

## **Abschlussbericht Puls/ Temperaturgruppe (Gruppe 1)**

### **Projekt „Biofeedbackgerät“**

im Rahmen des Projektlabors WS 2001/2002

#### **Inhalt**

1. Planung des Projektes
2. Funktionsweise des Pulssensors
  - 2.1. allgemeine Funktionsweise
  - 2.2. Schaltungsbeschreibung Pulssignalverstärker
  - 2.3. Schaltungsbeschreibung Auswertungsschaltung
3. Funktionsweise des Temperatursensors
  - 3.1. allgemeine Funktionsweise
  - 3.2. Schaltungsbeschreibung
4. Beschreibung des Sensors
5. Informationsquellen für das Projekt
6. Schaltungssimulation mit Pspice
7. Schaltungstest durch Aufbau auf Platinen
8. Platinenlayout mit Eagle
9. Herstellen der Platine
10. Testen der Gesamtschaltung „Stöpseltermin“

#### **1. Planung des Projektes**

Für das Projekt „Biofeedbackgerät“ im Rahmen des Wintersemesters 2001/2002 stand der Zeitraum vom 17. Oktober 2001 bis zum 24. Januar 2002 zur Verfügung. Innerhalb dieses Zeitraums musste unsere Gruppe für das Biofeedbackgerät eine Einsteckkarte (Europlatine) sowie einen Sensor fertig stellen. Der Sensor soll am Körper des „Patienten“ angebracht werden. Die Signale, die der Sensor liefert, werden mit der Elektronik auf der Platine in Spannungspegel von 0-3 V umgewandelt, so dass die Gehäusegruppe diese Signale visuell und akustisch wiedergeben kann. Damit die Zusammenarbeit der Platine mit den anderen Komponenten des Biofeedbackgerätes gewährleistet ist, wurde eine Schnittstelle vereinbart, und zwar ein Bussystem mit einem 64 poligem Stecker, der eine feste Pinbelegung hat.

Die Sensoren für unsere Gruppe sollen die Pulsfrequenz, den aktuellen Herzschlag sowie die Hauttemperatur bestimmen können. Dazu haben wir verschiedene Messtechniken diskutiert, letztendlich wurde für den

Pulssensor ein optisches Verfahren genutzt (siehe dazu Punkt 2) und für den Temperatursensor ein temperaturabhängiger Widerstand (siehe dazu Punkt 3).

Das Projekt hat verschiedene Phasen durchlaufen, zunächst musste unser Wissen bezüglich der eingesetzten Elektronik erweitert werden, da nur Grundkenntnisse aus den Lehrveranstaltungen Grundlagen der Elektrotechnik 1A+1B vorhanden waren. Dazu dienten Referate und Recherche im Internet, siehe dazu Punkt 5. Danach wurden die Schaltungen mit Pspice simuliert (Punkt 6) und im Labor aufgebaut und getestet (Punkt 7). Nach erfolgreichem Testen der Schaltungen wurden diese mit Eagle auf eine gemeinsame Platine layoutet (siehe Punkt 8) und die Platine wurde geätzt, gebohrt und die Bauelemente wurden verlötet (Punkt 9). Zum Schluss wurde die Gesamtschaltung getestet (Punkt 10).

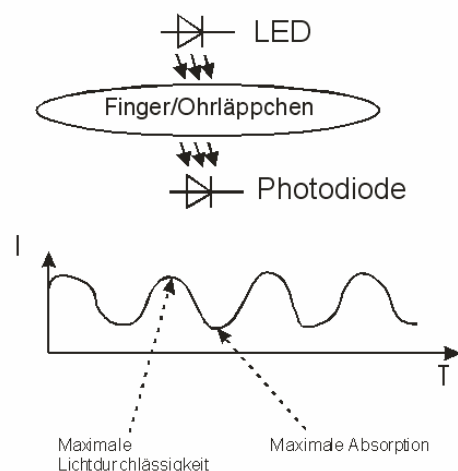
Im Folgenden werden die einzelnen Punkte genauer erläutert.

## 2. Funktionsweise des Pulssensors

### 2.1. allgemeine Funktionsweise

Der Pulssensor funktioniert nach dem Prinzip der Durchlichtpulsmessung. Dabei wird infrarotes Licht mit der Wellenlänge 950 nm durch den Finger oder das Ohrläppchen geschickt. Bei der Kammerkontraktion des Herzens (Systole) steigt der Blutdruck an, es strömt Blut in den Finger bzw. das Ohrläppchen ein und die roten Blutkörperchen (Erythrozyten) absorbieren das infrarote Licht.

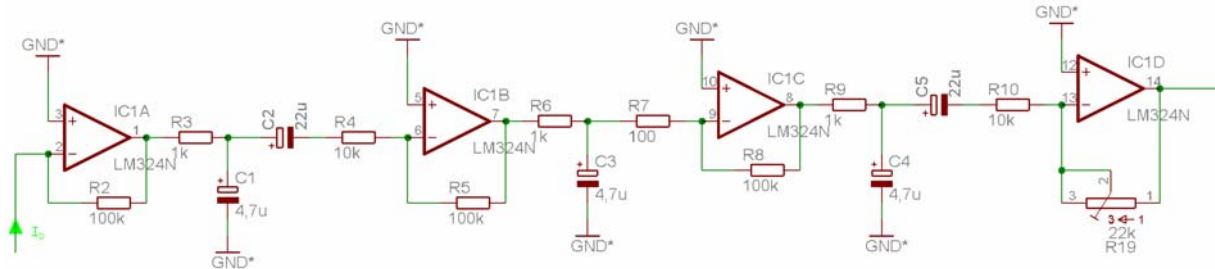
Pulsmessung im Durchlichtverfahren



### 2.2. Schaltungsbeschreibung Pulssignalverstärker

Das infrarote Licht wird in unserem Falle mit einer Infrarot-LED (LD 271) erzeugt, aufgenommen wird es mit einer Infrarot-Photodiode (BP 104 F), die beide in unserem Sensor gegenüberliegend angebracht sind. Der Sensor besitzt außerdem eine Feder und erzeugt so einen leichten

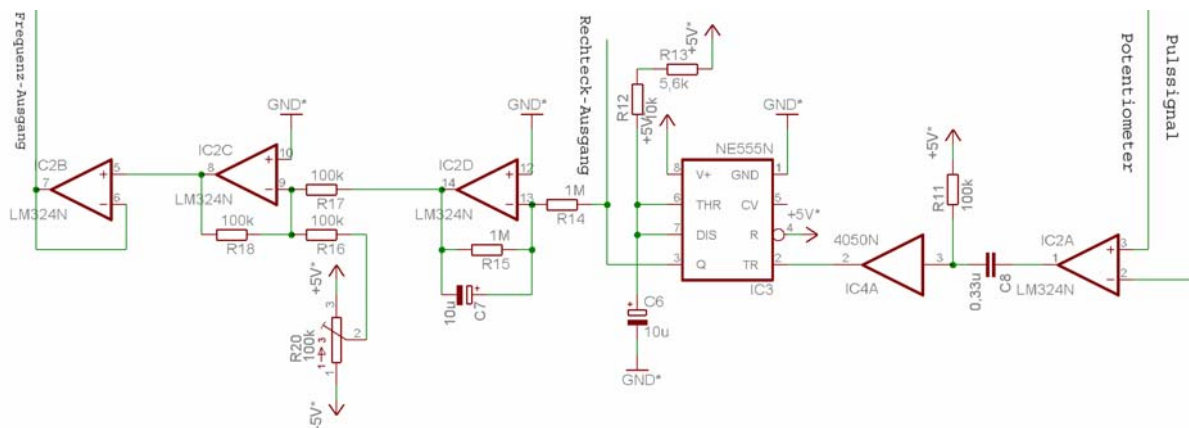
Anpressdruck, der das Signal verbessert, da im Körpergewebe die Erythrozyten während der Erschlaffungsphase (Diastole) des Herzens aus dem Finger/ Ohrläppchen ausgepresst werden. Dadurch können zu diesem Zeitpunkt mehr Photonen das Gewebe durchdringen und die Signalamplitude wird größer. Die IR-Photonen erzeugen bei Absorption



in der Photodiode einen Diodenstrom  $I_d$ . In dem folgenden Schaltbild ist zu sehen, dass der Strom  $I_d$  mit einem Strom-Spannungswandler in eine Spannung umgewandelt wird. Der Strom-Spannungswandler wird mit einem LM324 Operationsverstärker realisiert, wobei zwischen invertierendem Eingang und Ausgang ein Widerstand von  $100\text{ k}\Omega$  geschaltet ist. Dieser Widerstand bewirkt nach der Formel  $U = -RI$  bei einem Strom von  $1\text{ }\mu\text{A}$  (typischer Diodenstrom bei Durchleuchtung des Fingers) eine Ausgangsspannung von  $-100\text{ mV}$ . Diese Ausgangsspannung enthält einen hohen Anteil an Gleichlicht (d.h. Licht, das nur einen Offset beim Pulssignal erzeugt). R3 und C1 bilden einen Tiefpass mit einer  $-3\text{ dB}$  Knickfrequenz von  $33\text{ Hz}$ . Dieser Tiefpass filtert das Netzbrummen von  $50\text{ Hz}$  und seine Harmonischen aus dem Signal. Anschließend folgt der C2, der den Gleichlichtanteil aus dem Signal filtert. Dieser Gleichlichtanteil ist groß gegenüber dem Wechsellichtanteil, so dass der zweite Operationsverstärker als invertierender Verstärker den Wechsellichtanteil mit einer Verstärkung von  $V=10$  verstärkt. Danach kommt wieder ein Tiefpass, der genauso wie der erste dimensioniert ist. Anschließend wird die Spannung nochmals  $1000$  fach verstärkt, mit einem Tiefpass und einem Hochpass wie nach dem Strom-Spannungswandler. Zum Schluss wird das Signal ca.  $2$  fach verstärkt, wobei ein Potentiometer zum kalibrieren der Verstärkung genutzt wird, um ein Übersteuern des OP-Amps zu verhindern. Anschließend wird das Signal an die Auswertungsschaltung weitergeleitet. Am Eingang der Verstärkerschaltung wurde noch ein  $270\text{ pF}$  Kondensator gegen Masse angeschlossen, der hochfrequente Störungen auf der Signalleitung zum Sensor ausfiltert. Die Versorgungsspannung der Schaltung beträgt einheitlich  $+5\text{ V}$ ,  $-5\text{ V}$ . Sie wird von der Gehäusegruppe geliefert und wird aus Sicherheitsgründen aus Batterien erzeugt.

### 2.3. Schaltungsbeschreibung Auswertungsschaltung

Nach der Verstärkerschaltung durchläuft das Signal, das einer Sinuskurve ähnlich ist (siehe Seite 2) eine Auswertungsschaltung. Zunächst kommt ein LM324 Operationsverstärker (in der Schaltung heißt er IC2A), der als Komparator beschaltet ist. Die Schwellspannung des Komparators ist mit einem Potentiometer einstellbar, das am Gehäuse



des Gerätes montiert ist. Durch den Komparator entsteht ein Rechteckimpuls im Pulstakt, der jedoch eine variable Pulsbreite hat. Zur Bildung des arithmetischen Mittelwertes muss jedoch ein Rechteckimpuls mit definierter Impulsbreite erzeugt werden, was mit einem 555 Timer IC gemacht wird. Zwischen dem 555 Baustein und dem Komparator ist ein Nadelimpulsgenerator geschaltet (mit einem 4050N IC realisiert), da die direkte Verbindung von Komparator und 555 Timer IC nicht funktioniert hat. Am Pin 3 des Timer ICs liegt nun das Ausgangssignal „Puls-Impuls“ an, das den Herzschlag durch das Blinken einer LED oder das Piepen eines Lautsprechers darstellen kann. Um die Herzfrequenz zu bestimmen, folgt ein arithmetischer Mittelwertbildner. Dieser ist mit dem IC2D realisiert, der ebenfalls ein LM324 Operationsverstärker ist. Da das Signal jedoch invertiert ist und der Offset eingestellt werden muss, durchläuft das Signal einen invertierenden Addierer (IC2C), der einen konstanten Spannungswert zum Signal addiert. Damit das System nicht belastet wird, kommt noch ein Spannungsfolger hinzu (IC2B). Am Ausgang des Spannungsfolgers liegt nun das Pulsfrequenz-Signal an, wobei eine Spannung von 0 V einer Pulsfrequenz von 30 Schlägen in der Minute und eine Spannung von 3 V einer Pulsfrequenz von 240 Schlägen in der Minute entspricht.

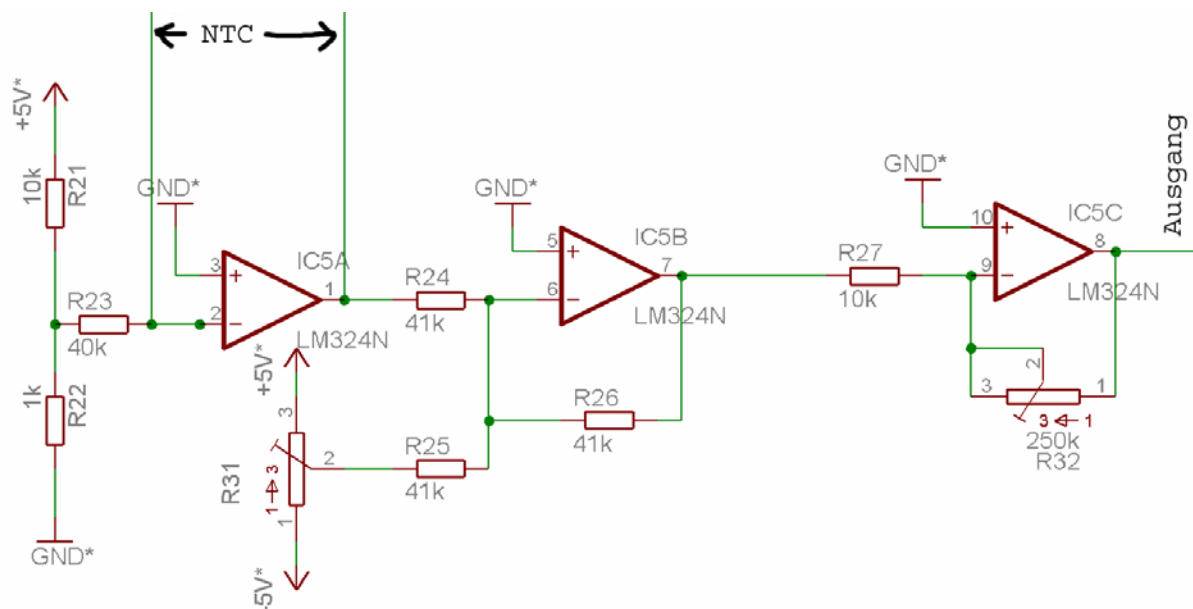
### 3. Funktionsweise des Temperatursensors

#### 3.1. allgemeine Funktionsweise

Der Temperatursensor funktioniert mit einem NTC (temperaturabhängiger Widerstand mit negativem Temperaturkoeffizienten, d.h. je höher die Temperatur, desto geringer der Widerstand des NTCs). Um den Widerstandswert in eine Spannung umzuwandeln und diese Spannung auf den 0-3 V Pegel zu kalibrieren werden Operationsverstärker und Potentiometer genutzt. Der NTC ist in dem Sensor integriert, siehe dazu Punkt 4.

#### 3.2. Schaltungsbeschreibung

Die Widerstände R21 und R22 bilden einen Spannungsteiler, der eine feste Spannung von 0,45 V erzeugt. Diese Spannung wird mit dem IC5A verstärkt, der als invertierender Verstärker beschaltet ist. Die Verstärkung wird mit dem NTC geregelt, dadurch ergibt sich eine temperaturabhängige Verstärkung. Danach folgt eine Addierschaltung

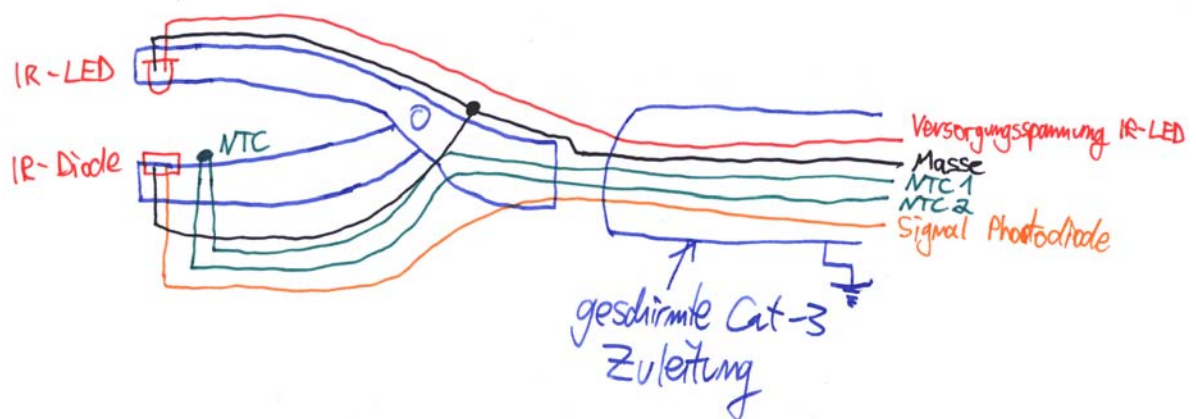


(IC5B), die zum Einstellen des Offsets benötigt wird (das Potentiometer R31 dient zum Einstellen der Offsetspannung). So kann man zum Beispiel eine Spannung von 0 V für eine Temperatur von 20 °C einstellen. Um nun eine positive Spannung zu erhalten und die Steigung der Spannung zu beeinflussen, folgt ein weiterer invertierender Verstärker (IC5C), dessen Verstärkung über ein Potentiometer

eingestellt wird. An dem Ausgang dieses Verstärkers liegt das Temperatur-Ausgangssignal an. (0 V entsprechen Raumtemperatur (20 °C) und 3 V entsprechen 40 °C).

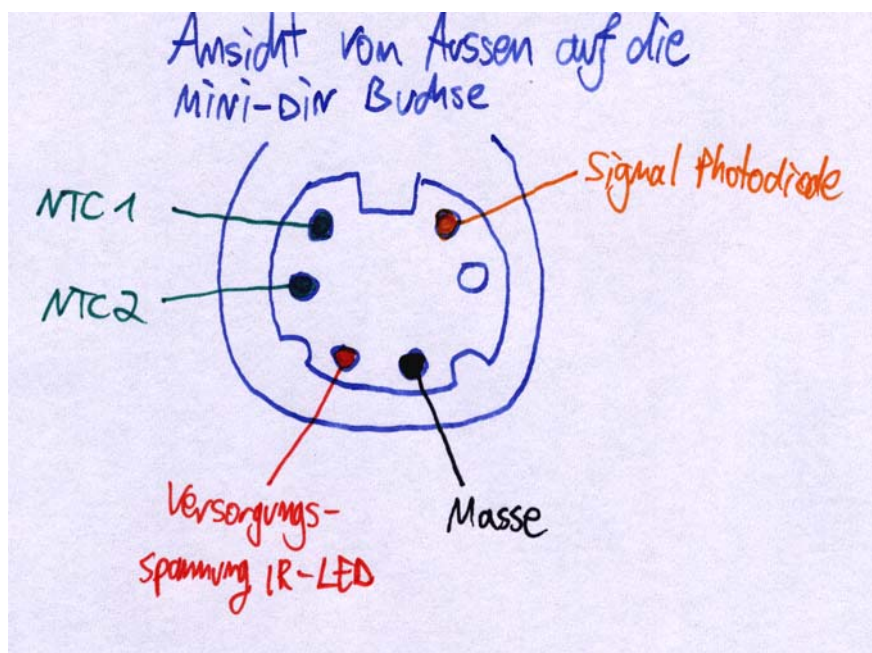
#### 4. Beschreibung des Sensors

Der Sensor wird an das Gehäuse des Biofeedbackgerätes per PS/2 Stecker (mini DIN) angeschlossen. Wie in der Skizze zu sehen, handelt es sich um einen kombinierten Puls/ Temperatursensor, wobei zwischen



IR-LED und Diode der Finger bzw. das Ohr läppchen kommen. Die Zuleitung ist ein geschirmtes Category 3 Kabel, wobei der Schirm auf Masse gelegt ist.

Folgende Skizze zeigt noch einmal die Buchsenbelegung der Zuleitung:



## **5. Informationsquellen für das Projekt**

Als Informationsquellen dienten hauptsächlich Referate, die sich mit folgenden Themen beschäftigten: medizinische Grundlagen des Pulses und der Körpertemperatur, Sensoren für Puls und Körpertemperatur (EKG, Durchlichtpulsmesser, mechanischer Pulsmesser, NTC Temperaturmessung), Operationsverstärker, aktive und passive Filter, SMD Fertigungstechnik, PSpice Simulationsprogramm, Eagle Platinenlayoutprogramm, Leiterplattenfertigung.

Außerdem wurden zahlreiche Datenblätter im Internet auf den Herstellerseiten (von Infineon, Osram, Analog Devices...) heruntergeladen. Ansonsten wurden die Tutoren gefragt oder innerhalb der Gruppe wurde vorhandenes Wissen ausgetauscht.

## **6. Schaltungssimulation mit PSpice**

Die Schaltungssimulation mit PSpice wurde von der Temperaturgruppe genutzt, da der NTC sehr einfach simuliert werden konnte. Für das Pulssignal war die Simulation jedoch ungeeignet, da ein solch kompliziertes Biosignal mit PSpice nicht erzeugt werden konnte. PSpice enthält einige gängige Operationsverstärker, u.a. den LM324. Dadurch konnten invertierende Verstärker, Addierer usw. sehr gut simuliert werden. Für den Umgang mit PSpice gab es ein Referat, das die Erstellung eines Schaltplanes mit PSpice und das Simulieren dieses Schaltkreises anhand von einfachen Beispielen wie zum Beispiel einem Tiefpass demonstrierte.

Durch die Simulation mit PSpice konnten Filter sehr gut berechnet werden, da die Amplitude einer Störspannung bzw. eines Nutzsignals über einen großen Frequenzbereich dargestellt werden konnten und mit dem ursprünglichen Signal verglichen werden konnten.

## 7. Schaltungstest durch Aufbau auf Platinen

Nach dem Entwerfen und Simulieren der Schaltungen folgte eine experimentelle Phase im Labor, die die meiste Zeit im Projekt in Anspruch nahm. Die Schaltungen wurden auf Lochraster aufgebaut und die Signale wurden im Oszilloskop analysiert, wobei sich für die langsam veränderlichen Biosignale nur Speicheroszilloskope eigneten. Im Verlauf der experimentellen Phase stellte sich heraus, dass das Bestimmen des Pulses mit dem EKG (Elektrokardiogramm) nicht ohne weiteres mit dem uns zur Verfügung stehendem Wissen durchführbar war. Deshalb haben wir uns für die leichtere Variante (die Durchlichtpuls-messung, wie am Anfang des Berichtes beschrieben) entschieden. Dieses Verfahren zeigte schnell Erfolge und eine brauchbares Nutzsignal. Bei dem Experimentieren zeigte sich schnell, dass viele Störungen das Nutzsignal überlagern und dass Biosignale starken Variationen unterworfen sind. So funktionierte die Pulsmessung bei unterschiedlichen Testpersonen verschieden gut, die Kurvenformen der IR-Sensorschaltung unterschieden sich je nach Testperson stark. Als Beispiel folgt der Aufbau der Pulsauswertungsschaltung mit einigen oszilloskopierten Bildern.



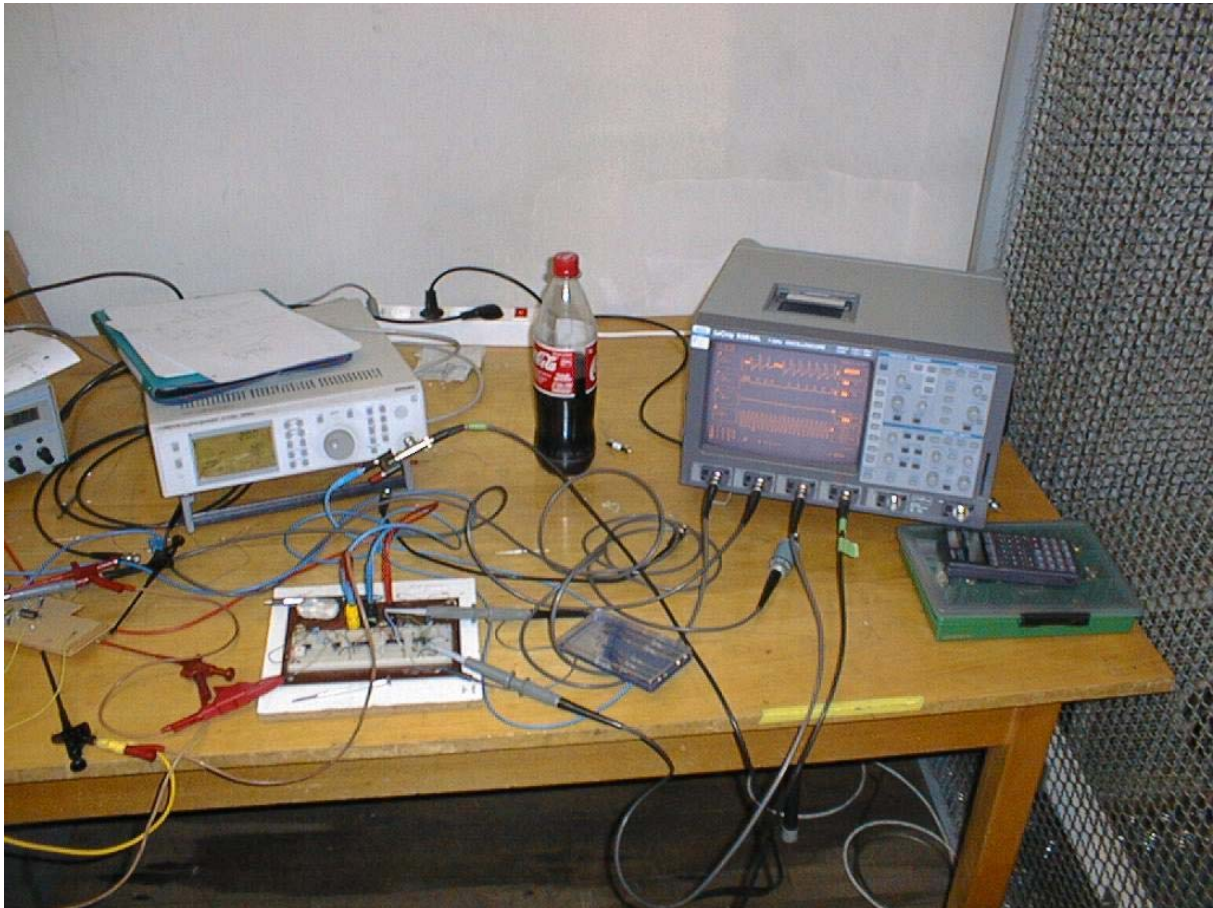


Abb. 7.1 Versuchsaufbau Pulsschaltung

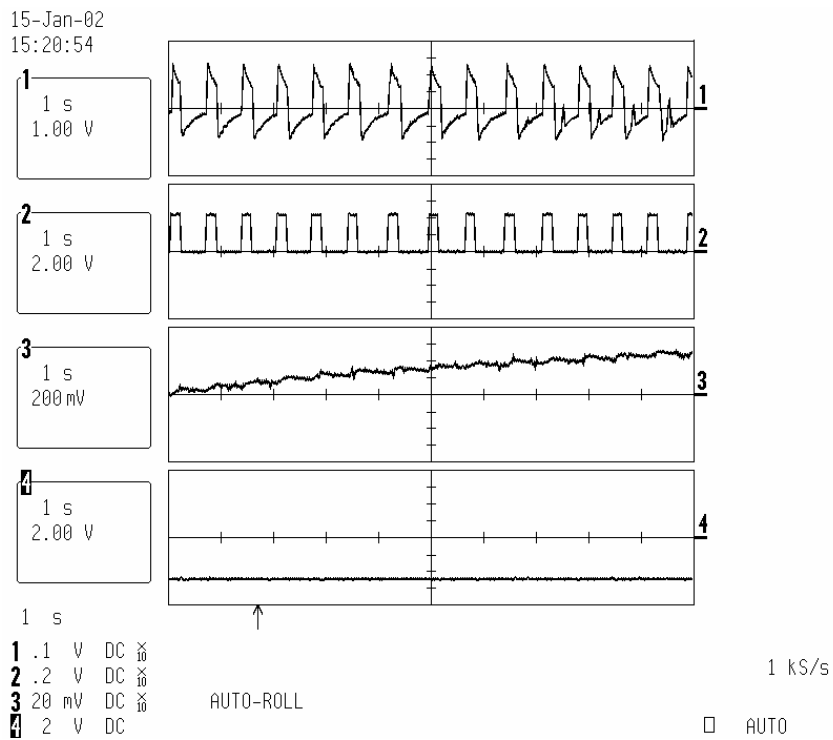


Abb. 7.2 Oszilloskopbild Pulsschaltung

In der Abbildung 7.1 erkennt man den Versuchsaufbau zur Pulsschaltung. Das Gerät auf der linken Seite ist ein Frequenzgenerator, rechts ist ein Oszilloskop.

Mit dem Frequenzgenerator wurde zunächst ein idealer Sinus für die Auswertungsschaltung erzeugt, danach wurde ein reales Pulssignal von dem IR-Verstärker angeschlossen. Die Oszilloskopbilder in der Abbildung 7.2. zeigen das Oszilloskopbild dieser Schaltung. Ganz oben ist das ursprüngliche Pulssignal zu sehen, dann folgt das Rechtecksignal des Timer

ICs und danach folgt der arithmetische Mittelwertbilder. Die Triggerung des Komparators kann man schön in der Abbildung 7.3 beobachten.

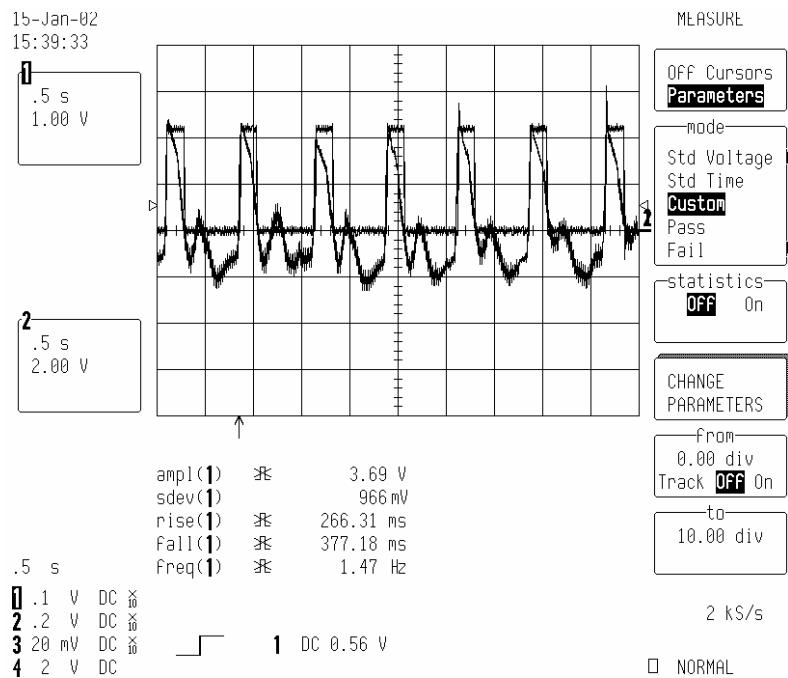


Abb. 7.3 Triggerung des Pulssignals

## 8. Platinenlayout mit Eagle

Nach dem erfolgreichen Testen der Schaltungen musste eine Platine entworfen werden, die alle Schaltungen sowie einen 64-poligen Busstecker enthält. Dazu wurde die Platinenlayoutsoftware Eagle von Cadsoft eingesetzt. Der Umgang mit dieser Software wurde in einem Referat demonstriert.

Zunächst musste der Gesamtschaltplan in einer sogenannten Schematic Datei entworfen werden. Dabei wurden die Bauteile schon nach Bauform ausgesucht, so dass aus der Schematic Datei leicht eine Board Datei erzeugt werden konnte, aus der die Folien zum Belichten und Ätzen der Platine gedruckt werden konnten. Die Board Datei enthält das tatsächliche Layout der Platine, wobei die Leiterbahnen von Eagle per Autorouter verlegt werden. Wir haben eine doppelseitige Platine hergestellt, da eine einseitige Platine aufgrund der komplizierten Schaltung nicht möglich war. Auf der nächsten Seite ist der komplette Schaltplan zu sehen.

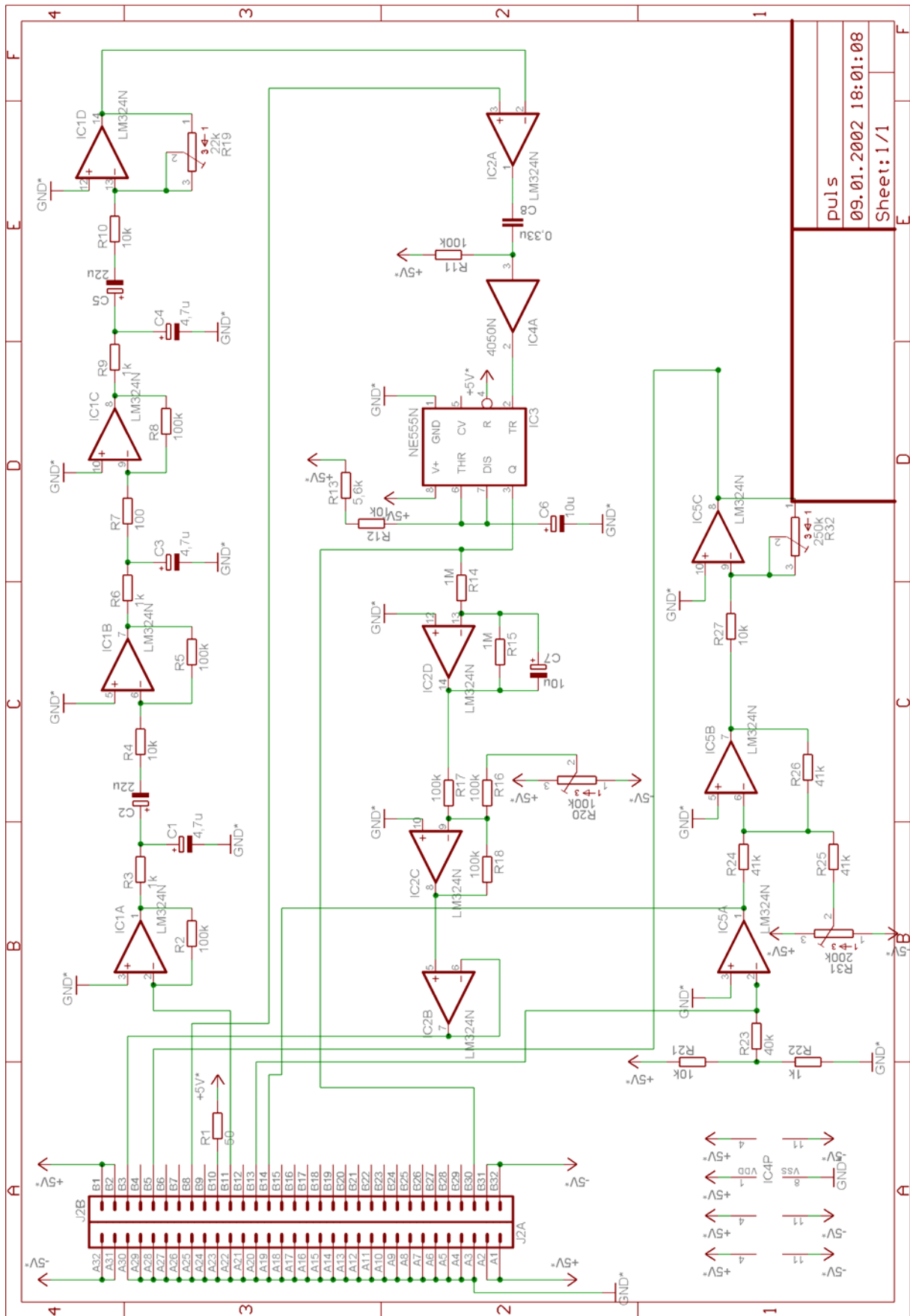


Abb 8.1 Eagle Schematic (Schaltplan)

Aus der Schematic Datei (Abb 8.1) wurde eine sogenannte Board-Datei (Abb. 8.2) erzeugt. Dort wurden die Bauteile platziert und die Leiterbahnen per Autorouter erzeugt.

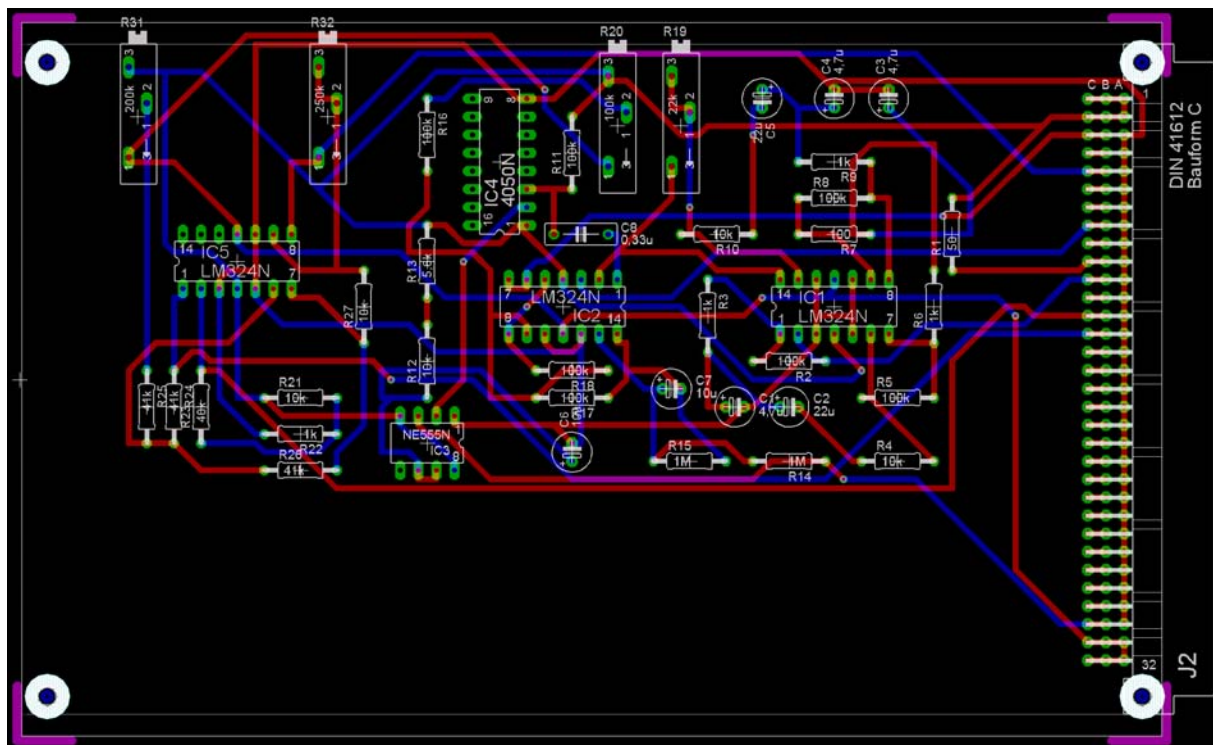


Abb. 8.2 Eagle Board Datei (blau=Unterseite, rot=Oberseite)

Anschließend folgte die Herstellung der Platine.

## 9. Herstellung der Platine

Bei der Herstellung der Platine waren einige Schwierigkeiten bezüglich der Belichtung und der Ausrichtung der oberen und unteren Folie zu bewältigen, danach entstand jedoch eine einwandfreie Platine, die mit einem 0,8 mm Bohrer gebohrt werden musste. Es mussten Löcher für den 64 poligen Anschluss sowie für Widerstände, Kondensatoren, DIL Sockel und Potentiometer gebohrt werden. Außerdem mussten Umsteiger zum Verbinden der oberen und unteren Platinenseite gebohrt werden. Beim Löten traten Schwierigkeiten auf, da die Leiterbahnen auf der Oberseite der Platine unter den Potentiometern bzw. den ICs verlegt waren. Das hätte durch Plazieren von temporären Masseflächen auf der Oberseite der Platine verhindert werden können, dadurch wäre allerdings die Leiterbahnführung komplizierter geworden. Auf der nächsten Seite ist die fertige Platine zu sehen, jedoch ohne eingesetzte ICs und ohne die 64 polige Steckerleiste. Die Aussparung der Platine ist für das Batteriefach gedacht.

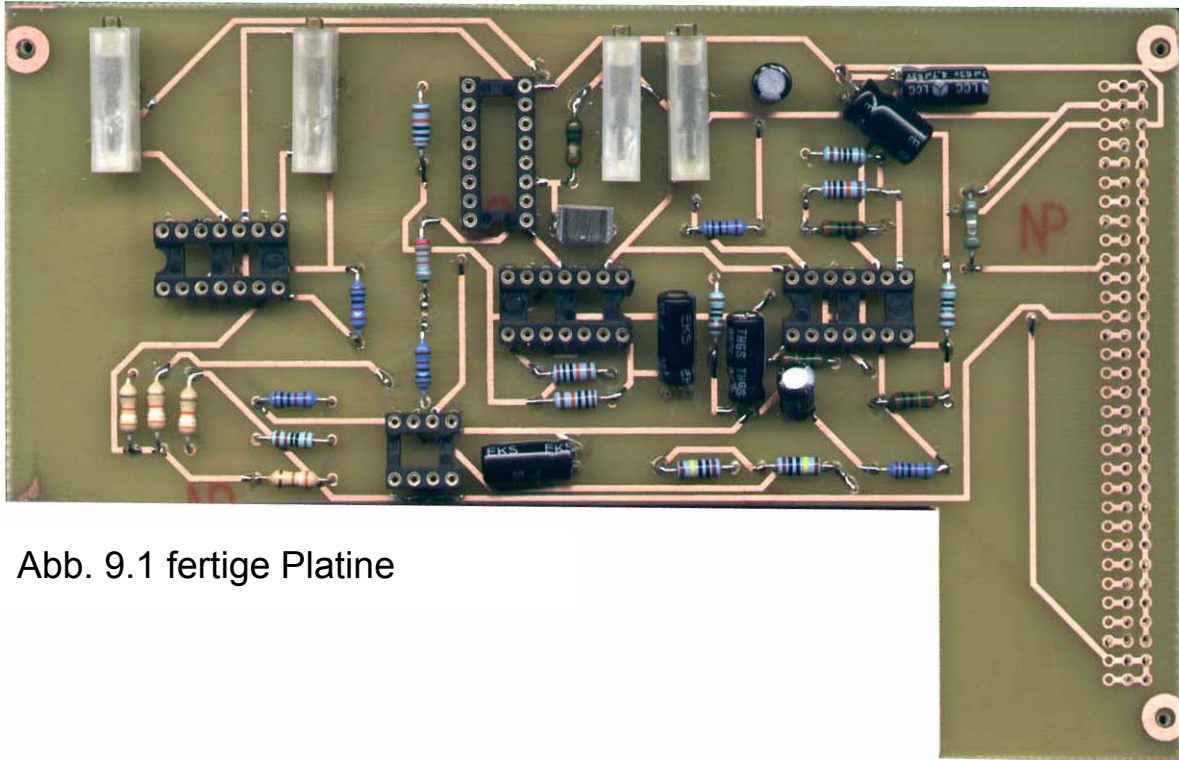


Abb. 9.1 fertige Platine

## 10. Testen der Gesamtschaltung „Stöpseltermin“

Nach dem Herstellen der Platine fand ein Stöpseltermin statt, bei dem die Funktion der Gesamtschaltung überprüft wurde. Dabei stellten wir ein Problem mit dem Temperatursensor fest, es wurde eine hochfrequente Störung von dem Pulssensor eingekoppelt, die wir mit einem Kondensator gegen Masse kurzgeschlossen haben und so das Problem in den Griff bekommen haben. Die Platinen wurden über folgende Schnittstelle miteinander verbunden (siehe nächste Seite):

| A      | B              |
|--------|----------------|
| 1 V+   | V+             |
| 2 V+   | V+             |
| 3 GND  | Puls_LVL       |
| 4 GND  | Breath_LVL     |
| 5 GND  | Temp           |
| 6 GND  | Skin           |
| 7 GND  | GND            |
| 8 GND  | Poti           |
| 9 GND  | GND            |
| 10 GND | Durchlicht Out |
| 11 GND | Durchlicht In  |
| 12 GND | GND            |
| 13 GND | Temp-Sensor    |
| 14 GND | Temp-Sensor    |
| 15 GND | GND            |
| 16 GND | GND            |
| 17 GND | GND            |
| 18 GND | Poti 5M        |
| 19 GND | Poti 5M        |
| 20 GND | Poti 5M        |
| 21 GND | Poti 1M        |
| 22 GND | Poti 1M        |
| 23 GND | Poti 1M        |
| 24 GND | Stecker Skin   |
| 25 GND | Stecker Skin   |
| 26 GND | Stecker Breath |
| 27 GND | Stecker Breath |
| 28 GND | GND            |
| 29 GND | Breath_Peak    |
| 30 GND | Puls_Peak      |
| 31 V-  | V-             |
| 32 V-  | V-             |

Abb. 10.1 Schnittstellendefinition Biofeedbackgerät

Die Spalten in der Abb. 10.1 symbolisieren die Steckerleisten A bzw. B

*die Teilnehmer der Gruppe 1*

*Long Ji, Nacib Salhi, Jimmy Djunaedi, Ricardo Saenz Navarro, William Poufon Zamboue, Alain Nantchouang Setche, Frederic Njikam Njimonzie, David Kirchner, Lars Mäker, Helge Krambeck*