



Systematische Fehlersuche



Markus Valtin Tino Kahl

7. Juli 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Systematische Fehlersuche	3
2.1	Schaltung verstehen	3
2.2	Fehlerbereich eingrenzen	3
2.3	Fehler innerhalb einer Baugruppe lokalisieren	5
2.3.1	Lötfehler	5
2.3.2	Bauelement falsch eingelötet	6
2.3.3	Bauelementwerte richtig bestimmen	7
2.3.4	Signalfluss messen	7
2.3.5	ICs prüfen	7
	Literatur	10
	Anhang A Ätz- und Platinenfehler	11

1 Einleitung

Engineers are so creative, they like to make up new bugs, not just use the old ones. [2]

Systematische Fehlersuche versus Erfahrung Es stellt sich die Frage warum auch bei den relativ einfachen Schaltungen die im Projektlabor erstellt werden, Fehler *systematisch* gesucht werden sollen und nicht auf die Erfahrungen z.B. der Betreuer zurückgegriffen werden sollte.

Die *systematische* Fehlersuche hat folgende Vorteile:

1. Man findet den Fehler immer, auch bei unübersichtlichen Schaltungen.
2. Sie ist auch bei wenig Erfahrung oder nur oberflächlicher Kenntnis der Schaltung durchführbar.
3. Es lassen sich auch unbekannte Fehler finden.

Eure Betreuer suchen Fehler ebenfalls systematisch. Ihre Erfahrung ermöglicht es ihnen allerdings manchmal gewisse Schritte zu überspringen da bestimmte Fehler immer wieder auftreten.

Voraussetzungen Diese Anleitung dient zur Fehlersuche in aufgebauten Schaltungen. Es wird deshalb vorausgesetzt:

- dass ein Grundverständnis über die Funktionsweise der Schaltung vorhanden ist,
- dass die Funktionsweise und die Handhabung der Messgeräte bekannt ist,
- dass die Schaltung prinzipiell funktioniert.

Vorsicht bei der Fehlersuche Um Schäden an der Schaltung, den Messgeräten oder sich selbst zu vermeiden, muss mit besonderer Vorsicht vorgegangen werden. ICs können z.B. durch eine elektrostatische Entladung (ESD) ¹ beschädigt werden. Des Weiteren wird die Schaltung unter Spannung durchgemessen. Es darf deshalb nicht zu unbeabsichtigten Kurzschlüssen durch die Messspitze kommen. Ein Umbau der Schaltung darf grundsätzlich nur im spannungslosen Zustand durchgeführt werden! Dazu zählt auch das Ändern des Messpunktes.

Suchaufwand richtig einschätzen Vor und während der Fehlersuche muss man den nötigen Aufwand bzw. die Kosten im Blick behalten. Es kann z.B. effektiver sein eine fehlerhafte Steckbrettschaltung mit mehr Sorgfalt neu aufzubauen, als langwierig nach Fehlern zu suchen. Dasselbe gilt für Geräte bei denen die Reparaturkosten den Gerätewert übersteigen.

¹Abhilfe: Entladen des eigenen Körpers an geerdeten Gehäusen, ESD Armband mit Ableiter und ggf. ESD Arbeitsunterlage

2 Systematische Fehlersuche

2.1 Schaltung verstehen

Am Anfang der Fehlersuche müssen alle zum Verstehen der Schaltung nötigen Informationen gesammelt werden. Diese beinhalten insbesondere:

- das Blockschaltbild der Schaltung mit klar ersichtlichen Funktionsblöcken und den Schnittstellen dieser Blöcke
- eine Schaltungsbeschreibung in der die einzelnen Blöcke in ihrer Funktion beschrieben sind und **Sollwerte** der Schnittstellensignale vorgegeben sind
- eine möglichst aussagekräftige Fehlerbeschreibung

2.2 Fehlerbereich eingrenzen

Mit Hilfe des Blockschaltbilds und der Schaltungsbeschreibung lässt sich nun der Fehlerbereich eingrenzen. Dazu wird der Signalfluss zwischen den Funktionsblöcken des Blockschaltbilds gemessen und mit den **Sollwerten** verglichen. In Abbildung 1 sind die nötigen Messpunkte (1–5) zum Finden einer Störung des Bass-Signals zu sehen.

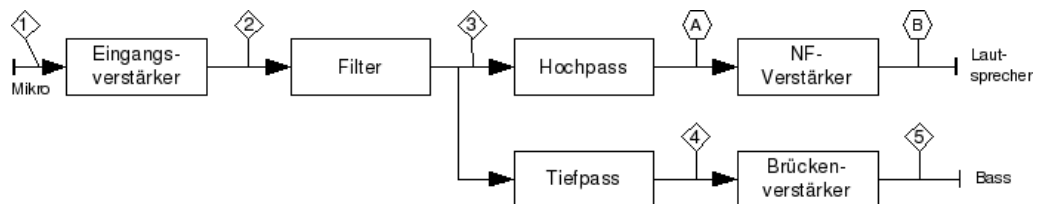


Abbildung 1: Blockschaltbild eines NF-Verstärkers

Nun arbeiten wir uns Schritt für Schritt, entlang des Signalflusses, durch das Blockschaltbild, beginnend bei Messpunkt 1 an dem die Eingangswerte des Verstärkers überprüft werden. Hier sollte man ein definiertes Messsignal einprägen.

Entsprechen die Ausgangswerte des Verstärkers den erwarteten Werten (Eingangssignal und Verstärkung sind bekannt), kann dieser Block als funktionstüchtig abgehakt werden. Ebenso werden alle nachfolgenden Blöcke (Filter, Tiefpass, usw.) überprüft. Vorgesehene Kontrollmöglichkeiten sind dabei zu nutzen.

Fehlerfreie Funktionsblöcke sollten z.B. in Blockschaltbild markiert werden. Dies erhöht die Übersicht besonders wenn die Prüfreihefolge vom BSB abweicht.

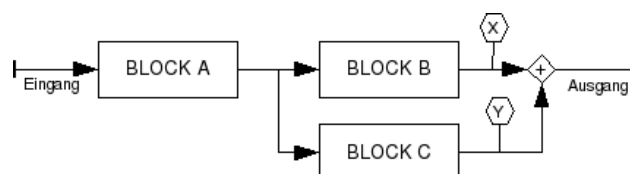


Abbildung 2: verallgemeinertes Blockschaltbild einer Signalzusammenführung

Signalverfälschung durch Rückwirkungen Findet eine Zusammenführung von Signalen statt, wie in Abbildung 2 zu sehen, kann die Fehlerursache an den Messpunkten X und Y nicht länger zuverlässig bestimmt werden, da sich die Signale gegenseitig beeinflussen.

Hier ist es deshalb nötig die Signalzusammenführung **zeitweise** aufzuheben, so dass die entsprechenden Funktionsblöcke einzeln überprüft werden können.

Ein Funktionsblock kann ebenfalls von seinem Nachfolger beeinflusst werden. Hätte z.B. der Filter in Abbildung 1 einen zu geringen Eingangswiderstand, so würde dies die Messung am Messpunkt 2 verfälschen, falls der Eingangsverstärker nicht genügend Strom liefern kann (Spannung würde einbrechen).

Solche Rückwirkungen lassen sich ebenfalls nur durch das Auftrennen der Signalkette sicher erkennen.

Testsignale einsetzen Um die Fehlerursache sicher einzugrenzen ist es sinnvoll den zu prüfenden Funktionsblock mit einem definierten Testsignal aus dem Funktionsgenerator zu testen. Dazu muss dieser Block vom bisherigen Signalfluss getrennt werden.

Signalfluss zeitweise auftrennen Um Funktionsblöcke oder einzelne Bauteile vom Signalfluss zu trennen gibt es mehrere Möglichkeiten:

IC entfernen Gesockelte ICs können einfach entfernt werden sofern der komplette IC nicht benötigt wird. Werden einige Gatter im aktuellen Block gebraucht, kann man z.B. den Ausgangspin hochbiegen oder den IC extern auf einem Steckbrett aufbauen. Es sind dann lediglich die benötigten Gatter durch Kabel mit dem Sockel zu verbinden.

Bauelemente auslöten Bauelemente ohne Sockel müssen zumindest teilweise ausgelötet werden. Es reicht z.B. eine Seite eines Widerstands auszulöten um den Signalfluss zu unterbrechen. Es darf dabei allerdings nicht zuviel Kraft angewandt werden da sonst die Leiterbahn beschädigt werden kann.

Leiterbahn durchtrennen Letztendlich gibt es noch die Möglichkeit die Leiterbahn mit einem Skalpell bzw. scharfen Messer zu durchtrennen, so dass keine Verbindung bestehen bleibt (Abbildung 3a). Nach der Prüfung des Funktionsblocks muss die Leiterbahn mit etwas Lötzinn wiederhergestellt werden (Abbildung 3b).

Die Unterbrechung und die Wiederherstellung des Signalfusses sind mit dem Multimeter (Durchgangsprüffunktion) zu testen.



Abbildung 3: a) aufgetrennte Leiterbahn b) reparierte Leiterbahn

2.3 Fehler innerhalb einer Baugruppe lokalisieren

Ist der Fehler erfolgreich auf einen Funktionsblock eingegrenzt, muss dieser Funktionsblock näher untersucht werden. Hier ist es erforderlich, die Funktionsweise dieses Teilbereichs der Schaltung im Detail zu kennen. Ansonsten können die gemessenen Werte nicht richtig interpretiert werden und die Fehlersuche zieht sich unnötig in die Länge. Sind die benötigten Kenntnisse nicht in der entsprechenden Tiefe vorhanden, muss dies eingestanden und behoben werden.

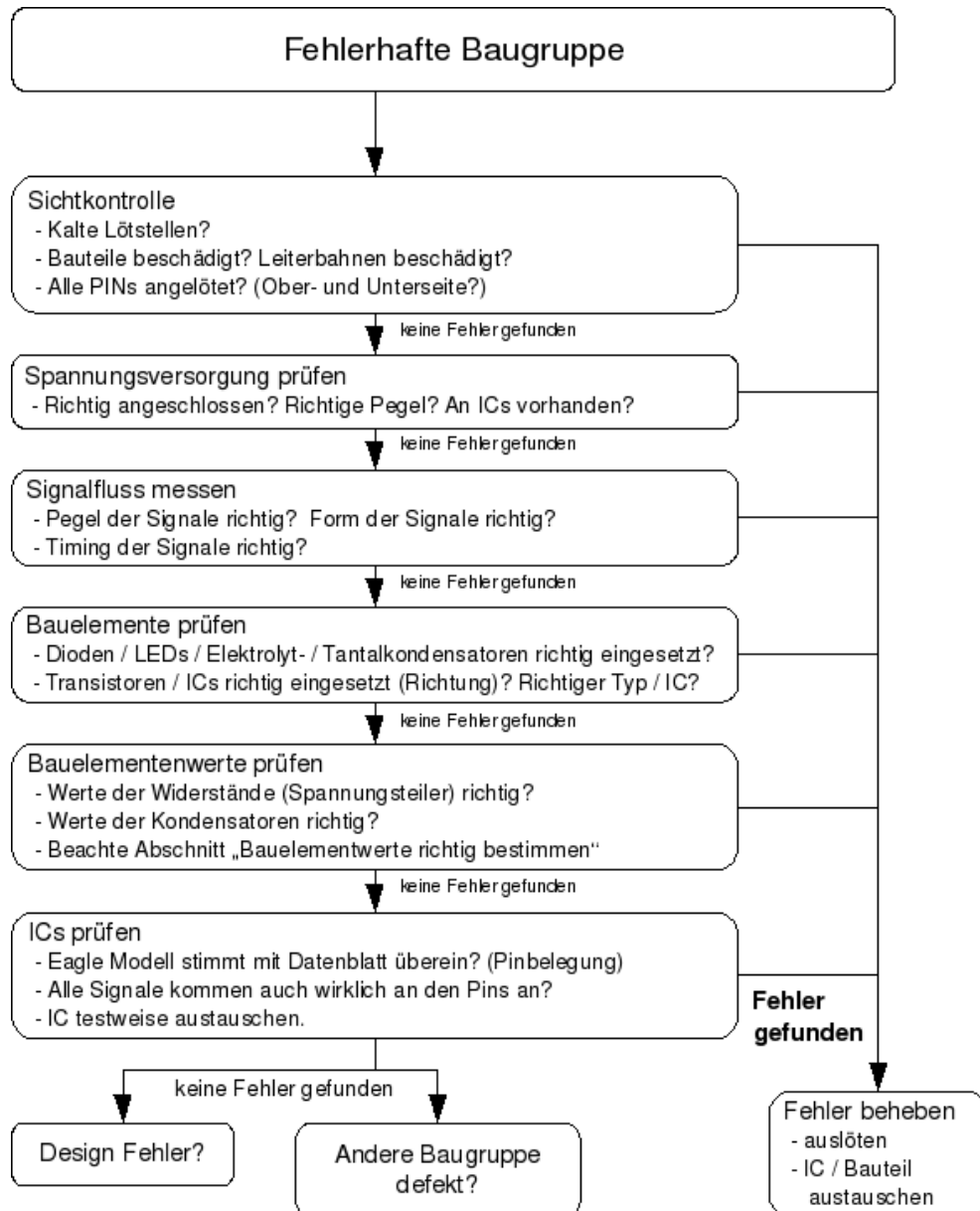


Abbildung 4: Fehlerhafte Baugruppen untersuchen

2.3.1 Lötfehler

Gerade wenn man platzsparende Platinen entwickelt hat, schleichen sich beim Löten Fehler ein. Deshalb sollte man als erstes alle Lötunkte akribisch abgehen und mit einem Ausdruck von Eagle vergleichen.

Ein häufiger Fehler ist, dass man zwei benachbarte Lötunkte miteinander verbunden hat

(Abbildung 5a) oder dass man aus Versehen den Lötspunkt zur Nachbarleitung erweitert hat.



Abbildung 5: a) ungewollter Kontakt durch zu viel Lot b) kein Kontakt trotz löten

Findet man solch einen Fehler reicht es meist, kurz den Lötspitzen an die Lötstelle zu halten und das Zinn flüssig werden zu lassen. Meist läuft das Zinn dann von der kupferfreien Stelle ab. Es kommt ebenfalls vor, dass man zu sparsam mit dem Lötzinng umgegangen ist, so dass das Bauelement am Ende nicht angelötet ist (Abbildung 5b).

2.3.2 Bauelement falsch eingelötet

Dioden Eine normale Diode muss in Durchlassrichtung geschaltet werden, in entgegengesetzter Richtung sperrt sie den Stromfluss bis zur Durchbruchsspannung, wobei die Diode zerstört wird. Bei Dioden ist die Kathode mit einem Strich gekennzeichnet (Abbildung 6a). Bei LEDs ist das Gehäuse auf Kathodenseite markiert (abgeflacht oder eingekerbt). Ausserdem wird das Kathodenbein meist kürzer ausgeführt (Abbildung 6b). Der ‘‘Napf’’ hingegen ist kein eindeutiges Merkmal, da er Anode oder Kathode sein kann.

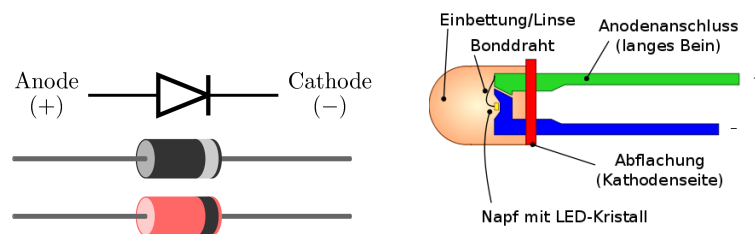


Abbildung 6: a) Standarddiode [3] b) LED [4]

Es gibt aber auch Ausnahmen bei der Beschaltung. Eine Zener Diode wird in Sperrrichtung betrieben, um z.B. eine Spannungsstabilisierung zu realisieren.

Tipp: Bedenke dass jede LED einen Vorwiderstand haben sollte, um den Strom durch die LED zu begrenzen, da sie sonst zerstört wird. Den maximalen Strom kann man dem Datenblatt der jeweiligen LED entnehmen.

Kondensatoren Bei einigen Kondensatoren muss auf die Polarität geachtet werden, da man den Kondensator sonst zerstört. Dies sind Elektrolytkondensatoren, auch Elkos genannt und Tantal-Elektrolytkondensatoren, kurz Tantals. Der Elektrolytkondensator besitzt zur Markierung seiner Kathode einen weißen Strich bzw. einen Aufdruck (Abbildung 7a). Beim Tantal-Elektrolytkondensator hingegen wird die **Anode** durch ein ‘‘+’’ gekennzeichnet (Abbildung 7b). Bei Tantal-SMD-Bauweise wird zur Kennzeichnung ein Strich verwendet!

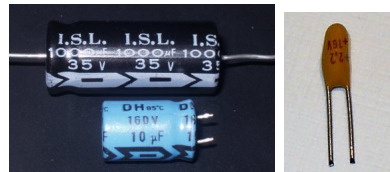


Abbildung 7: a) Elektrolytkondensatoren [5] b) Tantal-Elektrolytkondensator [6]

Transistoren und ICs Da es für Transistoren keinen allgemeinen Standard zur Pinbelegung gibt, ist die korrekte Pinbelegung dem jeweiligen Datenblatt zu entnehmen. Im Labor existiert außerdem ein spezielles Messgerät, der PRO-Determinator, welcher die Pinbelegung und einige wichtige Kenngrößen anzeigt. Transistoren können zum einen gespiegelt eingebaut werden oder die Pinbelegung weicht völlig vom Layout ab. Dies kann passieren wenn für das Layout nicht das richtige Package verwendet wurde.

Bei ICs ist darauf zu achten, dass der IC richtig eingesetzt wird. Die Markierung (Kerbe oder Punkt) die auf den ersten Pin hinweist, ist wie im Bestückungsplan angegeben auszurichten. Man sollte darauf achten, dass alle Eingänge des ICs beschaltet sind (Pulldown-Widerstand zu Masse oder Pullup-Widerstand).

2.3.3 Bauelementwerte richtig bestimmen

Das Messen von Bauelementen im eingebauten Zustand ist prinzipiell nicht zu empfehlen da die Bauelemente über die Leiterbahnen miteinander verbunden sind. Will man z.B. einen Pulldown-Widerstand messen, so erhält man den Widerstandswert des Pulldown-Widerstands parallel zur gesamten Schaltung! Vergleichbares passiert beim Messen einer eingebauten Kapazität.

Bauelementwerte sollten deshalb über den Aufdruck des Farbcodes bzw. der Beschriftung bestimmt werden. Vermutet man einen Defekt muss das fragliche Bauelement zum messen wenigstens teilweise ausgelötet werden.

2.3.4 Signalfluss messen

Beim Messen des Signalflusses ist darauf zu achten, dass:

- die Messung das Signal verfälschen kann
- das richtige Messgerät verwendet wird (Oszilloskop bei zeitveränderlichen Signalen / Multimeter bei konstanten oder sinusförmigen Signalen)
- das Messgerät richtig eingestellt ist (Amplitude, Offset, Zeitbasis, Kopplung, Trigger, Teiler, usw.)

2.3.5 ICs prüfen

Da es sehr viele unterschiedliche ICs gibt, ist ein allgemeingültiger Ansatz nicht möglich. Deshalb können wir hier nur Anhaltspunkte zum Testen geben.

- Stimmen IC-Typ, Pinlayout und Einbaurichtung?
- Wurde der IC beim Löten zu heiß? (Nur für SMD interessant, da für DIL Gehäuse Sockel verwendet werden!)

- Eingänge richtig beschaltet? (Pulldown / Pullup Widerstände)
- IC oder Gatter vertauscht?

Operationsverstärker Bei OPVs lassen sich nur bestimmte Werte im eingebauten Zustand messen bzw. beeinflussen:

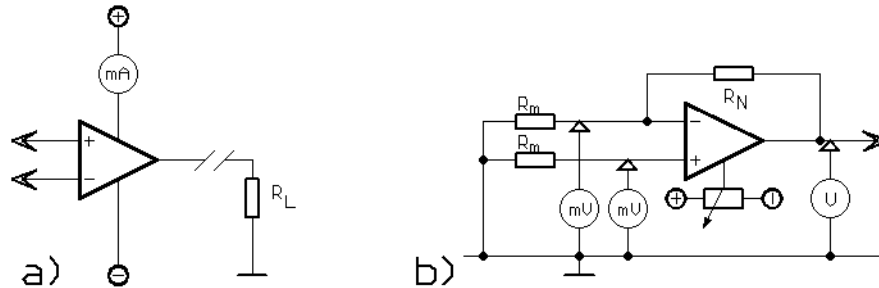


Abbildung 8: a) Nennstrommessung ohne Last b) Nullabgleich

- Die Nennstromaufnahme wird ohne Ausgangslast gemessen. Dazu muss evtl. die Versorgungsleitung unterbrochen werden (Abbildung 8a). 0,5 – 2,5mA sind Standardwerte. Gültige Werte des ICs findet man im Datenblatt.
- Die Spannungsverstärkung V_u ergibt sich aus dem bekannten Widerstandsverhältnis.
- Bei einigen OPVs lässt sich die Offset-Spannung U_{off} einstellen. Sie liegt meistens zwischen $0... \pm 10\text{mV}$ und wird mit dem Nullabgleichspotentiometer beeinflusst (Abbildung 8b). Dazu werden die Eingänge über R_m auf GND gelegt. Die verstärkte Offset-Spannung U_{off} wird am Ausgang gemessen und mit dem Potentiometer auf 0V abgeglichen.
- Wenn eine zu große oder zu kleine Ausgangsspannung U_a anliegt, ist entweder der OPV defekt oder die Verstärkung V_u ist zu groß bzw. zu klein. Es muss das Widerstandsverhältnis geprüft und ggf. geändert werden.
- Wenn keine Ausgangsspannung vorhanden ist, kann nach Messung der Nennstromaufnahme und bei Veränderung der Eingangsamplituden die Stromänderung gemessen werden. Ist sie bei höherer Eingangs-Amplitude geringer, ist der OPV defekt.

Nachfolgend einige Fehlerfälle in OPV Schaltungen:

	<p>Der invertierende Eingang ist unterbrochen, deshalb keine Gegenkopplung und kein Eingangssignal am invertierenden Eingang. Der OPV steuert voll aus.</p>
	<p>Unterbrechung des invertierenden Eingangs vor der Gegenkopplung, so dass das Eingangssignalsignal zurückgekoppelt wird. Am Ausgang stellt sich das stark gedämpfte Eingangssignal ein.</p>
	<p>Der OPV steuert voll aus; messbar ist nur das über R_G übertragene Signal U_e.</p>
	<p>Die Rückkopplung ist unterbrochen. Somit wird die Begrenzung der Leerlaufverstärkung V_0 aufgehoben weshalb U_a voll aussteuert.</p>
	<p>Kurzgeschlossene Eingangänge ($U_{diff} = 0$) und damit kein Ausgang U_a bis auf minimale Schwankungen durch U_{offset}.</p>
	<p>Kurzschluss des Ausganges mit U_{cc}; dieser Pegel erscheint am Ausgang, durch die Rückkopplung von U_{cc} auch auf den invertierenden Eingang.</p>

Literatur

- [1] Benda, Dietmar *Das große Handbuch der Fehlersuche in elektronischen Schaltungen*, Franzis Verlag, 2007, TUB-ID: ZN 5400 33
- [2] Agans, David J. *Debugging*, AMACOM, 2002
- [3] TedPavlic, *Diode 3D*,
URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Diode_3D_and_ckt.png>, [letzter Aufruf 09.05.2009] (PNG-Datei, 17KB)
- [4] Cepheiden, *LED Aufbau*,
URL: <[http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LED-Aufbau_\(Schema\).svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LED-Aufbau_(Schema).svg)>, [letzter Aufruf 09.05.2009] (SVG-Datei, 13KB)
- [5] Omegatron, *Capacitors electrolytic*,
URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Capacitors_electrolytic.jpg>, [letzter Aufruf 13.05.2009] (JPG-Datei, 20KB)
- [6] Elcap Jens Both , *Tantal Perle* ,
URL: <<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tantal-Perle-Wiki-07-02-25-P1040364b.jpg>>, [letzter Aufruf 13.05.2009] (JPG-Datei, 37KB)

Anhang A Ätz- und Platinenfehler

Es kann passieren, dass das Kupfer von der Säure nicht sauber abgetragen wurde und daher kleine Haarkontakte zwischen zwei Leiterbahnen bestehen bleiben. Da diese kleinen Haarkontakte schwer mit dem Auge erkennbar sind empfiehlt es sich, die Durchgangsprüfung des Multimeters zu verwenden.

Anfällig dafür sind Leiterbahnen, die nah an Kontakten vorbei gehen oder durch zwei Pins hindurchgeführt werden. Am besten ist es, die Suche mit einem Eagle-Ausdruck abzugleichen um, korrekte Verbindungen von falschen zu unterscheiden.

Auch beim Bohren können Späne zu ungewollten Kontakten führen (siehe Abbildung 9).

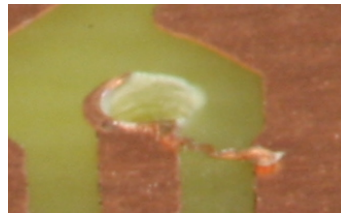


Abbildung 9: ungewollter Kontakt zweier Leiterbahnen durch Bohrspäne.

Sollte man solche Verbindungen sehen, durchtrennt man diese am besten mit einem scharfen Skalpell bzw. Cuttermesser oder man fräst sie mit dem Dremel weg (Kugelfräskopf benutzen).