

FPGA-Projektentwicklung mit Quartus

Schritt für Schritt zum Ziel

Von Paul Goossens

Das Einarbeiten in neue Software erfordert stets einige Zeit und Übung. In diesem Dokument geben wir Newcomern Hilfestellung für den Start mit Quartus. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung zum Realisieren des ersten Beispiels aus Teil 1 unseres FPGA-Kurses (erschienen im April 2006 in der gedruckten ELEKTOR-Ausgabe) soll den Start mit Quartus erleichtern. Wir werden alle Schritte durchlaufen, die vom Einrichten eines neuen Projekts bis zum Programmieren des FPGA nötig sind. Voraussetzung auf der Seite der Hardware sind die FPGA-Unit zusammen mit der FPGA-Experimentierplatine und dem zugehörigen Programmier-Interface, veröffentlicht in der gedruckten ELEKTOR-Ausgabe vom März 2006.

Was wird benötigt?

Zum Realisieren des Projekts an Hand dieser Schritt-für-Schritt-Anleitung sind folgende Hardware-Komponenten erforderlich:

- FPGA-Unit mit Programmier-Interface (Art.Nr. 040477-91)
- FPGA-Experimentierplatine (Art.-Nr. 050370-91)

Ferner wird vorausgesetzt, dass Quartus ordnungsgemäß installiert ist. Nicht unbedingt erforderlich, aber zweckmäßig ist die Installation der zur FPGA-Experimentierplatine gehörenden Software im Ordner c:\altera\050370.

Das Lernziel

Nach Durchlaufen der in dieser Anleitung beschriebenen Schritte haben Sie die unten abgebildete Logik-Schaltung in Quartus erstellt. Sie haben aus der grafischen Form der Schaltung eine Datei generiert, mit der Sie den FPGA programmieren können. Abschließend programmieren Sie den FPGA mit Hilfe der oben angegebenen Hardware.

Diese Schritt-für-Schritt-Anleitung wird Ihnen zeigen, wie die elementaren Funktionen von Quartus angewendet werden. Wir haben in die Anleitung einige Tipps aus der Praxis eingestreut, die Ihnen das Arbeiten mit Quartus zusätzlich erleichtern.

Es geht los!

Starten Sie die „Quartus Web Edition II“ auf gewohnte Weise, entweder über das Startmenü oder durch Doppelklicken auf das Quartus-Icon, das sich, wenn bei der Installation eingerichtet, auf dem Desktop befindet.

1. Schließen anderer Dateien

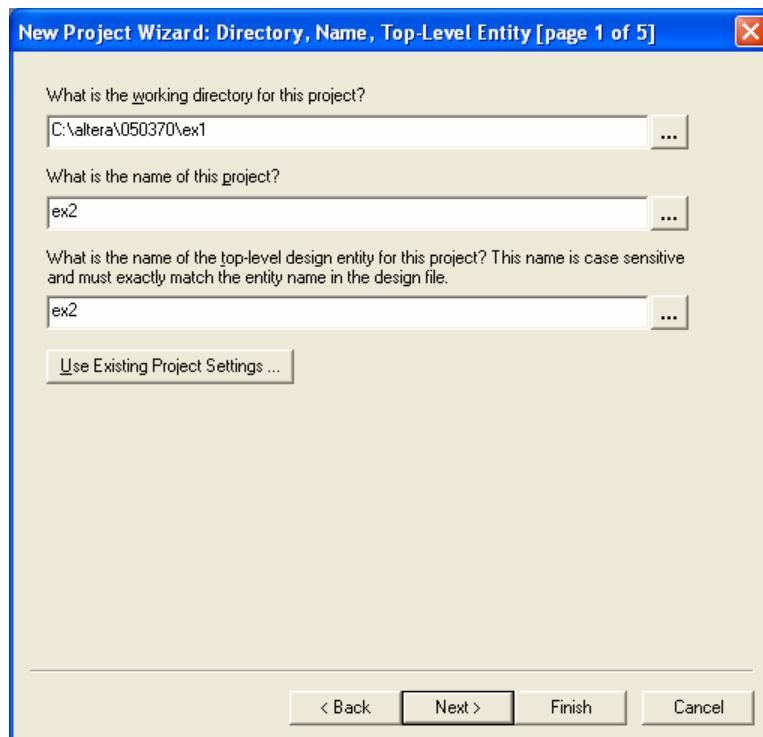
Falls Sie zuvor schon die eine oder andere Funktion von Quartus ausprobiert haben, öffnet Quartus möglicherweise automatisch die dabei erstellten Dateien. Diese Dateien schließen Sie, indem Sie im Menü *File* auf die Auswahl *Close* klicken. Auf *Close* klicken Sie so oft, bis *Close* inaktiv geworden ist. Damit haben Sie sämtliche Dateien geschlossen.

2. Starten eines neuen Projekts

Jede Neuentwicklung erfordert, dass in Quartus ein neues Projekt eingerichtet wird. Quartus legt daraufhin eine oder mehrere Dateien an, in denen die zum gestarteten Projekt gehörenden Daten und Einstellungen gespeichert sind.

Ein neues Projekt starten Sie, indem Sie im Menü *File* auf die Auswahl *New Project Wizard* klicken. Quartus öffnet dann ein neues Fenster, das einen einführenden Text enthält. Nachdem Sie den Text gelesen haben, klicken Sie auf *Next*. Es erscheint ein neues Fenster mit dem Titel "New Project Wizard: Directory, Name, Top-level Entity [page 1 of 5]".

Im oberen Eingabefeld tragen Sie den Namen des Ordners ein, in den Quartus die zum Projekt gehörenden Dateien ablegen soll. Tragen Sie hier "C:\altera\050370\ex2" ein. Das zweite Eingabefeld dient zur Eingabe eines Projekt-Namens. Hier tragen Sie "ex2" ein, was für "example 2" (Beispiel 2) steht. Falls Sie bereits die Software installiert haben, die zur FPGA-Experimentierplatine gehört, ist dort bereits "ex1" eingetragen. Für diese Schritt-für-Schritt-Anleitung wurde der Projekt-Name "ex2" reserviert. Falls notwendig ändern Sie "ex1" in "ex2" um. In das dritte Eingabefeld trägt Quartus automatisch "ex2" ein, diesen Eintrag lassen Sie unverändert. Damit sieht das Fenster ungefähr wie folgt aus:

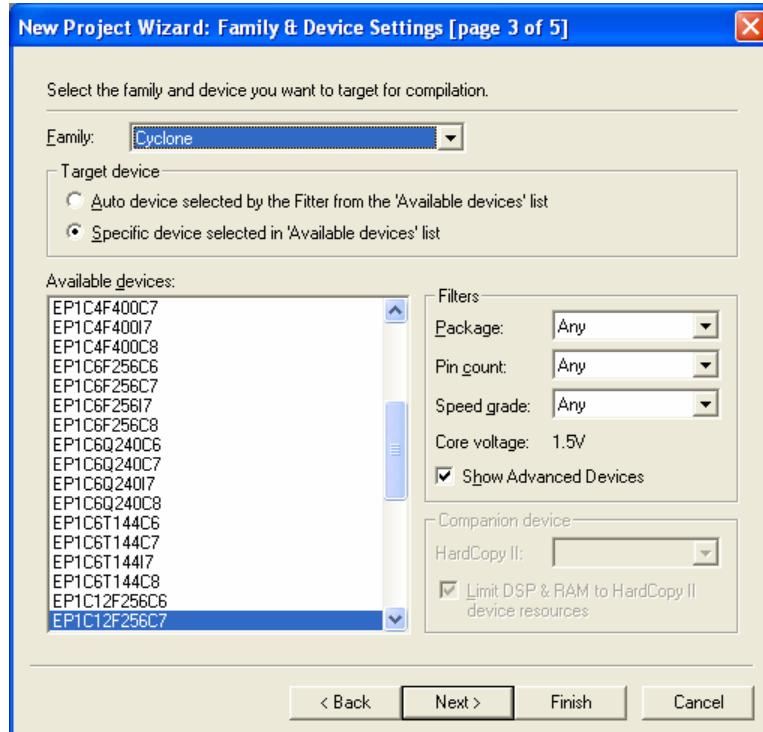


Wenn der Ordner bereits existiert und darin bereits ein anderes Quartus-Projekt abgelegt ist, bietet Quartus an, einen alternativen Ordner zu benutzen. Beantworten Sie die Frage nach einem alternativen Ordner mit *Nein*.

Falls der gewünschte Ordner noch nicht existiert, fragt Quartus, ob der Ordner angelegt werden soll. Beantworten Sie diese Frage mit *Ja*.

In dem nachfolgend erscheinenden Fenster können Sie vorhandene Dateien zum neuen Projekt hinzufügen. Da dies das erste Projekt ist, existieren keine Dateien, die in das Projekt eingebunden werden könnten. Schließen Sie das Fenster, indem Sie auf *Next* klicken.

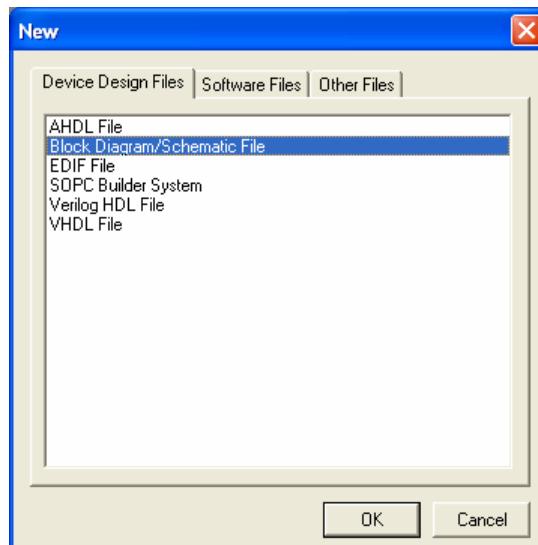
Damit sind Sie zum dritten Fenster gelangt, das den Namen "New Project Wizard: Family & Device Settings [page 3 of 5]" trägt. In diesem Fenster müssen Sie den Typ des FPGA angeben, mit dem Sie in dem Projekt arbeiten wollen. Auf der FPGA-Unit befindet sich ein FPGA des Typs EP1C12F256C7, er gehört zu der FPGA-Familie "Cyclone". Deshalb wählen Sie im oberen Pulldown-Feld die *Cyclone*-Familie aus. Im Fensterebereich **Target device** können Sie bestimmen, ob Sie den Typ selbst auswählen möchten oder ob Quartus den Typ erkennen soll. Da Sie wissen, dass die Hardware mit dem FPGA-Typ EP1C12F256C7 arbeitet, aktivieren Sie *Specific device*, und in der darunter befindlichen Liste wählen Sie diesen FPGA-Typ aus. Das Fenster sieht nun ungefähr so aus:



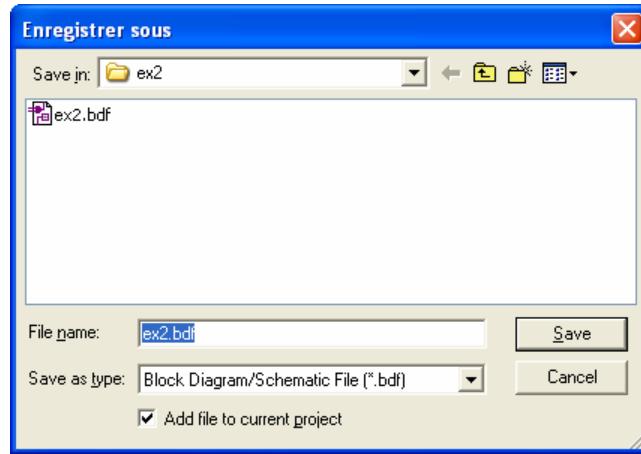
Die nächsten beiden Seiten dieses Fensters haben für das Projekt keine Bedeutung, Sie können sie durch Klicks auf *Next* schließen. Nach einem Klick auf *Finish* ist das Projekt eingerichtet, so dass der nächste Schritt folgen kann.

3. Grafik erstellen und in das Projekt einbinden

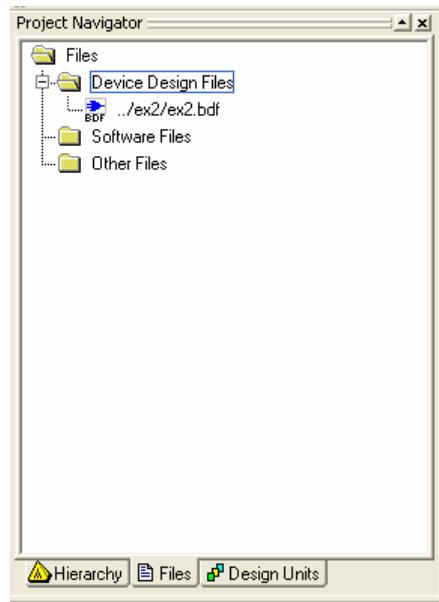
In diesem Schritt werden die Funktionen, die der FPGA ausführen soll, auf grafischem Weg fest gelegt. Zuerst klicken Sie im Menü *File* auf die Auswahl *New*. Quartus fragt in einem Fenster an, von welchem Typ die zu erstellende Datei sein soll. Eine Datei, die eine grafische Darstellung von FPGA-Funktionen enthält, heißt hier *Block Diagram/Schematic File*; sie ist auf der Karteikarte *Device Design Files* zu finden. Nach Auswahl dieses Datei-Typs klicken Sie auf *OK*.



Zuerst muss eine leere Datei dieses Typs auf der Festplatte gespeichert werden. Klicken Sie im Menü *File* auf *Save As*, so dass das Fenster für die Eingabe des Datei-Namens erscheint. Tragen Sie hier den Namen **ex2.bdf** ein und speichern Sie diese Datei im Ordner **c:\altera\050370\ex2**. Wenn alle Angaben stimmen, klicken Sie auf *Save*.

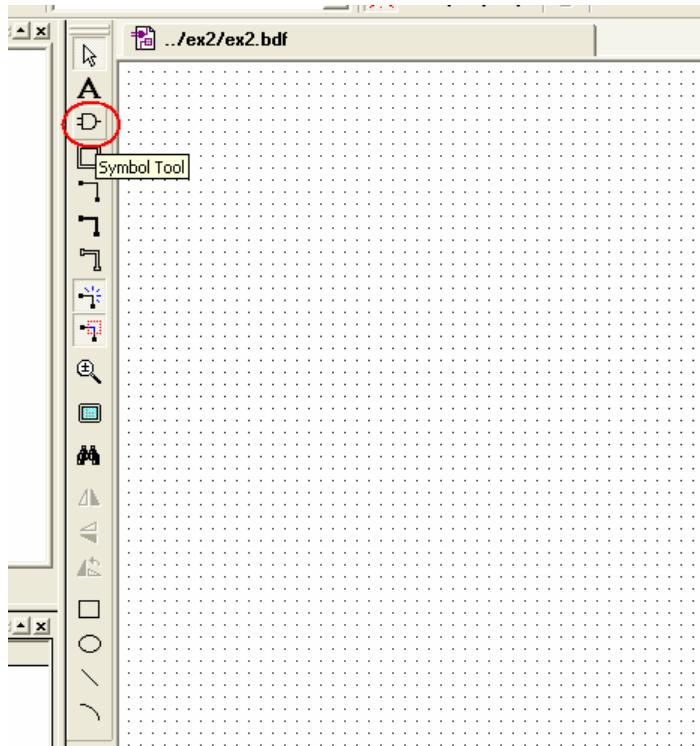


Die Datei ist nun gespeichert, sie wird von Quartus automatisch zum Projekt hinzugefügt. Ersichtlich ist dies daran, dass die Datei im *Project Navigator* unter *Files* eingetragen ist.

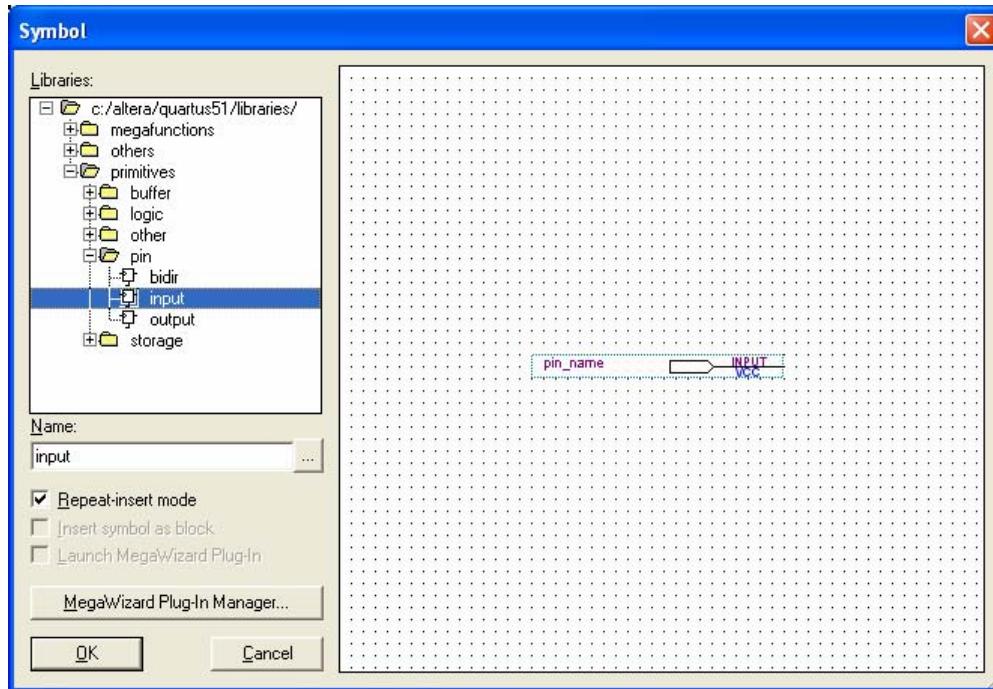


4. Eingänge anordnen

Beginnen Sie nun damit, die Schaltung grafisch zu entwerfen. Die Datei **ex2.bdf** hat auf dem Bildschirm die Gestalt eines Punktraster-Feldes. Aktivieren Sie dieses Fenster, indem Sie zum Menü *Windows* gehen und auf **1...ex2/ex2.bdf** klicken. Anschließend klicken Sie in der Werkzeugeiste, die sich am linken Rand des Punktraster-Feldes befindet, auf das Icon *Symbol Tool*.

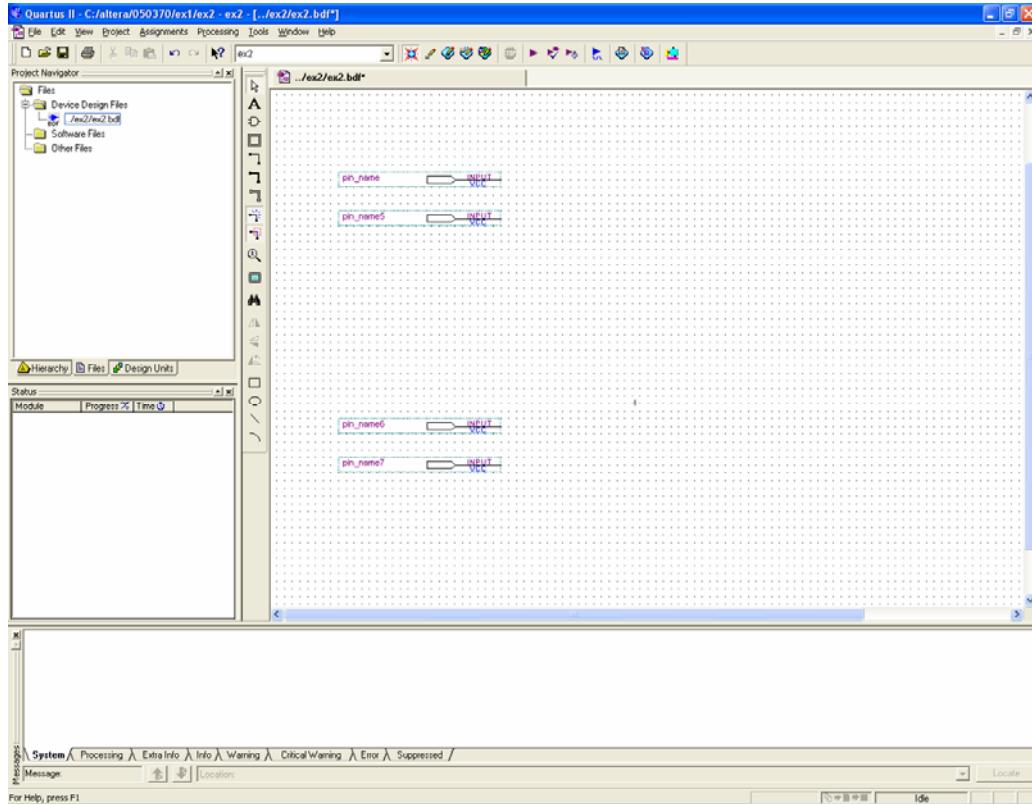


In dem neuen Fenster können Sie die Symbole auswählen, die Bestandteile der Schaltung werden sollen. Zuerst sollen die Eingänge in die Schaltung aufgenommen werden. Im links stehenden Verzeichnisbaum finden Sie die Eingänge unter *Libraries* | *primitives* | *pin* | *input*. Wählen Sie hier *input* aus. Da dieses Symbol in der Schaltung vier mal benötigt wird, aktivieren Sie die Checkbox *Repeat-insert mode*. Nach einem Klick auf *OK* können Sie zum Punktraster-Feld zurückkehren und dort das Symbol vier mal platzieren.



Ordnen Sie die Symbole der vier Eingänge so an, wie in dem folgenden Bild dargestellt. Damit sind vier Eingänge vorhanden, weitere Eingänge sollen nicht hinzugefügt werden. Deshalb drücken Sie auf der PC-Tastatur die Taste *ESC*, so dass der Einfüge-Modus beendet wird. Alternativ können Sie in der Werkzeuleiste auf das Cursor-Symbol klicken, es befindet sich dort ganz oben.

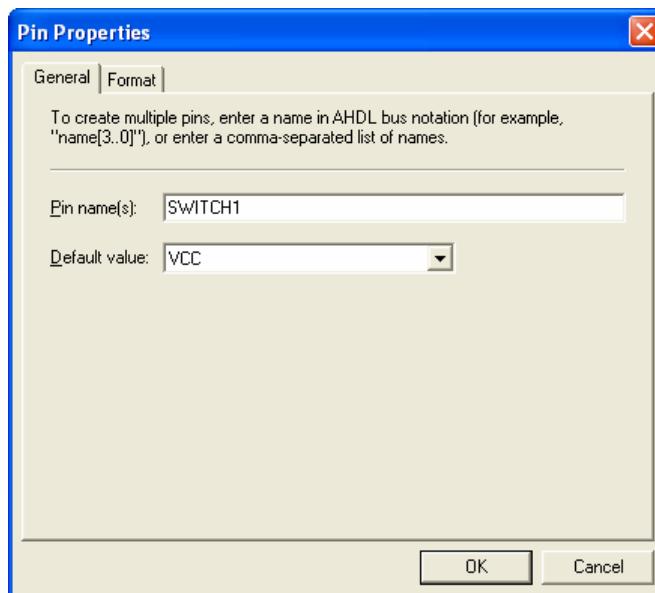
TIPP: Das Verschieben und Zoomen lässt sich mit Hilfe des Mausrades am leichtesten durchführen. Wenn das Fenster aktiv ist, in dem sich die Schaltung befindet, lassen sich die Symbole durch Drehen des Mausrades vertikal verschieben. Horizontales Verschieben ist auf gleiche Weise möglich, dabei muss jedoch auf der Tastatur die *Shift*-Taste gedrückt sein. Wenn Sie die *Ctrl*-Taste gedrückt halten, wird die Schaltung beim Drehen des Mausrades ein- oder ausgezoomt.



Jeder Eingang muss einen individuellen Namen erhalten. Im diesem Fall werden die Eingänge in Übereinstimmung mit den zugehörigen Signalen der FPGA-Experimentierplatine mit den Namen *SWITCH1*...*SWITCH4* bezeichnet.

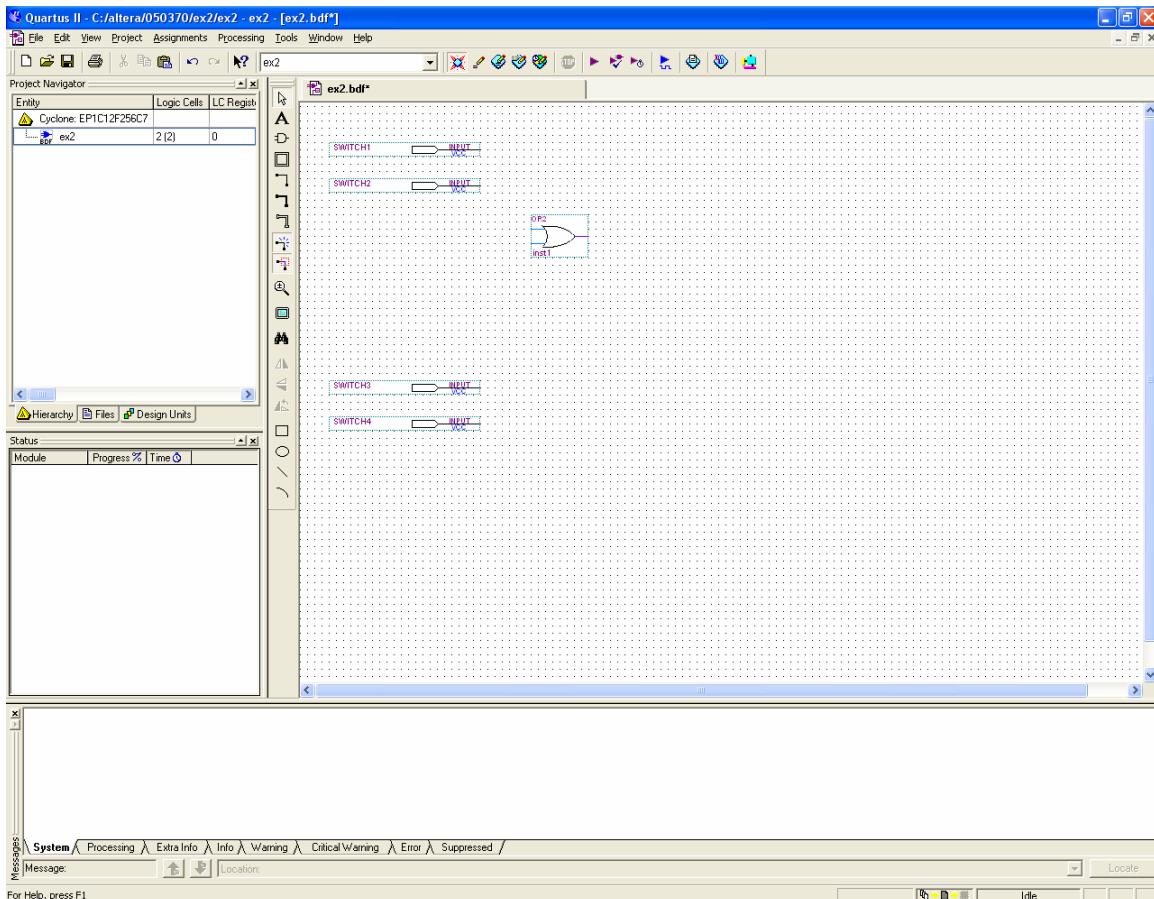
Gehen Sie mit der Maus zum obersten Eingang und doppelklicken Sie auf dieses Symbol. Es öffnet sich ein Fenster mit dem Namen "**Pin Properties**". In das erste Eingabefeld neben "**Pin name(s)**" tragen Sie *SWITCH1* ein, das zweite Eingabefeld lassen Sie unverändert. Klicken Sie auf *OK*, das Fenster wird dann geschlossen.

Geben Sie den übrigen Eingängen auf gleiche Weise die Namen *SWITCH2*, *SWITCH3* und *SWITCH4*.



5. Gatter anordnen

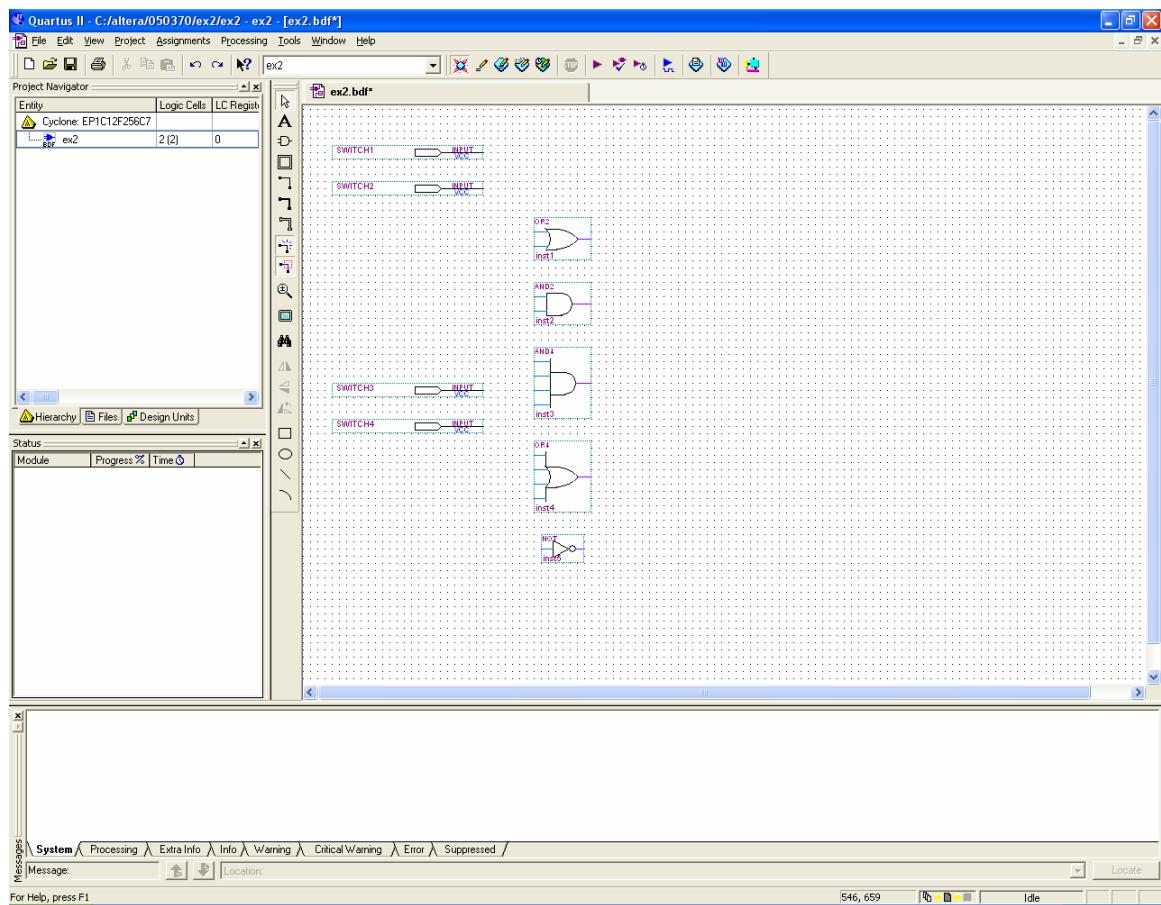
In diesem Schritt wird ein OR-Gatter mit zwei Eingängen auf dem Punktraster-Feld angeordnet. Zwischen den Schaltungseingängen und dem Gatter muss etwas Platz für die noch fehlenden Verbindungsleitungen frei bleiben. Nehmen Sie das nachfolgende Bild als Vorlage. Klicken Sie ebenso wie beim Platzieren der Eingänge die Werkzeuleiste an. In dem sich öffnenden Fenster suchen Sie die Komponente "or2", Sie finden sie unter *Libraries | primitives | logic | not*. Da diese Komponente nur einmal benötigt wird, sollte die Checkbox *Repeat-insert mode* nicht aktiviert sein, und folglich muss die *ESC*-Taste nach dem Platzieren des OR-Gatters nicht gedrückt werden. Die Vergabe eines Namens, wie sie bei den Eingängen notwendig war, ist bei Gattern nicht erforderlich.



Platzieren Sie anschließend nach der gleichen Methode wie beim OR-Gatter jeweils ein Objekt "**and2**", "**and4**" und "**not**" auf dem Punktraster-Feld. Weil nur ein Exemplar der gleichen Art benötigt wird, darf auch hier die Checkbox *Repeat-insert mode* nicht aktiviert sein, und die *ESC*-Taste muss nicht gedrückt werden.

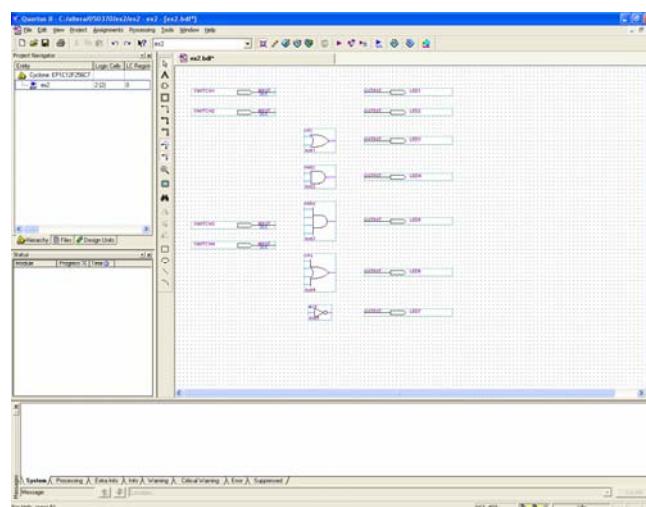
TIPP: Wenn Sie den Namen der benötigten Komponente bereits kennen, müssen Sie die Komponente nicht in der Liste suchen. Sie können in das Eingabefeld "Name" den Namen der Komponente eintragen.

Nach dem Platzieren der Komponenten sollte die Anordnung auf dem Punktraster-Feld wie folgt aussehen:



6. Ausgänge anordnen

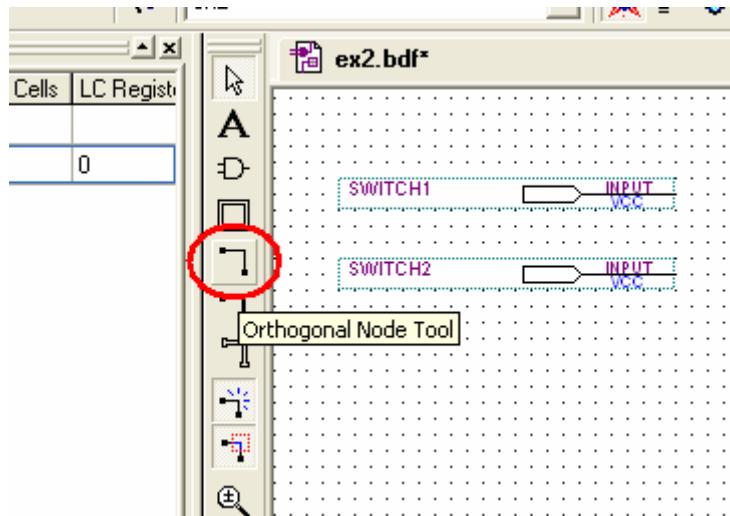
Die noch fehlenden Schaltungsausgänge werden auf die gleiche Weise wie die Eingänge auf dem Punktraster-Feld platziert. Wählen Sie im Verzeichnisbaum *Libraries* | *primitives* | *pin* statt "input" nun "output". Ordnen Sie die Ausgänge auf dem Punktraster-Feld so an, wie es das nächste Bild zeigt:



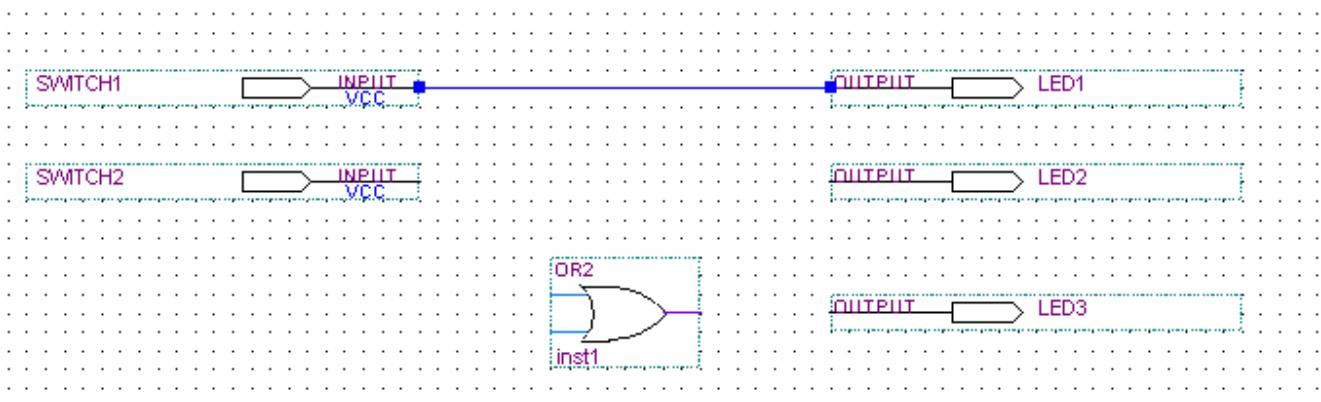
Die Namen der Ausgänge müssen noch angepasst werden. Doppelklicken Sie auf den Ausgang, dessen Namen Sie ändern wollen. Geben Sie den Ausgängen von oben beginnend die Namen *LED1* bis *LED7*.

7. Verbindungen herstellen

Jetzt sind sämtliche Komponenten auf dem Punktraster-Feld angeordnet, sie sind jedoch noch nicht miteinander verbunden. Die Werkzeuleiste bietet verschiedene Werkzeuge an, mit denen Verbindungen zwischen Komponenten hergestellt werden können. In diesem Fall wird nur das Werkzeug benötigt, das mit "**Orthogonal Node Tool**" bezeichnet ist.



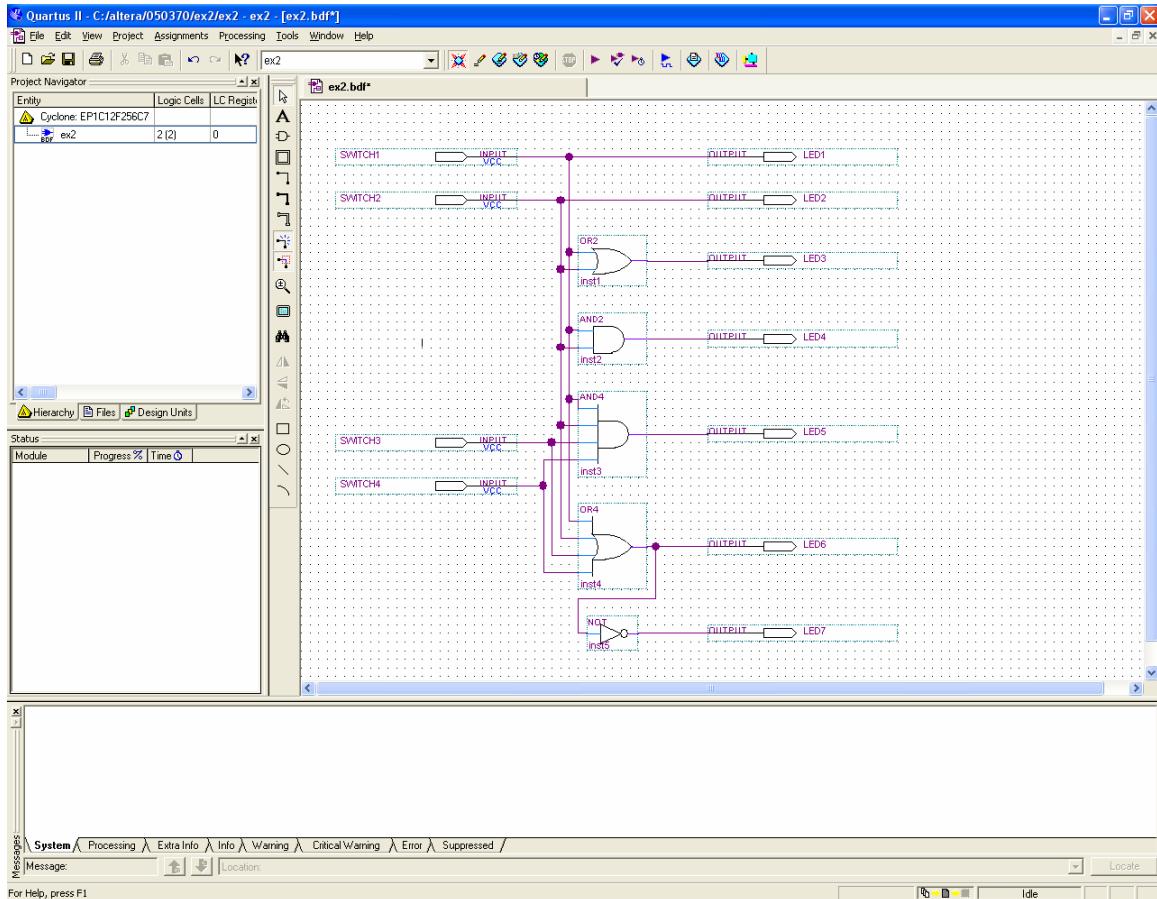
Klicken Sie auf das in oben stehendem Bild hervorgehobene Symbol *Orthogonal Node Tool*. Gehen Sie mit dem Mauszeiger zum Endpunkt des Eingangs *SWITCH1* und drücken Sie die linke Maustaste. Halten Sie die Maustaste gedrückt und gehen Sie mit dem Mauszeiger zum Anfangspunkt des Ausgangs *LED1*. Bei kurzer Entfernung zwischen Mauszeiger und Ausgang erscheint zusätzlich zum Mauszeiger ein kleines Quadrat. Es signalisiert, dass sich der Mauszeiger in der Nähe eines Anschlusspunkts befindet. Lassen Sie die Maustaste los. Damit ist die erste Verbindung hergestellt.



Verbindungen können nicht nur zwischen Komponenten verlegt werden, auch das Verbinden von Signalwegen und Knotenpunkten ist auf diese Weise möglich. Wenn Sie als Startpunkt oder Endpunkt einer Signalleitung einen beliebigen Punkt auf einer bereits vorhandenen Signalleitung wählen, verbindet Quartus die neue Signalleitung automatisch mit der vorhandenen Signalleitung. Dies ist an dem Verknüpfungspunkt sichtbar, der an der Kreuzungs- oder Einmündestelle erscheint.

Im Verlauf einer Verbindung ist oft eine Richtungsänderung notwendig, zum Beispiel wenn die

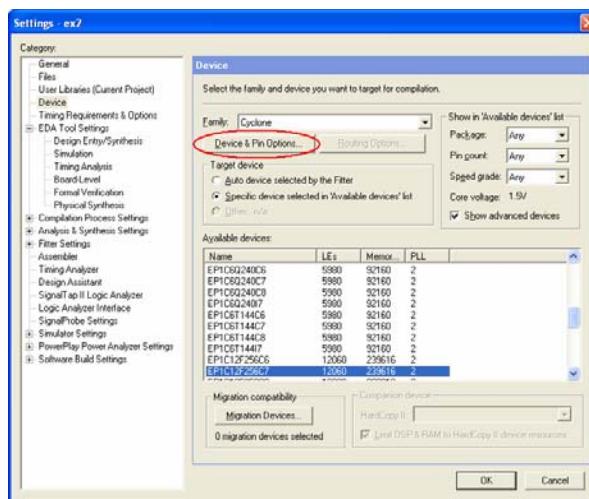
Verbindung zuerst nach unten und dann im rechten Winkel nach rechts geführt werden muss. Stellen Sie zuerst eine Verbindung bis zum Eckpunkt des rechten Winkels her (Maustaste loslassen), und führen Sie die Verbindung von diesem Punkt ausgehend als neue Verbindung mit geänderter Richtung weiter.



8. Quartus konfigurieren

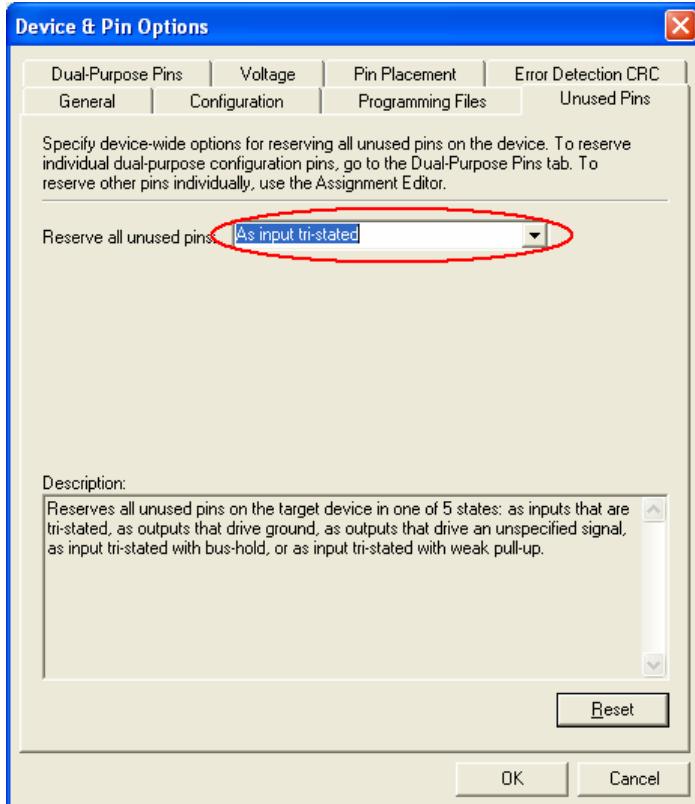
Der nächste Schritt ist das Konfigurieren von Quartus. Einige vorgegebene Einstellungen müssen geändert werden, damit die von Quartus aus der Grafik erzeugte Datei kompatibel zur verwendeten Hardware ist.

Gehen Sie zum Menü *Assignments* und wählen Sie *Device*. In dem sich öffnenden Fenster klicken Sie auf die Schaltfläche *Device & Pin Options*.



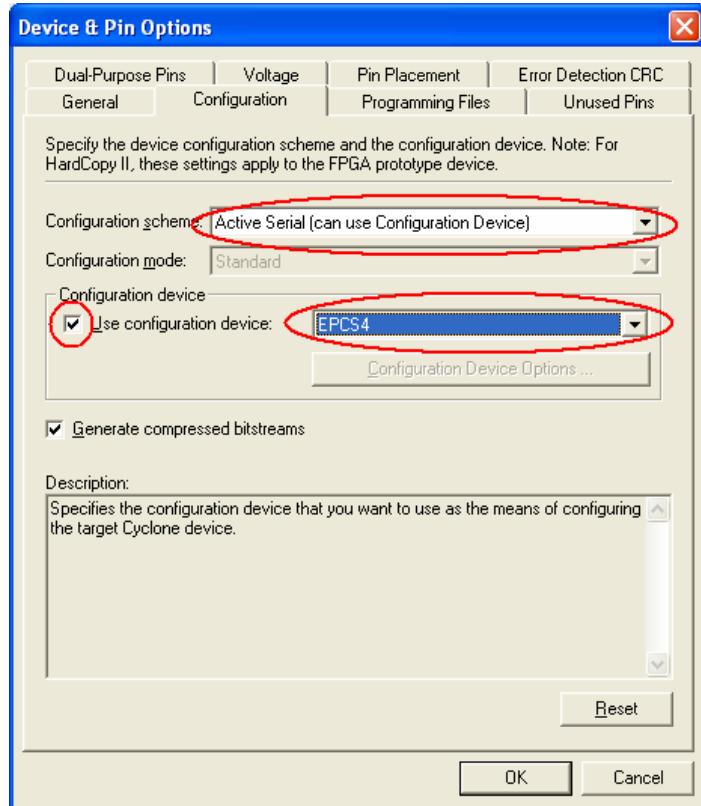
Daraufhin erscheint ein weiteres Fenster, in dem Sie die Optionen einstellen können, die Quartus beim Erzeugen der für die FPGA-Programmierung bestimmten Datei berücksichtigen soll. Auf der Karteikarte *Unused Pins* müssen Sie die Einstellung der Option "**Reserve all unused pins**" ändern. Stellen Sie diese Option auf *As input tri-stated* ein.

Die vorgegebene Einstellung *As outputs driving ground* ist hier absolut falsch, weil einige in diesem Projekt nicht verwendete FPGA-Anschlüsse mit den Ausgängen externer Chips verbunden sind. Wenn diese Option auf *As outputs driving ground* eingestellt bleibt, verbindet der FPGA diese Anschlüsse nach der Programmierung mit Masse. Das würde bedeuten, dass diverse Kurzschlüsse entstehen, die im schlimmsten Fall den FPGA beschädigen können. Achten Sie strikt darauf, dass die Option auf *As input tri-stated* eingestellt ist. **Klicken Sie jetzt noch nicht auf OK!**

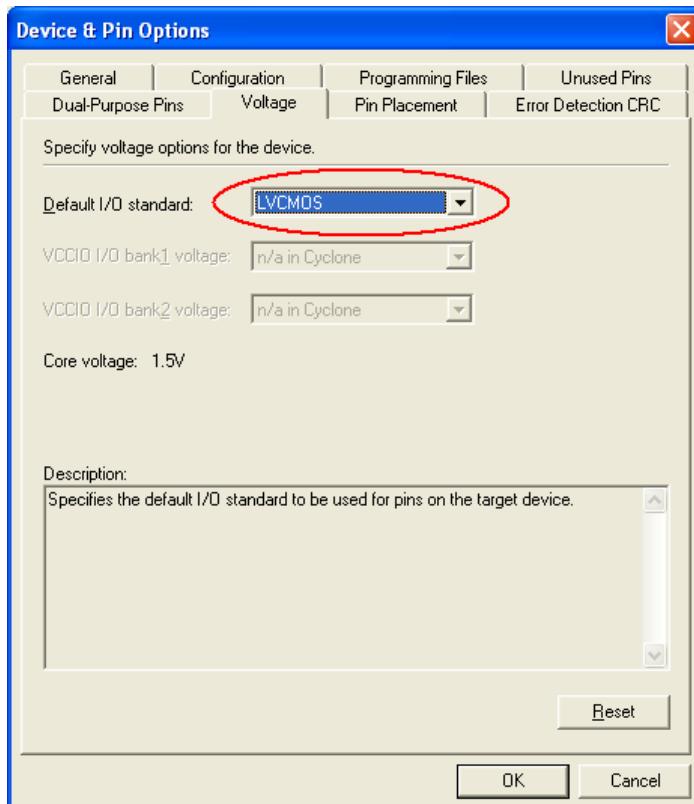


Schaltungen mit FPGAs sind nur dann jeder Zeit betriebsfähig, wenn nicht nur der FPGA, sondern auch der zugehörige Konfigurationsspeicher programmiert wird. Der FPGA kann zwar direkt über die JTAG-Schnittstelle programmiert werden, doch nach Abschalten der Betriebsspannung geht die Programmierung verloren. Dagegen bleibt der Inhalt des externen, nicht flüchtigen Konfigurationsspeichers permanent erhalten. Der FPGA wird beim Einschalten der Betriebsspannung automatisch mit dem Inhalt des Konfigurationsspeichers programmiert.

Damit dieser Vorgang ordnungsgemäß ablaufen kann, benötigt Quartus eine Information über den Speicher-Chip, den die Hardware als Konfigurationsspeicher verwendet. In diesem Fall handelt es sich um einen Speicher-Chip vom Typ EPROM4. Die Einstellung nehmen Sie auf der Karteikarte *Configuration* so vor, wie es das folgende Bild zeigt:



Zum Schluss müssen Sie noch auf der Karteikarte *Voltage* eine Änderung vornehmen. Diese Einstellung legt den I/O-Standard fest, mit dem der FPGA über seine I/O-Leitungen mit der Außenwelt kommuniziert. Stellen Sie hier *LVCMOS* ein, was für "Low-voltage-CMOS" (Betriebsspannung 3,3 V) steht. Danach kann das Fenster durch einen Klick auf *OK* geschlossen werden. Das darunter liegende Fenster, das nun wieder sichtbar ist, schließen Sie ebenfalls durch einen Klick auf *OK*.

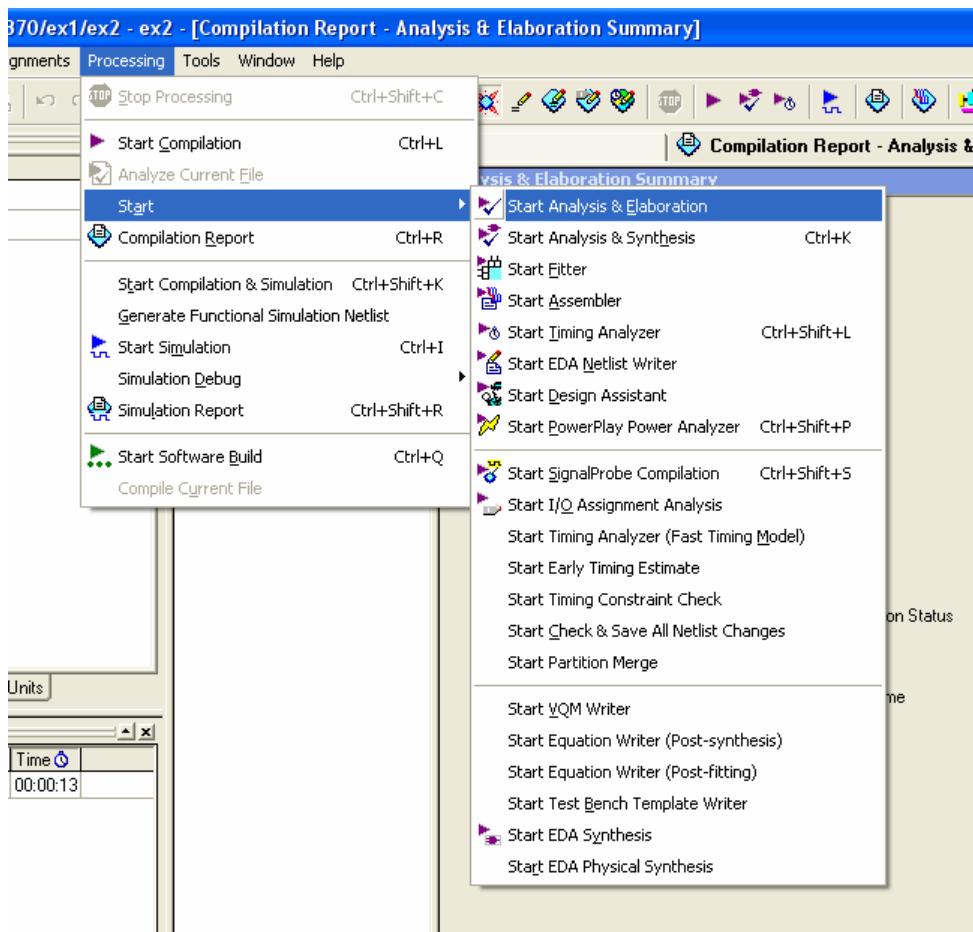


9. Eingänge und Ausgänge der Schaltung mit FPGA-Anschlüsse verbinden

Vor den nächsten Schritten muss die Grafik auf der Festplatte gespeichert werden. Klicken Sie dazu im Menü *File* auf *Save*. Obwohl die erstellte Schaltung bereits mit Eingängen und Ausgängen versehen ist, muss Quartus erst noch einen Schritt durchlaufen, um zu erkennen, dass diese Eingänge und Ausgänge mit FPGA-Anschläßen verbunden werden müssen.

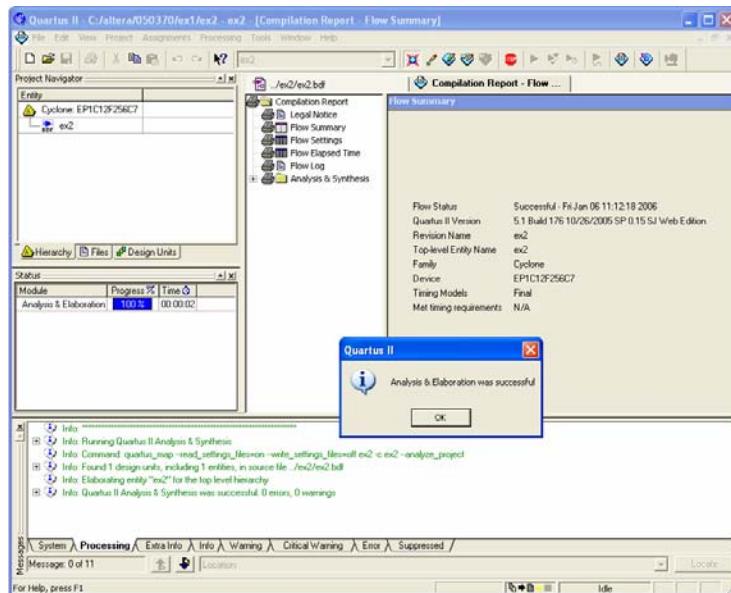
Der Grund dafür ist eine Eigenschaft von Quartus, die es möglich macht, Schaltungsgrafiken hierarchisch aufzubauen. In der Praxis bedeutet dies, dass eine Grafik aus mehreren, voneinander unabhängigen Dateien bestehen kann. Quartus benötigt zuerst eine Information darüber, welche Datei die Hauptdatei ist (Top-level entity). Im vorliegenden Fall wurde dies bereits beim Starten des Projekts festgelegt. Im unteren Eingabefeld des Fensters "New Project Wizard: Directory, Name, Top-level Entity [page 1 of 5]" (siehe erstes Bild in Schritt 2 dieser Anleitung) ist "ex2" eingetragen.

Quartus muss zuerst erkennen, in welcher Weise das Projekt hierarchisch aufgebaut ist und was mit den diversen Eingängen und Ausgängen geschehen soll. Dazu muss Quartus das Projekt und seine Details analysieren. Wählen Sie im Menü *Processing* die Option *Start*. In dem Menü, dass dann erscheint, wählen Sie *Start Analysis & Elaboration*.

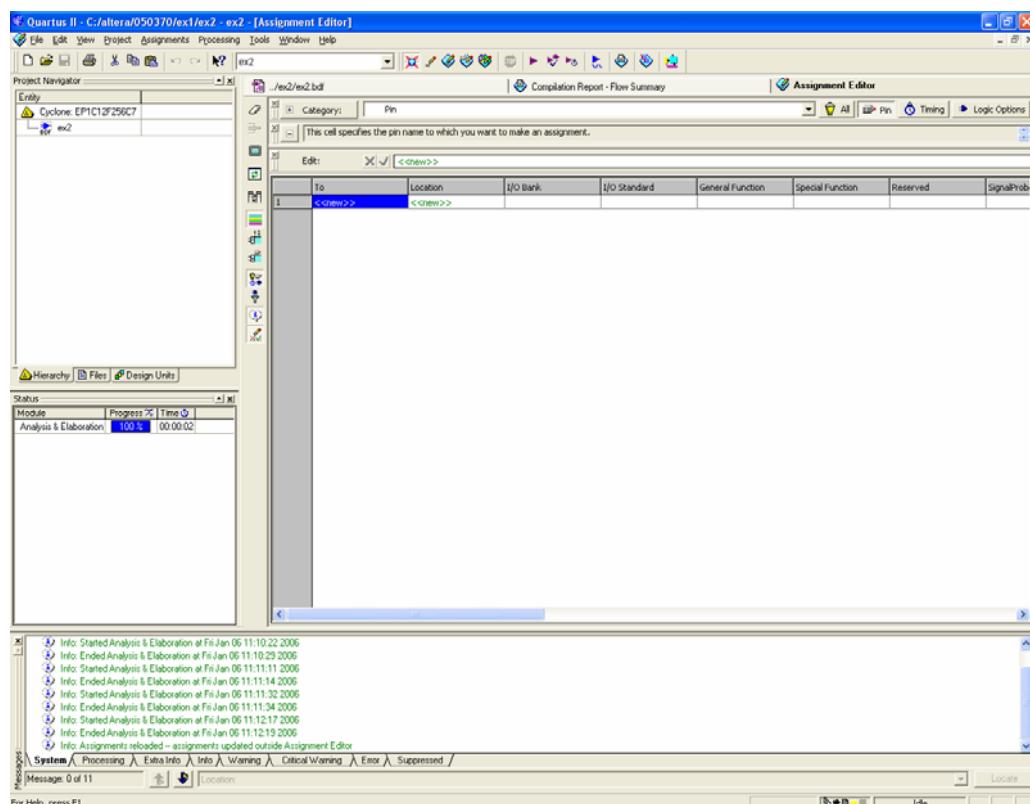


Quartus analysiert nun das Projekt und teilt es in kleinere, für Quartus leichter handhabbare Teilstücke auf. Nachdem dies geschehen ist, erscheint ein Fenster mit einer Status-Meldung.

Wenn Quartus als Status-Information eine Fehlermeldung ausgibt, muss die erstellte Grafik auf Fehler überprüft werden. In der Regel weist die Fehlermeldung auf die Art des Fehlers hin, so dass der Fehler gezielt gesucht werden kann.



Nachdem Quartus das Projekt erfolgreich analysiert hat, können die Eingänge und Ausgänge mit den dafür vorgesehenen I/O-Anschlüssen des FPGA verbunden werden. Dies (und anderes mehr) wird mit dem "**Assignment Editor**" durchgeführt. Damit der Assignment Editor erscheint, wählen Sie im Menü **Assignments** die Auswahl *Pins*.



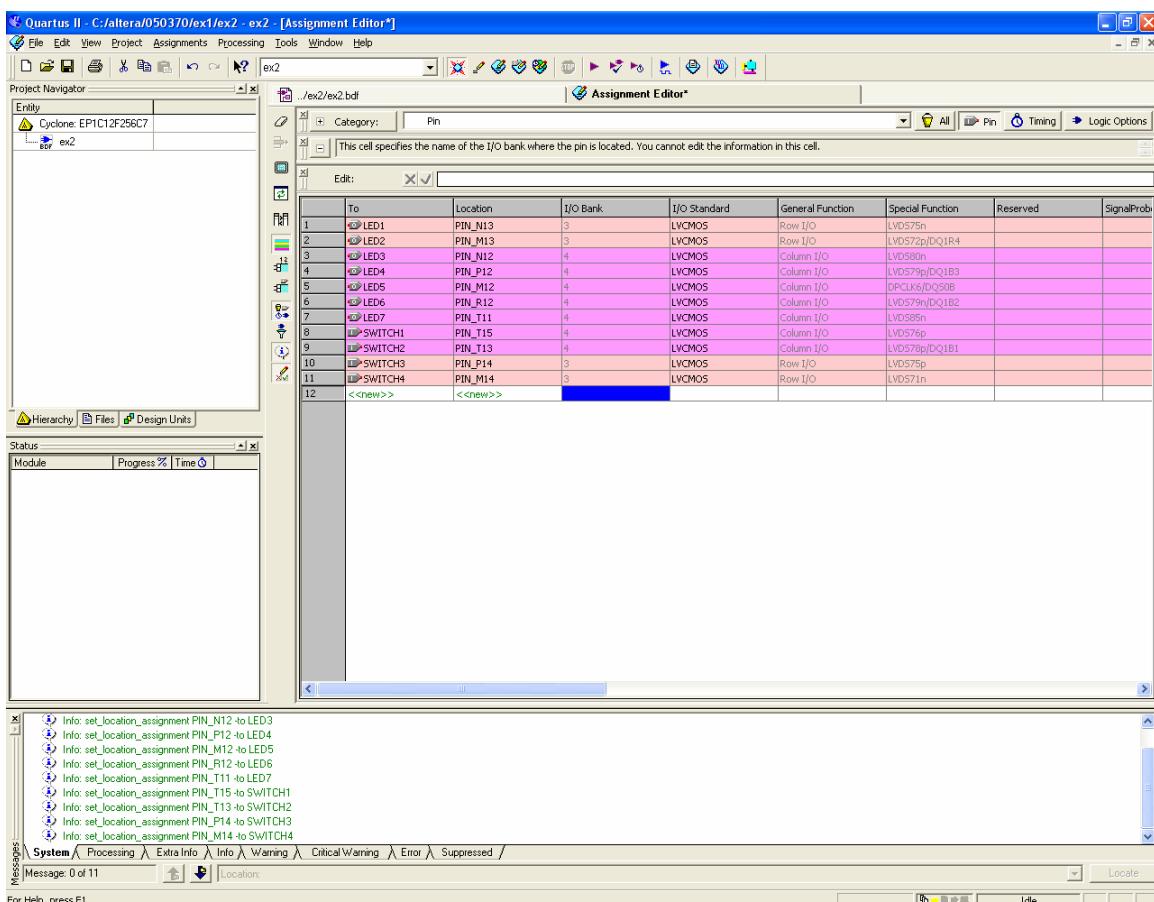
In dem nun geöffneten Fenster sind im Hauptteil verschiedene Spalten eingerichtet. Bei diesem Projekt sind nur die ersten beiden Spalten (links) von Bedeutung. In ein Feld der ersten Spalte kann der Name eines Signals eingetragen werden, in der zweiten Spalte wird angegeben, an welchen FPGA-Anschluss dieses Signal gelegt werden soll. Doppelklicken Sie in der ersten Spalte auf das Feld, in dem <<new>> steht, so dass eine Liste mit sämtlichen verfügbaren Signalen erscheint. Wählen Sie zuerst **LED1** aus und doppelklicken Sie dann auf das zugehörige Feld in der zweiten Spalte. In der jetzt erscheinenden Liste wählen Sie **PIN_N13** aus.

Quartus hat nun die Information erhalten, dass Ausgangsleitung **LED1** der grafisch erstellten Logik-Schaltung mit I/O-Anschluss N13 des FPGA verbunden werden soll. Quartus trägt ferner noch einige andere Daten in weitere Felder ein, deren Bedeutungen hier jedoch weniger von Interesse sind. Zum Beispiel hat Quartus in Spalte 4 als I/O-Standard **LVCMS** eingetragen, so wie Sie es im Verlauf des vorangegangenen Schritts fest gelegt haben.

Die übrigen Schaltungseingänge und Schaltungsausgänge müssen mit den zugehörigen FPGA-I/O-Leitungen nach dem gleichen Verfahren entsprechend folgender Tabelle verbunden werden:

LED1	PIN_N13
LED2	PIN_M13
LED3	PIN_N12
LED4	PIN_P12
LED5	PIN_M12
LED6	PIN_R12
LED7	PIN_T11
SWITCH1	PIN_T15
SWITCH2	PIN_T13
SWITCH3	PIN_P14
SWITCH4	PIN_M14

Nachdem dies geschehen ist, sieht das Fenster des **Assignment Editor** ungefähr wie folgt aus:



Speichern Sie diese Einstellungen auf der Festplatte, indem Sie im Menü *File* auf *Save* klicken.

10. Compilieren

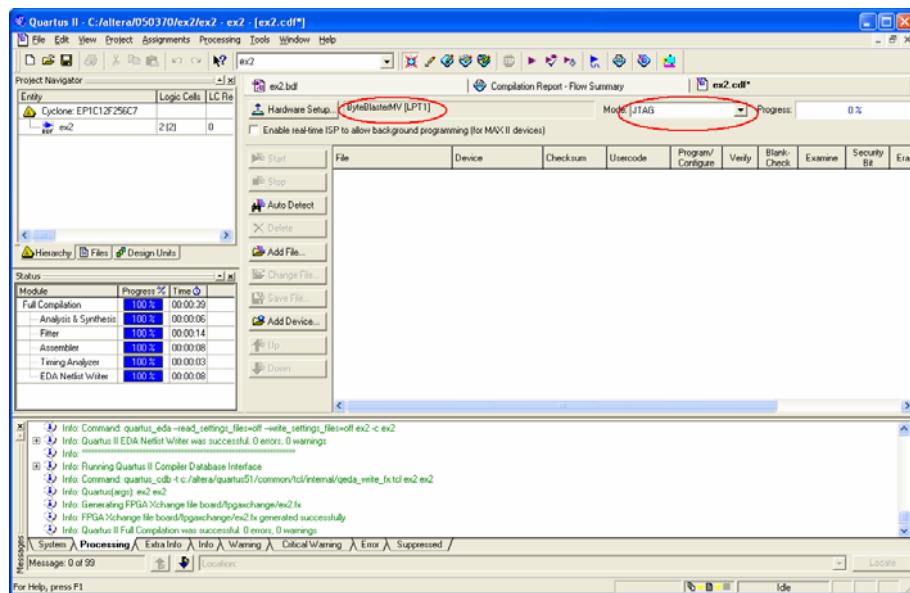
Das Projekt ist jetzt so weit vorangeschritten, dass die Programm-Dateien compiliert werden können. Gehen Sie zum Menü *Processing* und klicken Sie auf *Start compilation*. Quartus generiert nun aus der grafischen Darstellung der Schaltung eine Datei, mit der Sie den FPGA über die JTAG-Schnittstelle direkt programmieren können. Wenn diese Datei in den nicht flüchtigen Konfigurationsspeicher geladen wird, bleibt die Programmierung auch nach Abschalten der Betriebsspannung erhalten. Nachdem die Meldung erschienen ist, dass die Compilierung erfolgreich durchgeführt wurde, kann der nächste Schritt folgen.

11. Programmieren

Bevor Sie mit dem Programmieren beginnen, müssen Sie in Quartus das Programmier-Interface installieren. Die Installation wird in der Anleitung beschrieben, die Sie zusammen mit der FPGA-Unit (mit Programmier-Interface) erhalten haben. Nach der Installation fahren Sie wie folgt fort:

Stecken Sie die FPGA-Unit auf den dafür vorgesehenen Steckverbinder der FPGA-Experimentierplatine auf. Schließen Sie die Stromversorgung an. Stecken Sie das Kabel des Programmierinterface in den JTAG-Steckverbinder der FPGA-Unit.

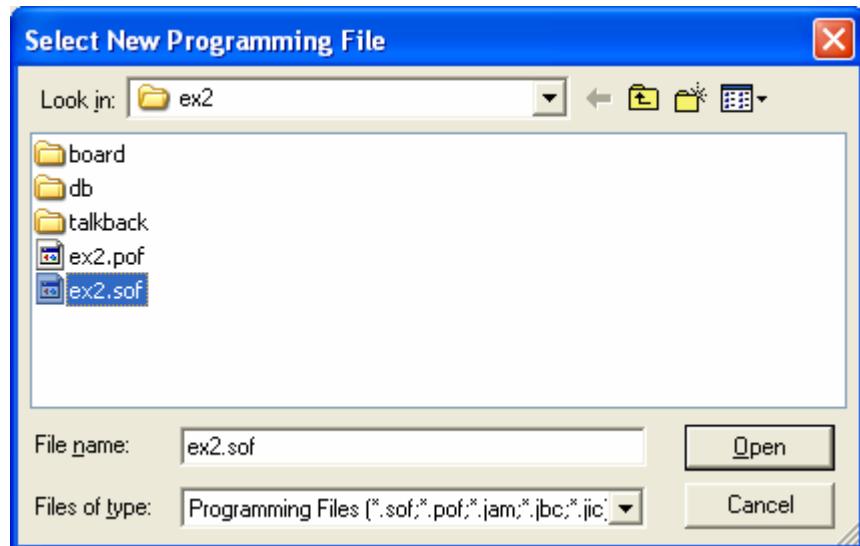
Gehen Sie in Quartus zum Menü *Tools* und klicken Sie auf *Programmer*. Auf dem Bildschirm muss nun folgendes Fenster erscheinen:



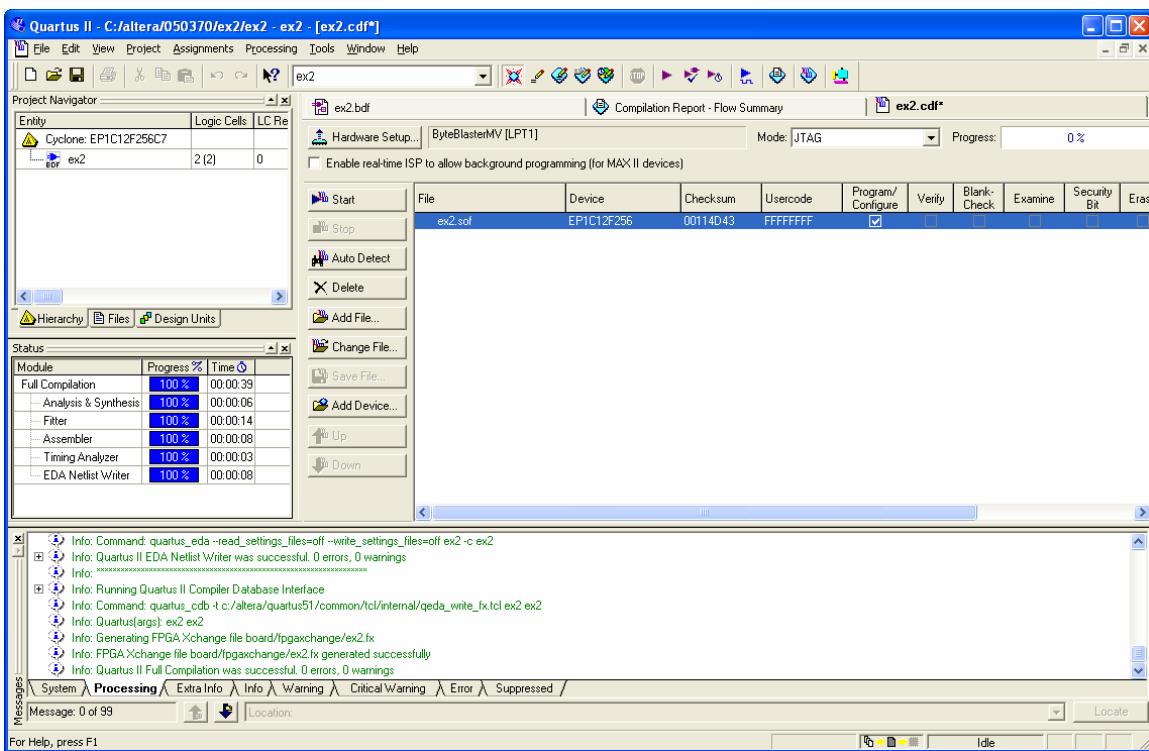
Als Nächstes kontrollieren Sie, ob die Betriebsspannung an der FPGA-Experimentierplatine anliegt. Das ist leicht daran zu erkennen, dass LED D6 (neben der Sicherung) kontinuierlich aufleuchtet. Sorgen Sie dafür, dass Quartus im JTAG-Modus arbeitet (siehe letztes Bild).

Klicken Sie nun auf *Auto Detect*. Quartus versucht daraufhin, über das Programmier-Interface zu erkennen, mit welchen Chips die JTAG-Schnittstelle verbunden ist. In diesem Fall erkennt Quartus einen FPGA des Typs EP1C12F256C7 (oder EP1C12). Die Typenbezeichnung erscheint im Fenster in der Spalte **Device**.

In der Spalte **File**, links neben **Device**, ist nun **<none>** eingetragen. Damit zeigt Quartus an, dass Sie noch keine Information über die Datei eingegeben haben, mit der Sie den FPGA programmieren wollen. Doppelklicken Sie auf **<none>**, so dass sich das Fenster für die Eingabe des Datei-Namens öffnet. Wählen Sie aus der Liste *ex2.sof* aus.



In der Spalte **Program/Configure** können Sie angeben, ob der FPGA mit dieser Datei programmiert werden soll. Das soll natürlich geschehen, denn das ist das Ziel der bisherigen Bemühungen. Deshalb müssen Sie diese Option aktivieren.



Klicken Sie nun auf *Start*, damit Quartus den FPGA programmiert oder auch "konfiguriert", beide Begriffe haben hier gleiche Bedeutung. Wenn die Programmierung beendet ist, zeigt die Status-LED auf der FPGA-Unit an, dass der FPGA konfiguriert ist. Von diesem Zeitpunkt an ist das Projekt (die grafisch erstellte Logik-Schaltung) im FPGA realisiert. Betätigen Sie die Taster 1 bis 4 auf der Experimentierplatine. Abhängig von den Schaltzuständen der Taster leuchten die LEDs 1...7 auf. Die Taster-Funktionen müssen mit den Funktionen übereinstimmen, die auf Grund der grafisch erstellten Logik-Schaltung zu erwarten sind.

12. Schlussbemerkung

Das Durcharbeiten der zugehörigen Beiträge in unserer monatlich erscheinenden Elektronik-Zeitschrift ELEKTOR wird Ihre Kenntnisse über den FPGA und Quartus weiter vertiefen. Dort werden Sie vermutlich entdecken, dass einige Schritte in dieser Anleitung übersprungen werden können. Sie werden auch erfahren, wie Sie ein Projekt in VHDL entwickeln können (eine Art Programmiersprache, aber doch wieder etwas anders...). Ferner wird an verschiedenen Beispielen gezeigt, dass das Entwickeln von Schaltungssystemen mit der modernen FPGA-Technologie eine im Grunde unkomplizierte Sache ist.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß, und viel Erfolg!