

Projektarbeit Schaltungsentwurf

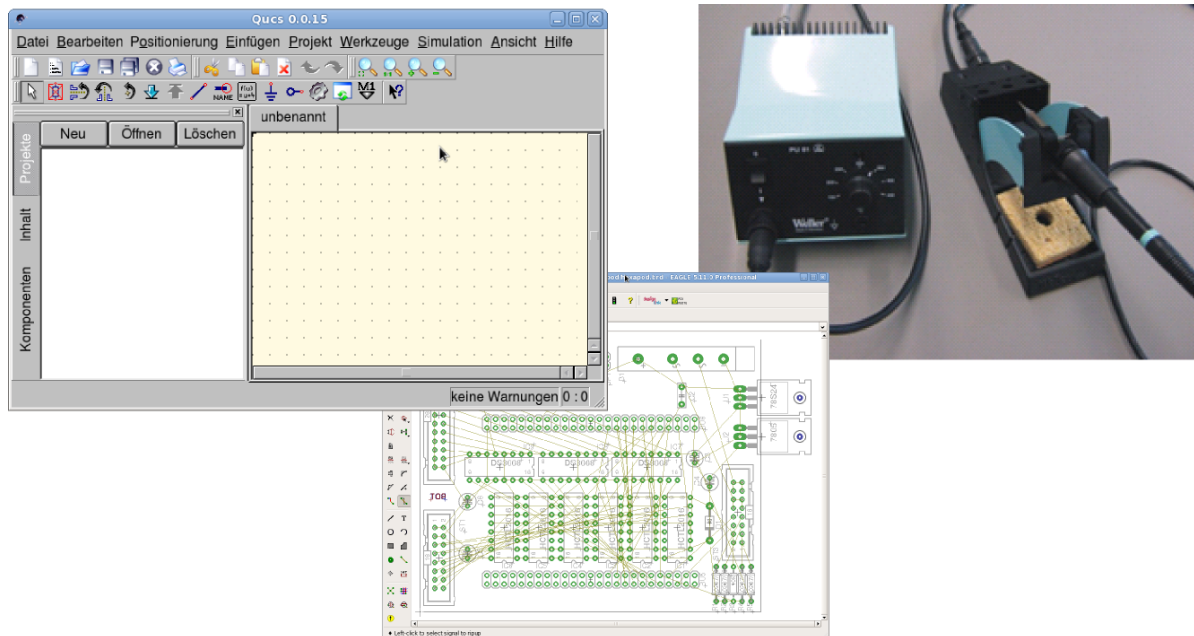
SS 2013

Institut für Mikroelektronische Systeme

Fachgebiet Architekturen und Systeme

Prof. Dr.-Ing. H. Blume

PC-Oszilloskop





IMS

Institut für Mikroelektronische Systeme



Leibniz
Universität
Hannover



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
1 Einführung.....	1
2 Qucs.....	3
2.1 Qucs-Projekte.....	3
2.2 Schematic.....	4
2.2.1 Simulationsmodi.....	6
2.2.2 Datenvisualisierung.....	7
3 EAGLE.....	9
3.1 Grundlegendes über EAGLE.....	10
3.2 Wichtige Befehle.....	11
3.3 Der Projektbrowser Control Panel.....	12
3.4 Erstellen eines neuen Schaltplans (Schematic).....	13
3.5 Erstellen eines neuen Board-Layouts.....	15
3.6 Hinweise zum Platinenentwurf mit EAGLE.....	18
3.6.1 Platzierung.....	18
3.6.2 Leiterbahnen.....	18
3.6.3 Bauteil-Bibliotheken.....	18
3.6.4 Bestückung.....	19
3.6.5 Design Rules.....	19
3.6.6 Gehäuse.....	19
4 Löt-Tutorium.....	21
4.1 Grundlagen.....	21
4.2 Werkzeug.....	21
4.3 Arbeitsvorbereitung.....	22
4.4 Arbeitsschritte.....	23
4.4.1 Hinweise.....	23
4.5 Entlöten.....	24
5 Anhang.....	27
Befehlsübersicht Qucs.....	27
Befehlsübersicht EAGLE.....	27
Abbildungsverzeichnis.....	30
Tabellenverzeichnis.....	31



IMS

Institut für Mikroelektronische Systeme



Leibniz
Universität
Hannover



1 Einführung

Dieser Umdruck enthält Anleitungen zu den im Projekt Schaltungsentwurf verwendeten Entwurfswerkzeugen und Arbeitsschritten. Er dient als Ergänzung zum ebenfalls zur Verfügung gestellten Umdruck. Es wird empfohlen, die angebotenen Anleitungen aufmerksam durchzulesen.

In Kapitel 2 wird die Bedienung der Schaltungssimulationssoftware Qucs, Quite Universal Circuit Simulator, beschrieben, in Kapitel 3 die ECAD-Software EAGLE, Einfach Anzuwendender Graphischer Layout Editor. Kapitel 4 enthält ein kurzes Tutorium zum Löten, einem Fertigungsverfahren mit dem Leiterplatten bestückt werden.



IMS

Institut für Mikroelektronische Systeme



Leibniz
Universität
Hannover

2 Qucs

Die Software Qucs, Quite Universal Circuit Simulator, ist ein plattformunabhängiges Programm zur Simulation analoger und digitaler Schaltungen. Die Software ist quelloffen, erscheint unter der GNU General Public License und kann unter <http://qucs.sourceforge.net/> kostenlos heruntergeladen werden. Die Software besteht aus mehreren verschiedenen Komponenten. Die für das Projekt wichtigsten sind:

- Die graphische Benutzeroberfläche für das Anlegen und Verwalten von Schaltplänen bereitstellt
- Das Simulationsbackend, das ähnlich wie SPICE, Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis, aus einer Netzliste die Simulationsergebnisse berechnet
- Die Komponentenbibliothek, die Simulationsmodelle für elektronische Bauteile zur Verfügung stellt

Qucs zeichnet sich durch einfache Bedienbarkeit aus und stellt einen guten Einstieg in den Bereich der Schaltungssimulationswerkzeuge dar. Im Folgenden sollen die wichtigsten Funktionen der Software kurz erläutert werden.



Abbildung 2.1: Qucs Logo

2.1 Qucs-Projekte

Über das Menü *Projekt* → *Neu* kann ein neues Qucs-Projekt angelegt werden. Ein Projekt besteht aus verschiedenen Dateien wie Schaltplänen, Datensätzen usw. Diese können im Reiter *Inhalt* des Projektbrowsers verwaltet werden können.

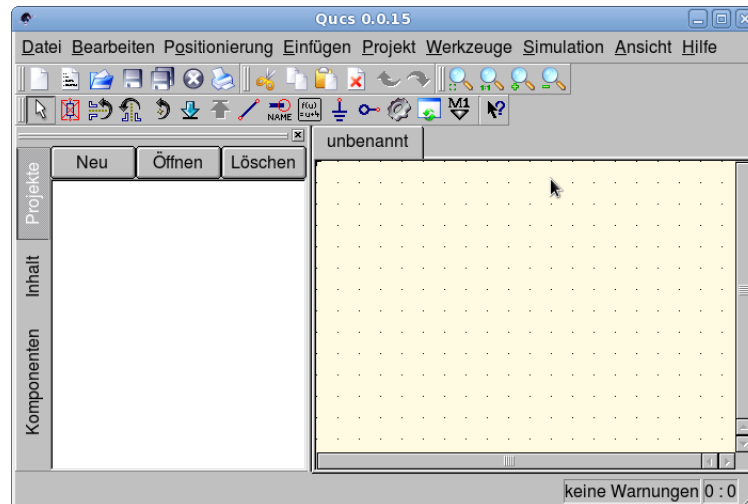


Abbildung 2.2: Hauptbildschirm

Suffix	Bedeutung
G	$\cdot 10^9$
M	$\cdot 10^6$
k	$\cdot 10^3$
m	$\cdot 10^{-3}$
u	$\cdot 10^{-6}$
n	$\cdot 10^{-9}$
p	$\cdot 10^{-12}$
f	$\cdot 10^{-15}$

Tabelle 2.1: Einheitensuffixe in Qucs

Die für dieses Projekt wichtigsten Qucs-Dateitypen sind:

- **Schaltpläne (*.sch):** Die graphische Repräsentation einer zu simulierenden Schaltung, die mit der Qucs-GUI erstellt wurde
- **Datenvisualisierungen (*.dpl):** Die Visualisierung von Ergebnissen einer Qucs-Backend-Simulation, die ebenfalls mit der Qucs-GUI verwaltet und ausgewertet werden kann

2.2 Schematic

Um einen Schaltplan anzulegen, können Standardkomponenten aus dem Komponenten-Browser ausgewählt und per Drag&Drop auf dem Bildschirm platziert werden. Durch Doppelklick auf eine platzierte

Komponente können ihre Parameterwerte verändert werden. Dabei können die in Tabelle 2.1 angegebenen Einheitensuffixe verwendet werden. Alternativ kann ein Wert $y \cdot 10^x$ in der Schreibweise yeX angegeben werden, $2.4e-2$ entspricht beispielsweise $2.4 \cdot 10^{-2}$.

Sollen in einem Schaltplan Bauteile verwendet werden, die unter den im Komponentenbrowser vorhandenen Standardkomponenten nicht zu finden sind, so kann die Komponentenbibliothek im Menü mit *Werkzeuge* → *Komponentenbibliothek* aufgerufen werden. Dort steht eine Vielzahl weiterer Bauteile verschiedener Ausführungen, z.B. Transistoren mit verschiedenen Kennlinien, zur Verfügung. Die Verdrahtung zwischen Komponenten kann anschließend mit der Schaltfläche *Draht* durchgeführt werden. Sollen Ströme oder Spannungen an bestimmten Knoten der Schaltung nach Durchführung einer Simulation visualisiert werden, so können Abschnitte der Verdrahtung mittels der Schaltfläche *Verbindungsbezeichnung* oder Doppelklick auf eine Verdrahtung benannt werden.

Wurde ein Knoten auf diese Art benannt, so stehen folgende Größen zur Visualisierung abhängig vom Typ der durchgeführten Simulation, zur Verfügung, siehe Kapitel 2.2.1.

Simulationstyp	Potential des Knotens (<i>name</i>)	Strom durch das Bauteil (<i>name</i>)
DC-Simulation	<i>name.V</i>	<i>name.I</i>
AC-Simulation	<i>name.v</i>	<i>name.i</i>
Transienten-Simulation	<i>name.Vt</i>	<i>name.It</i>

Tabelle 2.2: Bezeichnung von Potential und Strom im Bezug zum Simulationstyp

Knotenpotentiale werden immer in Bezug zu einem Bezugspotential angegeben. Dieses kann mit der Schaltfläche *Masse einfügen* festgelegt werden. Für jede zu simulierende Schaltung muss ein Massepotential festgelegt werden.

Um verschiedene Größen einer Schaltung miteinander zu verrechnen, können einem Schematic Gleichungen über die Schaltfläche *Gleichung einfügen* hinzugefügt werden. Durch Doppelklick auf das Gleichungsobjekt kann dieses editiert werden. Variablen, die von Gleichungen erzeugt werden, können dann visualisiert oder wiederum in Gleichungen sowie für die Dimensionierung von Bauteilen verwendet werden. Qucs stellt in Gleichungen eine Vielzahl von Funktionen zur Verfügung. Eine Funktionsreferenz findet sich unter *Hilfe* → *Hilfeindex* → *Kurze Beschreibung der mathematischen Funktionen*.

2.2.1 Simulationsmodi

Qucs bietet verschiedene Simulationsmodi an. Eine Simulation kann über die Sektion *Simulationen* im Komponenten-Browser in einen Schematic gezogen werden. Durch Betätigen der Schaltfläche *Simulieren* wird die Simulation durchgeführt.

Wurden mehrere Simulationen in einem Schematic platziert, so werden diese unabhängig voneinander durchgeführt. Die Simulationsergebnisse können dann nebeneinander in einer *.dpl- Datei visualisiert werden. Zur Durchführung von Simulationen ist für jedes Bauteil ein mathematisches Modell, meist ein System von Differentialgleichungen, hinterlegt. Eine Simulation wird von der Software durchgeführt, indem aus den mathematischen Modellen ein Gleichungssystem aufgestellt wird. Abhängig vom Simulationsmodus wird dieses anschließend gelöst. Die für das Projekt wichtigsten Simulationsmodi werden im Folgenden erläutert.

DC-Simulation

Bei der *DC-Simulation* handelt es sich um eine einfache Gleichstromsimulation, d.h. Potentiale und Ströme werden nach den Rechenregeln für Gleichstromnetzwerke berechnet. Das Netzwerk wird dabei im eingeschwungenen Zustand betrachtet. Dynamische Vorgänge wie beispielsweise Lade- und Entladevorgänge werden nicht berücksichtigt. Insbesondere bedeutet das für die Durchführung der Simulation:

- Spulen und Wechselspannungsquellen werden durch Kurzschlüsse ersetzt
- Kondensatoren und Wechselstromquellen werden durch Leerläufe ersetzt

AC-Simulation

Bei der *AC-Simulation* werden Betrag und Phase aller Potentiale und Ströme mit der komplexen Wechselstromrechnung ermittelt. Dabei werden alle Quellen wie Sinusquellen gleicher Frequenz behandelt. Die Frequenz aller Quellen wird im Verlauf der Simulation schrittweise erhöht. Start- und End-Wert sowie Anzahl der Schritte können der Simulation als Parameter übergeben werden. DC-Quellen werden wie folgt behandelt:

- Gleichspannungsquellen werden durch Kurzschlüsse ersetzt
- Gleichstromquellen werden durch Leerläufe ersetzt

Damit ermöglicht es dieser Simulationstyp, die Frequenzabhängigkeit von Schaltungen durch einen Frequenz-Sweep zu analysieren, und ist daher unter anderem für die Analyse von Filtern geeignet.

Transienten-Simulation

Bei der *Transienten-Simulation* werden die Differenzialgleichungen, die die Schaltung beschreiben, in festgelegten Zeitschritten berechnet. Werte, die zwischen diesen Zeitschritten liegen, werden linear interpoliert. Im Parameterdialog der Simulation lassen sich sowohl Start- als auch Endzeitpunkt als auch die Anzahl der Schritte zwischen diesen Zeitpunkten festlegen.

2.2.2 Datenvisualisierung

Nach Ausführung einer Simulation öffnet sich in Qucs automatisch ein neuer Tab, welcher eine Datenvisualisierung enthält. Es können verschiedene Diagramme ausgewählt werden, um die im Verlauf der Simulation berechneten Daten anzeigen zu lassen. Die für das Projekt wichtigsten Visualisierungsinstrumente sind die *Tabelle* und der mit *Kartesisch* bezeichnete Graph. Die Darstellung der Daten erfolgt dabei abhängig von der durchgeführten Simulation:

- Eine DC-Simulation ergibt für jede Größe einen einzelnen Wert, hier bietet sich die Tabelle als Visualisierung an.
- Eine AC-Simulation ergibt Werteverläufe über der Frequenz.
- Eine Transienten-Simulation ergibt Werteverläufe über der Zeit.



IMS

Institut für Mikroelektronische Systeme



Leibniz
Universität
Hannover

3 EAGLE

Für den Entwurf eines PCB-Leiterplattenlayouts bedient man sich Software-Werkzeugen, die als EDA- (Electronic Design Automation) oder ECAD-Programme (Electronic Computer Aided Design) bezeichnet werden. Diese Software-Tools bieten Designhilfen für den Entwurf elektronischer Systeme und speziell für das Anordnen von Bauteilen und Verlegen von Leiterbahnen auf Platinen an („Place & Route“).

Grundlage jeder ECAD-Applikation ist ihre Bauteilbibliothek, die alle im Schaltplan verwendeten Bauteile enthalten muss. Bauteile, die in einer Schaltung verwendet werden sollen, sich jedoch nicht in der Bauteilbibliothek befinden, müssen neu angelegt werden. Die Bauteilbibliothek muss mindestens die Informationen in Tabelle 3.1 für jedes enthaltene Bauteil zur Verfügung stellen.



Schematic	Board-Layout
	
Schaltsymbol	Geometrische Abmessungen
Anzahl der Anschlüsse (Pins)	Größe der benötigten Pads für THT ¹ und SMD ² Montage
Name des Bauteils	Geometrische Lage der Pins
	Durchmesser der benötigten Bohrung

Tabelle 3.1: Benötigte Informationen für die Bauteilbibliothek

Weitere Informationen über Bauteile wie der Bauteilname, Pinbezeichnungen, -nummern, Bauteilwerte oder -beschreibungen können ebenfalls in der Bauteilbibliothek festgehalten werden. Stehen für ein Bauteil in verschiedenen Gehäusen (englisch Package) zur Verfügung, so werden diese üblicherweise in der Bauteilbibliothek zur Auswahl angeboten.

¹Through-Hole-Technology: Verbindungstechnik, bei welcher die Anschlussdrähte der Bauteile durch die Platine gesteckt und verlötet werden

²Surface-Mounted Device: Die Bauteile besitzen keine Drahtanschlüsse sondern werden mittels lötfähiger Anschlussflächen direkt auf die Platine gelötet.

In diesem Labor soll die Software EAGLE (Einfach Anzuwendender Graphischer Layout Editor) der Firma CadSoft verwendet werden. EAGLE kann in einer Freeware-Version kostenlos heruntergeladen werden, diese ist mit einer Reihe von Beschränkungen belegt, unter anderem eine maximale Platinengröße von 100mm x 80mm sowie maximal zweilagige Platinen.

3.1 Grundlegendes über EAGLE

Viele CAD-Systeme, darunter auch EAGLE, verwenden zur Darstellung von Layoutelementen Zeichenebenen, so genannte „Layer“. Es existieren Layer z.B. für die Verdrahtung auf der Oberseite, für die Beschriftung, die auf der Platine aufgetragen werden soll, für den Umriss der Bauelemente oder für die Pads (Kontaktflächen), in denen später die Pins der Bauelemente eingelötet werden.

Nr.	Name	Beschreibung	Farbe
1	Top	Leiterbahn oben	Rot
16	Bottom	Leiterbahn unten	Blau
17	Pads	Lötpads	Grün
18	Vias	Durchkontaktierungen	Grün
19	Unrouted	Luftlinien	Ocker
20	Dimension	Bemaßungen	Weiß
21	tPlace	Bauteilumrisse oben	Grau
22	bPlace	Bauteilumrisse unten	Grau
25	tNames	Bauteilbezeichnung oben	Grau
26	bNames	Bauteilbezeichnung unten	Grau
27	tValues	Bauteilwert oben	Grau
28	bValues	Bauteilwert unten	Grau
44	Drills	Bohrsymbole	Grau
45	Holes	Befestigungsbohrungen	Grau

Tabelle 3.2: Layer-Ebenen von EAGLE

Die Aufgliederung in verschiedene Layer hat zur Folge, dass EAGLE eine gezeichnete Linie, je nachdem in welchem Layer diese Linie gezeichnet wurde, unterschiedlich interpretiert: als Leiterbahn, als Bestückungsdruck oder als Rand des Plastikgehäuses eines ICs. Die Layer ordnen den gezeichneten geometri-

schen Formen erst eine physikalische Bedeutung zu. Der Übersichtlichkeit halber werden die unterschiedlichen Layer auf dem Bildschirm in verschiedenen Farben dargestellt. Verschiedene Layer lassen sich mit dem Befehl *DISPLAY* ein- und ausblenden.

Die Zeichen- bzw. Layoutfläche innerhalb von EAGLE ist in ein Raster eingeteilt. Dieses Raster bestimmt die Schrittweite, in der Leitungen verlegt oder Bauteile platziert werden können. Es ist standardmäßig auf 50 mil (1000 mil = 1 Zoll) eingestellt, da die meisten Bauteile und deren Fassungen in ihren Abmaßen auf ein ganzzahliges Vielfaches dieses Wertes genormt sind. Man sollte die Rastereinteilung nur verkleinern, wenn es sich nicht vermeiden lässt. Ein zu klein gewähltes Raster kann schnell zu Verdrahtungs- und Platzierungsschwierigkeiten führen, die nur aufwendig zu beheben sind. Rastereinstellungen lassen sich in der Menüleiste unter *View* → *Grid* einstellen. EAGLE lässt sich grundsätzlich in 3 verschiedenen Varianten bedienen.

Die verfügbaren Befehle können über die Kommandozeile eingegeben, aus der Menüleiste ausgewählt oder durch die Schaltflächen der Symbolleisten aktiviert werden. Die für die Kommandozeile gültigen Kommandos werden im Folgenden dadurch gekennzeichnet, dass sie in GROSSBUCHSTABEN geschrieben sind. Wird ein Befehl ausgewählt, so werden weitere spezifische Schaltflächen im oberen Bildschirmbereich eingeblendet, mit denen ein Befehl konkretisiert werden kann. Für den Befehl *WIRE*, mit dem Linien erzeugt werden, kann z. B. die Stärke oder das Layer, in dem die Linie liegen soll, über diese zusätzlichen Schaltflächen gewählt werden. Nach Auswahl einer Aktion sollte daher stets auf die zusätzlich eingeblendeten Schaltflächen geachtet werden. Außerdem werden häufig in der Statusleiste am unteren Rand des Fensters wichtige Informationen angezeigt. Wurde ein Befehl aktiviert, so kann er über einen Linksklick auf ein Element im Editor angewendet werden. Dieses Prinzip gilt für annähernd alle Schaltflächen.

3.2 Wichtige Befehle

Die folgenden wichtigen Befehle finden sich in den beiden Editoren des Programmpakets, Schaltplan- wie auch Layouteditor, wieder.

- **Verschieben/Bewegen von Elementen:** Dies kann über den *MOVE*-Befehl realisiert werden. Im Bewegungsmodus können Elemente mit der rechten Maustaste in 90°-Schritten gedreht werden.
- **Löschen/Entfernen von Elementen:** Der *DELETE*-Befehl kann hierfür verwendet werden.
- **Einfügen vorgefertigter Elemente:** Über den *ADD*-Befehl wird der Bauteilbibliotheksbrowser geöffnet, in dem neue Elemente gewählt werden und in den Editor eingefügt werden können.
- **Benennung von Elementen:** Elementen kann durch den *NAME*-Befehl eine Bezeichnung verliehen werden. Zum einen soll diese zu mehr Übersichtlichkeit führen. Zum anderen führt bei der Benennung von Leitungen der gleiche Name dazu, dass diese Leitungselemente in EAGLE als

elektrisch verbunden gelten, obwohl sie im Schaltplan gar nicht verbunden sind. Das klassische Beispiel dazu ist die Masse-Leitung.

- **Zoomen und Darstellung:** Zoom IN, Zoom OUT und Zoom FIT erklären sich sicher von selbst. Mit SELECT lässt sich ein Bereich eingrenzen, in den hinein gezoomt wird. Die Funktion REDRAW zeichnet den Bildschirminhalt neu. Dies ist bei EAGLE häufig notwendig (Hotkey „F2“).
- **Elemente hervorheben:** Dies geschieht über den SHOW-Befehl, der das ausgewählte Element oder die Gruppe in einer helleren Farbe darstellt. Besonders hilfreich ist der Befehl beim Verdrahten, weil sich dadurch alle die Anschlusspunkte hervorheben lassen, die zu einem Potential gehören (z.B. V_{cc}).
- **Informationen über Elemente anzeigen:** Der INFO-Befehl öffnet ein Fenster mit Details über das angewählte Element. Dort finden sich z.B. die genaue Bezeichnung von Bauelementen oder die Bibliothek, aus der das Element stammt.
- **Ändern bestimmter Eigenschaften von Elementen:** Der CHANGE-Befehl klappt eine Auswahl auf, in der festzulegende Eigenschaften ausgewählt werden können. Dort findet sich z.B. die Eigenschaft „Width“, unter der ein Wert ausgewählt werden kann. Das Anwenden auf ein Element des Editors durch Linksklick würde nun die Breite des Elementes, meist Leitungen, auf den ausgewählten Wert ändern. Die tatsächliche Auswirkung der Änderung einer Eigenschaft hängt unter Umständen vom Element ab, auf das die Änderung angewendet wird, und nicht alle Änderungen zeigen bei allen Elementen überhaupt eine Wirkung.
- **Gleichzeitiges Anwenden eines Befehls auf mehrere Elemente:** Nach dem Aktivieren des GROUP- Befehls kann durch Ziehen der Maus eine zu gruppierende Menge von Elementen bestimmt werden. Ein nun ausgewählter Befehl kann auf ganze Gruppe angewendet werden. Nachdem man die zu verschiebenden Elemente mit der GROUP-Funktion gruppiert hat, kann man z.B. den MOVE-Befehl auswählen, um die Gruppe zu bewegen. Den Befehl für die Gruppe führt man nun durch Rechtsklick und „Move Group“ im Kontextmenü aus. Alternativ kann dies auch durch Festhalten der Strg-Taste und Rechtsklick auf eines der gruppierten Elemente ausgeführt werden.
- **Ebenen ein-/ausblenden:** Durch Ausführen des DISPLAY-Befehls wird ein Fenster geöffnet, in dem alle für den jeweiligen Editor verfügbaren Layer angezeigt werden. Hier können die einzublendenden Layer ausgewählt bzw. ausgeblendet werden.

3.3 Der Projektbrowser Control Panel

Ein zentrales Element des Programmpaketes EAGLE bildet der Projektbrowser „Control Panel“. Von dort aus können alle anderen Editoren geöffnet werden. Man kann Schaltpläne, Board-Layouts und Bibliotheken, in denen Bauteilinformationen zu finden sind, öffnen oder neu erstellen. Für die Bedienung des

Projektbrowser können sowohl die Kontextmenüs als auch das Menü *File* benutzt werden. Um ein neues Projekt zu erzeugen, wird der Menüpunkt *File* → *New* → *Project* gewählt und dadurch ein neues Verzeichnis erzeugt. Innerhalb dieses Verzeichnisses befinden sich alle zum Projekt gehörenden Dateien. Schaltpläne besitzen die Endung „.sch“, Platinenlayouts die Endung „.brd“ und Bauteilbibliotheken die Endung „.lbr“.

Der grüne Punkt bei einem Projekt bedeutet, dass das Projekt geöffnet ist bzw. bearbeitet wird. Die grünen Punkte bei Bibliotheken bedeuten, dass die Elemente der Bibliothek im bearbeiteten Projekt benutzt werden können. Durch Anklicken der Punkte kann man so Bibliotheken für das momentan aktive Projekt verfügbar machen oder ihre Verfügbarkeit deaktivieren.

3.4 Erstellen eines neuen Schaltplans (Schematic)

Ein Schaltplan wird in EAGLE als Schematic bezeichnet. Er dient als Grundlage für das Platinenlayout und muss vor dem Erstellen des eigentlichen Layouts angelegt werden. Im Schematic werden die logischen Verknüpfungen zwischen einzelnen Bauteilen der Schaltung festgehalten. Über die Länge von Leiterbahnen oder ihren geometrischen Verlauf auf der Leiterplatte enthält die Schematic-Darstellung dagegen noch keine Informationen.

Ein neuer Schematic kann durch die Anwendung des Kommandos *File* → *New* → *Schematic* erstellt werden. Dabei wird das Fenster des Schaltplaneditors geöffnet. In Abbildung 3.1 ist eine Beispielschaltung im Schaltplaneditor gezeigt.

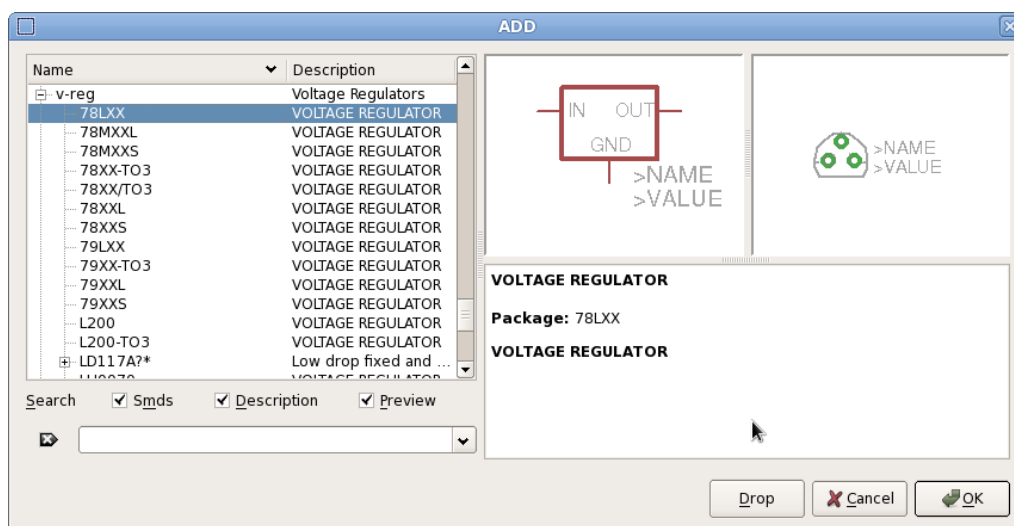


Abbildung 3.1: Fenster des Bibliotheks-Browsers

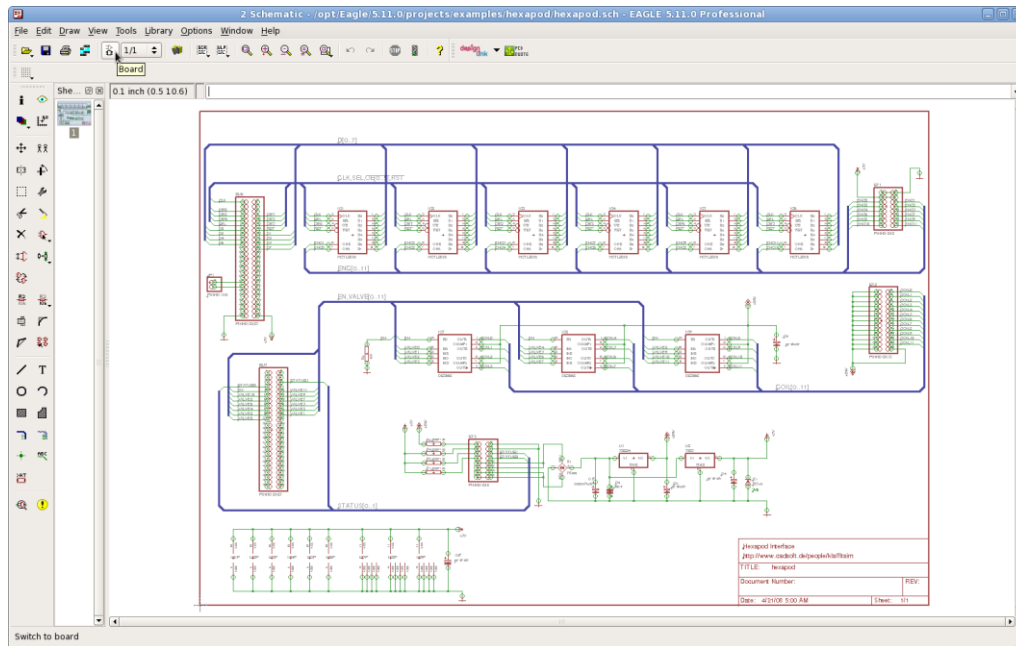


Abbildung 3.2: Fenster des Schaltplaneditors

Im Schaltplaneditor wird hauptsächlich der ADD-Befehl, über den Bauteile aus Bauteilbibliotheken in die Schaltung eingefügt werden können, benötigt. Nach Ausführen des ADD-Befehls öffnet sich ein Bibliotheks-Browser, über den Bauteile ausgewählt werden können. Mit *Ok* wird die Auswahl des Bauelements bestätigt und sein Symbol erscheint auf dem Cursor. Nach dem Platzieren kann die Esc-Taste zur Rückkehr ins Add-Fenster verwendet werden. Wenn eine benötigte Bibliothek im Bibliotheks-Browser nicht zu finden ist, muss die Bibliothek zuerst mit Hilfe des USE-Befehls eingebunden werden. Alternativ kann dies auch im Control Panel durch Anklicken des Punktes vor dem Bibliotheksnamen durchgeführt werden. Wichtige Befehle, die nur im Schaltplan-Editor verfügbar sind:

- **Electrical Rule Check:** Mit dem ERC-Befehl kann der „Electrical Rule Check“ gestartet werden. Eine Datei legt dabei die „elektrischen Regeln“ fest, nach dem die erstellte Schaltung auf allgemeine Fehler überprüft wird.
- **Verlegen von Leitungen:** Bauteile besitzen für das Vernetzen in der Schematic-Darstellung definierte Anschlussstellen („Pins“). Für das Anlegen von Leitungen zwischen diesen wird vom NET-Befehl Gebrauch gemacht. Beim ersten Klick wird der Startpunkt festgelegt, jeder weitere Klick setzt die Leitung fort, bis man zu einem End-Pin gelangt oder einen Doppelklick ausführt. Während des Verlegens einer Leitung kann der Weg der Leitung zwischen Start und Endpunkt durch Benutzen der rechten Maustaste variiert werden. Der WIRE-Befehl soll nicht zum Verlegen von Leitungen benutzt werden, da er Probleme beim Verschieben von Leitungen verursachen kann und an Leitungsknoten der Verbindungspunkt (siehe JUNCTION) nicht automatisch gesetzt wird.

Mit dem WIRE-Befehl können durch die Auswahl des entsprechenden Layers aber andere Linien-elemente, die keine Leiterbahnen darstellen, in den Schaltplan eingebunden werden.

- **Umschalten zwischen Schaltplan- und Platinen-Editor:** Hierfür dient aus dem Schaltplaneditor heraus der BOARD-Befehl

Die folgenden Befehle sind nur im Schaltplaneditor verfügbar:

- Der COPY-Befehl kopiert ein Element.
- Der MIRROR-Befehl spiegelt ein Element.
- Der ROTATE-Befehl dreht ein Element um 90°.
- Der CUT-Befehl kopiert die Elemente einer vorher definierten Gruppe in die Zwischenablage.
- Der PASTE-Befehl fügt die Elemente aus der Zwischenablage in die Zeichnung ein.
- Der VALUE-Befehl erlaubt es, den Wert des anschließend ausgewählten Elementes zu ändern.
- Der SPLIT-Befehl fügt einen Knick in eine Linie ein.
- Der CIRCLE-Befehl wird für das Zeichnen von Kreisen verwendet.
- Der LABEL-Befehl platziert und zeigt den Namen von Leitungen, der vorher mit dem NAME-Befehl festgelegt wurde.
- Der JUNCTION-Befehl vereint mehrere Leitungen in einem Knoten.

Im Anhang findet sich eine Übersicht über verfügbare Befehle und das zugehörige Symbol, siehe Tabelle 5.2.

3.5 Erstellen eines neuen Board-Layouts

Im Board-Layout wird die geometrische Position der Bauteile und Leiterbahnen auf der Platine festgelegt. Der BOARD-Befehl wird zum Umschalten vom Schaltplan zur Platine verwendet. Wenn noch keine Platine für den Schaltplan existiert, d. h. es gibt keine .brd-Datei mit dem gleichen Namen, wird dadurch eine neue .brd-Datei erzeugt. Die neue Datei enthält den Platinenumriss und alle Bauteile, die sich zunächst außerhalb der Platine befinden. Die Größe der erzeugten Platine kann verändert werden, indem die Platinengrenzen verschoben werden. Nun können die Bauteile mit dem MOVE-Befehl innerhalb der Platinengrenzen platziert werden. Das Fenster des Layouteditors ist in Abbildung 3.3 dargestellt.

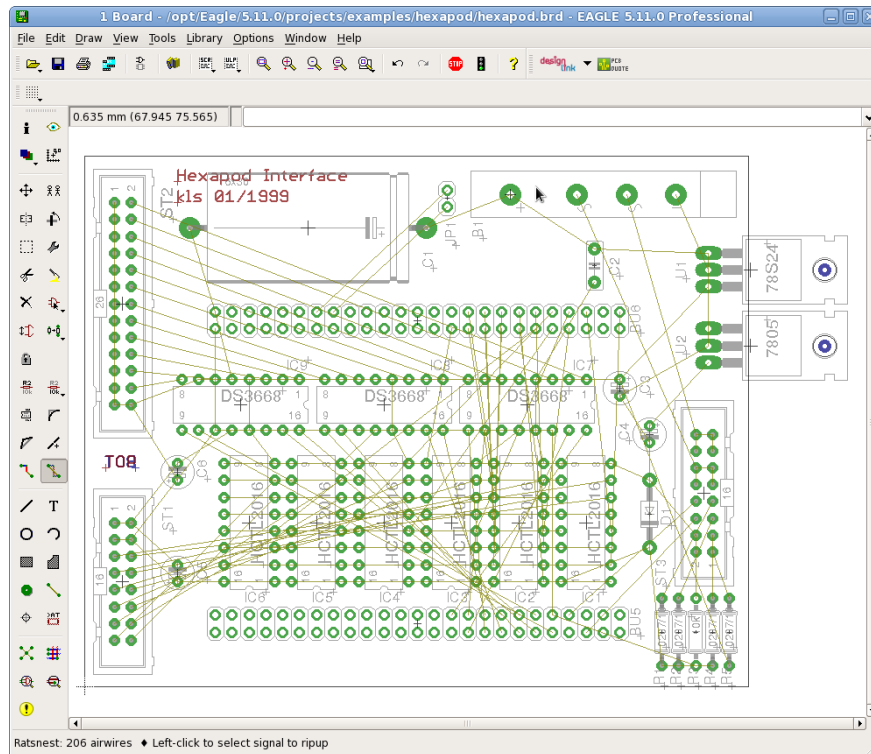


Abbildung 3.3: Fenster des Layouteditors

EAGLE versucht, Schematic und Board stets konsistent zu halten. Wird ein neues Bauteil in den Schematic eingefügt, so erscheint auch der entsprechende Gehäuseumriss im Board. Beim Löschen von Bauteilen im Schematic werden diese auch aus der anderen Ansicht entfernt.

- **Hinweis:** Damit die Konsistenz erhalten bleibt, müssen Board und Schematic immer gleichzeitig geöffnet sein.

Alle aus dem Schaltplan hervorgehenden elektrischen Verbindungen zwischen den Bauelementen werden vorerst durch sog. Luftlinien dargestellt. Diese Luftlinien kann man in Abbildung 3.3 erkennen. Verlegt (routet) man eine Verbindung, wird die Luftlinie entfernt und die entsprechende Verbindung tritt an ihre Stelle. Leiterbahnen können bei den meisten Platinen in mehreren Ebenen gelegt werden. Eine typische Platine besitzt eine Leiterbahnebene auf der Platinenoberseite sowie eine auf der Platinenunterseite. Multi-Layer-Platinen können noch weitere Platinenebenen innerhalb der Platine besitzen.

- **Verlegen von Leitungen (Routing):** Dazu wird der ROUTE-Befehl verwendet. Er erlaubt während des Verlegens das Layer zu wechseln. Dies geschieht durch die mittlere Maustaste, wobei das zur Verbindung notwendige Via automatisch gesetzt wird. Es ist darauf zu achten, dass die Leiterbahn im richtigen Layer gestartet und die Leiterbahnenbreite vorher richtig festgelegt wird. Der WIRE-Befehl soll nicht zum Verlegen von Leiterbahnen verwendet werden, sondern nur zum Zeichnen von Linien in anderen Layern.

- **Auftrennen von vorher verlegten Leitungen:** Mit dem RIPUP-Befehl kann eine Leiterbahn durch Anklicken wieder zu einer Luftlinie zurückgesetzt werden.
- **Neuordnen der Luftlinien:** Diese wichtige Funktion wird über den RATSNEST-Befehl ausgeführt. Beim Platzieren sollte dieser Befehl häufiger ausgeführt werden, da sich durch das Umplatzieren von Bauteilen oft andere Verhältnisse in den Luftlinien-Verbindungen ergeben, die eine Neuordnung nötig machen.
- **Flächen (Polygone) definieren:** Mit dem POLYGON-Befehl können Flächen in einem Layer gezeichnet werden. Dabei müssen deren Eigenschaften mit Hilfe der zusätzlich eingeblendeten Schaltflächen bestimmt werden. Es werden nur die Umrisse des Polygons gezeichnet. Die gesamte Fläche wird bei der Ausführung von RATSNEST berechnet. Mit dem RIPUP-Befehl kann die Darstellung wieder auf Umrisse geändert werden. Wird ein Polygon in eine Leiterbahnebene gezeichnet, so wird es als leitende Metallfläche interpretiert. Um eine Metallfläche mit einem Signal zu verbinden, wird dem Polygon der Namen des Signals mit dem NAME-Befehl zugewiesen. Dies ist insbesondere für das Anlegen von Masse- oder Betriebsspannungsflächen nützlich. Signalfremde Leitungen, die durch die Fläche verlaufen, erhalten einen Mindestabstand von der Fläche, der sich mit dem Befehl *Change* → *Isolate* festlegen lässt. Ein üblicher Richtwert ist 0,024 Zoll (Inch). Werden neue Elemente in einer Leitungsfläche platziert, so sollte stets der Flächeninhalt mit dem Befehl RATSNEST neu berechnet werden.
- **Verbindungen automatisch verdrahten:** Der Autorouter wird mit dem AUTO-Befehl gestartet. Im Fenster, das sich daraufhin öffnet, können die Parameter der automatischen Verdrahtung festgelegt werden.
- **Durchkontaktierungen und Bohrungen:** Mit dem VIA-Befehl lässt sich eine Durchkontaktierung (Via) platzieren, die eine Verbindungsstelle zwischen zwei oder mehreren Verdrahtungsebenen darstellt. Um Bohrungen durch die Platine, oft am Rand zur späteren Befestigung, zu definieren, ist der HOLE-Befehl anzuwenden.
- **Design Rule Check:** Ähnlich wie beim Schaltplan der ERC gibt es beim Platinen-Layout den Design Rule Check, DRC. Nach Ausführen des DRC-Befehls öffnet sich ein Fenster, in dem gewünschten Layout-Regeln festgelegt werden können. Als Beispiele wären der Abstand zwischen Leiterbahnen, der Abstand zwischen Pads verschiedener Bauelemente und minimale Leitungsbreiten zu nennen. Mit dem ERROR-Befehl lassen sich die Verletzungen der Design-Regeln auch nachträglich einsehen.

3.6 Hinweise zum Platinenentwurf mit EAGLE

Das Layout für den Digitalteil des PC-Oszilloskops liegt bereits vor. Es befindet sich in den Dateien /EAGLE/Teilentwurf.sch (bzw. .brd) in Ihrem Home-Verzeichnis. Öffnen Sie die Dateien und erweitern Sie den Schematic sowie das Board-Layout um den von Ihnen entworfenen Analogteil.

3.6.1 Platzierung

- Zu Beginn sollten große Bauteile und solche mit vielen Anschlusspins platziert werden.
- Bauteile, welche externe Steckkontakte enthalten, z.B. Buchsen, Spannungsversorgung oder Potentiometer, müssen am Rand der Platine liegen.
- Bauteile, die funktional zusammengehören, sollten dicht beieinander liegen, damit die Verdrahtung lokal ausgeführt werden kann. Ein Gruppieren zu Funktionseinheiten hilft auch dabei, die Übersicht über das Design zu behalten.
- Ein endgültiges Layout erfordert mehrere Platzierungsiterationen. Daher ist anfangs ein allzu akribisches Vorgehen beim Platzieren nicht empfehlenswert.
- Die Leiterbahn- und Bauteilanordnung sollte möglichst übersichtlich und nachvollziehbar sein, um das Auffinden von Fehlern zu erleichtern.

3.6.2 Leiterbahnen

- Die Leiterbahnen sollten möglichst kurz sein.
- Achten Sie darauf, dass Ihre Leiterbahnen möglichst im 45°-Winkel abknicken, um ungewollte Leiterbahneneffekte wie Wellenreflexion zu vermeiden.
- Um das Kreuzen von zwei Leitungen zu vermeiden, können Top- und Bottomlayer der Platine ausgenutzt werden.
- Die Verdrahtung der Anschlüsse für die Versorgungsspannung wird häufig in Form von großen Flächen vorgenommen. Dadurch erhält die Schaltung zusätzlich Stabilität gegen Störungen und der Verdrahtungsaufwand wird stark verringert. Bei zweilagigen Leiterplatten wird oftmals die Unterseite als GND-Fläche, die Oberseite als VCC-Fläche definiert. Dafür muss ein Polygon in eine Leiterbahnebene gelegt und mit dem Namen des Signals, mit dem es verbunden werden soll, benannt werden. Beginnen Sie Ihr Layout am besten mit dem Anlegen einer Kupferfläche in Top- und Bottom-Layer, die für beide Layer das gemeinsame Bezugspotential GND führt.

3.6.3 Bauteil-Bibliotheken

- Einen Großteil der benötigten Bauteile wie die Schalter, den USB/RS232-Adapter oder die verwendeten ICs finden Sie in der Bauteilbibliothek device-library.lbr in Ihrem Home-Verzeichnis.

Bevor Sie diese benutzen können, müssen Sie sie in EAGLE mit dem Befehl *Use* → *Library* einbinden.

- Das Gehäuse von Widerständen wird in der Form R-EU-XY/Z angegeben (X: Durchmesser des Widerstandsgehäuses, Y: Länge des Widerstandsgehäuses, Z: Abstand der Pads). Wählen Sie hier am besten die Gehäuseform R-EU-0207/12. Die Gehäuse der verwendeten Kondensatoren werden in der Form C-EU-A-BxC angegeben (A: Abstand der Pads, BxC: Abmessungen des Gehäuses). Für die in diesem Projekt verfügbaren Kondensatoren eignen sich Gehäuse der Form C-EU-050-050x075.
- Weitere Angaben zu den verfügbaren Bauteilen finden Sie im Anhang des Versuchsumdrucks.

3.6.4 Bestückung

Achten Sie darauf, dass Pads die verlötet werden gut zugänglich platziert sind. Bedenken Sie beim Entwurf auf jeden Fall auf das jeweilige Bauteilpackage und betrachten Sie zur Abschätzung im Zweifelsfall das Bauteil.

3.6.5 Design Rules

Um zu überprüfen, ob Ihr Entwurf den Fertigungsrichtlinien am IMS genügt, können Sie einen Design Rules Check mit der Datei *designrules.dru* durchführen.

3.6.6 Gehäuse

Wenn Sie Ihre Platine später in einem Gehäuse unterbringen wollen, sollten Sie darauf achten, am Platinenrand mehrere Befestigungsbohrungen anzulegen. Es könnte dann auch hilfreich sein, alle Anschlüsse sowie das Potentiometer an einer Seite der Platine anzuordnen.



IMS

Institut für Mikroelektronische Systeme



Leibniz
Universität
Hannover

4 Löt-Tutorium

4.1 Grundlagen

Als Löten bezeichnet man die Verbindung zweier Metalle mit Hilfe eines Zusatzmetalls, dem Lot. Durch Erhitzen wird das Lot geschmolzen und benetzt die zu verbindenden Teile sowie den Raum zwischen diesen. Wird die Wärmezufuhr von der Lötstelle entfernt, so verhärtet sich das aufgetragene Lot wieder und erfüllt folgende Aufgaben:

- Mechanische Verbindung der Bauteile
- Elektrisch leitfähige Verbindung der Bauteile

4.2 Werkzeug

Eine Lötstation besteht mindestens aus einem Lötkolben und einem Steuergerät. Am Steuergerät lässt sich die Temperatur einstellen, auf die die Spitze des Lötkolbens erhitzt wird. Die Lötspitze lässt sich austauschen. Der Lötkolben kann in den Lötkolbenhalter gelegt werden, wenn er nicht benötigt wird. Viele Steuergeräte verringern die Temperatur der Lötspitze, während er auf dem Lötkolbenhalter ruht.



Abbildung 4.1: Lötstation bestehend aus Steuergerät, Lötkolbenhalter und Lötkolben

Der beim Elektroniklöten verwendete Lötendraht besteht aus einem hohlen Draht aus Lot, der im Inneren ein Flussmittel enthält. Beim Lot handelt es sich üblicherweise um eine Legierung aus Zinn (Sn, ca. 60%) und Blei (Pb, ca. 40%) mit evtl. geringen Zusätzen von Silber (Ag) oder Kupfer (Cu).

Das Flussmittel erfüllt beim Elektroniklöten mehrere Aufgaben:

- Es verringert die Zähflüssigkeit des geschmolzenen Lots, indem es die Oberflächenspannung senkt.

- Es verhindert, dass sich an der Oberfläche der Lötstellen durch den Sauerstoffanteil in der Luft Oxidationsschichten bilden, die die Leitfähigkeit der Lötstelle stark beeinträchtigen können („kalte Lötstelle“).

Beim Elektroniklöten wird normalerweise das Harz Kolophonium als Flussmittel verwendet. Darüber hinaus sollte an einem Löt Arbeitsplatz eine Vielzahl weiterer Werkzeuge zur Verfügung stehen:

- Verschiedene Zangen und Pinzetten zum Festhalten von Bauteilen und Biegen von Anschlussdrähten
- Seitenschneider zum Kürzen überstehender Anschlussdrähte
- Entlötsaugpumpe und/oder Entlötlitze zum Auflösen bereits bestehender Lötstellen
- ein Platinenhalter zum drehbaren Einspannen der Leiterplatte
- evtl. eine sog. „Dritte Hand“ zum Fixieren von Bauteilen während des Einlöten



Abbildung 4.2: Werkzeuge, Platinenhalter und Lötzinn

4.3 Arbeitsvorbereitung

Um den Löt Kolben in einen arbeitsfähigen Zustand zu versetzen, muss die Lötspitze „verzinnt“ werden. Dabei wird diese erst erhitzt, dann an einem feuchten Schwamm sorgfältig gereinigt, wieder mit einigen Tropfen Lot benetzt und die dicken Tropfen flüssigen Lots schließlich wieder vorsichtig am Schwamm abgerieben. Ziel ist es, eine Lötspitze zu erhalten, die einen gleichmäßig dünnen, silbrig glänzenden Überzug aus Lot besitzt, der für eine gute Wärmeleitung von der Lötspitze zum Anschlussdraht sorgt. Während der Arbeit sollte man die Lötspitze ebenfalls immer wieder mit einem feuchten Schwamm reinigen und so von dicken Tropfen zähflüssigen Lots befreien. Das Steuergerät der Lötstation sollte auf die richtige Temperatur eingestellt werden. Je nach Lot und persönlichem Geschmack variiert dabei die richtige Temperatur. Bei zu niedriger Temperatur bleibt das Lot zähflüssig, bei zu hoher Temperatur verdampft das Flussmittel zu schnell. Für das in diesem Labor verwendete Lot ist eine Temperatur von 330°C bis 350°C ein praxistauglicher Richtwert.

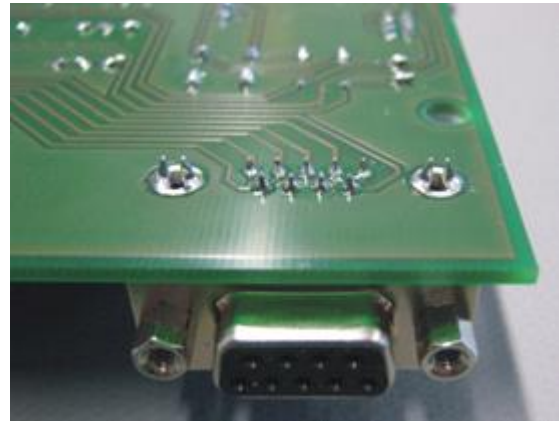
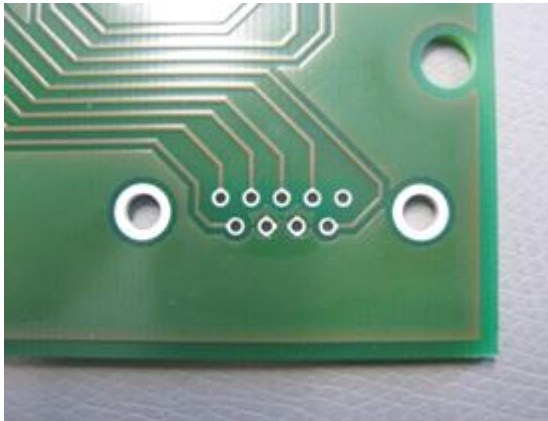


Abbildung 4.3: Platine mit unverlöteten Pads (links) und verlötet (rechts)

4.4 Arbeitsschritte

Um ein Bauteil auf eine Platine zu Löten, sind folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

1. Die Anschlussdrähte der Bauteile werden mit einer Zange, Pinzette oder einem Pinausrichter so gebogen werden, dass sie durch die vorgesehenen Löcher in der Platine bzw. dem Sockel passen. Es ist darauf zu achten, die Drähte nicht direkt am Bauteilgehäuse und nur mit mäßigem Kraftaufwand umzubiegen, um die Bauteile nicht zu beschädigen.
2. Soweit möglich sollte vor dem Löten zwischen den zu verlötenden Metallen eine mechanische Verbindung bestehen. Damit die Bauteil beim Drehen nicht herausfallen, empfiehlt sich der Einsatz von Kreppband zum fixieren.
3. Wird der LötKolben aus der Halterung genommen, so muss gewartet werden, bis die Spitze auf die eingestellte Temperatur aufgeheizt ist. Dieses wird durch eine LED am Steuergerät der Lötstation angezeigt.
4. Durch Berühren mit der Lötspitze werden die zu verlötenden Metallteile – beim Platinenlöten der Anschlussdraht und das Pad – gleichzeitig erhitzt. Dieser Vorgang sollte je nach Temperatur ca. 2-3 Sekunden dauern.
5. Danach wird der Lötendraht für 1-4 Sekunden zugeführt. Das geschmolzene Lot sollte zwischen die zu verlötenden Metallteile fließen. Dabei steigt verdampfendes Flussmittel als kleiner Rauchfaden auf. Hat sich das Lot verteilt, wird zuerst der Lötendraht, dann der LötKolben zügig entfernt.

4.4.1 Hinweise

- Der LötKolben wird sehr heiß! Eine Berührung der Lötspitze mit der Haut kann zu ernsthaften Verbrennungen führen. Kontakt mit brennbaren Materialien (Papier, Stoff usw.) kann diese in

Brand setzen. Nach Ausschalten der Stromversorgung benötigt er darüber hinaus noch eine Zeitlang um abzukühlen. Daher ist im Umgang mit dem Werkzeug höchste Sorgfalt geboten.

- Auch Bauteile und Anschlussdrähte sind einige Sekunden nach Einlöten noch relativ heiß. Beim Berühren oder Festhalten sollten Sie daher vorsichtig sein.
- Die Bauteile/Pads sollten nicht nur mit der Spitze, sondern mit der Breitseite der Lötspitze erhitzt werden, so verbessert sich die Wärmezufuhr.
- Große Metallflächen, die mit Pads verbunden sind, leiten die Wärme schnell ab. Daher sollte hier eine größere Lötspitze verwendet werden. Ein Wechseln der Spitzen sollte ausschließlich durch den Betreuer erfolgen.
- Wird der LötKolben zu lange an die Lötstelle gehalten oder das Lot erst geschmolzen und dann an die Lötstelle geführt, so verdampft das komplette Flussmittel. Dadurch wird das Lot schnell zähflüssig, es bleibt dann häufig am LötKolben haften oder umschließt die zu verlötenden Metalle nicht komplett. Zudem bildet sich um das freiliegende Lot eine Oxidschicht, die die Leitfähigkeit der Lötstelle stark beeinträchtigt, und als „kalte Lötstelle“ bezeichnet wird. Eine abgekühlte Lötstelle sollte den silbrigen Glanz des flüssigen Lots behalten und kegelförmig sein. Kugelförmige Lötstellen deuten auf zu viel Lot, trübe Färbungen auf eine kalte Lötstelle hin.
- Da die meisten ICs durch hohe Temperaturen leicht zerstört werden können, lötet man diese selten direkt ein, sondern benutzt einen geeigneten Sockel. Dies erleichtert außerdem das Austauschen der Bauteile.
- Überstehende Anschlussdrähte müssen nach Anlöten der Bauteile mit einem Seitenschneider entfernt werden. Da die umherfliegenden Drähte leicht die Augen verletzen können, sollte dabei eine Schutzbrille getragen werden.

4.5 Entlöten

Will man eine Lötstelle wieder auflösen („Entlöten“), so muss der LötKolben erneut angesetzt werden, bis sich das Lot verflüssigt. Dazu sollte eine höhere Temperatur als beim Einlöten gewählt werden (mehr als 350°C). Anschließend muss das flüssige Lot entfernt werden.

Die Entlötpumpe wird dafür auf die flüssige Lötstelle gesetzt und saugt das flüssige Lot ab. Als Alternative kann eine Entlötlitze verwendet werden. Sie besteht aus einem Drahtgeflecht, das das flüssige Lot aufnimmt. Dazu muss sie auf der Lötstelle platziert und mit der Lötspitze erhitzt werden.

- **Hinweis:** Ein Entlöten ist trotz dieser Hilfsmittel selten rückstandsfrei möglich!

Sollen Bauteile komplett aus einer Platine ausgelötet werden, so muss erst jede Lötstelle so gut wie möglich von Lötzinn befreit und anschließend die Anschlussdrähte des Bauteils von den Pads gelöst werden. Um diese nicht zu beschädigen, sollte das Lösen aus der heißen Lötstelle erfolgen und keines-

falls Gewalt angewendet werden. Insbesondere Bauteile mit sehr vielen Anschlussdrähten, wie Stecker oder IC Sockel, sind daher äußerst schwierig zu entfernen. Beachten Sie hierbei, dass die Bauteile und Anschlussdrähte auch hier relativ heiß werden und mit entsprechendem Werkzeug entfernt werden sollten.



Abbildung 4.4: Entlötpumpen und Entlötlitze



IMS

Institut für Mikroelektronische Systeme



Leibniz
Universität
Hannover

5 Anhang

Befehlsübersicht Qucs

Die folgende Tabelle soll einen Überblick über wichtige Befehle geben.



































Bezeichnung	Symbol
AC-Simulation	
DC-Simulation	
Draht	
Gleichung einfügen	
Masse einfügen	
Simulation	
Transienten-Simulation	
Verbindungs-Bezeichnung	

Tabelle 5.1: Symbolreferenz Qucs

Befehlsübersicht EAGLE

Die folgende Tabelle soll einen Überblick über wichtige Befehle geben. Siehe hierzu auch Abschnitt 3.2

Symbol	Name	Beschreibung
	ADD	Elemente hinzufügen
	AUTO	Verbindungen automatisch verbinden
	BOARD	Umschalten zwischen Schaltplan und Platine

Symbol	Name	Beschreibung
	CHANGE	Ändern von Eigenschaften
	CIRCLE	Kreise zeichnen
	COPY	Elemente kopieren
	CUT	Elemente ausschneiden
	DELETE	Elemente löschen
	DISPLAY	Layer ein- oder ausblenden
	DRC	Design Rule Check
	ERC	Electrical Rule Check
	ERROR	Einsehen der Verletzungen durch den DRC
	FIT	Zoom wird automatisch angepasst
	GROUP	Elemente gruppieren
	HOLE	Bohrung platzieren
	IN	Vergrößerung des Zoom
	INFO	Informationen über Elemente anzeigen
	JUNCTION	Verbindung mehrer Leitungen in einem Knoten
	LABEL	Name von Leitungen platzieren
	MIRROR	Elemente spiegeln
	MOVE	Elemente bewegen
	NAME	Elemente benennen
	NET	Verbindung zwischen einzelnen Pins erstellen
	OUT	Verkleinerung des Zoom
	PASTE	Inhalt der Zwischenablage einfügen
	POLYGON	Flächen zeichnen

Symbol	Name	Beschreibung
	RATSNEST	Neuordnung der Luftlinien
	REDRAW	Neuzeichnen des Bildschirminhalts (Hotkey: „F2“)
	RIPUP	Leiterbahnen aufbrechen
	ROTATE	Elemente um 90° drehen
	ROUTE	Verlegen von Leitungen
	SELECT	Einpassung des Zoom in ein Auswahlfenster
	SHOW	Elemente hervorheben
	SPLIT	Linienknick einfügen
	USE	Bibliothek einbinden
	VALUE	Wert eines Elementes ändern
	VIA	Durchkontaktierung platzieren
	WIRE	Erstellen von Linienelementen, welche keine Leiterbahnen sind

Tabelle 5.2: Übersicht wichtiger Befehle in EAGLE



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Qucs Logo.....	3
Abbildung 2.2: Hauptbildschirm	4
Abbildung 3.1: Fenster des Bibliotheks-Browsers	13
Abbildung 3.2: Fenster des Schaltplaneditors.....	14
Abbildung 3.3: Fenster des Layouteditors	16
Abbildung 4.1: Lötstation bestehend aus Steuergerät, LötKolbenhalter und LötKolben	21
Abbildung 4.2: Werkzeuge, Platinenhalter und LötZinn	22
Abbildung 4.5: Platine mit unverlöteten Pads (links) und verlötet (rechts)	23
Abbildung 4.6: Entlötpumpen und Entlötlitze.....	25



Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Einheitensuffixe in Qucs.....	4
Tabelle 2.2: Bezeichnung von Potential und Strom im Bezug zum Simulationstyp.....	5
Tabelle 3.1: Benötigte Informationen für die Bauteilbibliothek.....	9
Tabelle 3.2: Layer-Ebenen von EAGLE	10
Tabelle 5.1: Symbolreferenz Qucs.....	27
Tabelle 5.2: Übersicht wichtiger Befehle in EAGLE.....	29