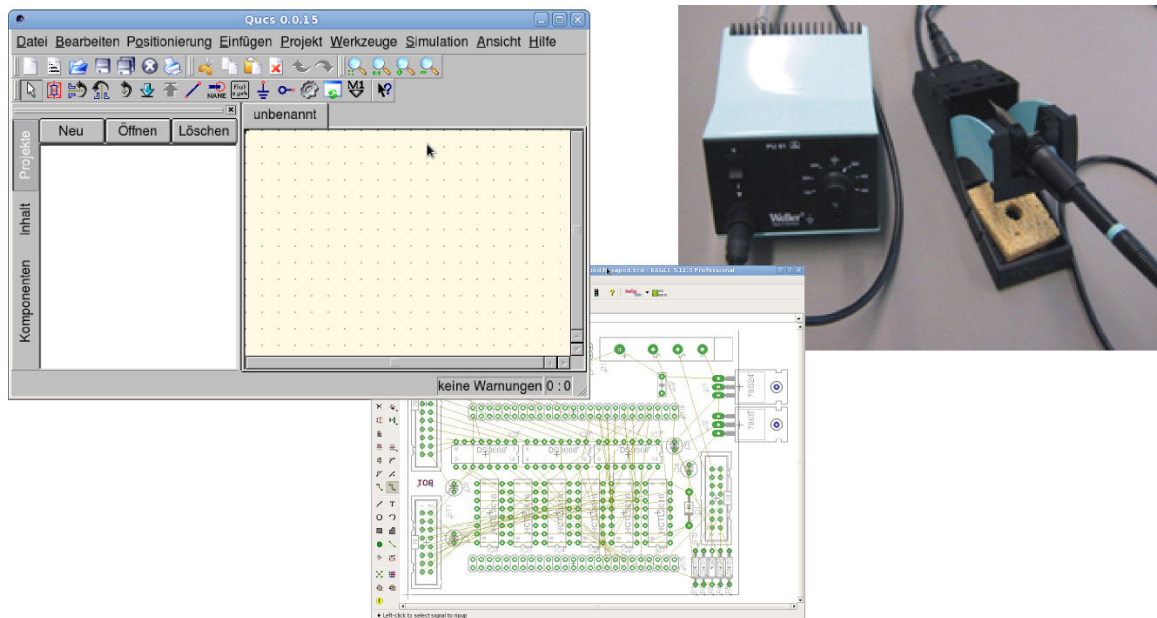


# Projekt Schaltungsentwurf

Institut für Mikroelektronische Systeme  
Fachgebiet Entwurfsautomatisierung  
Prof. Dr.-Ing. E. Barke

## PC-Oszilloskop



Einführung in Entwurfswerkzeuge und  
Arbeitsschritte

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Qucs</b>	<b>2</b>
2.1	Einführung . . . . .	2
2.2	Qucs-Projekte . . . . .	2
2.3	Schematic . . . . .	3
2.3.1	Simulationsmodi . . . . .	4
2.3.1.1	DC-Simulation . . . . .	4
2.3.1.2	AC-Simulation . . . . .	5
2.3.1.3	Transientensimulation . . . . .	5
2.3.2	Datenvisualisierung . . . . .	5
<b>3</b>	<b>EAGLE</b>	<b>6</b>
3.1	Einleitung . . . . .	6
3.2	Grundlegendes über EAGLE . . . . .	7
3.3	Wichtige Befehle . . . . .	8
3.4	Der Projektbrowser Control Panel . . . . .	9
3.5	Erstellen eines neuen Schaltplans (Schematic) . . . . .	9
3.6	Erstellen eines neuen Board-Layouts . . . . .	11
3.7	Hinweise zum Platinentwurf mit EAGLE . . . . .	13
3.7.1	Digitalteil . . . . .	13
3.7.2	Platzierung . . . . .	13
3.7.3	Leiterbahnen . . . . .	14
3.7.4	Bauteil-Bibliotheken . . . . .	14
3.7.5	Platinengröße . . . . .	14
3.7.6	Durchkontaktierung . . . . .	15
3.7.7	Design Rules . . . . .	15
3.7.8	Gehäuse . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Kleines Tutorium zum richtigen Löten</b>	<b>16</b>
4.1	Grundlagen . . . . .	16
4.2	Werkzeug . . . . .	16
4.3	Arbeitsvorbereitung . . . . .	17
4.4	Arbeitsschritte . . . . .	18
4.4.1	Hinweise . . . . .	19
4.5	Entlöten . . . . .	19

# 1 Einführung

Dieser Umdruck enthält Tutorials zu den im Projekt Schaltungsentwurf verwendeten Entwurfswerkzeugen und Arbeitsschritten. 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.

## 2 Qucs

### 2.1 Einführung

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 (GPL) und kann unter [kostenlos](#) heruntergeladen werden. Die Software besteht aus mehreren verschiedenen Komponenten. Die für das Projekt wichtigsten sind:

- die Qucs GUI, die eine graphische Benutzeroberfläche für das Anlegen und Verwalten von Schaltplänen (Schematics) 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 daher einen guten Einstieg in den Bereich der Schaltungssimulationswerkzeuge dar. Im Folgenden sollen die wichtigsten Funktionen der Software kurz erläutert werden.

### 2.2 Qucs-Projekte

Über das Menü *Projekt* → *Neu* kann ein neues Qucs-Projekt angelegt werden. Ein Projekt besteht aus verschiedenen Dateien (Schaltplänen, Datensätzen etc.), die im Reiter *Inhalt* des Projektbrowsers verwaltet werden können. Die für dieses Projekt wichtigsten Qucs-Dateitypen sind:

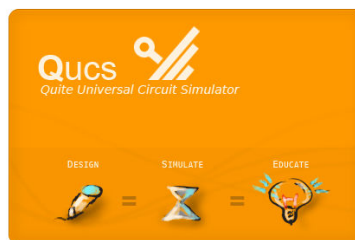


Abb. 2.1: Das Qucs-Logo

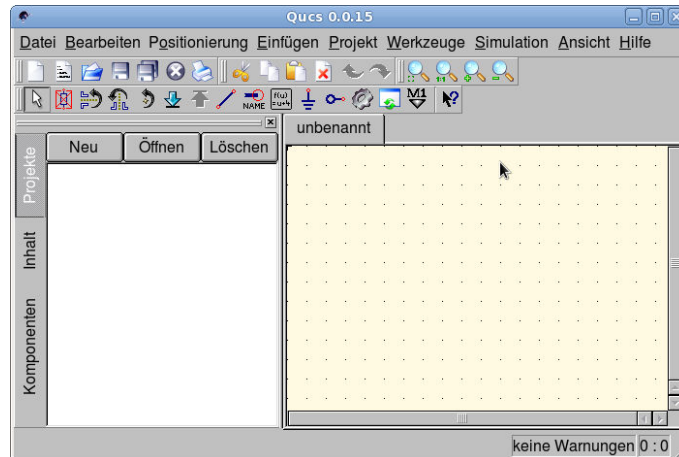


Abb. 2.2: Der Qucs-Hauptbildschirm

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

Tab. 2.1: Einheitensuffixe in Qucs



**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

## 2.3 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 (z.B.  $2.4e-2$  entspricht  $2.4 \cdot 10^{-2}$ ).

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 *Verbindungs-Bezeichnung*  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 (siehe Kapitel 2.3.1) zur Verfügung:

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>
Transientensimulation	<i>name.Vt</i>	<i>name.It</i>


Knotenpotentiale werden dabei 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*.

## 2.3.1 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.

### 2.3.1.1 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 z.B. 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


### 2.3.1.2 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 Endwert 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 z.B. gut für die Analyse von Filtern geeignet.

### 2.3.1.3 Transientensimulation

Bei der Transientensimulation  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.

## 2.3.2 Datenvisualisierung

Nach Ausführung einer Simulation öffnet sich in Qucs automatisch ein neuer Tab, der 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 kartesische Graph. Die Darstellung der Daten erfolgt dabei abhängig von der durchgeführten Simulation:



- Eine DC-Simulation ergibt für jede Größe einen einzelnen Wert, der am besten in einer Tabelle visualisiert wird.
- Eine AC-Simulation ergibt Werteverläufe über der Frequenz.
- Eine Transientensimulation ergibt Werteverläufe über der Zeit.

# 3 EAGLE

## 3.1 Einleitung

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“). In diesem Labor soll die Software EAGLE (Einfach Anzuwendender Graphischer Layout Editor) der Firma [CadSoft](#) verwendet werden. Es handelt sich um eines von vielen verfügbaren Softwarewerkzeugen für das Erstellen von Leiterplattenlayouts. EAGLE kann in einer Freeware-Version kostenlos heruntergeladen werden, ist dann jedoch mit einer Reihe von Beschränkungen belegt (u.a. eine maximale Platinengröße von 100 mm · 80 mm, maximal zweilagige Platinen, etc.). 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 folgende Informationen für jedes enthaltene Bauteil zur Verfügung stellen:

Schematic	Board-Layout
Schaltsymbol	Geometrische Abmessungen
Anzahl der Anschlüsse (Pins)	Größe der benötigten Pads für THT (Through-Hole-Technology: Verbindungstechnik, bei der die Anschlussdrähte der Bauelemente durch Löcher in der Platine gesteckt und verlötet werden) und SMD (Surface-mounted device: Die Bauelemente besitzen keine Drahtanschlüsse, sondern werden mittels lötfähiger Anschlussflächen direkt auf die Platine gelötet) Montage
Name des Bauteils	Geometrische Lage der Pins Durchmesser der benötigten Bohrung




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 (engl. Package) zur Verfügung, so bietet EAGLE diese in der Bauteilbibliothek zur Auswahl an.



Nr.	Name	Bedeutung	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

Tab. 3.1: In EAGLE verwendete Layer

## 3.2 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. 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 geometrischen 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 Schalt-


flächen 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.


### 3.3 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  sorgt dafür.


**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 hineingezoomt 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 + „Move Group“ im Kontextmenü aus. Alternativ kann dies auch durch Festhalten der Strg-Taste + 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.

## 3.4 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, Boardlayouts und Bibliotheken, in denen Bauteilinformationen zu finden sind, öffnen oder neu erstellen. Für die Bedienung des Projektbrowsers 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.

## 3.5 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.

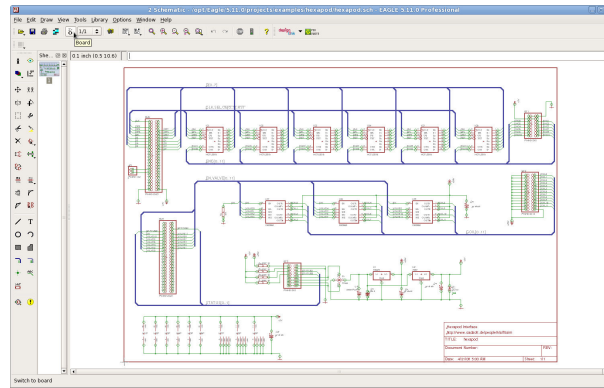


Abb. 3.1: Fenster des Schaltplaneditors

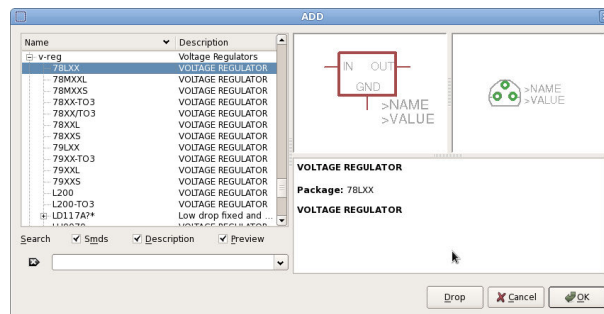







Abb. 3.2: Fenster des Bibliotheksrowsers

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 Bibliotheksbrowser, 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 Bibliotheksbrowser 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 Verbin-


dungspunkt (siehe JUNCTION) nicht automatisch gesetzt wird. Mit dem WIRE-Befehl können durch die Auswahl des entsprechenden Layers aber andere Linienelemente, die keine Leiterbahnen darstellen, in den Schaltplan eingebunden werden.

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

In der folgenden Liste finden sich alle weiteren im Schaltplaneditor verfügbaren Befehle.

-  Der COPY-Befehl kopiert (dupliziert) 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 den Pastedbuffer.
-  Der PASTE-Befehl fügt die Elemente aus dem Pastedbuffer 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.

## 3.6 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 zu sehen.

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.

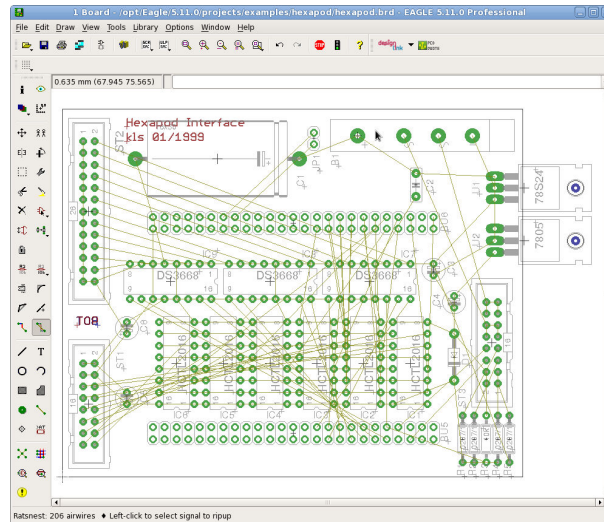








Abb. 3.3: Fenster des Layouteditors

Alle aus dem Schaltplan hervorgehenden elektrischen Verbindungen zwischen den Bauelementen werden vorerst durch sog. Luftlinien dargestellt. Diese Luftlinien kann man gut 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 Leiterbahnenebene auf der Platinenoberseite sowie eine auf der Platinenunterseite. Multilayer-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 eingblendeten 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 Leiterbahnenebene 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 (Richtwert: 0,024 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 Platinenlayout 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.

## 3.7 Hinweise zum Platinenentwurf mit EAGLE

### 3.7.1 Digitalteil

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.

### 3.7.2 Platzierung

- Zu Beginn sollten große Bauteile und solche mit vielen Anschlusspins platziert werden.
- Bauteile, welche externe Steckkontakte enthalten (z.B. Buchsen, Spannungsversorgung, Potis), 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.

### 3.7.3 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.

### 3.7.4 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.

### 3.7.5 Platinengröße

Die am Institut maximal fräsbare Platinengröße entspricht ca. dem Format DIN A4. Um mehrere Platinen optimal auf diesem Format anordnen zu können, versuchen Sie bitte, Ihre Platinengröße auf ca. 80 · 120mm bzw. ca. 3.1 · 4.7 Zoll zu beschränken.



### 3.7.6 Durchkontaktierung

Vorsicht! Mit der Platinenfräse im Institut ist es nicht möglich, Durchkontaktierungen zu erzeugen! Daher sollte Sie folgendes beachten:

- Das automatische Anlegen von Vias ist nicht möglich, daher sollten Sie auf deren Benutzung verzichten. Lässt sich für ein Layout nicht auf ein Via verzichten, so können Sie die Durchkontaktierung beim Bestücken mit einem Stück Kupferdraht durchführen. Achten Sie daher dabei auf einen Bohrungsdurchmesser von mindestens 1.0mm.
- Ansonsten sollten Sie bedenken, dass Sie Pads, die auf dem Top-Layer verdrahtet sind, auch von oben, d.h. von der Bestückungsseite, verlöten müssen. Für folgende Bauteile, die Sie beim Entwurf des Analogteils verwenden, führt das zu einem erhöhten Schwierigkeitsgrad beim Löten:
  - Elektrolyt-Kondensatoren
  - Folien-Kondensatoren
  - Schalter
  - IC-Sockel
- Außerdem müssen Sie darauf achten, dass Pads, die von der Bestückungsseite her verlötet werden müssen, auch gut zugänglich platziert sind. Achten Sie beim Entwurf auf jeden Fall auf das jeweilige Bauteilpackage und betrachten Sie zur Abschätzung im Zweifelsfall das Bauteil.

### 3.7.7 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.

### 3.7.8 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.

# 4 Kleines Tutorium zum richtigen Löten

## 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. 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:



Abb. 4.1: Steuergerät, Lötkolbenhalter mit Lötkolben

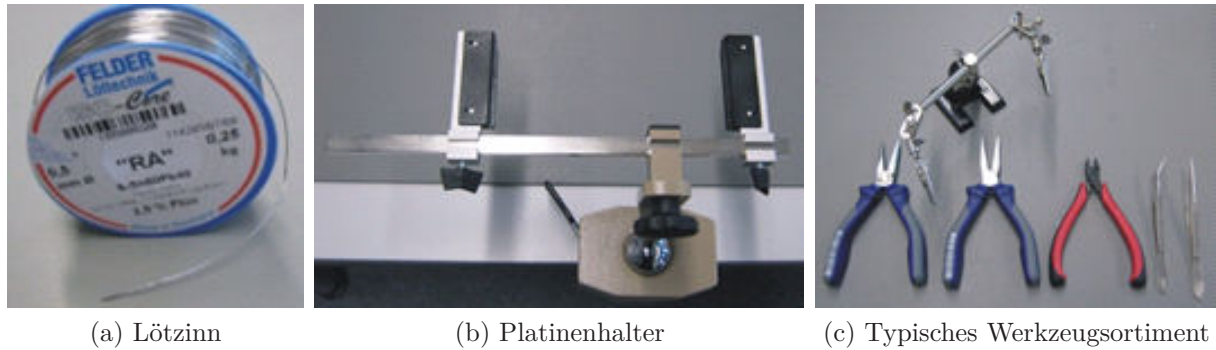


Abb. 4.2: Beim Löten häufig verwendete Werkzeuge

- 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“).

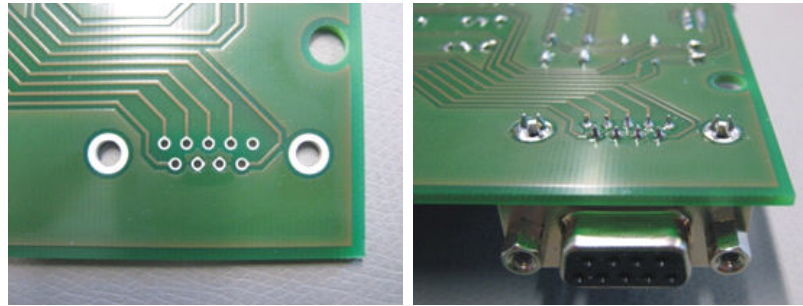
Beim Elektroniklöten wird normalerweise das Harz Kolophonium als Flussmittel verwendet.

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 Einlötens

## 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



(a) Die unverlöteten Pads sind als weiße Ringe zu erkennen

(b) Die verlöteten Pads sind kegelförmig von Lötzinn umgeben

Abb. 4.3: Unterseite einer Platine vor und nach Anlöten eines Steckers

Flussmittel zu schnell. Für das in diesem Labor verwendete Lot ist eine Temperatur von 330 °C – 350 °C ein praxistauglicher Richtwert.

## 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...) kann diese in Brand setzen. Nach Ausschalten der Stromversorgung benötigt er darüber hinaus noch eine ganze Weile, um abzukühlen. Daher ist im Umgang mit dem Werkzeug höchste Sorgfalt geboten!
- Auch Bauteile und Anschlussdrähte sind einige Sekunden nach Einlöten noch relativ heiß.
- Also beim Berühren oder Festhalten vorsichtig sein!
- Werden Bauteile/Pads nicht nur mit der Spitze, sondern mit der Breitseite der Lötspitze erhitzt, 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 breiig; 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 ( $> 350^{\circ}\text{C}$ ). 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



Abb. 4.4: Entlötpumpen und Entlötlitze

Pads gelöst werden. Um diese nicht zu beschädigen, sollte das Lösen aus der heißen Lötstelle erfolgen und keinesfalls Gewalt angewendet werden. Insbesondere Bauteile mit sehr vielen Anschlussdrähten (Stecker, ICs) sind daher äußerst schwierig zu entfernen.