



Mini-U-Boot E-XP⁻¹

Das neue E-XP⁻¹ von ELV ist das wahrscheinlich kleinste, in Serie gefertigte Mini-U-Boot der Welt und läßt sich per Fernbedienung vollständig manövrieren. Die Funktionsweise, den Aufbau sowie die interessante Technik dieses Miniaturmodells beschreibt der vorliegende Artikel.

Allgemeines

Ferngesteuerte Boote und U-Boote gibt es viele. Doch meistens ist man beim Einsatz dieser Modelle aufgrund ihrer Abmaße auf größere Gewässer, wie Kanäle, Seen, Teiche usw. angewiesen. So kann der Einsatz dieser Modelle abhängig vom Wetter und der Jahreszeit eingeschränkt sein. Das neue Mini-U-Boot E-XP⁻¹ von ELV ist kaum größer als die Kunststoffhülle eines Überraschungseis und kann im Aquarium, im Waschbecken oder in der Badewanne

betrieben werden, wobei es stets für Aufmerksamkeit und eine Menge Fahrspaß sorgen wird. Speziell im Aquarium, das dem Betrachter durch den seitlichen Einblick die Unterwasserwelt in besonderer Weise präsentiert, kommt das U-Boot sehr gut zur Geltung.

Ausgestattet mit zwei außenliegenden Präzisions-Micro-Fahrmotoren läßt sich das E-XP⁻¹ per Fernsteuerung leicht manövrieren. Aufgrund seiner geringen Abmaße und ausreichender Reserven bezüglich der Motorleistung ist das E-XP⁻¹ sehr wendig und schnell, es kann z. B. auf der Stelle

drehen. Mit nur 2 Steuerknüppeln werden alle Funktionen bedient. Mit dem linken Steuerknüppel läßt sich eine stufenlose Geschwindigkeitsregulierung in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung vornehmen sowie die Tauchfunktion steuern. Der dynamische Tauchvorgang erfolgt automatisch, sobald bei den beiden Motoren eine gewisse Mindestdrehzahl eingestellt wird (ab ca. 30 % Vorbewegung des Steuerknüppels startet der Tauchvorgang). Der rechte Steuerknüppel dient zur stufenlosen Richtungsvorgabe (links, rechts). Die Bewegung des Steuerknüppels wird vom Mikroprozessor im

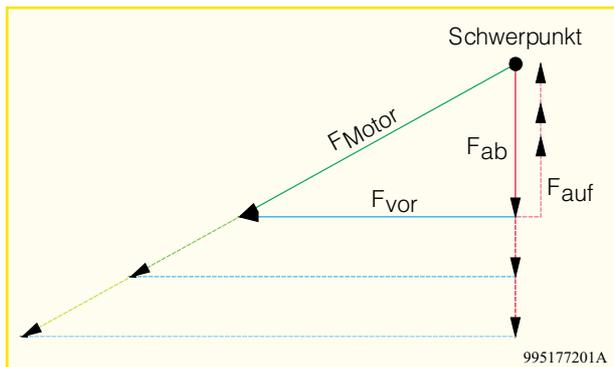


Bild 1: Zusammenwirkende Kräfte während des Tauchvorgangs

E-XP¹ in entsprechende Steuerinformationen für die Drehzahlanpassung der beiden Motoren umgesetzt. Das Auftauchen des E-XP¹ erfolgt automatisch nach dem Loslassen des Steuerknüppels, falls die Fahrakku erschöpft sind, der Sender ausgeschaltet wird oder ausfällt oder wenn das E-XP¹ ausser Reichweite des Senders gerät.

Ausgestattet mit einem 60-mAh-Fahrakku kann eine Fahrtzeit von ca. 15 Min. erreicht werden, je nachdem, wieviel „Gas“ man gibt. Nachdem der Akku entladen ist, erfolgt das Laden über das mitgelieferte Ladegerät. Die Ladezeit beträgt ca. 1 Stunde.

Die Fernsteuerung des E-XP¹ arbeitet im 27-MHz-Bereich mit AM-Modulation. Sender und U-Boot können aufgrund der wechselbaren Quarze leicht auf eine andere Frequenz im 27-MHz-Bereich umgestellt werden. So ist auch der gleichzeitige Betrieb von mehreren U-Booten möglich. Die Lieferung des E-XP¹ erfolgt als komplettes Startset inklusive Fernsteuerung, Mini-U-Boot, Schnelllader, 8 Mignonbatterien, Trimmset und Bedienungsanleitung.

Das Funktionsprinzip des E-XP¹

Wie bereits erläutert, kontrolliert der Fahrer mit dem linken Steuerknüppel sowohl die Vorwärts- und Rückwärtsbewegung als auch die Tauchfunktion. Beim Tauchen treten im Wesentlichen die in Abbildung 1 gezeigten Kräfte auf. Stellt man sich die Masse des U-Bootes im Schwerpunkt vereinigt vor, entsteht durch



Bild 2: Bestandteile des E-XP¹

die im Winkel von 30° nach unten geneigten Motoren die als F_{Motor} bezeichnete Kraft. Der Betrag dieser Kraft, d. h. die Länge des Vektors, ist abhängig von der Motordrehzahl. Zerlegt man die Kraft F_{Motor} in ihre beiden Komponenten, ergeben sich 2 Kräfte:

- Die Komponente F_{vor} ist für die Vorwärtsbewegung verantwortlich.
- Die Komponente F_{ab} zieht das U-Boot nach unten.

Der nach unten ziehenden Kraft F_{ab} wirkt die Auftriebskraft F_{auf} entgegen. Ist F_{ab} größer als F_{auf} , taucht das U-Boot tiefer ab, ist F_{ab} kleiner als F_{auf} , bewegt sich das U-Boot in Richtung Wasseroberfläche. Befinden sich F_{ab} und F_{auf} im Gleichgewicht, hält das U-Boot seine Tauchtiefe konstant.

Die Fahreigenschaften des E-XP¹ werden entscheidend von der Größe der Auftriebskraft F_{auf} bestimmt. Bei großer Auftriebskraft muß die nach unten gerichtete Kraft F_{ab} ebenfalls groß sein, damit das U-Boot taucht. Dies erfordert eine große Motorkraft F_{Motor} , d. h. man muss relativ schnell fahren, um zu tauchen. Das U-Boot ist dann sehr wendig, aber aufgrund der größeren Motorleistung kann sich die Fahrtzeit entsprechend verkürzen.

Durch Einwerfen einer oder mehrerer Metallscheiben des beiliegenden Trimmsets in die Turmöffnung kann die Auftriebskraft F_{auf} stufenweise verringert werden. Mehr Gewicht bedeutet, dass das U-Boot bereits bei relativ langsamer Fahrt abtaucht. Dadurch verringert sich der Energieverbrauch, und die Fahrtzeit wird somit länger.

Durch die Einstellmöglichkeit des Auftriebs ist der Anwender in der Lage, die Fahreigenschaften des E-XP¹ auf seine Bedürfnisse anzupassen.

Die Mechanik des E-XP¹

Für das E-XP¹ hat ELV ein aus mehreren Komponenten bestehendes Kunststoffgehäuse entwickelt. Abbildung 2 zeigt die einzelnen Gehäusekomponenten, die Miniatur-Fahrmotoren sowie die Elektronik-einheit im Größenvergleich mit einem Streichholz. Aufgrund des durch die geringen Außenabmaße (76 x 59 x 49 mm) eng

dimensionierten Gehäuseinneren, mußte die Elektronik in Sandwich-Bauweise, d. h. 2 übereinanderliegende Platinen, ausgeführt werden. Die obere Platine bietet Platz für den 27-MHz-Funkempfänger inklusive Wechselquarz, auf der unteren Platine befinden sich der Mikrocontroller sowie die Motoransteuerung, siehe Abbildung 3.

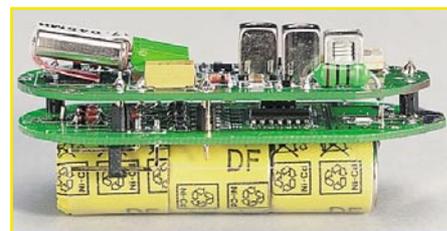


Bild 3: Sandwich-Bauweise der Elektronik

Um eine gute Fahrstabilität zu erreichen, ist es wichtig, dass sich der Schwerpunkt so tief wie möglich befindet. Dadurch werden Schwing- und Drehneigungen des Gehäuses minimiert. Der Fahrakku, der den größten Teil des Gewichtes der Elektronikeinheit ausmacht, befindet sich deshalb unterhalb der beiden Platinen.

Alle Gehäusekomponenten werden bei der Produktion mit Hilfe von Spezialsilikon wasserdicht miteinander verklebt. Abbildung 4 zeigt den Aufbau. Die Motoren des E-XP¹ sind hochwertige, doppelt gelagerte und abgedichtete Spezialmotoren.

Die Elektronik des E-XP¹

Als Sender für das E-XP¹ wird eine handelsübliche 27-MHz-AM-Fernsteuerung

Technische Daten: Mini-U-Boot E-XP¹

Fernsteuerung

Sendefrequenz:

Kanal 4: 26,995 MHz

Kanal 9: 27,045 MHz

Senderreichweite: bis 10 m im Freifeld,
jedoch durch Wasser auf
bis 1/20 reduziert

Batterien: 8 x Mignon

Abmaße (BxHxT): 170 x 185 x 80 mm

Gewicht: 480 g incl. Batterien

Mini-U-Boot E-XP¹

Fahrakku: 3,6 V/60 mAh

Ladezeit mit Schnelllader: ca. 1 h

Fahrtzeit: bis 15 Minuten

Maximale Tauchtiefe: 50 cm

Abmaße: 76 x 59 x 49 mm

Gewicht: ca. 47 g

Schnelllader E-XP¹

Nennspannung: 230 V/50 Hz

Ladestrom: ca. 70 mA

mit einer Sendeleistung von 100 mW verwendet. Das Datensignal ist mit 100 % Modulationsgrad aufmoduliert, d. h. während der Impulse fehlt der Träger vollständig. Für den Empfänger kommt ausschließlich eine Superhet-Lösung in Frage, um im Mehrkanalbetrieb die notwendige Trennschärfe zu gewährleisten. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse im Innern des U-Bootes konnte beim Empfänger nicht auf einen fertigen Empfänger zurückgegriffen werden, eine speziell auf die Platzverhältnisse angepasste Empfängerlösung war gefragt. In Abbildung 5 ist das Schaltbild des ELV-Empfängers dargestellt.

Die Antenne befindet sich als Leiterbahn auf der Platine und wird mit Hilfe von L 1 künstlich verlängert. Die linke Hälfte der Spule L 2 bildet zusammen mit C 1 einen auf 27 MHz abgestimmten Parallelschwingkreis. Die Auskopplung des empfangenen HF-Signals erfolgt über die rechte Spulenhälfte direkt auf die Basis des Transistors T 2.

Der Transistor T 1 bildet zusammen mit der Spule L 3, dem Quarz Q 1 sowie Peripherie einen Oszillator, den sogenannten Lokaloszillator. Dieser erzeugt das für das Herabmischen des Empfangssignals auf die Zwischenfrequenz erforderliche Oszillatorsignal. Die Frequenz des Lokaloszillators liegt um die Zwischenfrequenz (455 kHz) niedriger als die Sendefrequenz. Im Falle von Kanal 4 arbeitet der Sender bei einer Frequenz von 26,995 MHz, während der Oszillator bei 26,540 MHz arbeitet. Das Oszillatorsignal wird über C 5 vom Lokaloszillator ausgekoppelt und auf den Emitter von T 2 geleitet.

Der Transistor T 2 dient als Mischstufe und bildet u. a. die Differenzfrequenz aus empfangenem HF-Signal und Oszillator-

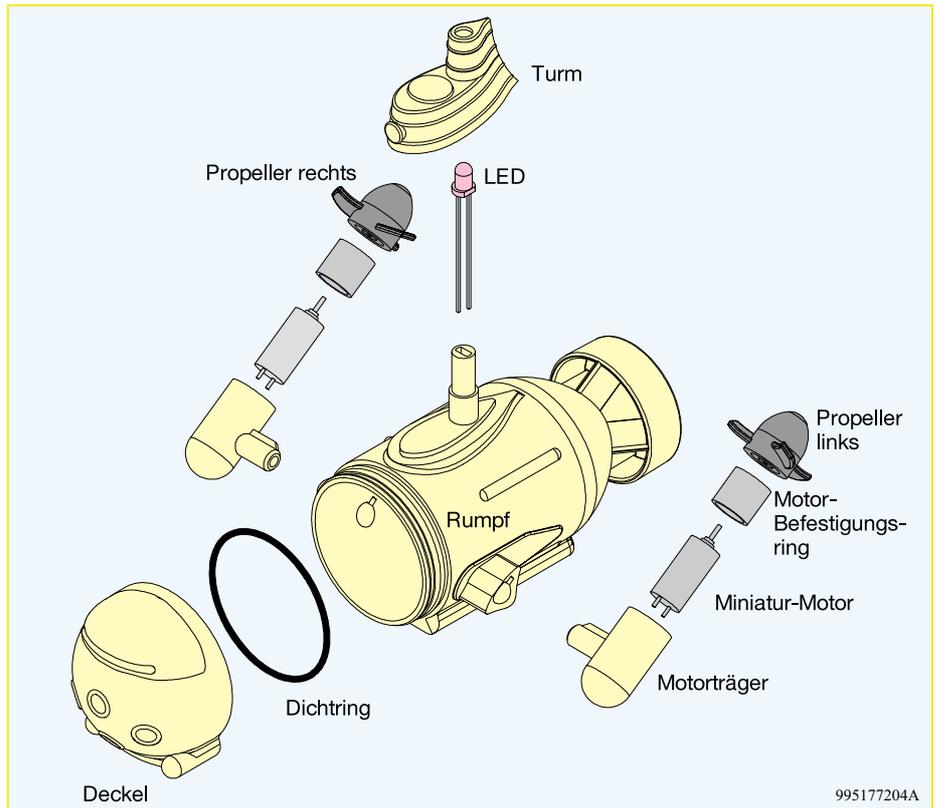


Bild 4: Aufbau des E-XP-1

signal. Der in den Kollektorzweig von T 2 eingeschleifte, aus L 4 und C 4 bestehende Parallelschwingkreis ist bereits auf 455 kHz abgestimmt und filtert die entstandene Zwischenfrequenz heraus. Dieses Signal wird über R 5 auf das nachgeschaltete 455-kHz-Keramikfilter Q 2 geführt und hier nochmals gefiltert. Über den Kondensator C 25 gelangt das Zwischenfrequenzsignal auf den 2-stufigen, mit T 3 und T 4 realisierten ZF-Verstärker. Am Kollektor von T 4 steht das verstärkte Signal zur Verfügung, das

über C 23 auf die Demodulatorstufe geleitet wird. Diese besteht im wesentlichen aus dem Transistor T 5, der über R 23 eine geringe Vorspannung an der Basis erhält. Sobald ein ZF-Signal ansteht, wird T 5 durchgesteuert, und das Kollektorpotential bewegt sich in Richtung Massepotential. Der Kondensator C 19 (22 nF) bildet in Verbindung mit R 16 einen Tiefpass, so dass die Zwischenfrequenz von 455 kHz am Kollektor von T 5 nicht mehr vorhanden ist, sondern lediglich das Datensignal über-

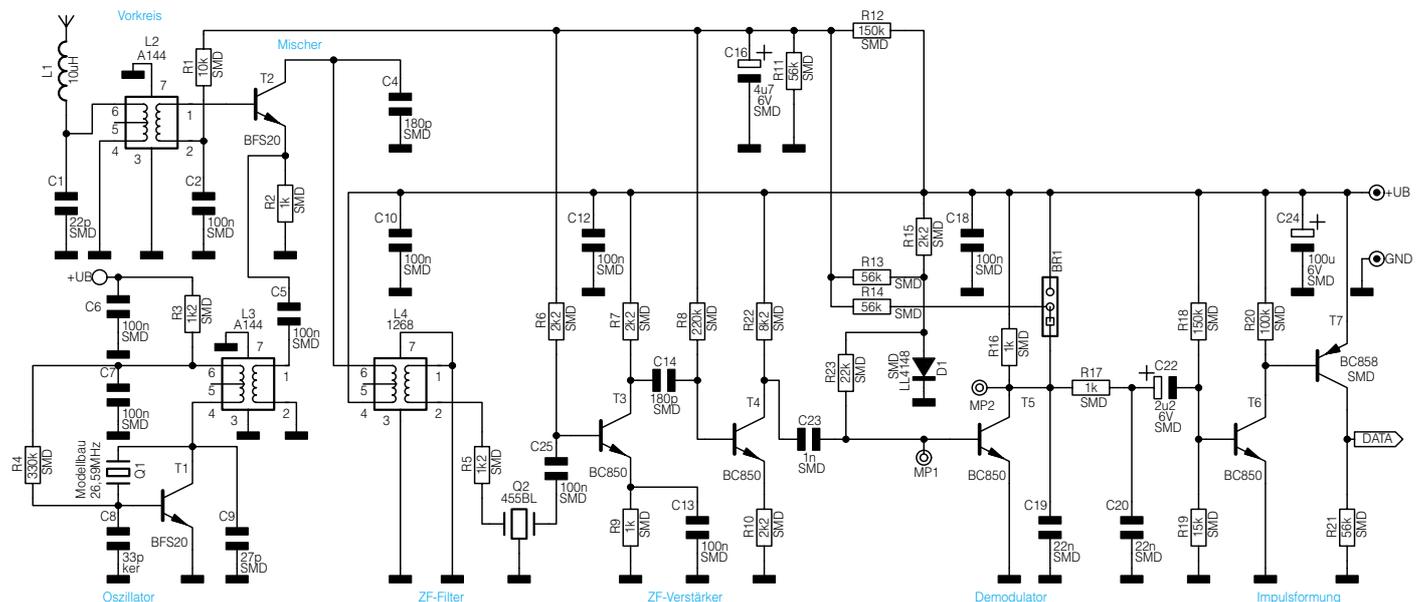
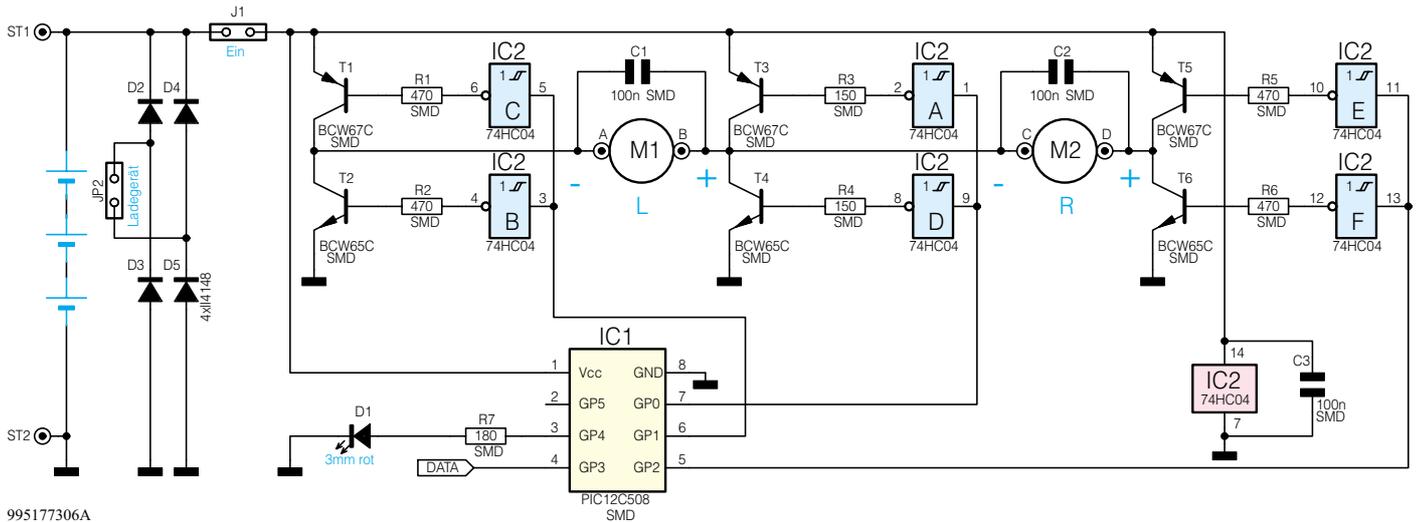


Bild 5: Superhet-Empfänger des E-XP-1

995177205A



995177306A

Bild 6: Prozessorteil und Motoransteuerschaltung

bleibt. Das RC-Glied R 17/C 20 dient zur weiteren Tiefpassfilterung, C 22 koppelt den DC-Anteil aus und leitet das Signal auf die Impulsformerstufen T 6 und T 7. Am Kollektor von T 7 steht das demodulierte Datensignal zur Verfügung.

Damit es bei AM-modulierten Signalen, bei denen die Information in den Amplitudenschwankungen steckt, im Empfangszweig nicht zu Übersteuerungen kommt, verwendet man in der Regel eine automatische Verstärkungsregelung. Bei unserem Empfänger funktioniert diese automatische

Verstärkungsregelung wie folgt:

Die vor dem Demodulator im Signalzweig liegenden Transistoren T 2, T 3 und T 4 erhalten ihre Basisspannung über die Basiswiderstände R 1, R 6 und R 8 von einem gemeinsamen Punkt aus. Mit Hilfe des Spannungsteilers R 12/R 11 erhält dieser Punkt zunächst eine Vorspannung. Weiterhin ist dieser Punkt über R 14 mit dem Kollektor des Demodulatortransistors T 5 verbunden. Das Anstehen eines ZF-Signals verringert den Gleichspannungspegel am Kollektor von T 5, da dieser

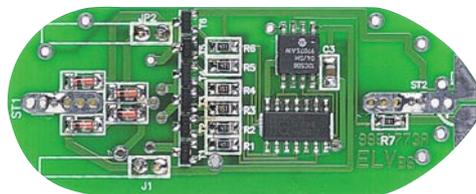
durchgesteuert wird. Über R 14 wird das Basispotential der Transistoren T 2, T 3 und T 4 aber dadurch ebenfalls verringert, wodurch sich ebenfalls die Gesamtverstärkung verringert. Gleiches geschieht im umgekehrten Fall: Ist das Empfangssignal sehr klein bzw. nicht vorhanden, liegt der Kollektor von T 5 auf Betriebsspannungspotential. Somit werden über R 14 die Basisspannungen von T 2, T 3 und T 4 angehoben, die Verstärkung des Gesamtzweiges steigt auf den Maximalwert. Auf diese Weise lassen sich Pegelschwankungen sicher ausgleichen und Übersteuerungen, d. h. Informationsverluste, werden vermieden.

Abbildung 6 zeigt das Schaltbild des Prozessors und der Motorsteuerung. Das empfangene Datensignal wird dem Prozessor IC 1 an Pin 4 zugeführt. Der Prozessor wertet die Daten aus und gibt die Steuersignale für die Motoren an Pin 5, Pin 6 und Pin 7 aus. An Pin 3 befindet sich die 3-mm-LED, die aus dem U-Boot-Turm herausragt und den korrekten Empfang durch Blinken signalisiert.

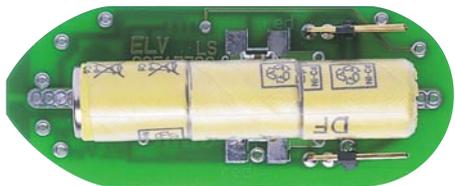
Die 2 Fahrmotoren sind jeweils in eine H-Brücke, bestehend aus den Transistoren T 1 bis T 6, geschaltet, wobei T 3 und T 4 von beiden Motoren gleichzeitig genutzt werden. Die Fahrleistung wird über die Steuerung des Puls-/Pausenverhältnisses eingestellt. Den Basisstrom für die einzelnen Transistoren liefern die 6 Invertergatter des HC-Schmitt-Triggers IC 2 (74HC04), die wiederum direkt vom Prozessor angesteuert werden.

Die Spannungsversorgung erfolgt über einen 3,6V-/60-mAh-Akku, der zwischen ST 1 und ST 2 angeschlossen ist. Der Jumper J 1 aktiviert das U-Boot, an JP 2 wird das Ladegerät angeschlossen, das den Akku über den Brückengleichrichter D 2 bis D 5 (Verpolungsschutz) lädt. Die Kondensatoren C 1 und C 2 dienen zur Funkentstörung der Motoren.

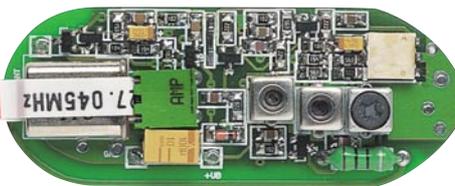
ELV



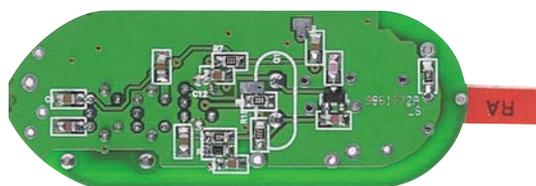
Ansicht der Bestückungsseite der Motorsteuerung



Ansicht der Lötseite der Motorsteuerung



Ansicht der Bestückungsseite des Empfängers



Ansicht der Lötseite des Empfängers