ein Termin zur Verfügung (1×4h).
- Lösen Sie die nachfolgenden Vorbereitungsaufgaben! Sie können die Fragen gerne knapp und in Stichpunkten unter Zuhilfenahme von Skizzen beantworten. Bitte keine Romane verfassen! Studieren Sie vorab die Versuchsaufgaben und planen Sie deren Durchführung. Eignen Sie sich dazu das erforderliche Wissen an!
- Für Versuchsteilnehmer, welche bereits den Versuch Digitale Schaltungen des GIT Laborpraktikums absolviert haben, entfallen die Aufgaben im Kapitel 4.3! Versuchsteilnehmer, welche den Versuch *nicht* absolviert haben, melden sich bitte vorab beim Versuchsbetreuer.
- Legen Sie am Versuchstag dem Versuchsbetreuer Ihre Lösungen der Vorbereitungsaufgaben vor. Der Versuchsbetreuer wird diese mit Ihnen diskutieren und dann entscheiden, ob Sie den Versuch durchführen dürfen (Eingangstest).
- Während der Versuchsdurchführung sind der Versuchsablauf und die Ergebnisse in geeigneter Form zu protokollieren – auch wenn dies bei den Versuchsaufgaben nicht explizit erwähnt wird!
- Jede Versuchsaufgabe ist am Versuchstag in geeigneter Form schriftlich auszuwerten – eine reine Protokollierung ist nicht ausreichend! Dies kann auch später nachgearbeitet werden. Eine sofortige Auswertung hat allerdings den Vorteil, dass zweifelhafte Messungen unmittelbar wiederholt werden können und die Versuchsgruppe vollständig anwesend ist. Von der durchaus gängigen Praxis – alle machen den Versuch und eine(r) fertigt das Protokoll an – ist dringend abzuraten!
- Das Protokoll ist spätestens 14 Tage nach dem Versuchstag beim Versuchsbetreuer einzureichen. Es besteht aus der Lösung der Vorbereitungsaufgaben und der Versuchsprotokollierung mit Auswertung. Der Versuchsbetreuer entscheidet über die Abgabeart (Papier oder PDF), Art und Umfang der Protokollauswertung (Haupttestat) und die Bewertung (bestanden / nicht bestanden).

2 Literatur

- Zur allgemeinen Übersicht:
 - ▷ DS-M7000A-4.5 MAX7000A Data Sheet. Firmenschrift Altera Corporation, 2003
 - ▷ Tietze, Schenk: Halbleiter-Schaltungstechnik. 12. Auflage, 2002, ISBN: 3-540-42849-6
 - ▷ Seifart, Beikirch: Digitale Schaltungen. 5. Auflage, 1998, ISBN-10: 3341011986, ISBN-13: 978-3341011980
 - ▷ ... oder ein anderes vergleichbares Schaltungstechnik-Buch!
- Falls einzelne Fachbegriffe unklar sind:
 - ▷ Wikipedia (Bitte beachten Sie, dass die Qualität der Einträge sehr unterschiedlich ist! Als erste Anlaufstelle aber oft brauchbar.)
- Spezielle Literatur zur Veranstaltung:
 - ▷ Literaturangaben aus der Vorlesung
 - ▷ Vorlesungsscript
 - ▷ Übungsaufgaben
 - ▷ Vorlesungs- und Übungsmitschriften
 - ▷ Datenblätter in den Anlagen

3 Versuchsaufbau

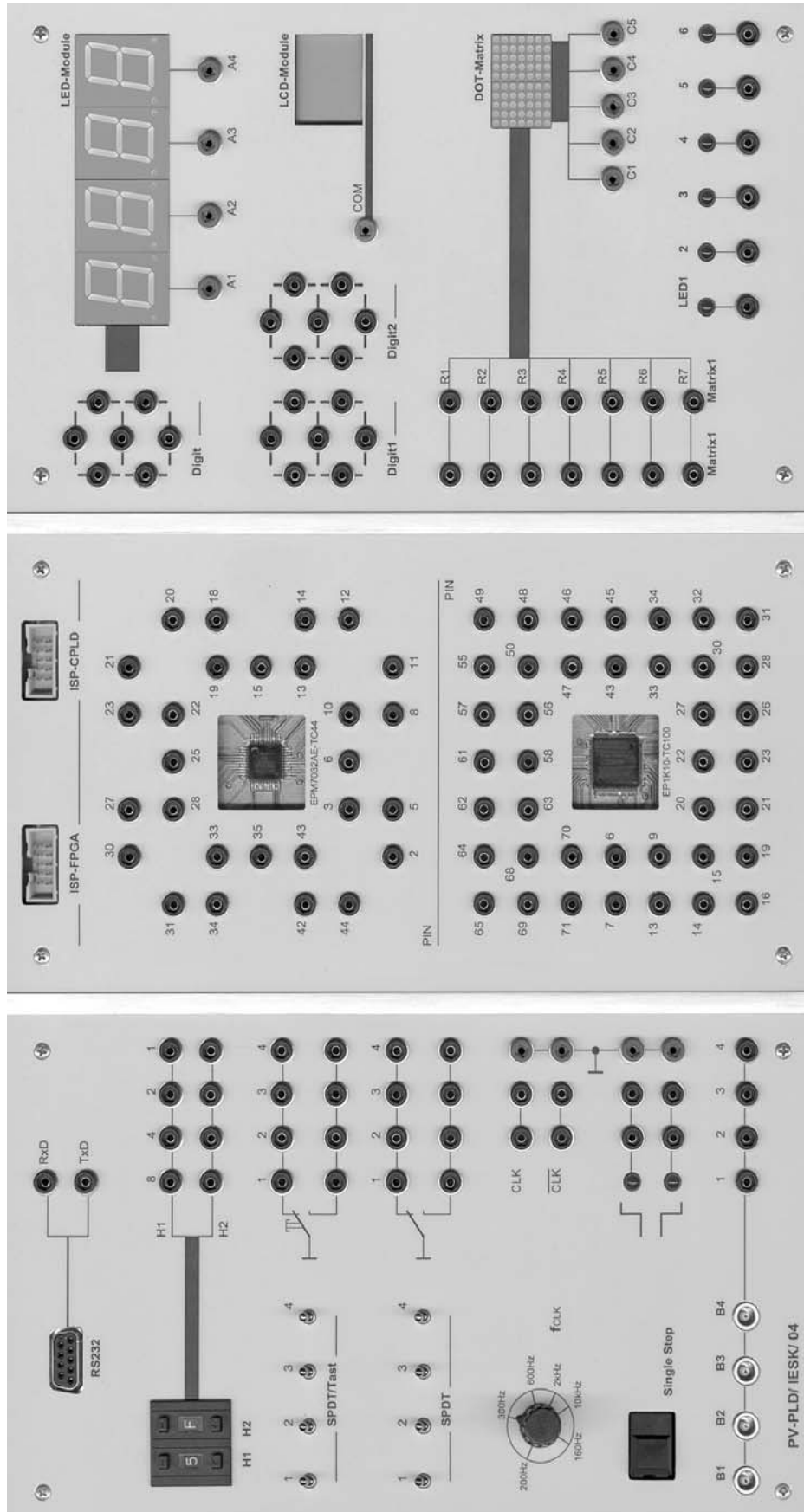


Abbildung 1: Frontplatte

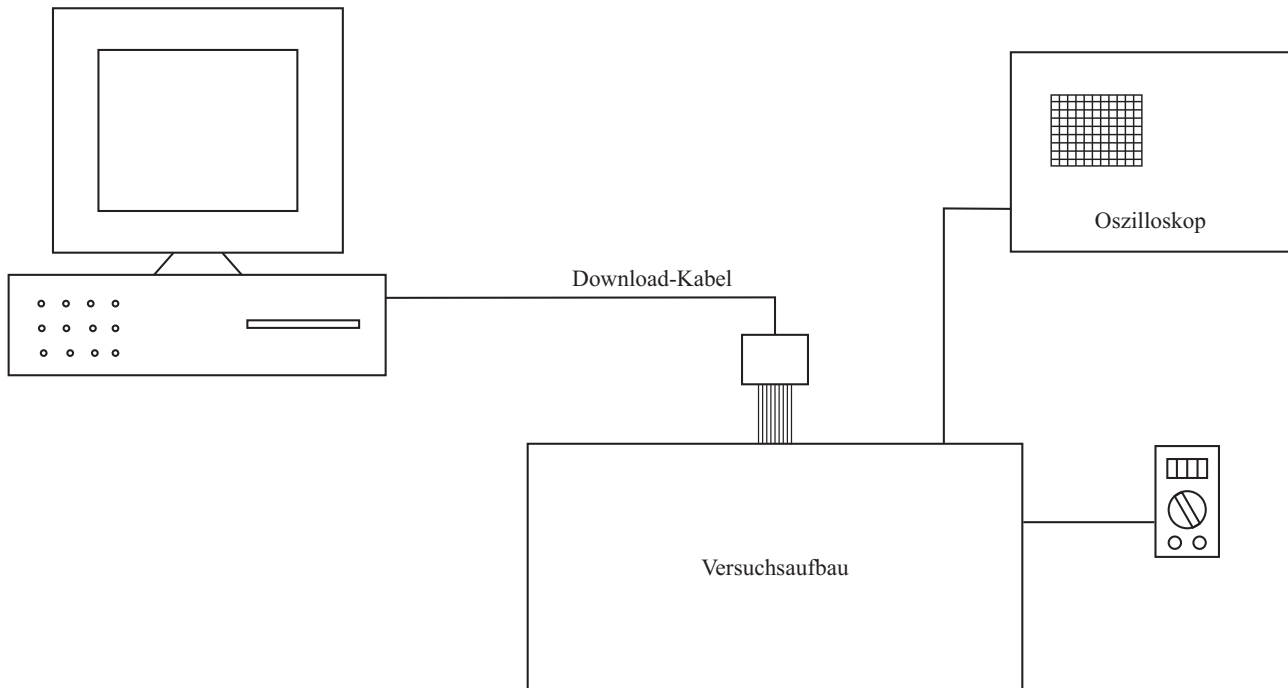


Abbildung 2: Versuchs- und Messaufbau

4 Versuchsaufgaben

4.1 Kennenlernen des Versuchsaufbaus

Aufgabe 1: Vorbereitungsaufgaben

- Welche Möglichkeiten gibt es, einen Taster oder Schalter an einen Gattereingang anzuschließen?
- Nennen Sie eine Möglichkeit, einen Taster oder Schalter zu entprellen.
- Wie wird eine Leuchtdiode an einen Gatterausgang angeschlossen? Probleme?
- Sie werden die digitalen Schaltungen in ein *Complex Programmable Logic Device* (CPLD) implementieren (Untergruppe der PLD). Eine weitere Untergruppe sind die FPGA, welche in diesem Versuch nicht verwendet werden.
- Der im Versuch verwendete CPLD ist ein *EPM7032AE* der Fa. ALTERA und gehört zur Familie *MAX 7000A*. Machen Sie sich mit der Struktur und der Funktion von CPLD vertraut! Verwenden Sie allgemeine Informationen sowie das Datenblatt *MAX7000A Data Sheet.pdf* (im Downloadbereich des Laborpraktikums (Webseite des Lehrstuhls bzw. eLearning-Portal)).

Aufgabe 2: Signalquellen

- Messen Sie die elektrische Pegel an den Ausgängen der Schalterbaugruppen SPDT/Tast, SPDT und Single Step mit Hilfe eines Digitalmultimeters. Veranschaulichen Sie sich die Zuordnung der Schalterstellungen zu den logischen Zuständen. Hinweis: Das System arbeitet mit positiver Logik!
- Wie unterscheidet sich bei den SPDT/Tast die obere Buchsenreihe von der unteren Buchsenreihe? Wie kann man diese sinnvoll benennen?
- Wie unterscheiden sich die Taster SPDT/Tast vom Taster Single Step? Weisen Sie ihre Vermutung in geeigneter Form nach.
- Oszillografieren Sie die Spannungen an den Ausgängen CLK und $\overline{\text{CLK}}$. Weisen Sie nach, dass die Ausgangsspannungen invertiert sind!
- Veranschaulichen Sie sich die Funktion der beiden hexadezimalen Tastcodierschalter H1 und H2.

Aufgabe 3: Signalsenken

- Veranschaulichen Sie sich die Funktion der LEDs, der LED-Module und der DOT-Matrix.
- Welche Belegungen der Eingänge führen zum Leuchten welcher Elemente?

Aufgabe 4: Auswertung

- Dokumentation der Ergebnisse in geeigneter Form.

4.2 Kennenlernen der Entwurfssoftware

Die folgende Anleitung erklärt die Implementierung einer digitalen Schaltung mit der Entwurfssoftware Max+Plus am Beispiel eines einfachen Negators.

Führen Sie dieses Beispiel vollständig aus und merken Sie sich die einzelnen Schritte.

Verwenden Sie den oberen Schaltkreis EPM7032AE-TC44!

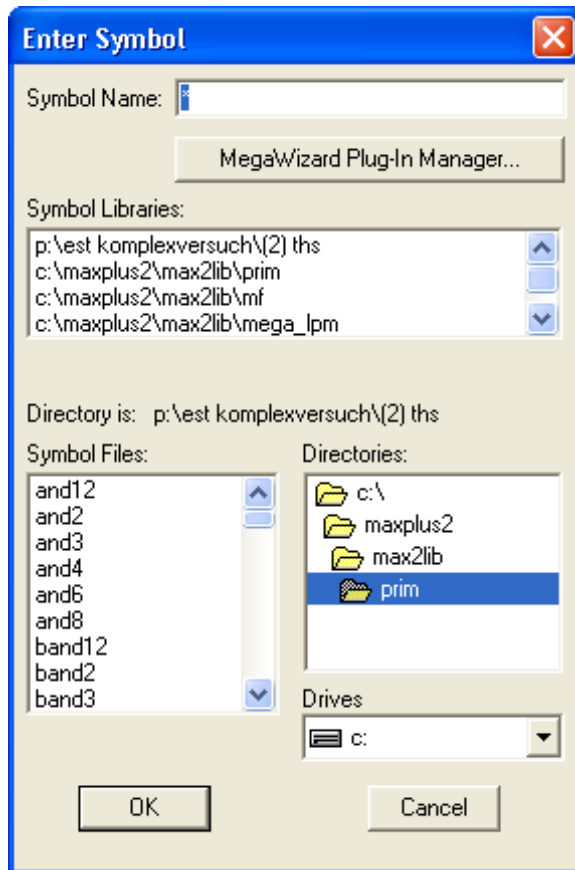
Anmeldung am Entwurfsrechner

- Logindaten:
 - ▷ Benutzername: *Student*
 - ▷ Passwort: *Student409*
- Zum Ordner *Eigene Dateien* wechseln
- *MountP.bat* ausführen (Netzlaufwerk P mounten)

Alle zum Versuch gehörenden Daten legen Sie bitte in den Ordner *P:\ST1* ab!

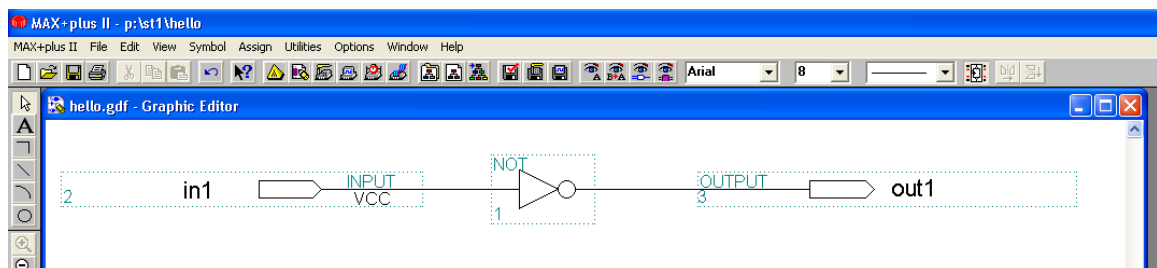
Implementierung der Beispielschaltung

1. Starten Sie Max+plus II
2. Sie möchten einen Schaltplan zeichnen:
Menü: *File* → *New* → *Graphic Editor file* → *OK*
3. Passen Sie die Blattgröße bitte bedarfsgerecht an! Für kleinere Schaltungen reicht *paper size ANSI B*.
Für größere Schaltungen kann die Blattgröße auch im Nachhinein beliebig erweitert werden.
Menü: *File* → *Size...* → *Sheet Size: B* → *OK*
4. Speichern Sie den (noch leeren) Schaltplan:
Menü: *File* → *Save As...* → *not.gdf* (Im Gruppenverzeichnis!) → *OK*
5. Legen Sie das Projektverzeichnis fest:
Menü: *File* → *Project* → *Set Project to Current File*
6. Alle im Schaltkreis vorhandenen Komponenten werden im Schaltplan über Symbole repräsentiert.
Einfügen der erforderlichen Symbole:
Rechte Maustaste → *Enter Symbol* (oder Doppelklick links)

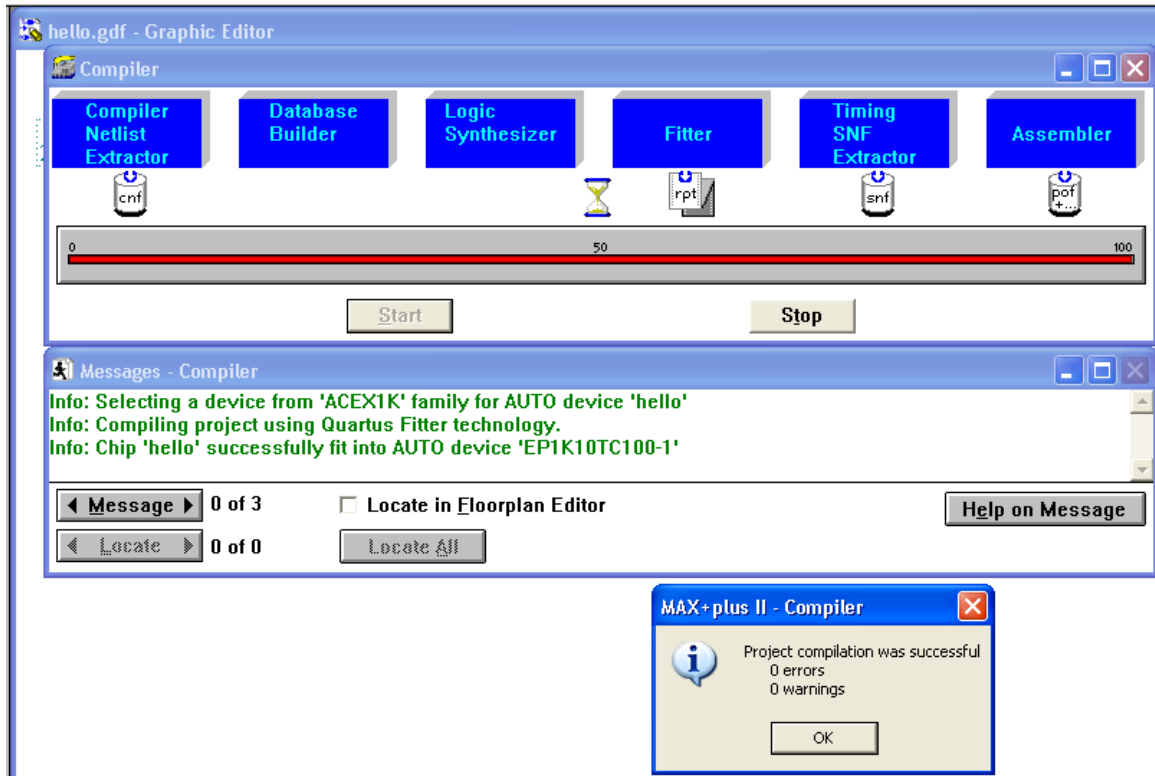


- In der Liste *Symbol Libraries* Doppelklick auf die Bibliothek ..\prim (primitives).
- In der Liste *Symbol Files* das gewünschte Symbol wählen und mit OK bestätigen.
- Fügen Sie folgende Symbole ein:
 - ▷ 1 x *not*
 - ▷ 1 x *input*
 - ▷ 1 x *output*

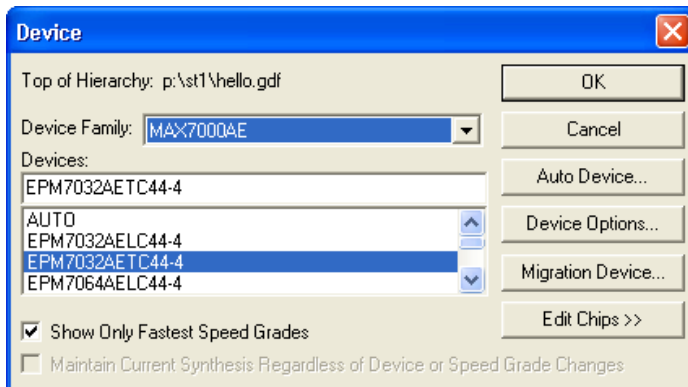
7. Ordnen Sie die Symbole geeignet an (Drag&Drop).
8. Verdrahten Sie die Schaltung (Drag&Drop von Anschluss zu Anschluss)
9. Doppelklicken Sie auf *PIN_NAME* des Symbols *INPUT* und benennen Sie den Pin in *in1* um.
10. Doppelklicken Sie auf *PIN_NAME* des Symbols *OUTPUT* und benennen Sie den Pin in *out1* um.
11. Ihre Schaltung sollte jetzt folgendermaßen aussehen:



12. Speichern Sie den Schaltplan!
13. Starten Sie den Compiler:
 - Menü: Max+plus II → Compiler → Start

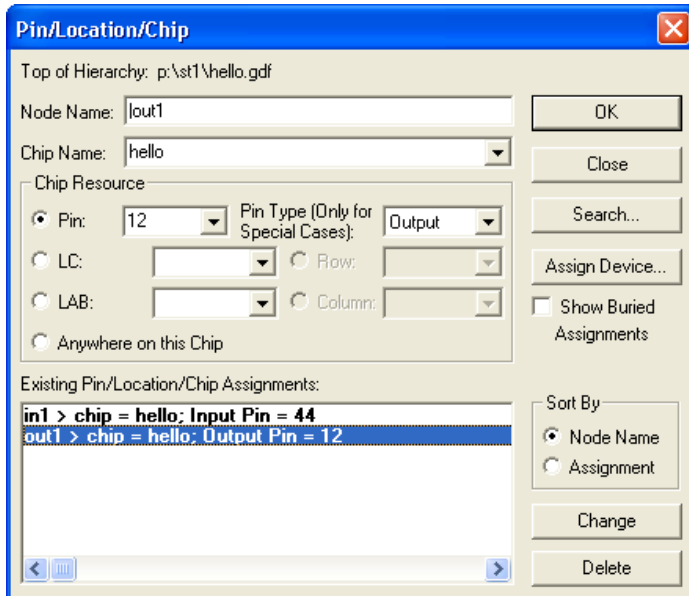


14. Bestätigen Sie mit OK. Sollten Warnungen oder Fehler gemeldet werden, so haben sie etwas verkehrt gemacht. Überprüfen und korrigieren Sie ihre Schaltung bis diese fehlerfrei ist!
15. Es fehlen noch zwei Dinge. Sie müssen dem Entwurfssystem mitteilen, für welchen PLD-Typ die Schaltung kompiliert werden soll und zu welchen physikalischen Pins des Chips die Ein- und Ausgangssignale geroutet werden sollen. Vor diesem Schritt das Design unbedingt fehlerfrei kompilieren!
16. Menü: Assign → Device...



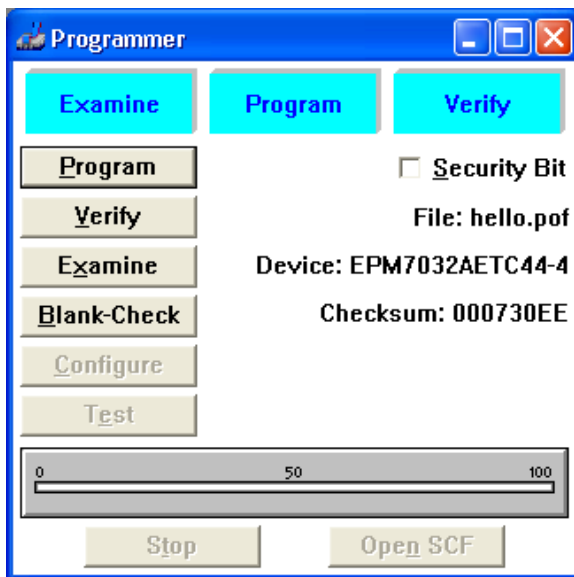
- Device Family: MAX7000AE
- Devices: EPM7032AE-TC44
- OK

17. Verbinden Sie *in1* mit *Pin 44* und *out1* mit *Pin 12*
Menü: Assign → Pin/Location/Chip...



- Zuordnung Pin-Name (hier Node Name) zu Pin-Nummer
- Variante 1
 - ▷ Search... → List
 - ▷ Pin markieren und OK
 - ▷ Pin: <Nummer eintippen>
 - ▷ Add
- Variante 2
 - ▷ Node Name: <Name eintippen>
 - ▷ Pin: <Nummer eintippen>
 - ▷ Add
- OK (wenn komplett)

18. Starten Sie erneut den Compiler:
Menü: Max+plus II → Compiler → Start
19. Bestätigen Sie mit OK. Ihre Schaltung muss fehlerfrei sein!
20. Übertragen Sie jetzt die erzeugten Konfigurationsdaten in den Konfigurationsspeicher des PLD.
Menü: Max+plus II → Programmer



- Program

21. Testen Sie den so implementierten Negator, indem Sie den Single Step Taster auf den Eingang Pin44 und gleichzeitig auf LED1 legen und das Ausgangssignal an Pin12 mit LED2 kontrollieren.
22. Wenn Sie für das Protokoll die Schaltung benötigen, so vergrößern Sie diese bildschirmfüllend und machen per *Snipping Tool XP* ein Bildschirmfoto. Die Grafikdatei sollten Sie später noch mit einem geeigneten Bildverarbeitungsprogramm passend zuschneiden.

4.3 Kombinatorische und sequentielle Grundschaltungen (nur für Versuchsgruppen ohne Teilnahme am GIT-Laborpraktikum)

Aufgabe 5: Vorbereitungsaufgaben

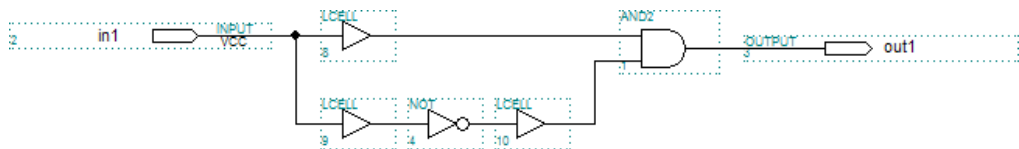
- Unter welchen Bedingungen darf man Gatterausgänge zusammenschalten? Begründung?
- Darf man Gattereingänge zusammenschalten? Begründung?
- Bereiten Sie die zu implementierenden Schaltungen vor. Wichtig: Beschreiben Sie das Verhalten der zu implementierenden Flipflops mit Hilfe von Funktionstabellen.

Aufgabe 6: Grundgatter

- Implementieren Sie folgende Verknüpfungen mit jeweils zwei Eingängen: AND, NAND, OR, NOR, XOR.
- Überprüfen Sie die Funktion durch Aufnehmen der Schaltbelegungstabellen.
- Eingang: SPDT, Ausgang: LED

Aufgabe 7: Dynamisches Verhalten

- Messen Sie in einer geeigneten Messschaltung die Verzögerungszeit des implementierten XOR-Gatters. Oszillografieren Sie Eingangs- und Ausgangsspannung und übernehmen Sie das Bild sowie die Messschaltung in Ihr Protokoll. Kennzeichnen Sie im Bild die Verzögerungszeit oder nutzen Sie zur Kennzeichnung die Cursor-Funktion des Oszilloskops.
- Bauen Sie die folgende Schaltung auf:



- Berechnen Sie mit Hilfe der Booleschen Algebra die Funktion der Schaltung und füllen Sie die folgende Funktionstabelle aus. Wie nennt man diese Funktion?

Eingang	Ausgang
0	
1	

- Verbinden Sie den Eingang mit einem Taster oder Schalter und überprüfen Sie die Funktion durch Beobachtung einer LED am Ausgang. Stimmt diese mit obiger Tabelle überein?
- Verbinden Sie den Eingang mit dem Taktgenerator (max. Frequenz) und oszillografieren Sie Eingangs- und Ausgangsspannung. Stimmt das Bild mit obiger Tabelle überein? Was ist die Ursache für dieses Verhalten und wie nennt man es?

Aufgabe 8: Komplexe Verknüpfungen

- Implementieren Sie folgende Verknüpfungen und überprüfen Sie die Funktion durch Aufnehmen der Schaltbelegungstabellen. $y = (x_1 \cdot x_2) + x_3$, $y = x_1 \cdot (\overline{x_2} + x_3)$, $y = \overline{x_1 \cdot x_2} + \overline{x_3}$
- Eingang: SPDT, Ausgang: LED

Aufgabe 9: Dekoder

- Entwerfen und implementieren Sie folgende Schaltungen aus Grundgattern:
 1. HEX zu 1-aus-6-Dekoder
Eingang: Tastcodierschalter H1, Ausgang: LED1...6
 2. Dezimal zu 7-Segment-Dekoder
Eingang: Tastcodierschalter H1, Ausgang: LED-Module

Aufgabe 10: Multiplexer

- Entwerfen Sie aus Grundgattern einen Multiplexer mit 4 Eingängen.
- Adressen: Tastcodierschalter H1, Daten: SPDT/Tast, Ausgang: LED1

Aufgabe 11: Flipflops

- Entwerfen Sie aus 2-Eingangs-NAND-Gattern folgende Flipflop-Typen und weisen Sie deren Funktion nach: RS-Flipflop, D-Latch, D-Flipflop.
- Beschalten Sie das D-Flipflop per externer Verdrahtung so, dass es die Funktion eines Binärteilers ausführt.
- Bauen Sie einen Binärteiler unter Verwendung eines fertigen D-Flipflops (DFF).

Aufgabe 12: Auswertung

- Dokumentation der Ergebnisse in geeigneter Form.
- Erläutern Sie die *wesentlichen* Unterschiede zwischen einem D-Latch und einem D-Flipflop. Nennen Sie Anwendungen.

4.4 Sequentielle Standardschaltungen

Aufgabe 13: Vorbereitungsaufgaben

- Was ist eine sequentielle Schaltung?
- Wie kann man die Funktion einer sequentiellen Schaltung exakt beschreiben? Nennen Sie mindestens eine Möglichkeit!
- Wie kann man *einfache* sequentielle Schaltungen mit Funktionstabellen – die ja für kombinatorische Schaltungen gedacht sind – dennoch beschreiben?
- Informieren Sie sich über die verschiedenen Flipflop-Typen sowie deren Aufbau und Eigenschaften.
- Was ist der Unterschied zwischen einer asynchronen sequentiellen Schaltung und einer synchronen sequentiellen Schaltung? Wieso baut man sequentielle Schaltungen bevorzugt synchron auf? Welche Flipflops verwendet man und warum?
- Was ist der Unterschied zwischen einem Asynchronzähler und einem Synchronzähler?
- Bereiten Sie die zu implementierenden Schaltungen vor.

Aufgabe 14: Zähler

1. Entwerfen Sie aus 4 D-Flipflops einen asynchronen Zähler und weisen Sie dessen Funktion nach. Verwenden Sie als Taktquelle den Taster *Single Step*. Verwenden Sie wahlweise den Taster SPDT/Tast und erklären Sie das seltsame Verhalten des Zählers.
2. Analysieren Sie das Timing des asynchronen Zählers durch einen geeigneten Messaufbau.
3. Entwerfen Sie aus 4 D-Flipflops einen synchronen Zähler und weisen Sie dessen Funktion nach. Verwenden Sie als Taktquelle den Taster *Single Step*.
4. Analysieren Sie das Timing des synchronen Zählers durch einen geeigneten Messaufbau.
5. Entwerfen Sie aus n D-Flipflops einen synchronen Zähler, der einen Zählumfang von 0 bis 5 hat. Weisen Sie die Funktion nach, indem Sie den Zähler mit einem 7-Segment-Dekoder und dem LED-Module kombinieren. Taktquelle wahlweise Taster oder Taktgenerator.

Aufgabe 15: Schieberegister

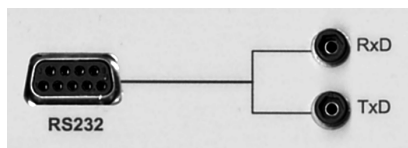
1. Es ist ein 6-stufiges Schieberegister zu entwerfen, bei dem die Daten seriell eingelesen und parallel ausgegeben werden.
Takt: Taster *Single Step*, Daten: Schalter SPDT, Datenausgänge: LED1..6
2. Die Anordnung ist so zu erweitern, dass eine einmal gespeicherte Bit-Folge *umlaufen* kann.
3. Es ist ein 8-stufiges Schieberegister zu entwerfen, bei dem die Daten parallel eingelesen und seriell ausgegeben werden.
Takt: Taster *Single Step*, Steuerinformationen: Schalter SPDT oder Taster SPDT/Tast, Daten: Tastcodierschalter H1 und H2, Datenausgang: LED1

Aufgabe 16: Auswertung

- Dokumentation der Ergebnisse in geeigneter Form.

4.5 Serielle Datenübertragung

Hinweise zum Versuchsaufbau



RxD und TxD beziehen sich auf die PC-Anschlüsse!
 RxD: Datenrichtung PLD → PC
 TxD: Datenrichtung PLD ← PC

Abbildung 3: RS232-Anschlüsse

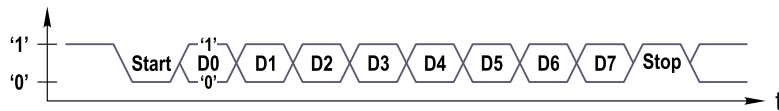


Abbildung 4: Zeitdiagramm und Logikwerte an den Bananenbuchsen (gültig nur für RxD und TxD)

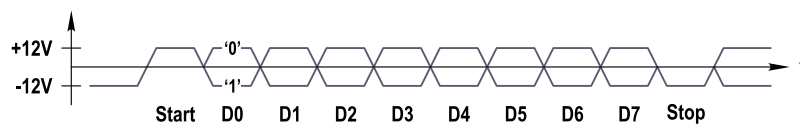


Abbildung 5: Zeitdiagramm und Logikpegel auf der Übertragungsstrecke (gültig nur für RxD und TxD)

Signal	Leitungspegel	Bezeichnung	Treiber	Logikpegel	Logikwerte	Bemerkungen
RxD/TxD	-3..-15 V	MARK	↕↕	H	1	Ruhepegel
	+3..+15 V	SPACE	↕↕	L	0	
Steuersignale	-3..-15 V	MARK	↕↕	H	1 oder 0 (!!!)	passiv
	+3..+15 V	SPACE	↕↕	L	0 oder 1 (!!!)	aktiv

Abbildung 6: RS232-Pegelzuordnungen

Aufgabe 17: Vorbereitungsaufgaben

- Machen Sie sich im Vorfeld mit dem Prinzip der asynchronen seriellen Datenübertragung vertraut.
- Studieren Sie Funktion und Parameter der standardisierten Schnittstelle RS232.
- Bereiten Sie die zu implementierende Schaltung vor.

Aufgabe 18: Versuchsaufgabe

- Implementieren Sie den Sendeteil einer UART in den PLD und übertragen Sie Zeichen an den Versuchs-PC.
- Verwenden Sie eine geeignete Baudrate.
- Art und Quelle der übertragenen Zeichen sind Ihnen freigestellt.
- Für den Datenempfang auf dem PC steht das Terminalprogramm HTerm zur Verfügung.

Aufgabe 19: Auswertung

- Dokumentation der Ergebnisse in geeigneter Form.
- Mindestumfang: Blockschaltbild zum Versuchsaufbau, Schaltung der UART, Funktionsbeschreibung, Oszilloskop-Aufnahme des Telegramms, Bildschirmfoto der empfangenen Zeichen