

Hochschule München
Fakultät für Informatik und Mathematik

Masterarbeit

Entwicklung eines modularen MINT-Lernspiels als
Elektronik-Bausatz

Master thesis

Development of a modular STEM learning game as an
electronics assembly kit

von

Theresa Thoma

Sommersemester 2020
Studiengang Informatik

Betreuer an der Hochschule München: Prof. Dr. Martin Orehek
Betreuer im AATiS e.V.: Dipl.-Ing. Helmut Berka

Thoma, Theresa
Studiengruppe IG / SS 2020

Erklärung

Gemäß § 40 Abs. 1 i. V. m. § 31 Abs. 7 RaPO

Hiermit erkläre ich, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Kurzfassung

Fachkräftemangel und der Wunsch nach Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Bildung zeigen einen Bedarf an Förderung von Kindern und Jugendlichen im MINT-Bereich (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik).

Ein spannendes Spiel, bei dem eine „Zeitbombe“ durch Lösen von technischen Rätseln entschärft werden muss, weckt Interesse, regt logisches Denken an und vermittelt fachliche Aspekte aus Informatik, Digitaltechnik, Elektrotechnik und Amateurfunk. Dadurch, dass das Spiel als Bausatz zum Löten angeboten wird, werden beim Aufbauen des Bausatzes auch motorische Fähigkeiten geschult.

In mehreren Iterationen und mit vielen Tests wurde das Spiel in Hard- und Software entwickelt.

Der modulare Aufbau erlaubt eine vielfältige Verwendung. Durch die auswechselbaren Module kann das Spiel auf verschiedene Themengebiete oder Altersgruppen zugeschnitten werden und sorgt für einen langanhaltenden Spielspaß und Lerneffekt. Auswertung durch Beobachtungen und Fragebögen zeigen, dass „die Bombe“ gut aufgenommen wird. Weiterentwicklungsmöglichkeit besteht vor allem in der Vermittlung von Hintergrundwissen zu den fachlichen Aspekten.

In Zukunft können weitere Module mit neuen Rätseln entwickelt werden. Durch eine Ausarbeitung von Workshops oder durch Gestaltung eines Schulprojekts kann die Zielgruppe der Kinder und Jugendlichen an MINT-Themen herangeführt werden.

Abstract

The lack of skilled workers and the desire to strengthen mathematics and science education show a need for the promotion of STEM subjects (Science Technology Engineering Mathematics) with children.

An exciting game of defusing a ticking bomb by solving various technical puzzles arouses interest, calls for logical thinking and conveys aspects of computer science, digital technology, electrical engineering and amateur radio. Since the game is offered as an electronics assembly kit it also fosters motor skills.

The hardware and software for the game were developed in many iterations and with many tests.

The modular structure allows for a diverse usage. By changing some of the modules the game can be tailored for different subject areas or age groups. This ensures long-lasting fun and learning.

Questionnaires and observation of children playing the game show that “the bomb” is received well. Possibilities for further development are mostly in the area of imparting background knowledge on the technical aspects.

More modules with new puzzles can be developed in the future. By designing a concept for a workshop or a school project more children and young people can be introduced to STEM subjects.

1.	Einleitung.....	7
1.1	Bedarf.....	7
1.2	Ziel „Förderung von Kindern und Jugendlichen“	7
1.3	Ziel „Förderung der Kommunikation“	7
1.4	Das Produkt.....	7
1.5	Über den AATiS.....	8
1.6	Ablauf der Masterarbeit	8
1.7	Überblick.....	10
1.8	Danksagung	11
2.	Analyse existierender Systeme	12
2.1	„Keep Talking and Nobody Explodes“ und diverse Nachbauten.....	12
2.2	Bausätze des AATiS und anderer Anbieter	12
2.3	Microcontroller in der Lehre	13
2.4	KEEP – kentucky electronics education project.....	13
2.5	Serious Games.....	13
3.	Anforderungen.....	15
3.1	Grundlegende Anforderungen	15
3.2	Anforderungen an das Spiel	15
3.3	Anforderungen an den Bausatz / die Hardware.....	18
3.4	Sonstige Anforderungen	19
4.	Das Produkt.....	21
4.1	Die Bombe.....	21
4.2	Funktionen und Bedienung des Spiels	26
4.3	Handbuch	27
4.4	Bausatz	29
5.	Design und Implementierung.....	30
5.1	Architektur	30
5.2	Hardware	30

5.3	Programmierung.....	33
5.4	Technische Herausforderungen	38
5.5	Titel und Logo.....	44
6.	Tests und Einsätze	45
6.1	Bauen und Spielen in der Jugendgruppe des DARC.....	45
6.2	Auswertung des Spiels durch Fragebogen.....	45
6.3	Evaluation des Bausatzes	50
6.4	Wunsch nach Lehrbuch.....	50
6.5	Ergebnisse aus sonstigen Tests.....	51
7.	Bewertung	52
7.1	Besonders gut umgesetzte Anforderungen	52
7.2	Nicht oder nur teilweise erfüllte Anforderungen	52
7.3	Mehrwert über Anforderungen hinaus	54
7.4	Verbesserungspotenziale	54
8.	Mögliche Erweiterungen und Ausblick.....	56
8.1	Nachbessern der nicht erfüllten Anforderungen	56
8.2	Weitere Module	57
8.3	Aufbereitung für eine Nutzung im Kommunikationstraining	58
8.4	Fortsetzung beim AATiS.....	59
8.5	Projekt-Seminar am Gymnasium.....	59
8.6	Weitere Ideen	60
9.	Fazit.....	61
10.	Verzeichnisse	62
10.1	Abkürzungen	62
10.2	Abbildungen	63
10.3	Literatur	65
10.4	Anhang.....	67

1. Einleitung

1.1 Bedarf

Fachkräftemangel – speziell auch in technischen Bereichen – ist in aller Munde. Nachwuchsförderung ist angesagt. In der Jugendgruppe des Deutschen Amateur-Radio-Club e.V. (DARC, Ortsverband Fürstenfeldbruck) werden Kinder und Jugendliche an vielfältige Technik herangeführt. Dabei ist die Jugendgruppe immer auf der Suche nach neuen Elektronik-Bausätzen, an denen die Kinder Spaß haben und etwas lernen können. Dafür arbeitet die Jugendgruppe mit dem Arbeitskreis Amateurfunk und Telekommunikation in der Schule e.V. (AATiS) zusammen.

Auch die Kultusministerkonferenz veröffentlichte mit ihren „Empfehlungen zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Bildung“ den Wunsch nach Verbesserung der frühen Förderung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Interesses und nach Erhöhung des Praxisbezugs des Unterrichts an Schulen. [1]

1.2 Ziel „Förderung von Kindern und Jugendlichen“

Ein Spiel soll technikinteressierte Kinder und Jugendliche anregen bzw. deren Interesse überhaupt wecken. Neben fachlichen Aspekten gilt es auch, motorische Fähigkeiten ebenso wie logisches Denken und Kommunikation zu fördern. Der Spaßfaktor darf nicht zu kurz kommen, um die Motivation hoch zu halten und das Gelernte besser zu behalten.

1.3 Ziel „Förderung der Kommunikation“

Durch den Kommunikationsaspekt beim gemeinsamen Entschärfen der Bombe kann das Spiel auch in klassischen Teambuilding-Szenarien eingesetzt werden. Dies ist ein sekundäres Ziel, der Bausatz für Kinder und Jugendliche steht im Vordergrund.

1.4 Das Produkt

Für diese Masterarbeit entsteht ein modulares Spiel aus vernetzten Microcontrollern, das Aspekte aus Amateurfunk, Informatik, Elektrotechnik und Digitaltechnik näherbringt. Mindestens zwei Spieler spielen gemeinsam gegen eine tickende Zeitbombe. Um die Bombe zu entschärfen, müssen verschiedene technische Rätsel gelöst werden, was nur bei logischem Denken und reibungsloser Kommunikation möglich ist. Dabei sitzt ein Spieler vor der Bombe, weiß aber nicht, wie diese zu entschärfen ist. Der oder die anderen Spieler haben ein Handbuch, in dem

beschrieben ist, was getan werden muss. Diese Spieler sitzen aber so, dass sie die Bombe nicht selbst sehen können. Die verschiedenen Module vermitteln dabei unter anderem wie ein Schieberegister funktioniert, was Binärzahlen sind, wie man aus dem Farbcode den Wert von Widerständen errechnet, oder wie man einem Flussdiagramm folgt.

Dieses MINT-Lernspiel wird als Bausatz zum Selberbauen angeboten. Dafür wird die Hardware so ausgelegt, dass auch Kinder die Platinen selbst löten können. Begleitet wird der Bausatz von Anleitungen. Zusätzlich entsteht ein Konzept für einen Workshop, bei dem eine Gruppe gemeinsam das Spiel baut.

1.5 Über den AATiS

Der Arbeitskreis Amateurfunk und Telekommunikation in der Schule e.V. (AATiS) hat sich der Nachwuchsförderung im technischen Bereich verschrieben. Er ist Partner für Lehrer, Jugendleiter und Ausbilder in der Industrie und unterstützt diese durch Beratung, Medien und Seminare zur Gestaltung eines lebendigen und motivierenden Unterrichts. Ziel ist es, Jugendlichen neben einer Berufsorientierung auch eine sinnvolle Freizeitbeschäftigung anzubieten.

Zu den Hauptbetätigungsfeldern des AATiS zählen die Bereiche Amateurfunkanwendungen, Telekommunikation und Netze, Meteorologie, Aerologie, Klimatologie, Geo- und Raumwissenschaften, Radioastronomie, Elektronik, Sensorik, Mikrocontroller und Robotik. [2]

1.6 Ablauf der Masterarbeit

Der Ablauf der Masterarbeit gliedert sich in vier Phasen: Konzept, Entwicklung der Hard- und Software, Aufbereitung als Bausatz und Ausarbeitung.

1.6.1 Phase 1: Konzept

Am Beginn steht die Recherche. Das pädagogische Konzept wird ausgearbeitet, verschiedene Aspekte werden betrachtet: Fachkenntnisse aus dem Bereich Amateurfunk, Informatik, Elektrotechnik und Digitaltechnik sollen ebenso einfließen, wie die Förderung von logischem Denken und Kommunikation. Dazu kommen noch die motorischen Fähigkeiten, die insbesondere beim Löten gefördert werden.

Außerdem findet in dieser Phase ein grober Architekturentwurf statt, der das modulare System als Master-Slave-Konzept und die Mechanik berücksichtigt.

1.6.2 Phase 2: Entwicklung der Hard- und Software

Die Entwicklung der Hard- und Software findet iterativ und mit vielen Tests statt. Während der Tests werden die Anforderungen stets weiter ergänzt. Die Software entwickelt sich immer parallel zum aktuellen Stand der Hardware mit. Gestartet wird mit einem einzelnen Modul auf einem Steckbrett für Prototypen, auch Breadboard genannt. Als nächstes wird das Modul auf einer Lochrasterplatine aufgebaut, um die Dimensionen abschätzen zu können. Daneben werden auf dem Breadboard weitere Module und der Timer als Master entwickelt, so dass die Grundfunktionen des modularen Systems getestet werden können.

In einem nächsten Schritt wird ein „Minimum Viable Product“ (MVP) mit selbstgeätzten Platinen und den bereits auf Lochrasterplatinen bestehenden Modulen aufgebaut. Dies ist die erste wirklich spielbare Version, anhand derer schon Testspiele mit Dritten durchgeführt werden können.

In der „Version 2“ der selbstgeätzten Platinen werden alle Funktionen implementiert, die das finale Produkt später haben soll. Funktionalität und Bedienung entsprechen weitgehend der des Endprodukts.

Parallel zur Entwicklung der Hard- und Software wird das Handbuch geschrieben. Es ist immer angepasst an den tatsächlichen Stand der Hard- und Software.

1.6.3 Phase 3: Aufbereitung als Bausatz

Die Platinen werden nun für die kommerzielle Fertigung angepasst, so wird z.B. der Beschriftungsdruck optimiert. Mit diesen Platinen wird dann ein Demonstrator aufgebaut. Es wird ein Begleitartikel mit den Aufbauanleitungen für das Praxisheft 30 des AATiS verfasst. Hierfür werden Fotos des Demonstrators benötigt.

Zusätzlich wird ein Konzept für einen Workshop entwickelt, bei dem je nach Gruppengröße eine oder mehrere Bomben aufgebaut und anschließend bespielt werden.

1.6.4 Phase 4: Validierung und Ausarbeitung

Durch den Aufbau und die Testspiele in Gruppen mit dem finalen Produkt und mittels eines Fragebogens werden die Ergebnisse überprüft. Parallel erfolgt die Ausarbeitung der Masterarbeit und anschließend das Kolloquium.

1.7 Überblick

Zu Beginn wird im Kapitel „2. Analyse existierender Systeme“ darauf eingegangen, woher die Idee für diese Arbeit stammt, welche Projekte mit ähnlicher Zielsetzung es bereits gibt, und wie sich diese Arbeit davon abgrenzt.

Im Kapitel „3. Anforderungen“ wird strukturiert aufgezählt, welche Anforderungen grundlegend, bezogen auf das Spiel und bezogen auf den Bausatz erfüllt werden sollen.

Anschließend wird im Kapitel „4. Das Produkt“ die Bombe und das Handbuch in ihrer Funktion als Spiel und als Bausatz vorgestellt.

Das Kapitel „5. Design und Implementierung“ widmet sich der Umsetzung von der Idee bis zum fertigen Produkt. Hier wird neben der Architektur, Hardware und Programmierung auch auf einige technische Herausforderungen und die Auswahl der Lösungen dazu eingegangen.

Das Projekt wird in Kapitel „6. Tests und Einsätze“ evaluiert. Neben Fragebögen werden auch Beobachtungen beim Aufbauen und Spielen ausgewertet.

Im Kapitel „7. Bewertung“ werden die Ergebnisse des Projekts zusammengefasst und eine Bilanz aus den Tests gezogen.

Zum Schluss werden mögliche Erweiterungen, offen gebliebene Punkte und zahlreiche Ideen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht umgesetzt werden konnten, im Kapitel „8. Mögliche Erweiterungen und Ausblick“ aufgezeigt.

„9. Fazit“ rundet die Arbeit ab und fasst die wichtigsten Punkte zu dem Produkt und den Ergebnissen zusammen.

Am Ende des Dokuments finden sich die Verzeichnisse (Abkürzungen, Abbildungen, Literatur).

Das „Handbuch zur Bombenentschärfung“ befindet sich im Anhang. Es wird beim Spielen zum Entschärfen der Bombe benötigt.

1.8 Danksagung

Vielen Dank an den AATiS, insbesondere an Dipl.-Ing. Helmut Berka DL2MAJ. Dafür, dass er mir dieses Projekt im AATiS möglich gemacht hat und für die tatkräftige Unterstützung mit Knowhow und Material.

Vielen Dank an die Hochschule München, in Person von Prof. Dr. Martin Orehek. Danke für die Bereitschaft, diese Masterarbeit zu betreuen und zu korrigieren, für die Zeit und das immer offene Ohr bei Fragen.

Vielen Dank an Benjamin Wolf, der mich immer wieder unermüdlich mit Ideen und Verbesserungsvorschlägen versorgt hat und mir beim Aufbauen der Platinen geholfen hat.

Danke an Valentin DO1VS, Julia und Robert DO1MCB, die mir beim Aufbauen der Platinen geholfen haben.

Ein Dank geht auch an die Jugendgruppe des C28 und die beiden Schulklassen. Ohne sie wären keine so aussagekräftigen Testergebnisse möglich gewesen, ganz zu schweigen von den Ideen, die sie mitgebracht haben.

2. Analyse existierender Systeme

Es gibt viele Ansätze, um Technik bereits für Kinder altersgerecht zu vermitteln.

Im Folgenden werden einige Projekte vorgestellt, die inspirierend für diese Arbeit waren oder thematisch in den Bereich der MINT-Bildung bzw. „Lernen als / mit / durch Spiel“ fallen.

2.1 „Keep Talking and Nobody Explodes“ und diverse Nachbauten

Das Computer-Spiel „Keep Talking and Nobody Explodes“ von Steel Crate Games hat dasselbe Spielprinzip einer modular aufgebauten Bombe, die nur gemeinsam mithilfe des Handbuchs entschärft werden kann. Das Spiel ist mit Fokus auf „Virtual Reality“ (VR) konzipiert, aber auch auf vielen anderen Plattformen erhältlich. Die Kommunikation und vor allem der Spielspaß stehen hier im Vordergrund. [3]

Inspiriert von „Keep Talking and Nobody Explodes“ gibt es schon diverse Nachbauten in Hardware. Manche davon sind open source, aber keine davon gibt es käuflich als Bausatz oder fertig aufgebaut zu erwerben. [4] [5] [6]

2.2 Bausätze des AATiS und anderer Anbieter

Der AATiS bietet bereits jetzt eine große Vielzahl an Bausätzen. Viele davon, wie z.B. der Bodenschallsensor, der Geigerzähler oder das Hitzdraht-Anemometer können Wissenschaft in der Schule oder privat näherbringen. Mit anderen, wie z.B. dem Roulette oder dem Würfel, kann auch gespielt werden. Auch von anderen Anbietern, wie z.B. Pollin, gibt es solche Bausätze zum Löten. [7]

Diese Bausätze sind in der Regel weniger komplex als „die Bombe“. Sie sind themenspezifischer einsetzbar, aber damit haben sie auch weniger Wiederspiel- oder Wiederverwendungswert.

Dass diese Art von Elektronik-Bausätzen gut dazu geeignet ist, Technikinteresse bei Kindern zu wecken, zeigt z.B. das Ferienprogramm der Stadt Fürstenfeldbruck in der Jugendgruppe des DARC: Kinder, die davor keinen besonderen Zugang zu Elektronik hatten, werden nachhaltig für dieses Thema interessiert. Von den 51 Kindern, die in den letzten 3 Jahren das Ferienprogramm besucht haben, haben sich 22 Kinder in der Jugendgruppe des DARC Ortsverband Fürstenfeldbruck angemeldet und kommen zu den regelmäßigen Basteltreffen.

Viele Mitglieder bzw. ehemalige Mitglieder der Jugendgruppe, die nicht mehr zur Schule gehen, sind heute im technischen Bereich tätig.

2.3 Microcontroller in der Lehre

Es gibt verschiedene Microcontroller-Plattformen, die auf den Schulbereich ausgerichtet sind. Der Vorteil ist hier, dass eine einfache Ansteuerung von z.B. LEDs oder Tastern schnell zu sichtbaren und im wahrsten Sinne des Wortes greifbaren Erfolgen führt. Aus Großbritannien kommt der BBC micro:bit, in Deutschland hat sich der Calliope durchgesetzt. Diese Plattformen sind explizit für den Einsatz mit Kindern und in der Schule ausgelegt. Der Fokus liegt hier eindeutig mehr auf der Programmierung als auf Seite der Hardware. [8] [9]

Bereits seit 2005 gibt es die „Arduinos“. Arduino ist eine neben der Lehre auch im Hobbybereich weitverbreitete Physical-Computing-Plattform bestehend aus Hard- und Software. Die Plattform bietet einen einfachen Zugang zur Programmierung und zu Microcontrollern und ist komplett Open Source. [10]

Auch der Raspberry Pi ist eine – etwas leistungsstärkere – Plattform, die explizit auf Lehre, Lernen und praktische Erfahrungen ausgelegt ist. Er wird mit dem Titel „Teach, Learn and Make with Raspberry Pi“ beworben. [11]

2.4 KEEP – kentucky electronics education project

Das KEEP geht noch einen Schritt weiter in Richtung Elektronik und sogar Fertigung. In diesem Projekt werden Lehrer dazu ausgebildet, ihren Schülern den kompletten Entwicklungs- und Fertigungsablauf von Elektronik näherzubringen. Von dem Entwurf der Schaltung, über das Ätzen der Platinen bis hin zum Aufbau der Schaltung wird der gesamte Prozess im Klassenzimmer durchgeführt. Zu dem Projekt gehört auch die Entwicklung eines Curriculums und Workshops für Lehrer. Insbesondere das Ätzen von Platinen stellt aber wegen des Umgangs mit diversen Chemikalien eine Hürde beim Nachmachen dar. [12]

2.5 Serious Games

Die Idee, Wissen oder Erfahrung mit Hilfe von Spielen zu vermitteln, ist nicht neu. Der Begriff der „Serious Games“ taucht erstmalig 1970 in einem Buch von Clark C. Abt auf [13]. Seither gibt es viele verschiedene Definitionen von „Serious Games“, die aber alle den gemeinsamen Kern haben, dass es sich um (Computer-)Spiele handelt, die neben ihrem Unterhaltungswert darauf abzielen, weitere Inhalte zu vermitteln [14].

Ein Beispiel im Bereich Informatik ist das Spiel „while True: learn()“ von luden.io, das Wissen zu maschinellem Lernen und neuronalen Netzen vermittelt [15].

In dieser Arbeit soll ein Projekt verwirklicht werden, dass den Spielspaß in den Vordergrund stellt, gleichzeitig aber Wissen vermittelt. Die Wissensvermittlung kann modifiziert und erweitert werden, je nachdem welche Module entwickelt und eingebaut werden. Damit ist „die Bombe“ nicht an ein spezielles Fach gebunden, sondern kann auch als Plattform für andere Themengebiete verwendet werden.

3. Anforderungen

Die hier genannten Anforderungen für dieses Projekt sind eine Auflistung von Punkten, die vor, aber auch während der Entwicklung des Spiels und des Bausatzes gesammelt wurden.

Sie sind gegliedert in grundlegende Anforderungen, Anforderungen an das Spiel, Anforderungen an den Bausatz und sonstige Anforderungen.

3.1 Grundlegende Anforderungen

Anforderungs-ID: 1	Spiel	Erfüllt in 4.2
Das Szenario des Spiels soll die Entschärfung einer Zeitbombe darstellen, bei der zwei getrennte Teilgruppen (die Entschärfer an der Bombe und die Experten am Handbuch) zusammenarbeiten müssen, um die Bombe vor Ablauf eines Timers zu entschärfen.		

Anforderungs-ID: 2	Bausatz	Erfüllt in 4.4
Das Spiel soll als Elektronik-Bausatz angeboten werden. Der Bausatz soll alle Teile enthalten, die zum Aufbau des Spiels notwendig sind. Werkzeuge, wie z.B. ein Lötkolben, sind nicht miteingeschlossen.		

Anforderungs-ID: 3	Zielgruppe: Kinder und Jugendliche	Erfüllt in 4
Die Zielgruppe für das Spiel und für den Bausatz besteht hauptsächlich, aber nicht ausschließlich, aus Kindern und Jugendlichen. Sowohl das Spiel als auch der Bausatz sollen auf diese Zielgruppe ausgerichtet sein.		

Anforderungs-ID: 4	Technikinteresse wecken	Erfüllt in 4
Durch ein spielerisches Heranführen an MINT-Themen soll Interesse für diese Fächer geweckt werden.		

3.2 Anforderungen an das Spiel

Anforderungs-ID: 5	Von Kindern und Jugendlichen spielbar	Weitgehend erfüllt
Das Spiel muss einfach genug sein, dass es Kinder ab etwa 12 Jahren verstehen können. Gleichzeitig soll es auch Jugendlichen noch eine Herausforderung bieten können.		

Anforderungs-ID: 6	Teamarbeit / Kommunikation	Erfüllt in 4
Die Spieler spielen in zwei voneinander getrennten Gruppen („Entschärfer“ an der Bombe und „Experten“ am Handbuch) gemeinsam gegen die Bombe. Nur durch Teamarbeit und klare Kommunikation kann es gelingen, die Bombe zu entschärfen.		

Anforderungs-ID: 7	Vermitteln von MINT-Inhalten	Erfüllt in 4.1.2
Verschiedene Module sollen verschiedene Themen aus dem MINT-Bereich aufgreifen und vermitteln.		

Anforderungs-ID: 8	Abwechslungsreich	Erfüllt in 4.2.1
Es sollen verschiedene Kombinationen von Modulen / Themenbereichen möglich sein. Damit kann das Spiel für Wiederholungen abwechslungsreich gestaltet werden.		

Anforderungs-ID: 9	Replayability	Erfüllt in Bomb_Modules.ino
Die Module sollen verschiedene Varianten haben (zufällige Initialisierung), damit das Spiel einen größeren Wiederspielwert hat.		

Anforderungs-ID: 10	Identische Initialisierung	Erfüllt in Bomb_Modules.ino
Ebenso muss identische Initialisierung möglich sein, damit z.B. Wettbewerbe mit denselben Ausgangsvoraussetzungen veranstaltet werden können.		

Anforderungs-ID: 11	Einstellbare Schwierigkeit	Erfüllt in 4.3
Die Schwierigkeit soll einstellbar sein, um sich verschiedenen Niveaus der Spieler anpassen zu können. Damit ist nicht eine verschärfte Begrenzung der zur Verfügung stehenden Zeit oder der zulässigen Fehler gemeint, vielmehr soll die Komplexität der zu lösenden Aufgaben veränderbar sein.		

Anforderungs-ID: 12	Zwei gleiche Module möglich	Erfüllt in Bomb_Timer.ino und Bomb_Modules.ino
Es soll möglich sein, dass zwei identische Module in demselben Spiel mit unterschiedlicher Initialisierung starten, so dass sie nicht auf die gleiche Art und Weise gelöst werden können.		

Anforderungs-ID: 13	Zeitanzeige	Erfüllt in 4.1.1
Die verbleibende Zeit soll in einem stereotypen Bomben-Timer angezeigt werden.		

Anforderungs-ID: 14	Fehler	Erfüllt in 4.1.1
Es soll eine Anzeige geben, wie viele Fehler bei der Entschärfung noch gemacht werden dürfen, bevor die Bombe explodiert. Die Anzahl der erlaubten Fehler soll einstellbar sein. Damit kann das Spiel an das Niveau der Spieler angepasst werden.		

Anforderungs-ID: 15	Entschärfen und explodieren	Erfüllt in 4.2.2
Es soll klar erkennbar sein, wenn ein Modul oder die Bombe als Ganzes gelöst wurde, bzw. wenn ein Fehler gemacht wurde oder die Bombe explodiert ist. Wenn alle Module gelöst wurden, gilt die Bombe als entschärft. Wenn zu viele Fehler registriert wurden oder die Zeit abgelaufen ist, dann explodiert die Bombe.		

Anforderungs-ID: 16	Aufbau Handbuch	Erfüllt in 4.3
Das Handbuch soll einen Teil mit allgemeinen Hinweisen zur Bombe, einen Teil mit Anleitungen zu allen Modulen und eine Anleitung, wie die Bombe wieder für das nächste Spiel vorbereitet wird, enthalten.		

Anforderungs-ID: 17	Module im Handbuch	Erfüllt in Handbuch
Jedes Modul soll eine Anleitung von maximal zwei, besser einer, DIN A4 Seite im Handbuch haben. Damit soll sichergestellt werden, dass die Anleitung nicht zu ausufernd wird und übersichtlich bleibt.		

Anforderungs-ID: 18	Hintergrundinformationen im Handbuch	Nicht erfüllt; dafür wird im Ausblick ein begleitendes Lehrbuch vorgeschlagen.
Zu jedem Modul sollen im Handbuch Hintergrundinformationen enthalten sein, die die Lernziele vertiefen und dahinterstehende Konzepte vermitteln.		

Anforderungs-ID: 19	Gamemaster-Bedienung	Erfüllt in 4.2.3
Die Einstellungen der Bombe sollen nur von „autorisierten Personen“ geändert werden können, nicht von jedem Spieler. Die Autorisierung kann entweder durch		

einen „Schlüssel“ welcher Art auch immer oder durch eine nicht offensichtliche Bedienung geschehen.

Diese Mechanismen sollen in einem Anhang des Handbuchs erläutert werden.

3.3 Anforderungen an den Bausatz / die Hardware

Anforderungs-ID: 20	Baubarkeit	Erfüllt in 4.4
<p>Der Bausatz soll von Kindern und Jugendlichen möglichst leicht handhabbar sein. Das bedeutet, dass auf einen ausreichenden Abstand zwischen Löt pads geachtet werden soll, um die Wahrscheinlichkeit von Kurzschlüssen auf der Platine zu vermindern. Die Löt pads sollten möglichst groß sein, um das Löt en zu vereinfachen.</p>		

Anforderungs-ID: 21	Bauteile	Erfüllt in 4.4
<p>Es sollen möglichst THT-Bauteile (Through-Hole-Technology, Durchsteck-Montage) anstatt von SMD-Bauteilen (Surface Mounted Devices, oberflächenmontiert) verwendet werden. Die THT-Bauform wird bei Bausätzen meist besser akzeptiert als SMD, weil die Bauteile größer und damit besser handhabbar sind.</p>		

Anforderungs-ID: 22	Modular	Erfüllt in 4.2.1
<p>Abgesehen von einigen zentralen Bausteinen soll die Bombe modular aufgebaut sein. Einzelne Module sollen gegeneinander austauschbar sein. Damit wird eine vielfältige Verwendung möglich und der Wiederspielwert erhöht.</p>		

Anforderungs-ID: 23	Einfache Steckmontage	Nicht erfüllt
<p>Die Module sollen möglichst einfach – am besten nur mit einem einzigen Handgriff und/oder nur einer Hand – gewechselt werden können. Dadurch soll die Wahrscheinlichkeit einer Fehlbedienung verringert werden und die Benutzerfreundlichkeit erhöht werden.</p>		

Anforderungs-ID: 24	Leicht transportierbar	Erfüllt in 5.2.4
<p>Für Freizeitfahrten, Schulausflüge oder ähnliches soll die das zusammengebaute System leicht und sicher transportierbar sein. Dabei soll ein Umdrehen oder leichte Erschütterungen möglich sein, ohne dass es beschädigt wird.</p> <p>Aufgrund der Optik und der Handhabung bietet sich z.B. ein Geräteko ffer an.</p>		

Anforderungs-ID: 25	Fixierung	Erfüllt in 5.2.4
<p>Der Timer und die Module sollen bei Bedarf im Koffer fixierbar sein, so dass sie während des Spiels nicht herausgenommen werden können. Damit wird das Spiel robuster. Es bietet sich insbesondere dann an, wenn das Spiel in einer Modulkombination häufiger gespielt werden soll.</p> <p>Die Fixierung soll nicht dauerhaft sein, damit Module später wieder getauscht werden können.</p>		

Anforderungs-ID: 26	Kostengünstig	Erfüllt in 5.2.1
<p>Der Bausatz soll möglichst kostengünstig zusammengestellt werden. Richtwert ist etwa 10€ an Materialkosten pro Modul.</p>		

Anforderungs-ID: 27	5V-Schaltung	Erfüllt in 5.2
<p>Das System soll mit 5V betrieben werden können, weil dann eine handelsübliche Powerbank zur Energieversorgung verwendet werden kann.</p>		

Anforderungs-ID: 28	Akkulaufzeit	Erfüllt in 5.2
<p>Das Spiel soll mit einem kleinen Akku (Richtwert: 2000mAh) mindestens eine Stunde betrieben werden können.</p>		

Anforderungs-ID: 29	Serienfertigkeit	Erfüllt in 5.2.4, 5.3.5
<p>Das Gehäuse und die Frontplatten der Module müssen so beschaffen sein, dass eine Kleinserienfertigung möglich ist. Manuelle Manipulationen an Bauteilen sollen, wenn möglich, nicht nötig sein, insbesondere wenn sie zeitaufwendig oder komplex sind.</p>		

Anforderungs-ID: 30	Anleitung	Erfüllt in 4.4
<p>Es soll eine Anleitung zum Aufbau des Bausatzes entstehen.</p>		

3.4 Sonstige Anforderungen

Anforderungs-ID: 31	Einseitige Prototyp-Platinen	Erfüllt
<p>Für Prototypen sollen die Platinen einseitig herstellbar sein, damit sie in kurzen Zyklen in eigener Fertigung hergestellt werden können.</p>		

Anforderungs-ID: 32	Sicherheit vernachlässigbar	Erfüllt
Da das Spiel nicht an einen Computer oder gar an das Internet angeschlossen wird, müssen keine gesonderten Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden. Auch das Auslesen der Software von den Microcontrollern muss nicht aktiv verhindert werden.		

Anforderungs-ID: 33	Leichte Programmierbarkeit	Erfüllt in 5.3.4, 5.3.5
Die Microcontroller sollen leicht (schnell) programmierbar sein. Das gilt sowohl für Prototypen (der Chip soll auf der Platine belassen werden können, schnelle Zyklen stehen im Vordergrund) als auch für eine (Klein-)Serienfertigung (der Chip soll mit möglichst wenigen Schritten in einem Nullkraftsockel o.ä. programmiert werden können).		

4. Das Produkt



Abbildung 1: Das fertige Spiel in Betrieb

4.1 Die Bombe

In einem Gerätekoffer finden der Timer und die zu entschärfenden Module Platz.

4.1.1 Timer und Timer Output

Der Timer zeigt mit einem großen vierstelligen 7-Segment-Display an, wie viel Zeit die Spieler noch haben, bis die Bombe explodiert. Darüber zeigt eine Anzeige aus 5 LEDs mit den Schaltsymbolen von Sicherungen darunter an, wie viele Fehler der Spieler noch machen darf, bevor die Bombe explodiert.

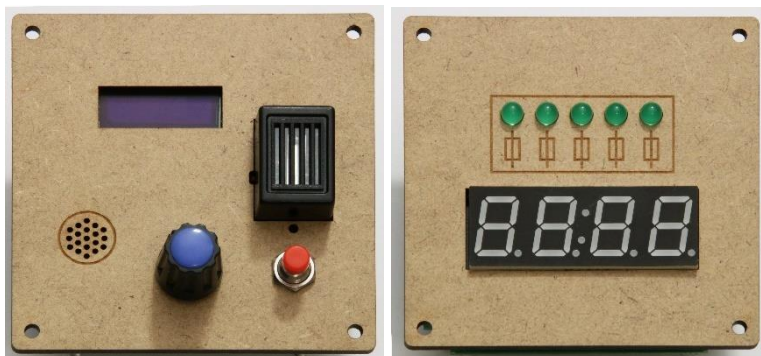


Abbildung 2: Timer und Timer-Output

4.1.2 Module

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Module vorgestellt. Die Aufgaben dieser Module müssen gelöst werden, um die Bombe als Ganzes zu entschärfen. Für jedes Modul wird ein Lernziel definiert, das durch Spielen mit diesem Modul erreicht werden

kann. Die Lernziele können abstrakt sein, wie z.B. „genaue Kommunikation“, oder sehr konkret, um Kenntnisse aus dem MINT-Bereich vermitteln, wie z.B. „Widerstands-Farbcode lernen“. So bilden verschiedene Module verschiedene Anforderungen und Ziele ab.

Typ 01: Kabel

Lernziel: Einer Abfolge von logischen Bedingungen genau folgen.

Bei diesem Modul findet der Entschärfer mehrere bunte Kabel vor. Im Handbuch ist beschrieben, welches der farbigen Kabel durchgeschnitten bzw. herausgezogen werden muss. Dabei nimmt das Handbuch Bezug auf die vorhandenen Kabel und ihre Farben („Wenn es mehr als ein gelbes Kabel gibt, trenne das erste Kabel“).

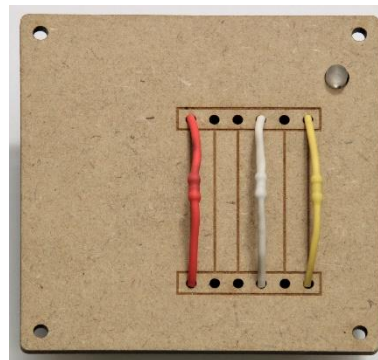


Abbildung 3: Modul Kabel

Typ 02: Binärzahlen

Lernziel: Einfache Binärzahlen erkennen.

Bei diesem Modul müssen zweistellige Binärzahlen analysiert werden. Abhängig davon, welche Zahl die beiden großen LEDs oben in der Mitte anzeigen, muss beispielsweise „der zweite Knopf“ oder „der Knopf, unter dem die Zahl eins angezeigt wird“ gedrückt werden.

Je nach Schwierigkeitsgrad des Spiels muss man sich die gedrückten Knöpfe und die Werte der Binärzahlen zudem merken.

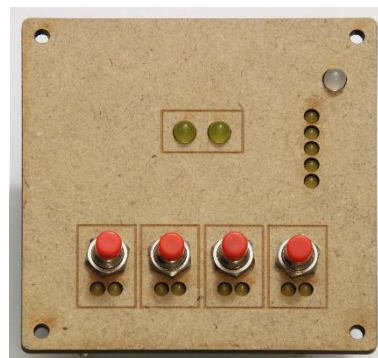


Abbildung 4: Modul Binärzahlen

Typ 03: Morse

Lernziel: Morsecode decodieren.

Es gilt, einen Morsecode zu decodieren, der von einer LED geblinkt und von einem Piezo-Lautsprecher gepiepst wird. Im Handbuch ist dazu das Morsealphabet graphisch abgebildet. Daneben ist jedem Klartext eine Frequenz zugeordnet, die dann mit dem Drehregler am Modul eingestellt werden muss.



Abbildung 5: Modul Morse

Typ 04: LED-Kreis

Lernziel: Genaue Kommunikation erlernen.

Dieses Modul ist sehr einfach gehalten, um mit diesem Modul einen leichten Einstieg in das Entschärfen der Bombe zu ermöglichen. Der LED-Kreis zeigt Muster an, die in der gleichen Form auch im Handbuch zu finden sind. Im Handbuch steht unter jedem Muster, welcher Knopf gedrückt werden muss.

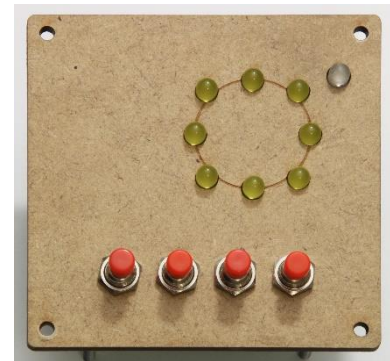


Abbildung 6: Modul LED-Kreis

Typ 05: Verdrillte Kabel

Lernziel: Venn-Diagramme analysieren.

Im Handbuch ist ein 3-Bit (Variante „Einfach“) bzw. 4-Bit (Variante „Hardcore“) Venn-Diagramm abgebildet. Aus der Kombination von LEDs und Kabelfarben, die auf dem Modul zu sehen sind, ergibt sich jeweils nur ein zutreffender Bereich im Venn-Diagramm. Dieser zeigt dann über einen Buchstaben an, ob das entsprechende Kabel getrennt werden muss.

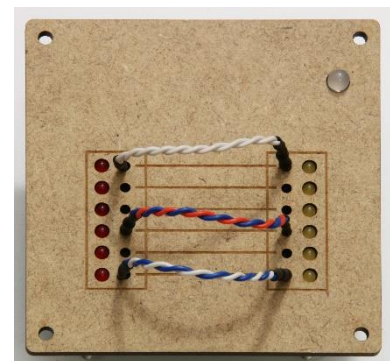

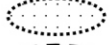



Abbildung 7: Modul Verdrillte Kabel

Eigenschaften:

	Kabel blau oder blau gestreift
	Gelbe LED rechts von Kabel an
	Rote LED links von Kabel an

Buchstabe	Anleitung
E	Trenne das Kabel
N	Trenne das Kabel nicht
L	Trenne das Kabel, wenn die Bombe einen Lüfter hat

Diagramm:

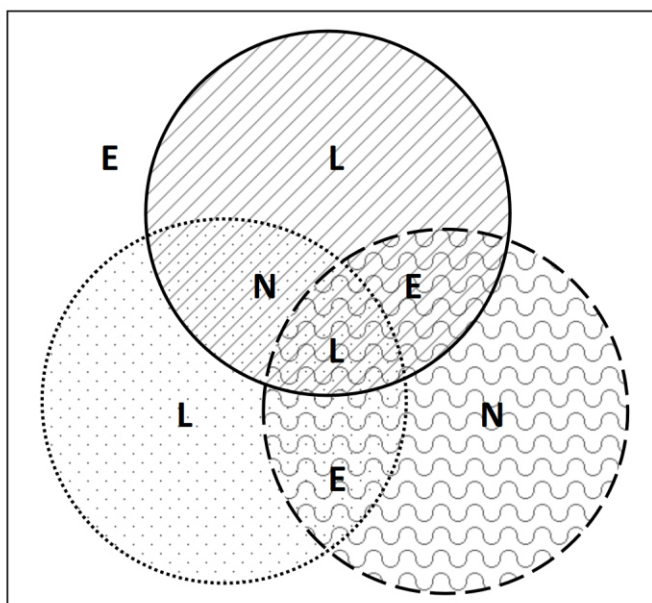


Abbildung 8: Ausschnitt aus dem Handbuch (Variante Einfach): Venn-Diagramm zu "Verdrillte Kabel"

Typ 06: Logikgatter

Lernziel: Wirkweise von Logikgattern verstehen.

Im Handbuch ist ein Netz aus mehreren verschiedenen Logikgattern angegeben. Auf dem Modul sind LEDs zu sehen, die als Eingangswerte für das Netz fungieren. Die Ausgangswerte des Netzes müssen dann an den zwei Schaltern auf dem Modul korrekt eingestellt werden.

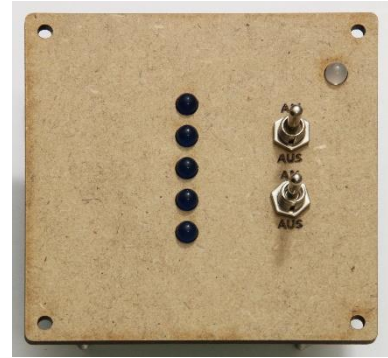


Abbildung 9: Modul Logikgatter

Typ 07: Widerstand

Lernziel: Widerstände anhand ihres Farbcodes erkennen. Auf dem Display des Moduls wird ein Widerstandswert angezeigt. In der Anleitung steht, wie dieser Wert in die Farbringe von Widerständen übersetzt werden kann. Der Entschärfer muss nun den richtigen Widerstand unter insgesamt zweiundzwanzig Widerständen finden und an den Messpunkten einsetzen.



Abbildung 10: Modul Widerstand

Typ 08: Messgerät

Lernziel: Einem Flussdiagramm folgen.

Im Handbuch ist ein Flussdiagramm abgebildet, das angibt, in welcher Reihenfolge an welchen Messpunkten P1 bis P6 mit der roten Prüfspitze gemessen werden muss. Abhängig von den auf dem Display angezeigten Werten muss dann mit der gelben Krokodilklemme eine Kabelbrücke zu einem der Punkte hergestellt werden.

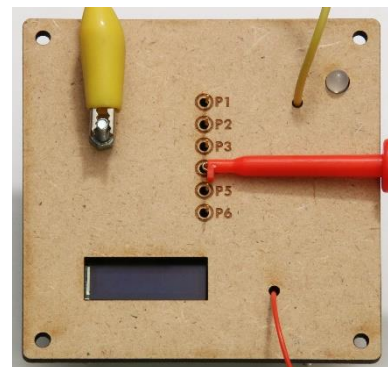


Abbildung 11: Modul Messgerät

Typ 09: Schieberegister

Lernziel: Schieberegister mit Daten füllen.

Abhängig von den „Ausgängen“ des Schieberegisters ist im Handbuch angegeben, welcher 8-bit-Wert als nächstes in das Register geschoben werden muss. Mit den Knöpfen und dem Schalter können die Daten hineingefüllt werden. Die Bedienung lehnt sich dabei an die tatsächliche Funktion handelsüblicher Register an.

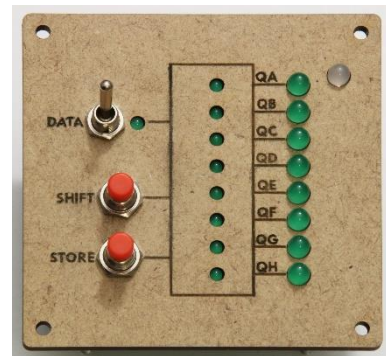


Abbildung 12: Modul Schieberegister

4.1.3 Dringende Module

Diese Module können nicht wie die normalen Module entschärft werden. Sie dienen dazu, immer wieder abzulenken, und bieten eine zusätzliche Schwierigkeitsstufe bei der Entschärfung. Dadurch bietet das Spiel länger Herausforderungen und somit einen längeren Spielspaß. Außerdem bieten diese Module eine gute Möglichkeit, mehrere Spieler an der Bombe zu „beschäftigen“, weil man zusätzlich zum normalen Entschärfen auf die dringenden Module achten muss.

Typ 50: Nervöser Knopf

Lernziel: Auch bei Dringlichkeit nachdenken

Dieses Modul kann nicht endgültig entschärft werden. Wann immer es sich aktiviert, hat der Entschärfer nur einige Sekunden Zeit, den Knopf zu drücken. Dabei muss er darauf achten, dass der Knopf je nach Seriennummer der Bombe nur gedrückt werden darf, wenn entweder eine gerade oder ungerade Sekundenzahl im Timer angezeigt wird.



Abbildung 13: Modul Nervöser Knopf

Typ 51: Drehdings

Lernziel: Sich trotz Unterbrechungen nicht ablenken lassen

Wenn sich dieses Modul aktiviert, muss der sich drehende Arm in der Mitte von dem beweglichen Kontakt (Schraube) ferngehalten werden. Berührt die Schraube den Arm, löst das einen Fehler aus.



Abbildung 14: Modul Drehdings

4.1.4 Merkmale

Mit den folgenden beiden Modulen muss nicht interagiert werden, sie sind einfach nur Teil des Aufbaus der Bombe. Abhängig von ihrem Vorhandensein gelten für manche der normalen Module andere Regeln für ihre Entschärfung.

Typ 70: Batterien

Abhängig von der Anzahl der eingelegten Batterien müssen bei dem Modul „Logikgatter“ andere Gatter herangezogen werden.



Abbildung 15: Merkmal Batterien

Typ 71: Lüfter

Abhängig von der Existenz des Lüfters ändern sich z.B. die Kabel, die bei dem Modul „Verdrillte Kabel“ getrennt werden müssen.



Abbildung 16: Merkmal Lüfter

4.2 Funktionen und Bedienung des Spiels

4.2.1 Aufbauen der Module

Der Timer verbleibt immer in der Bombe, alle anderen Module können beliebig ausgetauscht und neu kombiniert werden. Manche Module müssen vor dem Spiel vorbereitet werden, z.B. durch das Einstecken von Kabeln oder dadurch, dass Schalter in Neutralstellung gebracht werden. Alle dafür nötigen Schritte sind im Anhang des Handbuchs beschrieben. Ob die Module korrekt aufgebaut sind, wird beim Start des Spiels überprüft. Ist ein Modul nicht korrekt vorbereitet, wird es nicht als zu lösendes Modul registriert.

4.2.2 Entschärfen der Bombe

Um die Bombe zu entschärfen, muss jedes der Module für sich entschärft werden. Die einzelnen Module werden durch verschiedene Aktionen (z.B. Kabel herausziehen,

Knöpfe drücken, Verbindungen herstellen, Drehknöpfe drehen und Schalter umlegen) gelöst. Herausfinden, welche Aktionen genau erforderlich sind, ist nur durch ein Kombinieren der Informationen aus dem Handbuch und der Bombe selbst möglich. Nach dem Lösen leuchtet eine grüne LED an dem entsprechenden Modul auf. Läuft die Zeit ab, oder wurden zu viele Fehler registriert, dann „explodiert“ die Bombe. Dann ertönt ein lauter Buzzer und sämtliche Lichter blinken wild.

4.2.3 Menü im Timer

Im Timer ist ein Menü integriert, das dem Spielleiter erlaubt, verschiedene Einstellungen an der Bombe vorzunehmen. Hier können beispielsweise die Schwierigkeit oder die verfügbare Zeit eingestellt werden. Eine genauere Beschreibung aller Funktionen findet der Spielleiter im Anhang des Handbuchs.

4.3 Handbuch

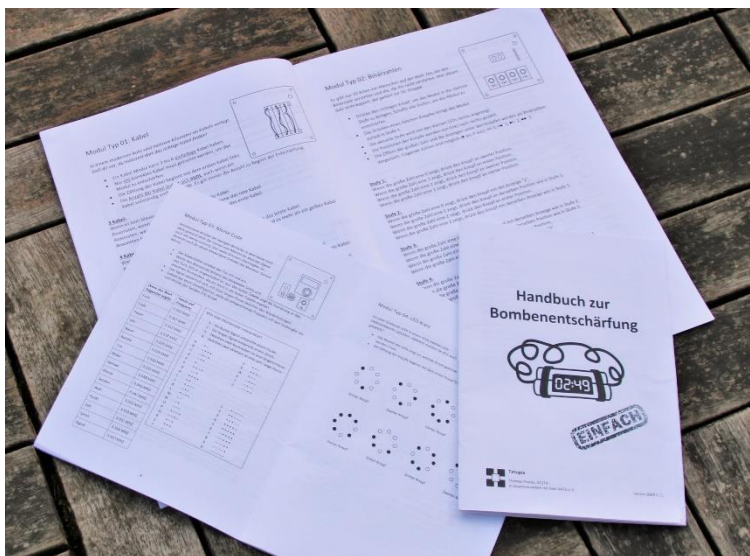


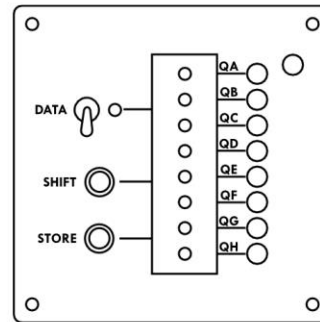
Abbildung 17: Das Handbuch

Das Handbuch ist das Werkzeug der „Experten“, die den „Entschärfern“ erklären müssen, wie sie die Bombe entschärfen können. Im Handbuch ist alles beschrieben, was man zum Aufbauen, Spielen und Einstellen der Bombe braucht. Am Anfang werden der allgemeine Aufbau und die grundlegende Funktion der Bombe erklärt. Der größte Teil beschreibt, wie die einzelnen Module entschärft werden können. In den Anhängen sind u.a. Informationen zum Vorbereiten des Spiels enthalten. Auch wenn diese Informationen nicht während des eigentlichen Entschärfens benötigt werden, sind sie im Handbuch aufgeführt, damit man nicht noch eine zusätzliche Anleitung braucht.

Modul Typ 09: Schieberegister

Ein Schieberegister ist eine Art von sequenzieller Logikschaltung, die für die Speicherung oder Übertragung von Binärdaten verwendet werden kann. Soweit alles klar? Und jetzt: Schieb den Wall!

- Leite aus den aktuellen Ausgängen QA bis QH des Schieberegisters ab, welches Muster als nächstes eingestellt werden muss.
- Die **großen LEDs** zeigen die **aktuellen Ausgänge** an, die **kleinen LEDs** den **internen Status** des Schieberegisters.
- Der Schalter "DATA" schaltet die DATA-LED ein und aus.
- Der Knopf „SHIFT“ schiebt den Wert der DATA-LED in das Schieberegister. (Die Werte, die schon im Schieberegister stehen werden dabei eins nach unten geschoben.)
- Mit dem „STORE“-Knopf wird der interne Zustand des Schieberegisters auf die Ausgänge übernommen und die Prüfung eingeleitet.



Aktuell	Ziel
X1XX 1X0X	0110 0100
X00X 1XXX	1101 1000
X0XX 0XXX	1001 1001
X1XX 01XX	0100 1001
X1XX 1X10	1011 0101
X01X 1XXX	0111 0101
X1XX 00XX	1000 1011
X1XX 1X11	0011 1010

0 = LED aus
 1 = LED an
 X = LED beliebig

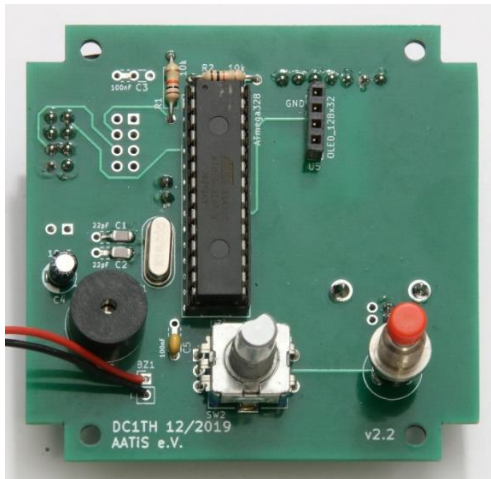
Abbildung 18: Auszug aus dem Handbuch. Hier: Modul Schieberegister

Das Handbuch gibt es in zwei Varianten: „Einfach“ und „Hardcore“. In der Variante „Einfach“ werden die Anleitungen so dargestellt, dass die Spieler leichter erkennen können, wie ein Modul zu lösen ist. In der Variante „Hardcore“ sind die Probleme komplexer und das Lösen eines Moduls erfordert ein tieferes Verständnis. Je nach Alter und Vorkenntnissen der Spieler kann so immer eine Schwierigkeitsstufe gewählt werden, die die Spieler zwar fordert, aber nicht überfordert.

4.4 Bausatz

Der Bausatz besteht aus mehreren Gruppen: Koffer, Timer und die einzelnen Module. Der äußere Koffer und die Einlage erfordern keine Montage. Für den Bus als Teil des „Koffers“ muss ein Flachbandkabel mit Steckern versehen werden.

Für den Timer und für die einzelnen Module bestehen die Bausätze jeweils aus einer



Platine, den elektronischen Bauelementen und der Frontplatte. Die elektronischen Bauteile müssen auf die Platine gelötet werden. Die Frontplatte wird aus zwei Holzteilen geleimt.

Die Anleitung für den Aufbau des gesamten Bausatzes wird im Praxisheft 30 und 31 des AATIS e.V. veröffentlicht. Hier wird detailliert beschrieben, welche Schritte nötig sind.

Abbildung 19: Aufgebaute Platine. Hier: Timer

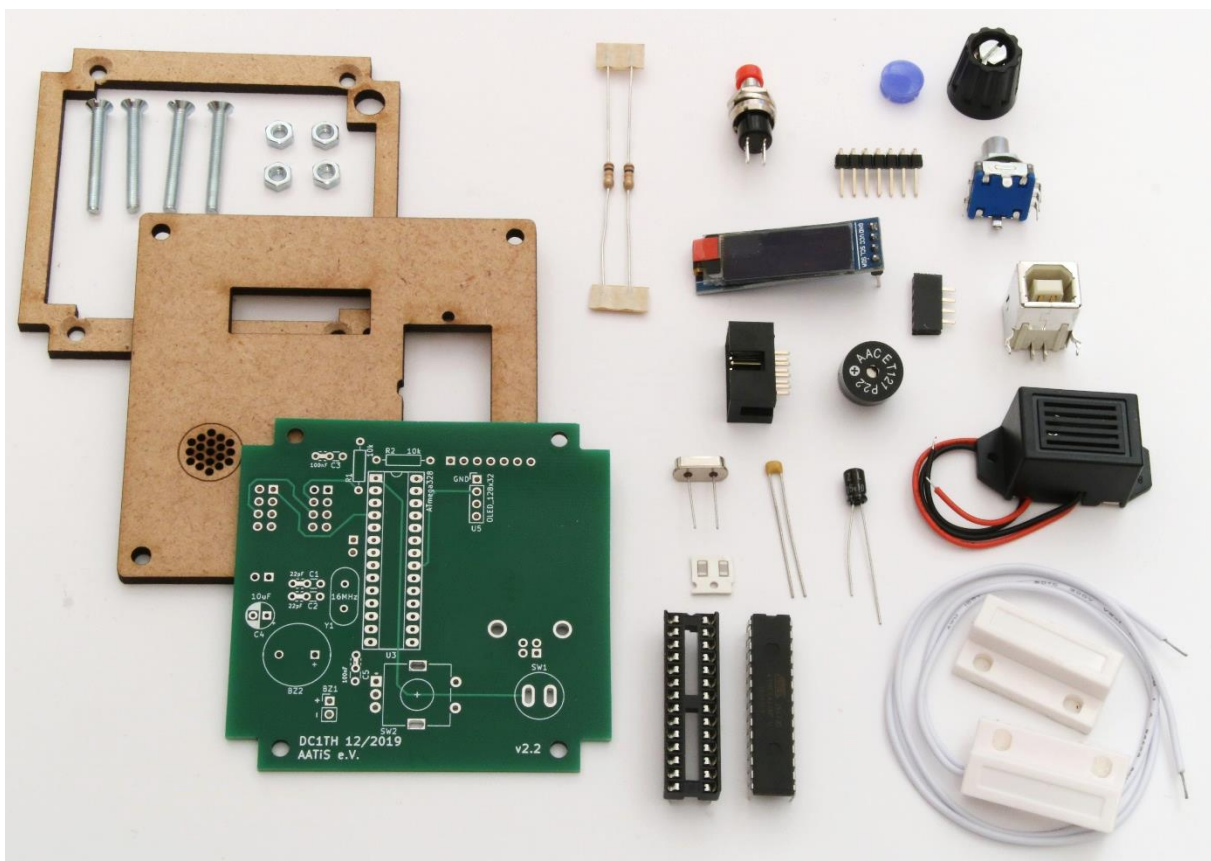


Abbildung 20: Bausatz für eine Platine

5. Design und Implementierung

5.1 Architektur

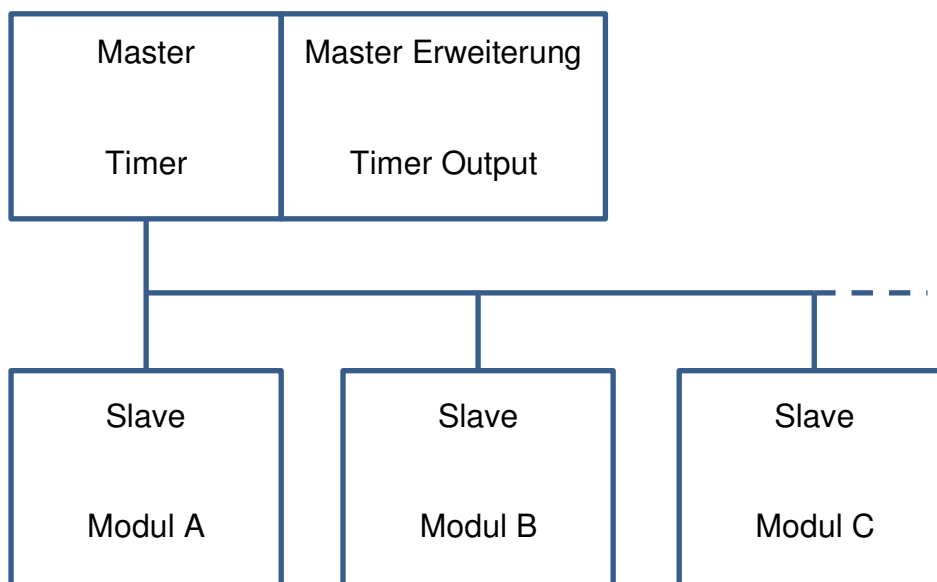


Abbildung 21: Struktur der Hardware

Der Timer als Master ist über den Bus mit den Modulen als Slaves verbunden.

„Master“ und „Timer“ bzw. „Slave“ und „Modul“ werden im Folgenden weitgehend synonym verwendet.

5.2 Hardware

5.2.1 Bauteile

Zur Bestückung werden keine oberflächenmontierbaren Bauteile (SMD) verwendet. (Anmerkung: In Abbildung 20 und Abbildung 19 sind zwei SMD-Kondensatoren zu sehen, die aber nur aufgrund temporärer Verfügbarkeiten eingebaut sind. Vorgesehen sind auch hier zwei bedrahtete Keramik-Kondensatoren.)

Im Einkauf liegen die Bauelemente gemeinsam mit der Platine und der Deckplatte in der Regel unter 10€. Nur einzelne Module sind aufgrund spezieller Bauteile, wie z.B. besonderer Displays, etwas teurer.

5.2.2 Größe der Module

8x8 cm große Platten sind einerseits groß genug, dass für jedes Modul genug Platz für die Bedienelemente vorhanden ist. Andererseits sind sie damit kompakt genug, dass der gesamte Aufbau bei mehreren Modulen nebeneinander nicht zu groß wird.

Lediglich beim Timer reicht der physikalische Platz auf der Platine dann nicht für alle Bauteile aus. Deshalb wird der Timer durch eine zweite Platine erweitert. Auf dieser Erweiterung befindet sich das Display, das den Countdown anzeigt, die Schieberegister und der Steckverbinder für die SlaveSelects sowie die fünf LEDs für die „Sicherungen“. Die dafür benötigten Stromversorgungs- und Signalleitungen werden durch eine einfache Flachband-Kabelbrücke zur zweiten Platine geführt.

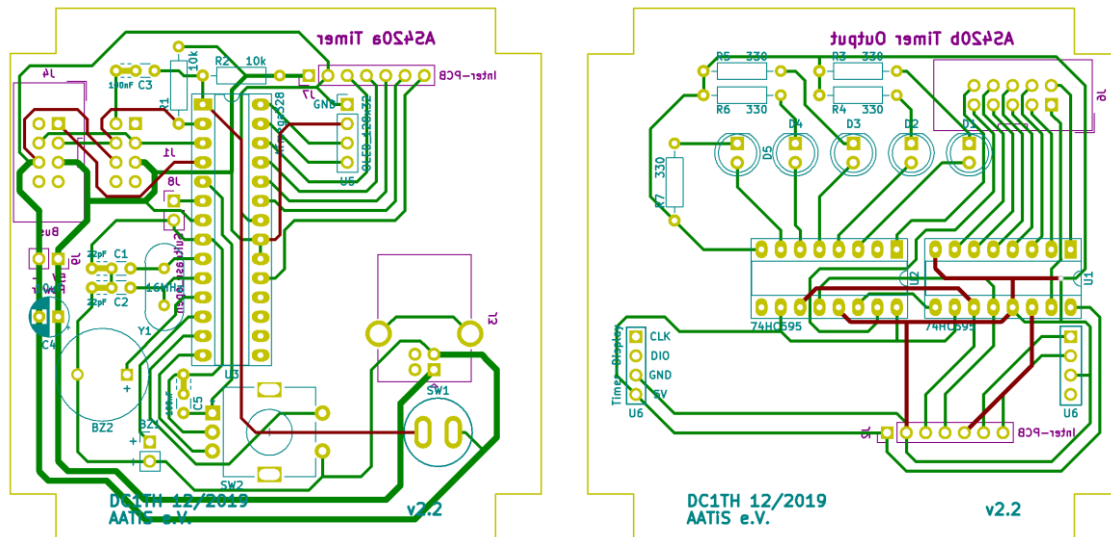


Abbildung 22: Die beiden Platinen des Timers im Layout-Programm. Links die Hauptplatine, rechts die Erweiterung.

5.2.3 Wahl des Microcontrollers

Der Microcontroller steuert den gesamten Ablauf des Spiels. Sowohl beim Timer als auch auf jedem der Module ist ein Microcontroller verbaut, der auf den Input der User reagiert und LEDs und Displays schaltet.

Aus folgenden Gründen wurde der kommerzielle Microcontroller ATmega328P für dieses Projekt ausgewählt:

Er ist als DIP (Dual In-Line Package, typische „große“ Bauform von integrierten Schaltungen) erhältlich.

Weil der ATmega328P auch bei vielen Arduino-Boards zum Einsatz kommt, kann man in vielen Bereichen auf die Arduino-Infrastruktur zurückgreifen. Durch die weite Verbreitung gibt es viele Tutorials und Anleitungen und umfangreiche Unterstützung durch die Community.

Die Rechenleistung, Speicherkapazität und Anzahl der IO-Pins sind angemessen.

Ebenfalls als DIP erhältlich wären Microcontroller der PICmicro-Familie der Firma Microchip Technology Inc., aber diese Microcontroller benötigen in der Regel einen dedizierten Brenner, um die Software auf den Microcontroller zu übertragen.

Außerdem gibt es deutlich weniger Software-Bibliotheken und nicht so viel Support, weil die Community deutlich kleiner ist.

5.2.4 Gehäuse

Koffer

Als äußeres Gehäuse wurde ein universeller Geräte-Koffer gewählt. Er erfüllt die Anforderungen an die Robustheit und sieht dabei auch noch gut aus [16]. Der Koffer ist in verschiedenen Größen erhältlich. Bei den Testspielen fiel auf, dass selten mehr als 4 Module gleichzeitig gespielt wurden, so dass vorerst ein kleiner Koffer beschafft wurde, der Platz für den Timer und 4 Module bietet. Sollte ein größerer Koffer nachgefragt werden, können die bestehenden Module auch problemlos in einem anderen Koffer eingebaut werden. Lediglich die Einlage im Koffer und das Bus-Kabel müssen dann ausgetauscht werden.

Einlage und Modul-Deckplatten

Für die Einlage im Koffer und die Deckplatten der Module kommen vor allem 3D-Druck oder lasergeschnittene Platten als „Rapid Prototyping“ und für eine Kleinserie in Frage. 3D-Druck bietet mehr Freiheit in der Gestaltung der Form, beim Laserschneiden ist man für die dritte Dimension auf das „Stapeln von Platten“ beschränkt.

Beschriftungen sind beim Laserschneiden mit Gravuren einfach und relativ hochauflösend möglich, beim 3D-Druck kommt es hingegen sehr auf das gewählte Fertigungsverfahren an.

3D-Druck dauert deutlich länger in der Fertigung. Während die Deckplatte für ein einzelnes Modul auf dem Laserschneider in unter einer Minute graviert und geschnitten ist, würde eine Deckplatte auf einem handelsüblichen 3D-Drucker über eine Stunde dauern.

Für eine Fertigung in Kleinserie ist Laserschneiden deutlich billiger. Vergleicht man den Preis für 10 Stück einer einzelnen Deckplatte bei dem Anbieter Sculpteo, so kostet das Herstellen im 3D-Druck-Verfahren mindestens 10€ pro Stück, während man beim Laserschneiden nur etwa 2,50€ pro Stück bezahlt. Ordnet man mehrere Module auf einer großen Platte an, so reduziert sich der Preis sogar auf etwa 1,50€ pro Stück. [17] Durch die hohe Präzision beim Laserschneiden ist später eine nahezu spielfreie Montage der Module im Koffer möglich.

Insbesondere aufgrund der Preis- und Zeitvorteile wurden lasergeschnittene Platten als Einlage im Koffer und für die Deckplatten gewählt.

Die zum Laserschneiden benötigten Vektorgrafiken wurden mit der Software Inkscape erstellt. Der Laserschneider schneidet oder graviert dann entlang der Pfade der Vektorgrafik.

In der Einlage im Koffer und den Deckplatten der Module sind jeweils Löcher vorgesehen, so dass die Module im Koffer festgeschraubt werden können.

5.3 Programmierung

Die Programmierung basiert auf Arduino. Dabei liegen technische Dateien und Hardware-nahe Teile weitgehend im Hintergrund, ohne dass der Nutzer aktiv darauf zugreifen muss. Trotzdem können bei Bedarf z.B. Register auch direkt beschrieben werden. Dies ist aber meist nicht notwendig, da sehr viele Funktionalitäten über bequeme Bibliotheken zugänglich gemacht werden.

Arduino unterstützt Klassen im C++ Format, diese sind aber nicht notwendig. Eine Strukturierung des Codes kann auch durch Aufteilung des Codes in verschiedene Arduino-Dateien (Dateiendung „.ino“) erfolgen, die dann vor dem Kompilieren automatisch zusammengefügt werden.

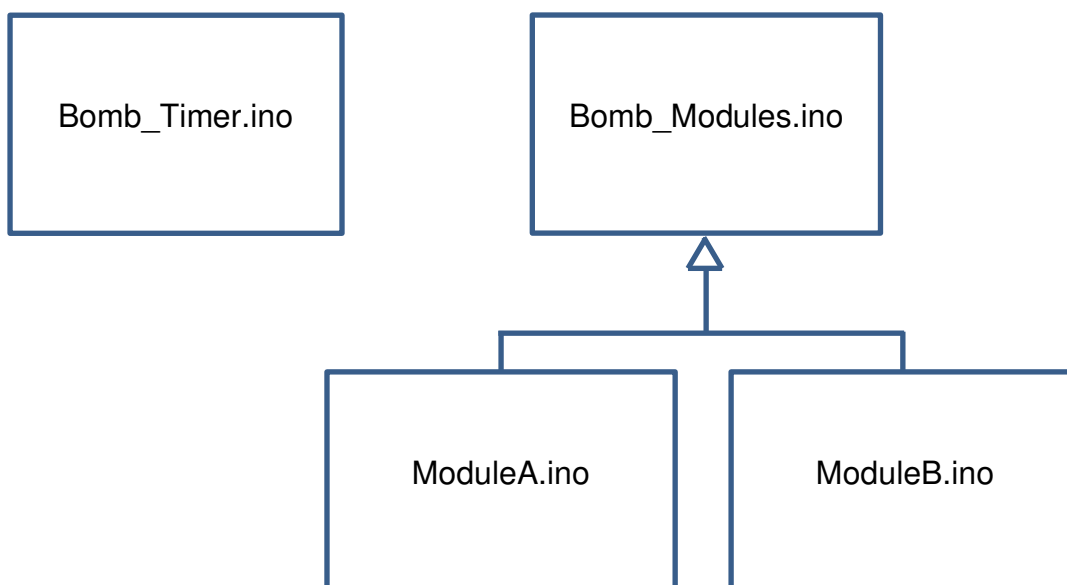


Abbildung 23: Aufbau der Software

Der Timer und die Module sind zwei getrennte Programme, die sich keinen gemeinsamen Code teilen. Die Kopplung von Timer und Modulen erfolgt über den Bus. Darüber kann der Timer die Module einzeln über eine serielle Verbindung ansprechen und deren Status abfragen.

5.3.1 Master

Für den Timer befindet sich der gesamte Code in einer einzelnen Datei. Bei unter 2000 Zeilen schien es vertretbar, den Code einfach in einer einzelnen, gut strukturierten, Datei zu halten.

5.3.2 Slave

Angelehnt an ein Interface-Pattern ist der Code für die Module zweigeteilt. Sämtliche Funktionen, die allen Modulen gemein sind, finden sich in einer Datei (z.B. das Ansteuern der Status-LED, die in der rechten oberen Ecke jedes Moduls zu finden ist). Alle modulspezifischen Funktionen, insbesondere, wie ein Modul entschärft werden kann, werden pro Modul in einer weiteren Datei formuliert, die dann vom Compiler automatisch eingebunden wird, wenn sie sich im selben Ordner befindet. Die Auswahl des Moduls geschieht durch ein `#define MODULE_NAME` in der Hauptdatei. Sämtliche modulspezifischen Dateien sind von einem `#ifndef MODULE_NAME` eingefasst, das dann das jeweilige Modul einbindet.

Folgender Code ist die „Minimalversion“ eines Moduls. Er enthält alle Funktionen, die in der `Bomb_Modules.ino` aufgerufen werden.

```
#ifndef MY_MODULE_NAME
void setupModule() { moduleId = x; }
int loopBootup(){ return 0; }
void afterBootup(){}
int loopModule() { return 0; }
void bombEnded(){}
void bombExplodedLoop(){}
bool isModuleValid(){ return true; }
#endif
```

Jedes Modul kann darüber hinaus eigene Konstanten, Variablen und Funktionen definieren und nutzen.

5.3.3 Bus

Wegen Anforderung 12 „Zwei gleiche Module möglich“ fällt die Möglichkeit einer hartcodierten Adresse in den Slaves weg. Zwei identisch aufgebaute Module könnten dann nicht gleichzeitig betrieben werden. Es soll also ein vom Master gesteuertes Slave Select Signal verwendet werden, um die Module einzeln ansprechen zu können.

Die drei bei Arduino am häufigsten verwendeten Kommunikationsprotokolle, die auch hardwareseitig unterstützt werden, sind SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter Integrated Circuit) und UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) [18].

Die Wahl fiel nach einer Analyse der verschiedenen Kommunikationsarten auf UART. Begründung: SPI erfordert zusätzlich zu zwei Daten-Leitungen noch eine Clock-Leitung und benötigt damit mehr Pins als I2C oder UART.

Gegen I2C sprechen gleich mehrere Gründe: Erstens brauchen die Slaves Adressen, die im Vorhinein festgelegt sein müssten. Die Adressen in der Software festzulegen, würde aber bedeuten, dass keine zwei Module des gleichen Typs parallel verwendet werden könnten. Zweitens sind die beiden Pins, die am ATmega328 für I2C vorgesehen sind, gleichzeitig zwei der Analog-Eingänge, die für manche Module (z.B. „Kabel“) erforderlich sind. Drittens werden die kleinen OLED-Displays, die in mehreren Modulen verbaut sind, ebenfalls über I2C angesteuert. Der Arduino verfügt jedoch nur über eine in die Hardware integrierte I2C-Schnittstelle. Bei den Displays ist der Hardware-I2C besonders wertvoll, denn man merkt auf Grund der verhältnismäßig großen Datenmengen einen deutlichen Geschwindigkeitsunterschied zwischen dem Anschluss an den Hardware-I2C und den zusätzlich möglichen, aber langsameren, Software-I2C. Zwar könnte auch für die Master-Slave-Kommunikation ein Software-I2C an beliebigen anderen Pins verwendet werden, aber das löst immer noch nicht das Problem der Adressierung.

UART nutzt keine Clock-Leitung und braucht damit einen IO-Pin weniger als SPI. Der dadurch zusätzlich verfügbare IO-Pin steht dann dem Modul zur Verfügung, um z.B. eine weitere LED oder einen weiteren Taster ansteuern zu können. Ein Slave-Select ist über Software relativ einfach möglich. Das hat den zusätzlichen Charme, dass auf den Slave-Select direkt reagiert werden kann und z.B. eine Antwort gesendet werden kann, ohne dass noch eine Abfrage über Datenübertragung erfolgen muss.

UART ist eigentlich nicht auf die Kommunikation zwischen mehr als zwei Kommunikationspartnern ausgelegt. Das kann aber umgangen werden: Um mehrere Slaves auf eine UART-Verbindung zu schalten, müssen die TX-Leitungen (Sendungsleitung) der Slaves jeweils durch eine Diode isoliert werden. Ein Pullup auf der Seite des Masters (= Empfangsleitung (RX) beim Master) sorgt nun dafür, dass die Leitung standardmäßig auf HIGH ist. Die Slaves können nun jeweils bei Bedarf den RX des Masters auf LOW ziehen, aber es kann kein „Kurzschluss“ entstehen, wenn ein Slave HIGH und ein anderer LOW sendet. [19]

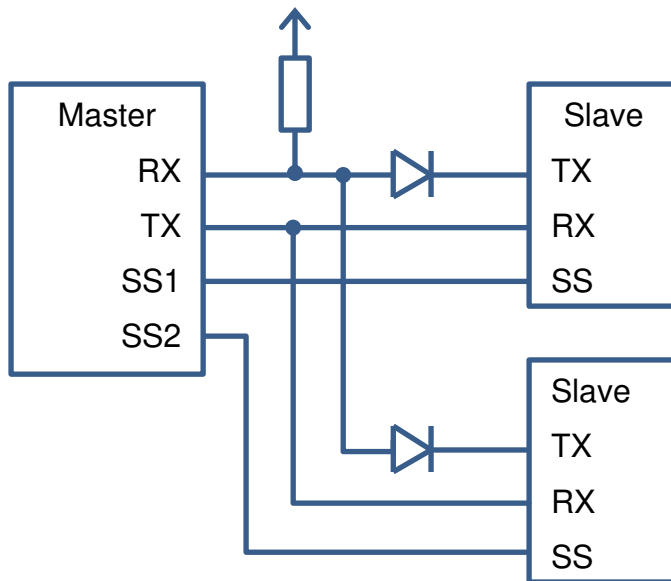


Abbildung 24: Bus-Hardware

So kann jeder Slave die RX-Leitung des Masters auf „LOW“ ziehen, die Slaves stören sich aber nicht gegenseitig. Es muss lediglich sichergestellt werden, dass nie zwei Slaves gleichzeitig senden. Das wird dadurch garantiert, dass der Master jeden Slave einzeln aufruft und der Slave nur bei gültigem Slave-Select-Signal sendet. Durch folgendes Statement wird sichergestellt, dass eine Ausgabe auf der Seriellen Schnittstelle nur erfolgt, wenn der Slave ein aktives Slave-Select-Signal hat:

```
#define print(input) if(digitalRead(SLAVE_SELECT)==HIGH){Serial.print(input);}
```

Als Diode findet eine Schottky-Diode Verwendung, die einen deutlich geringeren Spannungsabfall gegenüber einer Standarddiode aus Silizium aufweist. In Tests haben Dioden mit bis zu 0,5V Spannungsabfall problemlos funktioniert.

5.3.4 Programmieradapter

Der Programmieradapter für Timer und Module ermöglicht es, gemeinsam mit einem USB-TTL-Wandler (Universal Serial Bus, Transistor-Transistor-Logik), die Module während der Entwicklung in kurzen Zyklen neu zu programmieren. Er ist kein Programmer, sondern führt lediglich die nebeneinander liegenden Pins des USB-TTL-Wandlers in die Form der 8-poligen-Pfostenbuchse, wie sie auf den Platinen verwendet wird und stellt zusätzlich eine Reset- und Slave-Select-Funktionalität zur Verfügung.

Nr. / Farbe	Funktion Bus	Adapter	USB-TTL- Wandler
1	Slave Reset	Reset-Taster	
2	Arduino Reset	-----durchgeführt-----	DTR
3	RX am Bus, TX am Slave	-----durchgeführt-----	RX
4	TX am Bus, RX am Slave	-----durchgeführt-----	TX
5	5V	-----durchgeführt-----	VCC
		n.c.	CTS
6	GND	-----durchgeführt-----	GND
7	Slave Select	Slave Select Schalter	
8	Slave Select	n.c.	

Tabelle 1: Anschlüsse des Programmieradapters

Die Leitungen 2 bis 6 werden einfach durchgeführt. Um einen manuellen Reset durchführen zu können oder den Reset des Masters simulieren zu können, wurde auf der Slave-Reset-Leitung ein Taster, der zu GND verbindet, eingebaut. Auf einer der beiden Slave-Select-Leitungen wurde ein Schalter eingebaut, der wahlweise zu GND oder zu 5V verbindet. Damit kann ein Slave-Select-Impuls simuliert werden.

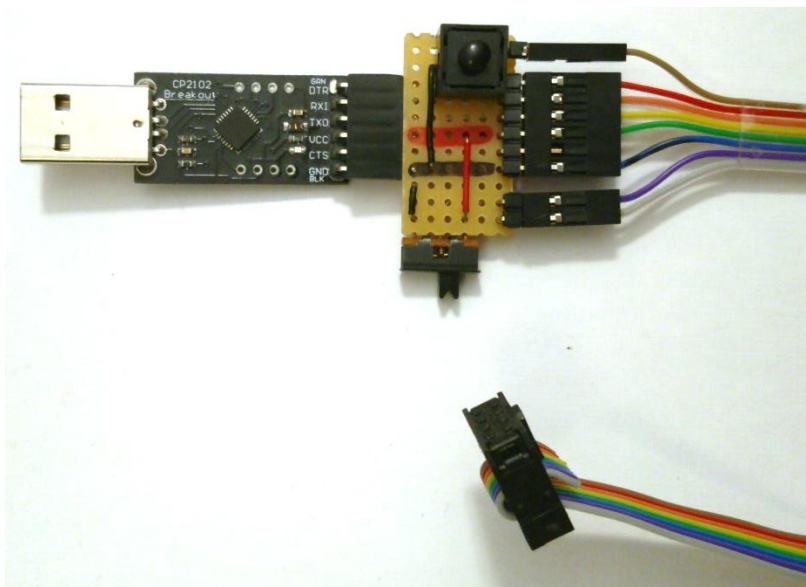


Abbildung 25: USB-TTL-Wandler und Programmieradapter

5.3.5 Brennen der Chips in „Serienfertigung“

Mit dem Programm avrdude, das auch Teil der ArduinoIDE ist, können per Kommandozeile und mit einem Programmer bereits kompilierte Programme direkt auf den ATmega328 geschrieben werden und zeitgleich grundlegende Eigenschaften, wie z.B. die Taktfrequenz des Microcontrollers, eingestellt werden. Der Programmer kann entweder ein dediziertes Gerät oder aber auch einfach ein mit einem entsprechenden Programm bespielter Arduino sein. In Kombination mit einem Nullkraftsockel ist das ideal für eine „Serienfertigung“, weil die Chips schnell hintereinander ohne umständliches Um- oder Anstecken und ohne wiederholtes Kompilieren programmiert werden können. Zusätzlich können damit auch die verschiedenen Varianten als kompilierte HEX-Dateien leicht archiviert werden.

5.4 Technische Herausforderungen

Im Folgenden werden einige technische Entscheidungen, die während der Entwicklung zu treffen waren, aufgegriffen und gemeinsam mit Alternativen kurz umrissen.

5.4.1 Erkennung von Farben

Problem

Es müssen verschiedene Farbkombinationen von Kabeln möglich sein, um den Wiederspielwert des Moduls zu gewährleisten. Dafür muss der Microcontroller erkennen können, welche „Farbe“ ein gerade angeschlossenes Kabel hat. Eine echte Farberkennung kommt bei dem vorhandenen Kostenrahmen nicht in Frage.

Dieses Problem tritt bei den Modulen „01 Kabel“ und „05 Verdrillte Kabel“ auf.

Lösung

Um die Kabelfarben zu codieren, ist deshalb jeder möglichen Farbe ein Widerstandswert zugeordnet. Der Widerstand kann über einen Spannungsteiler vom



Microcontroller an einem Analogeingang gemessen werden. Entweder wird der Widerstand direkt mit einem Schrumpfschlauch in passender Farbe als „Kabel“ verwendet oder der Widerstand wird an ein Kabel mit entsprechender Farbe gelötet.

Abbildung 26: Kabel mit angelötetem Widerstand (oben) und Widerstand mit Schrumpfschlauch (unten)

5.4.2 Abstand von Steckpunkten

Problem

Tests ergaben, dass ein 2,54mm großer Abstand (typisches Raster für Pinheader) zwischen den einzelnen Steckpunkten für die Kabel zu gering ist, um bequem ein bestimmtes Kabel herausziehen zu können. Bei etwa doppelt so großem Abstand war das Herausziehen laut Testern deutlich besser möglich.

Dieses Problem tritt bei den Modulen „01 Kabel“ und „05 Verdrillte Kabel“ auf.

Lösung und Alternativen

Es werden normale Sockel mit einem 2,54mm-Raster verwendet, aber nur über jedem zweiten Steckplatz wird durch ein Loch in der Frontplatte der Zugang ermöglicht.

Eine andere Variante, bei der jeder zweite Steckplatz in einer normalen Sockelleiste manuell herausgesägt werden müsste, wäre zwar optisch schöner, ist aber aufgrund der nötigen diffizilen Fertigung nicht für einen Bausatz geeignet.

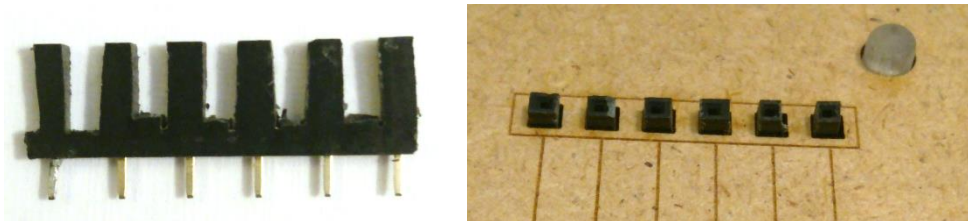


Abbildung 27: Gesägte Buchsenleiste



Abbildung 28: Löcher im Abstand von 5,08mm, darunter eine normale Sockelleiste

5.4.3 Mehr LEDs als IO-Pins

Problem

Wenn die Summe der LEDs, Knöpfe, usw. die Anzahl der verfügbaren IO-Pins am ATmega328 übersteigt, können die LEDs und Knöpfe nicht mehr von jeweils einem eigenen IO-Pin angesteuert werden.

Dieses Problem tritt bei den Modulen „02 Binärzahlen“ und „09 Schieberegister“ aufgrund der vielen LEDs auf diesen Modulen auf.

Lösung und Alternativen

Mit einem Schieberegister vom Typ 74HC595 können mit nur 3 IO-Pins bis zu 8 LEDs angesteuert werden, bei einem zweiten Schieberegister sogar 16 LEDs bei 3 IO-Pins. Ein Multiplexer würde eine Alternative zur Erweiterung von IO-Pins des ATmegas darstellen. Er hat aber die Nachteile, dass er einerseits vier statt drei Eingangssignale für acht Ausgangssignale braucht und andererseits keine volle Helligkeit der LEDs erlaubt, weil die LEDs nacheinander durchgeschaltet werden würden. Mit einem Schieberegister ist eine parallele Ansteuerung der LEDs möglich.

Eine weitere Alternative wäre die Ansteuerung der LEDs über eine Matrix, aber auch hierbei können die LEDs nicht mit voller Helligkeit betrieben werden, weil nacheinander durchgeschaltet wird.

5.4.4 Eingabe einer Zahl

Problem

Die Eingabe der Funkfrequenz beim Modul „03 Morsen“ sollte – wie bei klassischen Funkgeräten üblich – über einen Drehregler erfolgen.

Lösung und Alternativen

Es standen dafür zwei Möglichkeiten zur Auswahl: Ein Trimm-Potentiometer oder ein Drehimpulsgeber.

Die Wahl fiel hier auf das Potentiometer, da nur ein endlicher Bereich an möglichen Werten dargestellt werden muss, dessen Wertebereich klein genug ist, dass er gut auf etwa 270° Drehweg abgebildet werden kann. Zudem ist es in der Beschaffung günstiger als ein Drehimpulsgeber. Zusätzlich benötigt es nur einen statt zwei IO-Pins am Microcontroller, was bei diesem Modul jedoch nicht ins Gewicht fällt, da genug Pins frei wären.

5.4.5 Erkennen von drei Schalterstellungen an einem einzelmem IO-Pin

Problem

Bei dem Modul „06 Logikgatter“ sollen die drei Schalterstellungen „an / zu 5V verbunden“, „in der Mitte / offen“ und „aus / zu 0V verbunden“ an einem einzelnen IO-Pin ausgelesen werden.

Lösung

Dazu wurde die Möglichkeit des ATmegas genutzt, softwareseitig Pullup-Widerstände

auf den IO-Pins zu- und abschalten zu können. Legt man extern einen Pulldown-Widerstand (hier 560k Ω) an den IO-Pin an, der um etwa eine Größenordnung größer ist als der interne Pullup (20 bis 50k Ω [20]), so kann man in zwei Schritten ermitteln, ob der Schalter „offen“ ist.

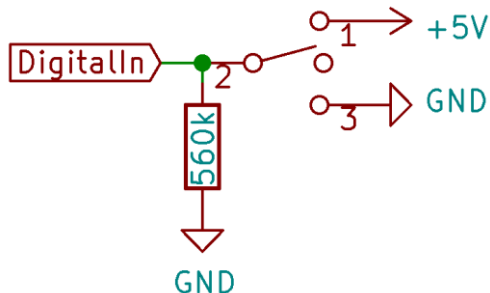


Abbildung 29: Schaltung mit externem Pulldown

Eine Messung wird mit ausgeschaltetem Pullup durchgeführt. Wird „LOW“ gemessen, kann der Schalter nur „aus“ oder „offen“ sein. Wird ein „HIGH“ gemessen, muss der Schalter „an“ sein. Um nun zwischen „aus“ und „offen“ unterscheiden zu können, wird der interne Pullup zugeschaltet, kurz gewartet, damit sich die Kapazität des Pins entladen kann, und dann die zweite Messung durchgeführt. Wird nun „HIGH“ gemessen, dann muss der Schalter „offen“ sein, ansonsten ist er „aus“.

```
int readSwitch()
{
  //Deactivate the internal pullup
  pinMode(INPUT_PIN, INPUT);
  //Give the pin some time so the even bigger (external) pulldown gets
  enough time to actually pull to low
  delay(1);

  //Read the first value
  int firstVal = digitalRead(INPUT_PIN);

  //Activate the internal pullup
  pinMode(INPUT_PIN, INPUT_PULLUP);
  //Give the pin some time so the internal pullup gets enough time to
  actually pull to high
  delay(1);

  //Read the second value
  int secondVal = digitalRead(INPUT_PIN);

  //If the values differ, the switch is open
  if(firstVal != secondVal) return OPEN;
  //otherwise return any of the values
  return firstVal;
}
```

Alternative

Bei genügend freien IO-Pins könnte der Schalter auch einfach jeweils in beiden Extremstellungen an je einen Pin des Microcontrollers mit einem Pullup verbunden werden, während der mittlere Kontakt auf GND liegt.

Variante für Modul „08 Messgerät“

Eine ähnliche Lösung wurde bei dem Modul „08 Messgerät“ verwendet. Hier soll an 6 Pins jeweils festgestellt werden, ob sie entweder mit der Messleitung (= „zu 5V verbunden“) oder mit der Verbindungsleitung (= „zu 0V verbunden“) Kontakt haben oder überhaupt nicht verbunden („offen“) sind.

Zusätzlich wurde hier jeweils ein $5,6\text{k}\Omega$ Widerstand den beiden Leitungen vorgeschaltet, damit der Strom im Falle eines Berührens dieser beiden Leitungen begrenzt ist und kein Kurzschluss entsteht.

5.4.6 Erkennen und Zuordnen von vielen verschiedenen Widerstandswerten

Problem

Bei dem Modul „07 Widerstand“ soll aus einer möglichst großen Menge an vordefinierten Widerständen der Wert des eingesetzten Widerstands zuverlässig zugeordnet werden können.

Lösung

Aus der Toleranz des Pullups, der Toleranz des einzusetzenden Widerstands, der Messgenauigkeit des AD-Wandlers und der Begrenzung auf typische Widerstandswerte ergibt sich eine begrenzte Anzahl der möglichen Widerstandswerte, die vom Microcontroller noch sicher unterschieden werden können. Hohe Widerstände wurden ausgeschlossen, da das Berühren der Messkontakte ähnliche Messwerte erzeugt und damit unerwünschte Fehler auslösen kann. Trotz all dieser Einschränkungen bleiben genug mögliche Widerstandswerte übrig, um eine ausreichende Auswahl an einzusetzenden Widerständen zu bieten.

5.4.7 Viele LEDs bei 7-Segment-Anzeigen

Problem

Die Module „50 Nervöser Knopf“ und „51 Drehdings“ haben eine eigene kleine Zeitanzeige. Die zwei dafür benötigten 7-Segment-Anzeigen entsprechen 14 einzelnen LEDs, je 7 mit einer gemeinsamen Kathode. Eine Ansteuerung mit dem

Microcontroller alleine würde viele IO-Pins belegen. Viele Vorwiderstände für die LEDs brauchen außerdem viel Platz.

Lösung und Alternativen

Um IO-Pins zu sparen, werden die Anzeigen über ein Schieberegister und Multiplexing angesteuert. Da ein Widerstand pro Segment recht viel Platz auf der Platine benötigt hätte, wird nur je einen Widerstand für die gemeinsame Anode verwendet. Das hat zur Folge, dass verschiedene Zahlen unterschiedlich hell dargestellt werden. Der Unterschied ist zwar sichtbar, aber so gering, dass die Wahl auf die einfachere Schaltung fiel.

5.4.8 Parasitäre Stromversorgung durch zu messende Batterien

Problem

Für das Merkmal „70 Batterien“ muss der Microcontroller erkennen, ob Batterien an einem Messpunkt angeschlossen sind. Problematisch ist dabei, dass die Batterien bei direktem Anschluss an die Analogeingänge des ATmegas bei abgeschalteter Betriebsspannung den Microcontroller durch die Analogeingänge parasitär mit Strom versorgen.

Lösung

Um das zu verhindern, wurden die Batterien über einen Transistor, genauer einen MOS-FET, von dem Arduino getrennt, der je nach Batteriespannung mehr oder weniger durchschaltet. Es kann durch den MOS-FET kein Strom mehr von der Batterie zum Microcontroller fließen.

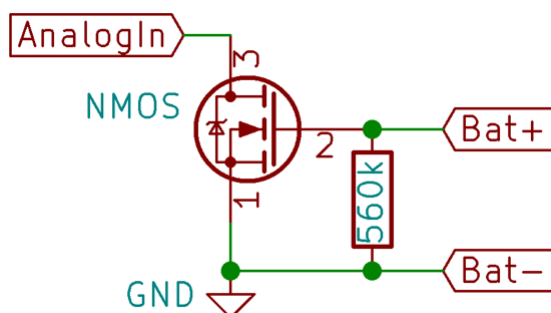


Abbildung 30: Anschluss der Batterie über einen MOS-FET

5.5 Titel und Logo

5.5.1 Titel

Als Titel für das Spiel fiel die Wahl auf den beschreibenden Namen „Bombe entschärfen“. Vom AATiS wurde dem Bausatz die Nummer AS420 zugeteilt, so dass der offizielle Name des Bausatzes „AS420 Bombe entschärfen“ lautet.

Der Bausatz des Timers erhält die Nummer AS420-00, die Module fortlaufende Nummern ab AS420-01.

5.5.2 Logo

Das Logo sollte einfach sein, in Farbe sowie in Schwarz-Weiß funktionieren und gut skalierbar sein. Für einfache und skalierbare Grafiken bietet sich eine Vektorgrafik an, so dass das Logo als SVG (Scalable Vector Graphic) realisiert wurde. Das Logo stellt eine stilisierte Sprengladung mit einem Kabel dar. Der digitale Timer ähnelt dem tatsächlich verbauten 7-Segment-Display.



Abbildung 31: Logo in Farbe und in Schwarz-Weiß

Das Logo zielt das Handbuch und den Koffer der Bombe.

6. Tests und Einsätze

Die Bombe wurde bei verschiedensten Veranstaltungen und Gelegenheiten ausprobiert. Während der Entwicklungsphase wurde immer wieder mit wechselnden Gruppen und Spielern der aktuelle Stand erprobt und das Spiel beobachtet. Darauf aufbauend wurden iterative Verbesserungen an den Platinen, der Software und dem Handbuch vorgenommen.

Nach Erreichen des finalen Stands wurde ein Fragebogen erstellt, und in mehreren verschiedenen Gruppen wurden Testspiele mit anschließender Evaluation durchgeführt.

6.1 Bauen und Spielen in der Jugendgruppe des DARC

Einige der Prototyp-Platinen wurden von zwei Zwölfjährigen in der Jugendgruppe des DARC in Fürstenfeldbruck aufgebaut, um die Kindertauglichkeit der Platinen zu prüfen und zu verbessern. Laut den beiden Test-Aufbauern war der Aufbau unter Anleitung erfahrener Bastler für sie gut durchführbar. Ohne die Möglichkeit Rückfragen zu stellen oder Unterstützung bei der Suche nach fehlerhaften Lötstellen, wäre es aber wahrscheinlich zu schwierig gewesen. Ältere und erfahrenere Bastler konnten die finalen Platinen dann vollständig selbst aufbauen.

Die Bombe wurde bei jeder sich bietenden Gelegenheit gespielt. Die jüngeren Spieler (etwa 12 Jahre) brauchten zu Beginn etwas „Starthilfe“ um die verschiedenen Module zu verstehen. Sie nahmen die Informationen und Erklärungen rasch auf und waren dann über viele Wochen hinweg die ausdauerndsten Spieler.

Um auch die jüngeren Kinder einzubinden, die keinen so leichten Zugang zu Unterstützung durch Fachpersonal haben, und trotzdem den Spielspaß für Ältere nicht zu schmälern, wurden aufgrund dieser Erfahrungen zwei Schwierigkeitsstufen implementiert. Die Hardware ist für beide Varianten identisch, die Software verhält sich je nach Schwierigkeitsgrad unterschiedlich. Die Schwierigkeit kann direkt in dem Menü der Bombe selbst eingestellt werden, es sind keine zusätzlichen Teile erforderlich. Lediglich das Handbuch gibt es in zwei Varianten, so dass es pro Schwierigkeitsstufe je einmal ausgedruckt werden muss.

6.2 Auswertung des Spiels durch Fragebogen

Zur Überprüfung des finalen Produkts wurde ein Fragebogen erstellt. Verständlichkeit und Spaß werden als „Schulnoten“ von 1 bis 6 abgefragt. Ob durch das Spiel ein Wissenszuwachs erreicht wurde, wird durch Beantworten von Verständnisfragen

abgefragt. Außerdem hatten die Tester die Möglichkeit, in Freitext-Feldern besonders gute oder verbesserungsbedürftige Aspekte zu nennen.

Insgesamt wurden 46 Tester im Alter von 12 bis 24 Jahren befragt, der Altersdurchschnitt liegt bei 16,3 Jahren. Darunter waren unter anderem zwei Schulklassen (eine 9. Klasse und eine 11. Klasse).

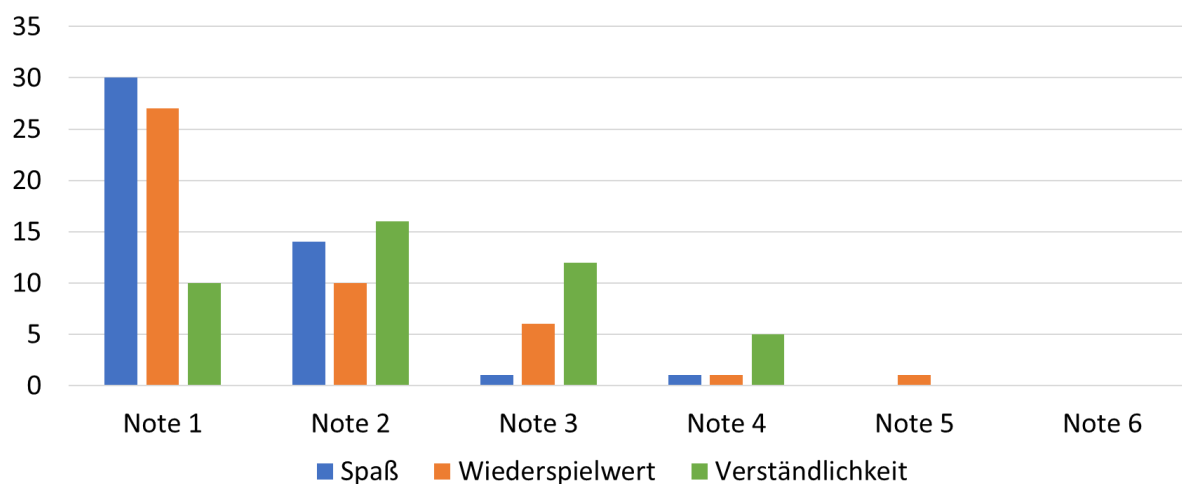


Abbildung 32: Spaß, Wiederspielwert und Verständlichkeit nach Noten. Das Diagramm zeigt die Anzahl der Tester, die die jeweilige Note gegeben haben.

6.2.1 Spaß

Auf die Frage „Wie gefällt dir das Spiel?“ antworteten die Tester im Schnitt mit der Note 1,4. 30 der 46 Spieler antworteten mit der Note 1, nur ein Tester antwortete mit Note 4. Note 5 und 6 kamen bei dieser Frage nicht vor. Daraus lässt sich schließen, dass die allermeisten Tester Spaß an dem Spiel hatten.

6.2.2 Wiederspielwert

Der Wiederspielwert wurde durch die Frage „Kannst du dir vorstellen das Spiel noch häufiger zu spielen?“ abgefragt. Hier lautete die Antwort im Schnitt 1,6. Damit liegt der Wert etwas unter dem der ersten Frage, wurde aber immer noch von über der Hälfte der Tester mit Note 1 bewertet.

6.2.3 Verständlichkeit

„Wie gut ist das Spiel verständlich?“ wurde mit einem Schnitt von 2,3 beantwortet. Weil in den ersten 10 Tests die Verständlichkeit mit einem Schnitt von 3,1 nicht zufriedenstellend war, wurde bei den Modulen, die als die schwierigsten angegeben wurden, das Handbuch und teilweise sogar die interne Logik der Module noch einmal überarbeitet. Im Anschluss lag die Verständlichkeit im Schnitt bei 2,1. Die

Überarbeitung hat also offensichtlich dazu beigetragen, die Verständlichkeit zu verbessern.

Auf die Frage „Was hast du nicht verstanden?“ (Freitext-Frage) war die häufigste Antwort „Modul Logikgatter“ (6x), „Modul Schieberegister“ (3x), und „die Anleitung“ (4x). Außerdem gaben insbesondere die jüngsten Tester (12 Jahre) an, manches erst nach Erklärungen durch Dritte verstanden zu haben.

6.2.4 Modulspezifische Schwierigkeit

Mit der Frage „Wie schwierig fandest du die einzelnen Module?“ wurden die Schwierigkeit aller Module einzeln abgefragt. Hier zeigen deutliche Unterschiede: Das einfachste Modul wurde mit Note 1,6 bewertet, die beiden schwierigsten mit Note 3,1. Das Modul LED-Kreis wurde als sehr einfach wahrgenommen. Das Modul Logikgatter und das Modul Schieberegister wurden als eher schwierig bewertet.

6.2.5 Modulspezifischer Spaß

Die Antworten auf die Frage „Wie viel Spaß haben dir die einzelnen Module gemacht?“ zeigen, dass leichte Module nicht mehr Spaß machen, dass aber bei schwierigen Modulen der Spaß durchaus leidet. So liegt der Spaßfaktor bei allen Modulen (ausgenommen dringende Module) bis auf Logikgatter und Schieberegister zwischen 1,7 und 1,9. Beim Schieberegister kommt der Spaß-Schnitt nur auf 2,4, beim Logikgatter sogar nur auf 2,6.

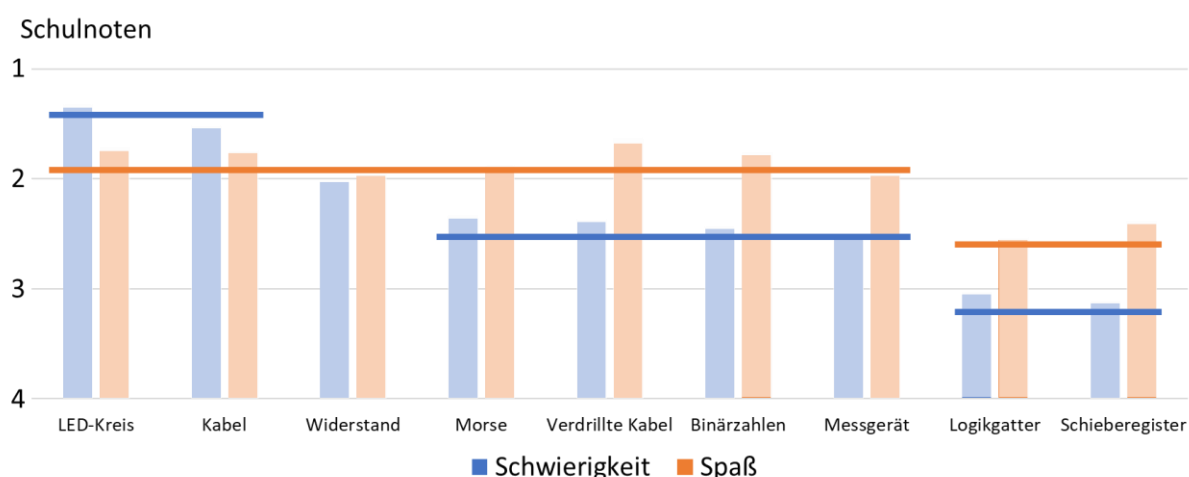


Abbildung 33: Durchschnittsnoten von Schwierigkeit und Spaß pro Modul im Vergleich

Das zeigt, dass sowohl einfache Module als auch eine leichte Herausforderung Spaß machen können. Zu schwierig darf es aber nicht werden, sonst geht der Spaß verloren.

6.2.6 Positives

Auf die Frage „Was hat dir besonders gut gefallen?“ waren die Antworten zahlreich. Am häufigsten wurde die Teamarbeit bzw. die Kommunikation genannt (9x). Ebenfalls häufiger genannt wurden die Optik und/oder Akustik (8x), die Abwechslung (5x), die Spannung (4x), die Qualität (3x) und die Tatsache, eine Hardware vor sich zu haben (3x). Außerdem wurden die Idee, die Umsetzung, die guten Erklärungen im Handbuch und die Einstellungsmöglichkeiten gelobt.

Unter den Modulen lagen die dringenden Module (9x) insbesondere bei den 14- und 15-Jährigen hoch im Kurs. Ebenfalls häufig erwähnt wurden das Modul Morse (5x) und das Modul Binärzahlen (5x), außerdem das Modul Widerstand (3x) und das Modul Messgerät (4x).

6.2.7 Verbesserungen

„Was könnte man besser machen?“ wurde am häufigsten mit „mehr Module“ (10x) und „bessere / genauere / leichtere Anleitung“ (6x, insbesondere jüngere Spieler) geantwortet. Außerdem sollte die „Menüsteuerung“ (4x) verbessert werden. Manche Tester wünschten sich „leichtere Aufgaben“ (3x) und eine „bessere / lautere Explosion“ (4x). Außerdem wurden ein besserer Modulwechsel bzw. Befestigung der Module, stabilere Kabel (2x) und das Verstecken der Powerbank bzw. der leeren Modulsteckplätze (2x) erwähnt.

6.2.8 Anmerkungen

Im Freitext-Feld für Anmerkungen und Kommentare gaben 3 Spieler an, dass, wenn ohne Pausen gespielt wurde, nicht genügend Zeit war, die Anleitungen ganz durchzulesen bzw. alles zu verstehen. Außerdem wurden zu kleine Kontakte beim Modul Messgerät, sowie Wackelkontakte bei den Kabel-Modulen angegeben. Die schlechte Sichtbarkeit mancher LEDs bei zu heller Umgebung wurde ebenfalls erwähnt.

6.2.9 Wissensüberprüfung

In vier Freitext-Fragen („Was sind Binärzahlen?“, „Wie funktionieren Logikgatter?“, „Wie funktioniert der Farbcode von Widerständen?“ und „Wie funktionieren Schieberegister?“) sollten die Tester zeigen, was sie nach dem Spielen – sowohl durch das Spiel als auch durch Recherchen angelehnt an die Themen – gelernt haben. Zusätzlich wurde gefragt, ob sie schon ein Vorwissen zu den entsprechenden Punkten besitzen.

Binärzahlen

37 der 46 Tester beantworteten die Frage nach den Binärzahlen, 34 von ihnen hatten davor schon einmal von Binärzahlen gehört. Am häufigsten wurde in etwa „Zahlen bestehend aus 0 und 1“ geantwortet (23x) und / oder „Zahlen, mit denen ein Computer arbeitet“ (9x). Etwa 7 Tester konnten das binäre Zahlensystem als solches erklären. Zwei Antworten der Art „Größere Zahlen können mit weniger Ziffern dargestellt werden“ waren inhaltlich falsch.

Logikgatter

Nur knapp 20% der Tester hatte schon einmal etwas von „Logikgattern“ gehört, 26 Tester beantworteten die Frage dazu, 4 davon waren eindeutig nicht richtig. Acht Antworten enthielten eine Aussage dazu, dass ein Ausgangssignal durch Eingangssignale bestimmt wird. Fünf Mal wurden explizit „UND“ / „ODER“ Schaltungen erwähnt, die Ähnlichkeit zu logischen Operatoren in der booleschen Algebra wurde sieben Mal herausgestellt. Die Verknüpfung zur Digitaltechnik stellten drei Tester her.

Farbcode von Widerständen

70% gaben an, einen solchen Widerstand mit Farbcode schon einmal gesehen zu haben. 26 Tester antworteten auf die Fragen, fünf Antworten waren falsch oder so kurz, dass sie keine verwendbare Information enthielten. Neun Antworten lauteten sinngemäß „Der Farbcode zeigt den Widerstandswert an“, elf Tester konnten erklären, dass den Farben Werte (bzw. ein Multiplikator) zugeordnet werden, die dann zusammengesetzt den Wert des Widerstands ergeben.

Schieberegister

Nur 6 Tester hatten davor schon einmal etwas von Schieberegistern gehört, 27 Tester antworteten auf die Frage „Wie funktionieren Schieberegister?“, 2 Antworten davon waren nicht ausreichend. Fünf Antworten zogen eine Analogie mit einem Stapel/Stack, auf den Daten abgelegt werden, sieben Antworten erwähnten „einen Wert, der durchgeschoben wird“, vier weitere „einen Speicher, um Daten lesen und schreiben zu können“. Etwa die Hälfte dieser Antworten griff auf, dass die Werte „von hinten“ eingegeben werden müssen, weil die letzten Werte „ganz oben“ stehen. Neun Antworten lauteten sehr ähnlich zu „eine Schaltung, die binäre Daten aufnehmen, speichern und abgeben kann“, was dem ersten Google-Ergebnis zum Stichwort „Schieberegister“ entspricht, nur drei davon griffen auch „taktgesteuert“ auf.

[21]

Es zeigt sich, dass eine Wissensvermittlung nicht wie gewünscht stattgefunden hat. Den Fragebögen nach hat kaum jemand etwas Neues gelernt. Das kann aber speziell in den Situationen dieser Befragungen auch an der kurzen Zeit liegen, die meisten Tester hatten nur etwa 60 Minuten Zeit, um sich mit dem Spiel vertraut zu machen und sollten sofort im Anschluss den Fragebogen ausfüllen.

Eine mündliche Rückmeldung in einer anderen Situation war beispielsweise „Jetzt habe ich endlich verstanden, wie Schieberegister funktionieren!“. Das zeigt, dass durchaus eine Wissensvermittlung stattfinden kann.

6.3 Evaluation des Bausatzes

Auf dem Bundeskongress des AATiS im März 2020 sollte der Bausatz im Rahmen eines Workshops einer Gruppe von Lehrern, Pädagogen und anderen interessierten Teilnehmern vorgestellt werden. Der Kongress musste aber leider vorzeitig abgebrochen werden, so dass der Workshop nicht stattfinden konnte.

Der Workshop ist auf dreieinhalb Stunden ausgelegt, beginnend mit einer etwa halbstündigen Einführung in das Projekt. Dann ist etwa eine Stunde für das Aufbauen der Platinen geplant, eine weitere Stunde für den Aufbau von Frontplatten und Bus, sowie zur eventuellen Fehlersuche bei nicht funktionierenden Platinen. Die letzte Stunde wird dann gespielt und die Evaluation durchgeführt.

Ähnlich wie das Spiel soll auch der Bausatz und die Aufbauanleitung durch einen Fragebogen evaluiert werden. Leider stehen durch den Ausfall des Kongresses nicht genügend Daten zur Verfügung, um eine Auswertung durchzuführen. Der Fragebogen enthält unter anderem Fragen danach, wie gut der Bausatz für Kinder und Jugendliche (unter Anleitung) aufzubauen ist, welche Probleme es beim Aufbau gab, ob der Tester der Bausatz weiterempfehlen würde und ob er glaubt, dass der Bausatz dazu beitragen kann Interesse an technischen Themen zu wecken.

6.4 Wunsch nach Lehrbuch

Mehrere Pädagogen, Jugendgruppenleiter und Lehrer wünschten sich unabhängig voneinander eine Art Lehrbuch zusätzlich zum Entschärfungs-Handbuch. Das Handbuch enthält ausschließlich die Informationen, die zum Entschärfen der Bombe benötigt werden, stellt jedoch keine Hintergrundinformationen bereit. Um fundiertes Fachwissen an die Spieler weiter zu geben, könnte man neben dem Handbuch noch eine Art Lehrbuch oder auch Lehrvideos oder ähnliches entwickeln.

6.5 Ergebnisse aus sonstigen Tests

Beschriftung von Modulen

Frühe Testspiele zeigten, dass Beschriftungen der Module notwendig sind, weil aus dem Bauteil-Layout nicht alle Funktionalitäten ersichtlich bzw. Zuordnungen möglich sind. So tragen zum Beispiel Kästchen um Taster und LEDs bei Modul Binärzahlen viel dazu bei, den „Aufbau“ des Moduls klar darzustellen.

Verpolungsschutz bei Steckverbindungen

Auch wenn die Anordnung der Module und des Bus-Kabels nur eine Richtung „Sinn macht“, ist trotzdem ein Verpolungsschutz bei den Modul-Steckern nötig. Solange es prinzipiell möglich ist, etwas falsch anzustecken, wird es irgendwann passieren. Für die Module werden also Stecker mit eindeutiger Orientierung und Platzierung benötigt.

Vermittlung von Wissen

Bei kurzen Spielrunden (etwa ein bis drei Durchgänge) stehen die fachlichen Aspekte völlig im Hintergrund. Die Spieler sind vollauf damit beschäftigt, den Mechanismus zum Entschärfen zu verstehen, es bleibt keine Zeit, die Hintergründe zu erarbeiten. Hier sollte die Anleitung keinerlei unnötige Informationen enthalten. Das würde nur zu Frust führen, weil die Anleitung nicht schnell genug analysiert werden kann. Erst bei längeren Spielrunden oder Pausen zwischen den Spielen werden Hintergrundinformationen oder hinter den Modulen stehende Konzepte interessanter.

Wecken von Interesse

Bei der Vorstellung des Spiels im örtlichen Gymnasium hielten die Lehrer dieses Spiel für sehr gut geeignet, um Technikinteresse zu wecken.

7. Bewertung

Alle grundlegenden Anforderungen wurden erfüllt. Im Rahmen dieser Arbeit ist ein technikorientiertes Spiel entstanden, das Kindern und Jugendlichen Spaß macht. Der geplante Funktionsumfang des Spiels wurde vollständig realisiert, der Bausatz ist lieferbar. Lediglich bei der jüngsten Zielgruppe und bei der Vermittlung von Hintergrundinformationen wurden nicht alle Anforderungen erfüllt. Insgesamt kann das Projekt als erfolgreich angesehen werden.

7.1 Besonders gut umgesetzte Anforderungen

Modularität und Abwechslung

Module können einen sehr breiten Themenbereich abbilden. Alle Module sind austauschbar und beliebig kombinierbar. Alle Module besitzen denselben Formfaktor und können damit an jedem Platz eingebaut werden. Es ist möglich, mehrere gleiche Module in einem Spiel zu haben, die dann jeweils eigenständig initialisiert werden. Es können „themenspezifische“ oder „gemischte“ Bomben aufgebaut werden, je nach Zielsetzung. Die vielen verschiedenen Module sorgen für einen langanhaltenden Spielspaß, weil es viel Neues zu entdecken gibt.

Robustheit

Der Aufbau ist sehr robust. Bei keinem der vielen Transporte, bei denen der Bombenkoffer auch gekippt und durchgeschüttelt wurde, ist etwas kaputt gegangen. Auch wenn die Module nicht fest verschraubt sind, sondern lose in ihren Plätzen im Koffer liegen, reißen keine Kabel ab, Bauteile sind gut geschützt zwischen Frontplatte und Platine.

Bei den Testspielen mit Kindern und Jugendlichen ist lediglich ein einzelnes Kabel mangels Zugentlastung abgerissen. Ansonsten ist nie etwas kaputt gegangen, auch wenn die Spieler die Bombe vollständig alleine und ohne Aufsicht bedient und Module gewechselt haben.

7.2 Nicht oder nur teilweise erfüllte Anforderungen

Von Kindern spielbar

Testspiele haben gezeigt, dass das Spiel selbst in der einfachen Variante noch zu schwierig für manche Kinder und Jugendliche ist. In den Fragebögen gaben viele der

bis 15-jährigen Spieler, die das Spiel zum ersten Mal spielten, an, das Spiel bzw. die Anleitung nicht gut zu verstehen.

Um dieses Problem zu verringern, sollte insbesondere das Handbuch, ggf. auch die in den Modulen programmierte Logik, weiter vereinfacht werden.

Die Beobachtung von Testspielen zeigt aber auch, dass die Kinder ab 12 Jahren sehr wohl Spaß an dem Spiel haben können, wenn mindestens einer der Mitspieler die Konzepte versteht und diese vermitteln kann. Gemeinsam mit Älteren haben auch die Jüngeren viel Energie und Enthusiasmus für das Spiel gezeigt.

Vermitteln von MINT-Inhalten und Hintergrundinformationen

Die Module greifen zwar verschiedene Themen aus dem MINT-Bereich auf, aber die Vermittlung von Wissen findet noch nicht wie gewünscht statt. Ohne jemanden in der Nähe, der über den fachlichen Hintergrund verfügt, wurden viele der zugrunde liegenden Konzepte nicht ausreichend verstanden. In den Fragebögen blieben viele Fragen zum Verständnis leer oder wurden unzureichend beantwortet.

Das Handbuch war ursprünglich als eine Art Lehrbuch gedacht, in dem alle wichtigen Informationen zu einem Thema gesammelt werden. Die Spieler sollten erst die dahinterliegenden Konzepte verstehen, um dann selbstständig eine Lösung für das Modul zu finden. Es stellte sich aber heraus, dass unter dem Zeitdruck einer tickenden Bombe nicht möglich war, ein Thema erst zu erarbeiten, um dann darauf aufbauend eine Lösung zu finden. Um ein gutes Spielerlebnis zu ermöglichen, muss das Handbuch direkt einen Lösungsweg vorgeben. Durch die Reduzierung des Handbuchs gingen viele Hintergrundinformationen verloren, die aktuell auf keinem anderen Weg vermittelt werden.

Einfache Steckmontage

Eine einhändige Montage der Module im Koffer ist nicht möglich. Zum Anstecken der Module muss im Koffer nach einem Kabel „geangelt“ werden und dieses dann an dem Modul angesteckt werden.

Einer der Tester brachte die Idee an, Pogo-Pins in der Verbindung zwischen den Modulen und dem Bus zu verwenden. Damit könnte man die Module einfach in ihren Steckplatz „fallen lassen“ und die Verbindung würde automatisch hergestellt. Zusätzlich könnte die lose Verdrahtung hinter der Deckplatte dann sauber an der Deckplatte fixiert werden.

7.3 Mehrwert über Anforderungen hinaus

Erweiterbarkeit

In den Anforderungen wird die Modularität des Spiels erwähnt, die ein Austauschen von verschiedenen Modulen ermöglichen soll. Durch die Modularität ist es jedoch auch relativ einfach möglich, das Spiel durch neue Module zu erweitern. So können in Zukunft auch weitere Themenfelder außerhalb der Elektronik, Digitaltechnik und Informatik erschlossen werden. Je nach Einsatzgebiet können themenspezifische Module auf der gemeinsamen Basis aller Module entworfen und realisiert werden.

Ansprechende Optik und Akustik

In den Anforderungen wird ein ansprechendes Äußeres nicht explizit erwähnt. Die vielen blinkenden LEDs und die eingebauten Soundeffekte fanden dennoch viel Zuspruch. Die Mischung aus einem „professionellen Produkt“ und einem „Selbstbauprojekt“ gibt der Bombe ein spezielles Feeling.

Resonanz auch bei Erwachsenen

Obwohl das Spiel mit Kindern und Jugendlichen als primäre Zielgruppe entworfen wurde, findet es auch viel Resonanz bei erwachsenen Spielern.

7.4 Verbesserungspotenziale

Mehr „Standard-Bauteile“

Bei Verwendung von mehr Bauteilen, die in Deutschland zu günstigen Preisen bezogen werden können, könnten die Gesamtpreise der Bausätze gesenkt werden. So schlägt z.B. das große Display des Timers mit etwa 4€ zu Buche, obwohl eine entsprechende vierstellige 7-Segmentanzeige auch ab etwa 1€ (allerdings ohne Treiberchip) auf ebay erhältlich ist [22]. Damit wird die Ansteuerung komplexer und Platz für zusätzliche Bauelemente auf der Platine benötigt, was einen Mehraufwand in der Entwicklung bedeutet.

Schaltungen vereinfachen

Bei manchen Modulen, wie z.B. dem Logikgatter, könnten Bauteile durch eine intelligentere Software oder durch Nutzung von anderen oder mehr IO-Pins gespart werden. Konkret könnten bei dem Logikgatter-Modul die externen Pulldown-Widerstände weggelassen werden, wenn stattdessen pro Schalter je zwei IO-Pins zur Bestimmung des Schalterzustands „an“, „aus“ und „offen“ genutzt würden.

Zuverlässigkeit einzelner Module

Die beiden Module, bei denen Kabel gesteckt werden können, initialisieren sich nicht immer zuverlässig. Die Kabel scheinen gelegentlich einen Wackelkontakt zu haben. Neben der fehlerhaften Initialisierung löst das Modul „Kabel“ gelegentlich einen Fehler aus, obwohl kein Kabel herausgezogen wurde. Um den Spielfluss nicht durch diese „zufälligen“ Fehler zu beeinflussen, sollte hier nach alternativen Steckverbindungen gesucht werden.

8. Mögliche Erweiterungen und Ausblick

8.1 Nachbessern der nicht erfüllten Anforderungen

Die unter „7.2 Nicht oder nur teilweise erfüllte Anforderungen“ und unter „7.4 Verbesserungspotenziale“ genannten Punkte sollten aufgegriffen und verbessert werden.

8.1.1 Noch einfachere Variante

Gerade für die jüngsten Spieler der anvisierten Zielgruppe, die etwa 12 bis 14 Jahre alt sind, sollte eine noch einfachere Variante implementiert werden, damit diese auch selbstständig das Spiel verstehen können. Grundlage hierfür könnte eine weitere Vereinfachung des Handbuchs sein. Wenn statt einer DIN A4 Seite eine DIN A5 Seite Anleitung pro Modul anvisiert wird, sollten die Inhalte leichter überschaubar sein. Besonders schwierige Module könnten für diese Altersgruppe entweder ausgeschlossen werden, oder mit einer leichteren Programmierung versehen werden.

8.1.2 Lehrbuch

Um die hinter den Modulen stehenden Konzepte zu vermitteln, ist mehr als nur das aktuell bestehende „Handbuch zur Bombenentschärfung“ nötig. In einem „Lehrbuch zum Spiel“ könnten die Hintergrundinhalte vermittelt werden. Fragen, wie z.B. „Was sind Binärzahlen? Wie funktionieren sie?“ oder „Wofür werden Schieberegister verwendet?“, könnten in dem Lehrbuch beantwortet werden. Jedes Lernziel bzw. jedes Modul entspräche dann einem Kapitel im Lehrbuch.

Idealerweise vermittelt das Lehrbuch die grundlegenden Informationen so, dass die Spieler darauf aufbauend die Module ohne zusätzliche fachliche Informationen entschärfen können. Als Beispiel: Wenn die Spieler verstanden haben, wie Binärzahlen funktionieren, ist die Information, dass aus-aus einer Null, aus-an einer Eins, an-aus einer Zwei und an-an einer Drei entspricht, im Handbuch nicht mehr notwendig. Die Spieler können dann aufgrund ihres Wissens die Binärzahlen selbst ausrechnen. Dabei haben die Spieler ein Erfolgserlebnis, dass sie aufgrund ihres Wissens und Verständnisses ein Modul lösen konnten, das andere ohne Vorwissen nicht lösen können. Das gibt dem Gelernten einen Sinn, und gleichzeitig werden die Inhalte weiter geübt.

Eine Alternative oder Ergänzung zum Lehrbuch in geschriebener Form könnten auch Videos sein, die die Hintergrundinformationen vermitteln.

8.2 Weitere Module

Es gibt viele Ideen für weitere Module, die weitere Aspekte aus Informatik, Digitaltechnik, Elektrotechnik und anderen Feldern vermitteln können.

8.2.1 Ideen für Informatik

ASCII-Code

Mittels zweier codierter Drehschalter (jeweils mit 16 Positionen) können einzelne Zeichen in ASCII-Code codiert werden.

Kryptographie

Auf eine „geheime Nachricht“ muss ein Verschlüsselungsalgorithmus angewendet werden.

Programmieren

Mit einfachen Codebausteinen, wie z.B. „if-then-else“, müssen kleine Algorithmen realisiert werden.

8.2.2 Ideen für Digitaltechnik

Logikgatter aus Transistoren

Mit Hilfe von Transistoren müssen vorgegebene Logikgatter realisiert werden.

Flip-Flops

Aus einzelnen Logikgattern müssen Flip-Flops gebaut werden.

8.2.3 Ideen für Elektrotechnik

Oszilloskop

Abhängig von Periodendauer, Amplitude und Gleichanteil eines angezeigten periodischen Signals, muss ein Oszilloskop eingestellt werden.

Schaltungen durchmessen

Anhand von Messungen an bestimmten Messpunkten muss eine unbekannte Schaltung identifiziert werden.

Dioden

Mittels Dioden muss ein Stromfluss gelenkt werden.

Schaltungen aus Widerständen oder Kondensatoren

Aus einem Netz aus Widerständen oder wahlweise Kondensatoren muss der Gesamtwert einer Reihen- und/oder Parallelschaltung errechnet werden.

Oder andersherum: Ein gegebener Gesamtwert muss durch eine Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen oder Kondensatoren erreicht werden.

8.2.4 Ideen zu anderen Themen

Passwörter knacken

Aus einer Liste an möglichen Passwörtern und einer vorgegebenen Menge an Buchstaben muss ein mögliches Passwort gefunden werden.

Kryptische Zeichen

Exotische Symbole und Zeichen müssen beschrieben und in eine richtige Reihenfolge gebracht werden.

Kabel stecken

Statt Kabel durchzuschneiden müssen hier basierend auf logischen Schlussfolgerungen Kabelbrücken gesteckt werden.

Licht mischen

Aus rotem, grünem und blauem Licht müssen verschiedene Farben gemischt werden.

8.3 Aufbereitung für eine Nutzung im Kommunikationstraining

Sollte sich abzeichnen, dass dieses Spiel auch zu Zwecken verkauft wird, bei denen es rein um die Kommunikation oder Teambuilding und nicht um den „Bastel“-Aspekt geht, sollten diverse Verbesserungen für ein robustes Spiele-Produkt in Erwägung gezogen werden. Folgende Punkte sind dabei bis jetzt aufgefallen:

Geschlossenes Gehäuse

Ein rundum geschlossenes Gehäuse für Module bietet ein professionelleres Aussehen und schützt die Schaltung.

Einfache Steckbarkeit der Module

Die Module sollen nicht umständlich erst an das Bus-Kabel angeschlossen werden müssen, bevor sie im Koffer platziert werden können. Ein einfaches Stecken in den Koffer in einer Bewegung und/oder mit einer Hand sollte möglich sein.

Ein-Aus-Schalter

Die Bombe sollte mit einem (versteckten) Ein-/Ausschalter versehen sein, so dass nicht manuell der Akku an- und abgesteckt werden muss.

Ladebuchse

Der Akku sollte am besten gar nicht direkt manipuliert werden müssen, sondern über z.B. ein Micro-USB-Kabel und entsprechende Ladebuchse an der Oberseite geladen werden können.

SMD

Sollte sich abzeichnen, dass größere Stückzahlen nachgefragt werden, sollte ein Redesign weg von THT hin zu SMD erfolgen. Das erleichtert eine automatische Bestückung der Platinen, weil Bestückungsroboter meist ausschließlich mit SMD-Bauteilen arbeiten.

8.4 Fortsetzung beim AATiS

Je nach Absatzzahlen beim AATiS werden mehr Platinen und Bauelemente bestellt und weitere Bausätze zusammengestellt.

Gegebenenfalls wird ein Konzept für spezielle Gruppen, z.B. eine Schulklasse entworfen und ein Set zusammengestellt, das sowohl alle benötigten Modul-Bausätze als auch eine Anleitung für Lehrer und Schüler enthält.

8.5 Projekt-Seminar am Gymnasium

Ein Lehrer des örtlichen Gymnasiums hat Interesse bekundet, ein Projekt-Seminar zur Studien- und Berufsorientierung (P-Seminar) mit der Bombe anzubieten. Das P-Seminar ist ein wesentliches Element der gymnasialen Oberstufe an bayerischen Gymnasien. Es soll zur Entwicklung von Handlungskompetenzen beitragen und bei der Wahl eines geeigneten Berufs unterstützen. [23]

Die Schülerinnen und Schüler könnten in einem solchen Seminar bei der Entwicklung, Fertigung und Programmierung eigener Module für die Bombe unterstützt werden. Gemeinsam könnten Ideen und Konzepte für neue Module entworfen werden. Verschiedene Untergruppen des Seminars könnten sich dann beispielsweise um den Schaltungsentwurf, die Programmierung, die Fertigung, die Finanzierung der Bauteile und die Organisation eines Spieleabends kümmern.

8.6 Weitere Ideen

Experten-Modus

Statt simulierte Messgeräte in die Module einzubauen (z.B. Spannungsmessgerät beim Modul „Messgerät“) könnten tatsächliche Werte an nach außen gelegten Messpunkten angelegt werden, die dann mit einem handelsüblichen Multimeter gemessen werden müssen. Das schult den Umgang mit echten Messgeräten.

Fremdsprachen üben

Übersetzt man das Handbuch auf Englisch oder weitere Sprachen oder weist die Spieler sogar an, die gesamte Kommunikation auf Englisch durchzuführen, könnte man in diesem Spiel gut eine prägnante Kommunikation in der Fremdsprache üben.

9. Fazit

Das Produkt

Es ist ein spannendes Spiel entstanden, das den Spielern Spaß macht. Nur in Kooperation der zwei Gruppen mit dem Spiel bzw. der Anleitung können die technischen Rätsel der einzelnen Module gelöst und die Bombe entschärft werden. Dabei nutzen und erwerben die Spieler Kenntnisse in den Fachbereichen Informatik, Digitaltechnik, Elektrotechnik und Amateurfunk.

Das Spiel ist als Elektronikbausatz erhältlich. Der Bausatz enthält neben den Platinen alle Bauteile, die zum Aufbau benötigt werden. Dazu wurde eine Aufbauanleitung verfasst. Der Bausatz selbst ist ein spannendes und lehrreiches Elektronik-Bastelprojekt.

Ergebnisse

Das Spiel und der Bausatz konnten vollständig realisiert werden. Aus der Idee und den Anforderungen wurde die komplette Hardware entworfen und aufgebaut sowie alle Module des Spiels selbst programmiert. Damit ist ein Produkt mit aktuellen Elementen aus Informatik und Elektronik entstanden. Fast alle Anforderungen konnten erfüllt werden. Das Spiel wurde in mehreren Tests von Spielern als sehr gut bewertet. Es zeigte sich lediglich Verbesserungsbedarf bei der Verständlichkeit insbesondere für jüngere Spieler. Um Hintergrundinformationen zu den fachlichen Inhalten zu vermitteln, wäre ein zusätzliches „Lehrbuch“ notwendig, das im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr realisiert wurde.

Erweiterungen

Durch die Entwicklung von weiteren Modulen können weitere Aspekte aus dem MINT-Bereich oder auch aus anderen Themengebieten aufgegriffen werden. Die Entwicklung neuer Module könnte auch im Rahmen eines Schulprojekts realisiert werden. Mit einigen Veränderungen am Aufbau könnte die Bombe auch als fertig aufgebautes Produkt zum Kommunikationstraining verkauft werden.

10. Verzeichnisse

10.1 Abkürzungen

AATiS	Arbeitskreis Amateurfunk und Telekommunikation in der Schule
DIP	Dual In-Line Package, längliche Gehäuseform für THT-ICs
I2C	Inter Integrated Circuit
IC	Integrated Circuit
IO	Input/Output, Bezeichnung eines Pins am Microcontroller
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik
MVP	Minimum Viable Product
SMD	Surface-mounted device, oberflächenmontiertes Bauelement
SPI	Serial Peripheral Interface
STEM	Science Technology Engineering Mathematics
SVG	Scalable Vector Graphics
TTL	Transistor-Transistor-Logik
THT	Through Hole Technology, Durchsteckmontage
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB	Universal Serial Bus, Standardschnittstelle für Computer
VR	Virtual Reality

10.2 Abbildungen

Abbildung 1: Das fertige Spiel in Betrieb	21
Abbildung 2: Timer und Timer-Output.....	21
Abbildung 3: Modul Kabel.....	22
Abbildung 4: Modul Binärzahlen	22
Abbildung 5: Modul Morse	22
Abbildung 6: Modul LED-Kreis.....	23
Abbildung 7: Modul Verdrillte Kabel.....	23
Abbildung 8: Ausschnitt aus dem Handbuch (Variante Einfach): Venn-Diagramm zu "Verdrillte Kabel"	23
Abbildung 9: Modul Logikgatter	24
Abbildung 10: Modul Widerstand.....	24
Abbildung 11: Modul Messgerät	24
Abbildung 12: Modul Schieberegister	25
Abbildung 13: Modul Nervöser Knopf	25
Abbildung 14: Modul Drehdings.....	25
Abbildung 15: Merkmal Batterien.....	26
Abbildung 16: Merkmal Lüfter	26
Abbildung 17: Das Handbuch	27
Abbildung 18: Auszug aus dem Handbuch. Hier: Modul Schieberegister.....	28
Abbildung 19: Aufgebaute Platine. Hier: Timer.....	29
Abbildung 20: Bausatz für eine Platine	29
Abbildung 21: Struktur der Hardware.....	30
Abbildung 22: Die beiden Platinen des Timers im Layout-Programm. Links die Hauptplatine, rechts die Erweiterung.....	31
Abbildung 23: Aufbau der Software	33
Abbildung 24: Bus-Hardware.....	36
Abbildung 25: USB-TTL-Wandler und Programmieradapter.....	37
Abbildung 26: Kabel mit angelötetem Widerstand (oben) und Widerstand mit Schrumpfschlauch (unten).....	38
Abbildung 27: Gesägte Buchsenleiste	39
Abbildung 28: Löcher im Abstand von 5,08mm, darunter eine normale Sockelleiste	39
Abbildung 29: Schaltung mit externem Pulldown.....	41
Abbildung 30: Anschluss der Batterie über einen MOS-FET	43

Abbildung 31: Logo in Farbe und in Schwarz-Weiß..... 44

Abbildung 32: Spaß, Wiederspielwert und Verständlichkeit nach Noten. Das Diagramm zeigt die Anzahl der Tester, die die jeweilige Note gegeben haben. 46

Abbildung 33: Durchschnittsnoten von Schwierigkeit und Spaß pro Modul im Vergleich 47

10.3 Literatur

- [1] Kultusministerkonferenz, „Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bildung,“ in *Beschluss der Kultusministerkonferenz*, 2009.
- [2] AATiS e.V., „Über den AATiS e.V.,“ [Online]. Available: https://www.aatis.de/content/ueber_den_aatis_ev. [Zugriff am 20. Dezember 2019].
- [3] Steel Crate Games, Inc., „Keep Talking and Nobody Explodes,“ 2018. [Online]. Available: <https://keeptalkinggame.com/>. [Zugriff am 20. Dezember 2019].
- [4] Hackerspace FFM, „BrickUsingMultipleModules,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.hackerspace-ffm.de/wiki/index.php?title=BrickUsingMultipleModules>. [Zugriff am 12. Dezember 2019].
- [5] C. Paulet, T. Champion und N.-E. Robert, „KTNE-IRL,“ 2018. [Online]. Available: <https://github.com/valkheim/KTNE-IRL>. [Zugriff am 20. Dezember 2019].
- [6] A. Becker und M. Hwang, „Keep Talking and Nobody’s FPGA Explodes!!!,“ 2016. [Online]. Available: http://web.mit.edu/6.111/www/f2016/projects/mdhwang_Project_Final_Report.pdf.
- [7] Pollin Electronic GmbH, „Bausätze,“ [Online]. Available: <https://www.pollin.de/bauelemente-bauteile/bausaetze-module/bausaetze/>. [Zugriff am 20. Dezember 2019].
- [8] S. Sentance, J. Waite, S. Hodges, E. MacLeod und L. Yeomans, „“Creating cool stuff”– Pupils’ experience of the BBC micro:bit,“ in *SIGCSE ’17*, 2017.
- [9] T. Lübbers und M. Jansen, „Application of Microcontrollers for Fostering Computational Thinking by Using the Calliope System in School,“ in *26th International Conference on Computers in Education*, Philippines, 2018.
- [10] C. Thompson, „Build It. Share It. Profit. Can Open Source Hardware Work?,“ *WIRED Magazine*, 20 Oktober 2008. [Online]. Available: <https://www.wired.com/2008/10/ff-openmanufacturing/?currentPage=all>. [Zugriff am 15. Januar 2020].

- [11] Raspberry Pi Foundation, „Raspberry Pi,“ [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>. [Zugriff am 15. Januar 2020].
- [12] J. K. Lumpp und K. D. Bradley, „Development and Dissemination of KEEP - Kentucky Electronics Education Project,“ in *Proceedings - Electronic Components and Technology Conference*, 2003.
- [13] C. C. Abt, *Ernste Spiele: Lernen durch gespielte Wirklichkeit*, Köln: Kiepenheuer & Witsch, 1971.
- [14] C. Lampert, C. Schwinge und D. Tolks, „Der gespielte Ernst des Lebens: Bestandsaufnahme und Potenziale von Serious Games (for Health),“ *MedienPädagogik - Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 3. März 2009.
- [15] luden.io, „while True: learn(),“ 17. Januar 2019. [Online]. Available: https://store.steampowered.com/app/619150/while_True_learn/. [Zugriff am 26. Februar 2020].
- [16] Pollin Electronic GmbH, „Kunststoff-Gerätekofter, 330x280x125 mm, schwarz,“ [Online]. Available: <https://www.pollin.de/p/kunststoff-geraetekoffer-330x280x125-mm-schwarz-501265>. [Zugriff am 01. Februar 2020].
- [17] Sculpteo, [Online]. Available: www.sculpteo.com. [Zugriff am 3. März 2020].
- [18] R. Iyer, „Arduino Communication Protocols Tutorial,“ *Device Plus*, 29. November 2016. [Online]. Available: <https://www.deviceplus.com/how-tos/arduino-guide/arduino-communication-protocols-tutorial/>. [Zugriff am 20. Dezember 2019].
- [19] R. McMahon, „Wire up multiple slave Arduino devices to a master Arduino device,“ *StackExchange*, 04. Februar 2015. [Online]. Available: <https://electronics.stackexchange.com/questions/152380/wire-up-multiple-slave-arduino-devices-to-a-master-arduino-device>. [Zugriff am 01. Februar 2020].
- [20] Atmel, „ATmega328P DATASHEET,“ S. 259, [Online]. Available: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf.
- [21] *Elektronik Kompendium*, „Schieberegister,“ [Online]. Available: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/dig/0210211.htm>. [Zugriff am 20. Februar 2020].

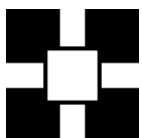
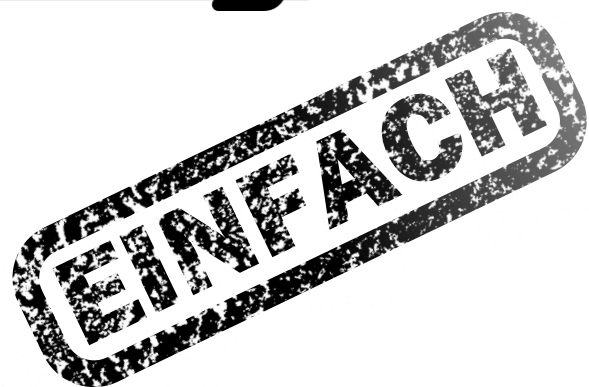
- [22] ebay, „4-stellige 0.56" Anzeige Anode Rot 7-Segment Sieben Common LED Display,“ mecklenburg8, [Online]. Available: <https://www.ebay.de/i/263563763787>. [Zugriff am 08. Februar 2020].
- [23] Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB), „Projekt-Seminar zur Studien- und Berufsorientierung,“ Gymnasiale Oberstufe in Bayern, [Online]. Available: <http://www.oberstufenseminare.bayern.de/p-seminar>. [Zugriff am 21. Februar 2020].

10.4 Anhang

Handbuch zur Bombenentschärfung

Das Handbuch ist direkt im Anschluss zu finden.

Handbuch zur Bombenentschärfung



Tetopia

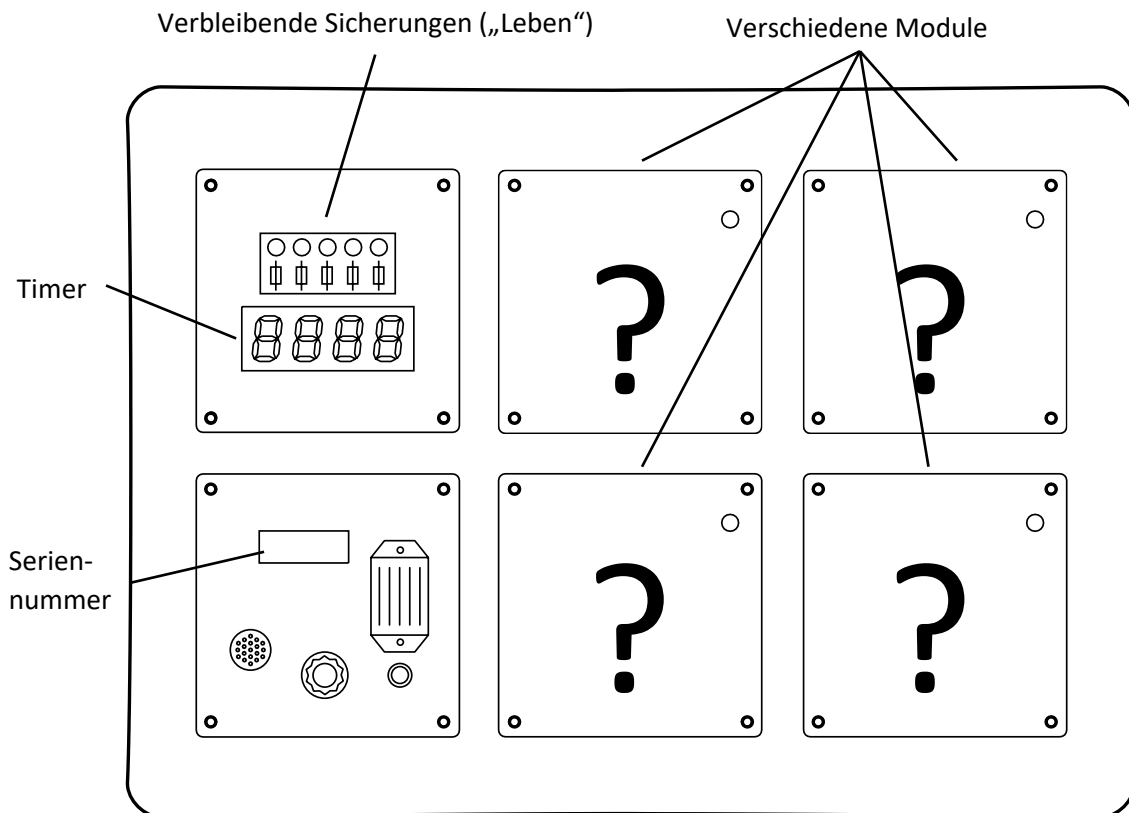
Theresa Thoma, DC1TH
In Zusammenarbeit mit dem AATIS e.V.

Version 2.2.0

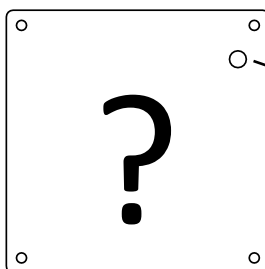
Inhaltsverzeichnis

Die Bombe	3
TEIL 1 Normale Module	
Modul Typ 01: Kabel.....	5
Modul Typ 02: Binärzahlen.....	6
Modul Typ 03: Morse Code	7
Modul Typ 04: LED-Kreis	8
Modul Typ 05: Verdrillte Kabel.....	9
Modul Typ 06: Logikgatter	10
Modul Typ 07: Widerstand.....	11
Modul Typ 08: Messgerät.....	12
Modul Typ 09: Schieberegister.....	13
TEIL 2 Dringende Module	
Modul Typ 50: Nervöser Knopf	15
Modul Typ 51: Drehdings	16
ANHÄNGE	
Anhang A – Erkennungszeichen	19
Anhang B – Stecker und Klemmen	20
Anhang C – Aufbauanleitungen.....	21
Anhang D – Game Master Bedienung	23
Anhang E – Kampagne.....	24

Die Bombe



- Die Bombe explodiert, wenn der Timer 00:00 erreicht.
- Pro Fehler, den der Entschärfer macht, brennt eine Sicherung durch. Ist keine Sicherung mehr vorhanden, explodiert die Bombe beim nächsten Fehler.
- Die Module müssen jedes für sich entschärft werden.
- Die Reihenfolge der Module ist dabei beliebig.
- Zu jedem Modul gibt es eine eigene Anleitung.



Status-LED:

- Gelb: Das Modul muss gelöst werden.
- Grün: Das Modul ist entschärft.
- Nicht vorhanden: Das Modul muss nicht entschärft werden

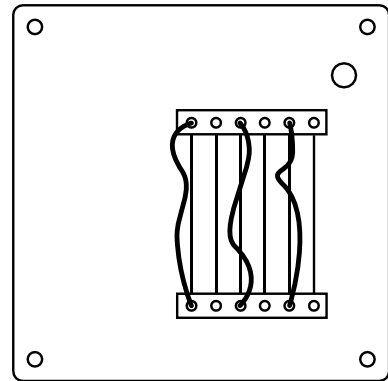
Im Anhang gibt es weitere Referenzen wie spezielle Stecker und Werkzeuge aussehen und weitere nützliche Informationen.

TEIL 1

Normale Module

Modul Typ 01: Kabel

- Ein Kabel-Modul kann 3 bis 6 einfarbige Kabel haben.
- Nur ein korrektes Kabel muss getrennt werden, um das Modul zu entschärfen.
- Die Zählung der Kabel beginnt mit dem ersten Kabel links.
- Die Anzahl der Kabel ändert sich nicht, auch wenn ein Kabel vollständig entfernt wurde. Es gilt immer die Anzahl zu Beginn der Entschärfung.



3 Kabel:

Wenn es kein blaues Kabel gibt, trenne das dritte Kabel.

Ansonsten, wenn es genau ein rotes Kabel gibt, trenne das rote Kabel.

Ansonsten, wenn das letzte Kabel schwarz ist, trenne das erste Kabel.

Ansonsten trenne das zweite Kabel.

4 Kabel:

Wenn es kein rotes Kabel gibt und das letzte Kabel gelb ist, trenne das letzte Kabel.

Ansonsten, wenn die letzte Ziffer der Seriennummer ungerade ist und es mehr als ein gelbes Kabel gibt, trenne das letzte gelbe Kabel.

Ansonsten, wenn es kein weißes Kabel gibt, trenne das zweite Kabel.

Ansonsten trenne das dritte Kabel.

5 Kabel:

Wenn es genau ein gelbes Kabel und genau ein rotes Kabel gibt, trenne das erste Kabel.

Ansonsten, wenn die letzte Ziffer der Seriennummer gerade ist und es genau ein schwarzes Kabel gibt, trenne das vierte Kabel.

Ansonsten, wenn das letzte Kabel rot ist und es keine weißen Kabel gibt, trenne das dritte Kabel.

Ansonsten trenne das letzte Kabel.

6 Kabel:

Wenn das letzte Kabel gelb ist, trenne das fünfte Kabel.

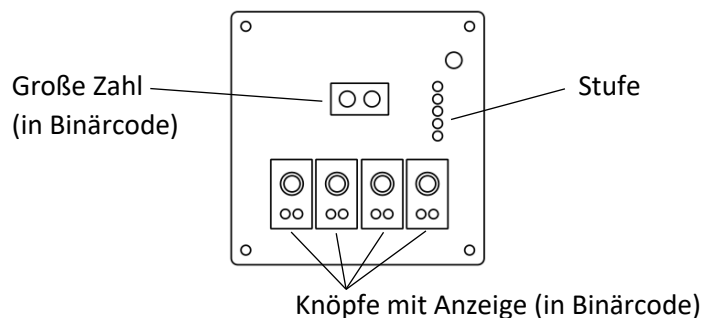
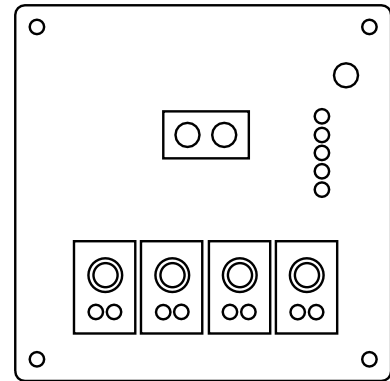
Ansonsten, wenn das letzte Kabel weiß ist und es keine blauen Kabel gibt, trenne das letzte Kabel.

Ansonsten, wenn es mehr als ein schwarzes Kabel gibt und die letzte Ziffer der Seriennummer ungerade ist, trenne das letzte schwarze Kabel.

Ansonsten trenne das dritte Kabel.

Modul Typ 02: Binärzahlen

- Die Ziffern der großen Zahl und die Anzeigen unter den Knöpfen werden als Binärzahlen dargestellt.
Folgende Zahlen sind möglich (● = an = 1, ○ = aus = 0):
○○ 0, ○● 1, ●○ 2, ●● 3.
- Drücke den richtigen Knopf, um das Modul in die nächste Stufe zu bringen. Schaffe alle Stufen, um das Modul zu entschärfen.
- Das Drücken eines falschen Knopfes bringt das Modul zurück in Stufe 1.
- Die Positionen der Knöpfe werden von links nach rechts gezählt.



Stufe 1:

Wenn die große Zahl eine 0 zeigt, drück den Knopf an zweiter Position.
Wenn die große Zahl eine 1 zeigt, drück den Knopf an zweiter Position.
Wenn die große Zahl eine 2 zeigt, drück den Knopf an dritter Position.
Wenn die große Zahl eine 3 zeigt, drück den Knopf an vierter Position.

Stufe 2:

Wenn die große Zahl eine 0 zeigt, drück den Knopf mit der Anzeige "3".
Wenn die große Zahl eine 1 zeigt, drück den Knopf an derselben Position wie davor.
Wenn die große Zahl eine 2 zeigt, drück den Knopf an erster Position.
Wenn die große Zahl eine 3 zeigt, drück den Knopf an derselben Position wie davor.

Stufe 3:

Wenn die große Zahl eine 0 zeigt, drück den Knopf mit der Anzeige "2".
Wenn die große Zahl eine 1 zeigt, drück den Knopf mit der Anzeige "1".
Wenn die große Zahl eine 2 zeigt, drück den Knopf an dritter Position.
Wenn die große Zahl eine 3 zeigt, drück den Knopf mit der Anzeige "3".

Stufe 4:

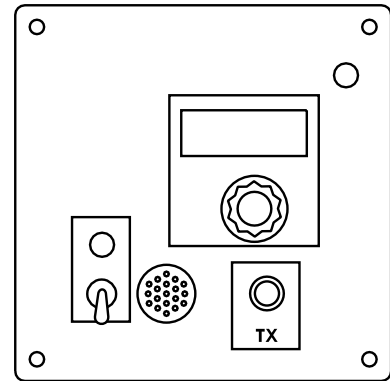
Wenn die große Zahl eine 0 zeigt, drück den Knopf mit derselben Anzeige wie die große Zahl.
Wenn die große Zahl eine 1 zeigt, drück den Knopf an erster Position.
Wenn die große Zahl eine 2 zeigt, drück den Knopf an derselben Position wie davor.
Wenn die große Zahl eine 3 zeigt, drück den Knopf mit der Anzeige "2".

Stufe 5:

Wenn die große Zahl eine 0 zeigt, drück den Knopf mit der Anzeige "2".
Wenn die große Zahl eine 1 zeigt, drück den Knopf an erster Position.
Wenn die große Zahl eine 2 zeigt, drück den Knopf mit der Anzeige "0".
Wenn die große Zahl eine 3 zeigt, drück den Knopf mit der Anzeige "2".

Modul Typ 03: Morse Code

- Der Kippschalter schaltet den Ton ein und aus.
- Werte den Morsecode aus. Er wird durch das blinkende Licht und den Ton, falls er eingeschaltet ist, gegeben. Die rechte Tabelle zeigt die Zuordnung zu den einzelnen Buchstaben.
- Das Signal wiederholt sich, mit einer langen Pause zwischen den Wiederholungen.
- Sobald der Buchstabe identifiziert ist, stelle die entsprechende Frequenz mit dem Drehregler ein und drücke den Senden (TX) Knopf.



Wenn das Signal folgendes ergibt:	Sende auf Frequenz:
Z	3.503 MHz
C	3.507 MHz
K	3.512 MHz
W	3.518 MHz
V	3.525 MHz
F	3.529 MHz
G	3.532 MHz
U	3.535 MHz
J	3.538 MHz
R	3.541 MHz
P	3.547 MHz
D	3.553 MHz
L	3.558 MHz
Q	3.561 MHz
A	3.564 MHz
N	3.567 MHz

Wie Morsecode funktioniert

1. Ein kurzes Signal entspricht einem Punkt.
2. Ein langes Signal entspricht einem Strich.
3. Zwischen zwei Buchstaben ist eine längere Pause.
4. Zwischen zwei Wörtern ist eine sehr lange Pause.

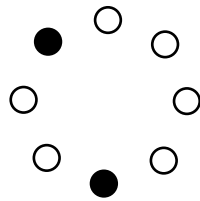
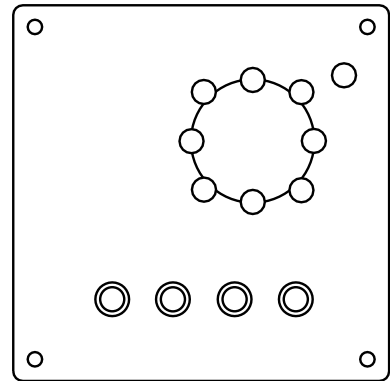
A	• -	U	• • -
B	- • • •	V	• • • -
C	- • - •	W	• - -
D	- • •	X	- • • -
E	•	Y	- • - -
F	• • - •	Z	- - • •
G	- - •		
H	• • • •		
I	• •		
J	• - - -		
K	- • -	1	• - - - -
L	• - • •	2	• • - - -
M	- -	3	• • • - -
N	- •	4	• • • • -
O	- - -	5	• • • • •
P	• - - •	6	- • • • •
Q	- - • -	7	- - • • •
R	• - •	8	- - - • •
S	• • •	9	- - - - •
T	-	0	- - - - -

Modul Typ 04: LED-Kreis

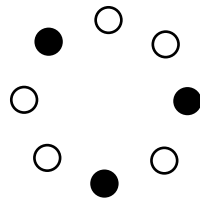
- Das Muster der LEDs zeigt an, welcher Knopf gedrückt werden muss.
- Die Zählung der Knöpfe beginnt mit dem ersten Knopf links

LED an: ●

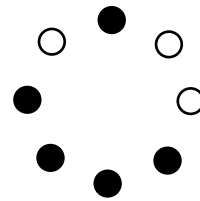
LED aus: ○



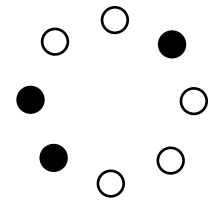
Dritter Knopf



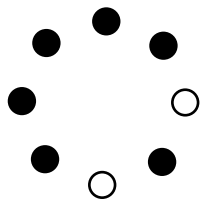
Zweiter Knopf



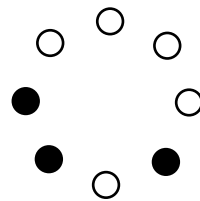
Vierter Knopf



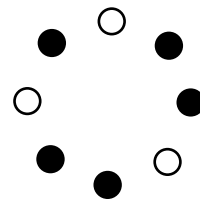
Erster Knopf



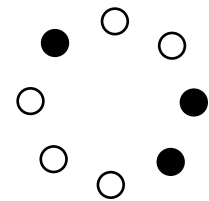
Vierter Knopf



Erster Knopf



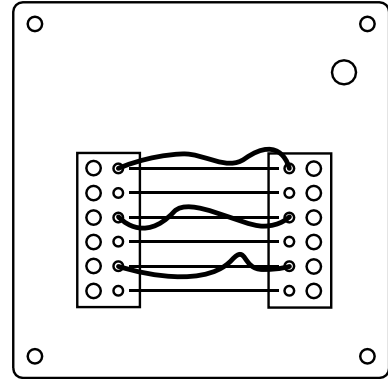
Dritter Knopf



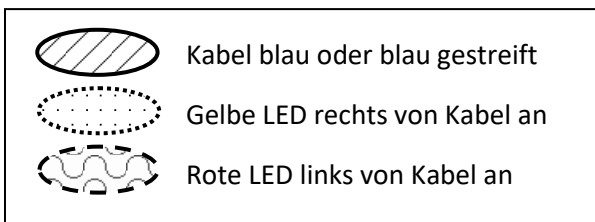
Zweiter Knopf

Modul Typ 05: Verdrillte Kabel

- Schau dir jedes Kabel einzeln an: Es gibt eine rote LED links vom Kabel und eine gelbe LED rechts vom Kabel.
- Benutze für jede Kabel-LED-Kombination das untenstehende Diagramm und die Anleitung rechts, um zu entscheiden ob du das Kabel trennen musst.
- Trifft eine Eigenschaft zu, musst du innerhalb des entsprechenden Kreises suchen, ansonsten außerhalb.

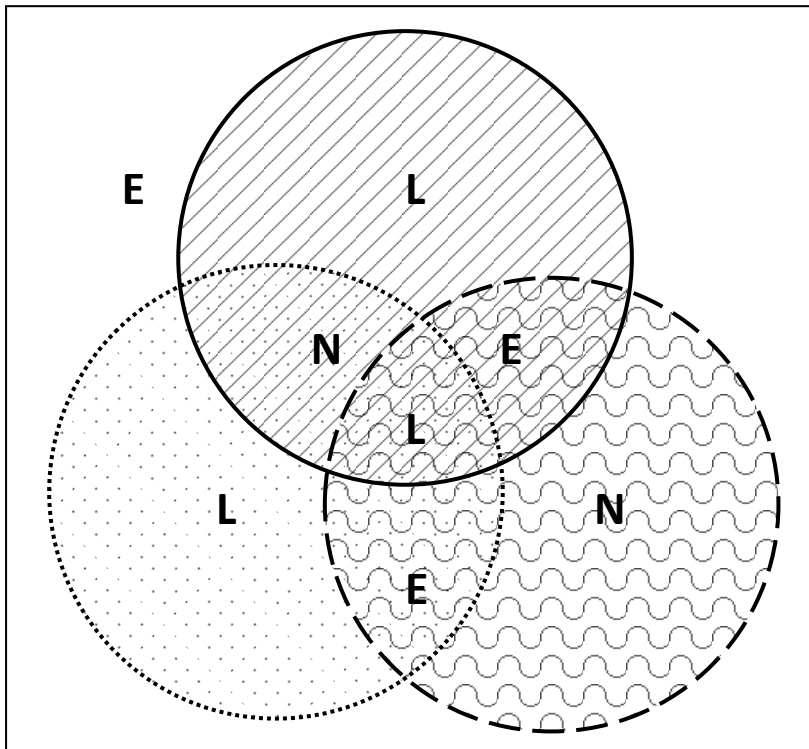


Eigenschaften:



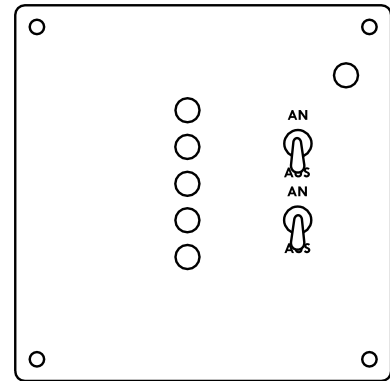
Buchstabe	Anleitung
E	Trenne das Kabel
N	Trenne das Kabel nicht
L	Trenne das Kabel, wenn die Bombe einen Lüfter hat




Diagramm:



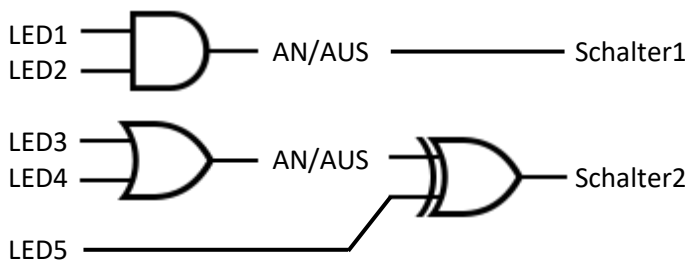
Modul Typ 06: Logikgatter

- Berechne aus den LEDs ob die beiden Schalter an- oder ausgeschaltet werden müssen.
- Nutze dazu die unten abgebildeten Logikgatter.
- Die Gatter haben jeweils zwei Eingänge links und einen Ausgang rechts.
- Die Eingänge können entweder durch LEDs oder durch Ausgänge vorheriger Gatter bestimmt werden.
- Die Gatter haben folgende Bedeutungen:

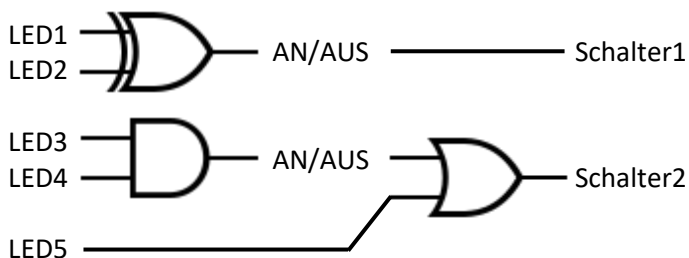


-  AND: Wenn **beide** Eingänge **AN** sind, ist der Ausgang **AN**, ansonsten **AUS**
-  OR: Wenn **mindestens einer** der Eingänge **AN** ist, ist der Ausgang **AN**, ansonsten **AUS**
-  XOR: Wenn **genau einer** der Eingänge **AN** ist, ist der Ausgang **AN**, ansonsten **AUS**

Wenn die letzte Ziffer der Seriennummer gerade ist:

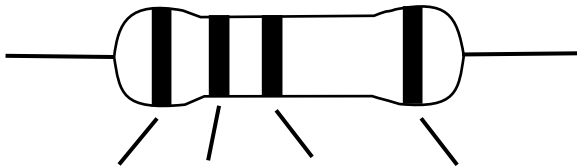
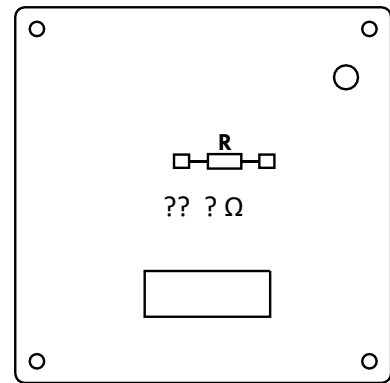


Wenn die letzte Ziffer der Seriennummer ungerade ist:



Modul Typ 07: Widerstand



- Das Display zeigt an, welcher Widerstand an den Messpunkten eingesetzt werden muss.
- Der Wert der Widerstände lässt sich aus der Tabelle errechnen.
- 1 k Ω entsprechen 1 000 Ω , 1 M Ω entsprechen 1 000 000 Ω .
- Der hinterste Ring ist immer golden.
- **ACHTUNG:** Das Berühren der Metallbeinchen des Widerstands während des Einsetzens kann zu falschen Messungen führen! Widerstand nur am Körper anfassen.

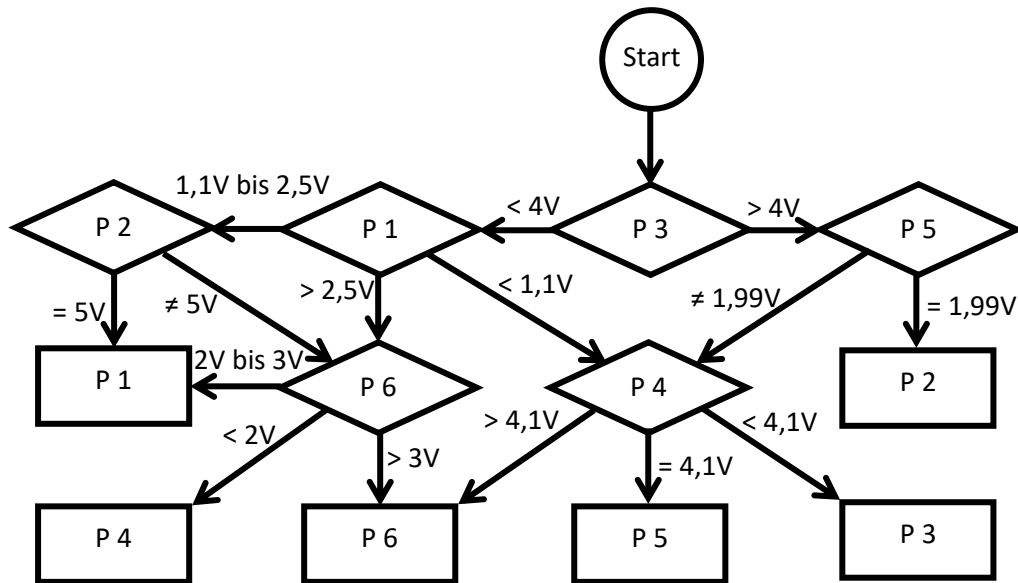
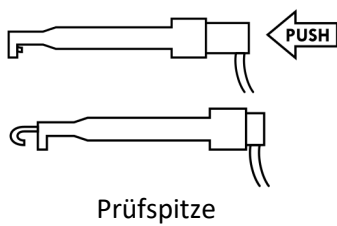
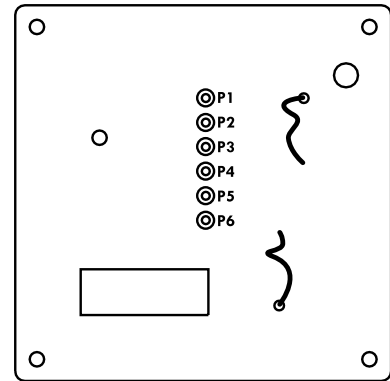


Farbe	1. Ziffer	2. Ziffer	Nullen (Multiplikator)	Toleranz
Schwarz	-	0	-	-
Braun	1	1	0	± 1%
Rot	2	2	00	± 2%
Orange	3	3	000	
Gelb	4	4	0000	
Grün	5	5	00000	± 0,5%
Blau	6	6	000000	
Violett	7	7	-	
Grau	8	8	-	
Weiß	9	9	-	
Gold	-	-	x 0,1	± 5%
Silber	-	-	x 0,01	± 10%
Ohne	-	-	-	± 20%

Beispiel: Der Widerstand **3,9 k Ω** hat **3900 Ω** . Das sind die Farben **Orange (3), Weiß (9), Rot (00)** und Gold.

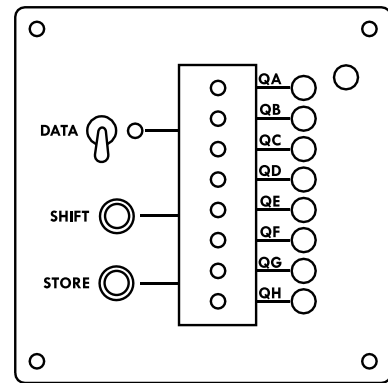
Modul Typ 08: Messgerät

- Folge dem Flussdiagramm. Startpunkt ist der Kreis.
- Die Verzweigungen () zeigen an, an welchen Punkten mit der Prüfspitze gemessen werden muss. Folge dann dem richtigen Pfeil.
- Die Messungen dürfen nur bei Nichtbestehen der Verbindung durchgeführt werden.
- Ein Rechteck () gibt an, zu welchem Punkt die Verbindung mit der Krokodilklemme hergestellt werden muss.



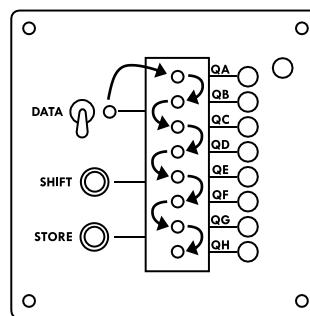
Modul Typ 09: Schieberegister

- Die großen LEDs zeigen die aktuellen Ausgänge an.
- Leite aus der Tabelle unten und den aktuellen Ausgängen QA bis QH ab, welches Muster als nächstes eingestellt werden muss.
- Nur eine Zeile der Tabelle passt zu den aktuellen Ausgängen.
- Stelle das Ziel-Muster Ziffer für Ziffer ein:
 - Für eine 0 schalte „DATA“ aus (DATA-LED aus).
 - Für eine 1 schalte „DATA“ ein (DATA-LED an).
 - Drücke dann „SHIFT“ (das schiebt alle LEDs eins weiter).
 - Wiederhole diesen Schritt, bis alle Ziffern des Ziel-Musters in das Schieberegister geschoben sind (kleine LEDs).
- Wenn das Ziel-Muster an den kleinen LEDs eingestellt ist, drücke „STORE“ um die Prüfung einzuleiten.

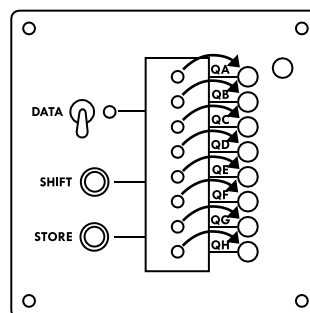


Aktuelle Ausgänge	Ziel-Muster
QB an, QE an, QG aus	0110 0110
QB aus, QC aus, QE an	1101 1011
QB aus, QE aus	1001 1001
QB an, QE aus, QF an	0100 0010
QB an, QE an, QG an, QH aus	1011 1101
QB aus, QC an, QE an	0111 1110
QB an, QE aus, QF aus	1000 0001
QB an, QE an, QG an, QH an	0011 1100

SHIFT:



STORE:

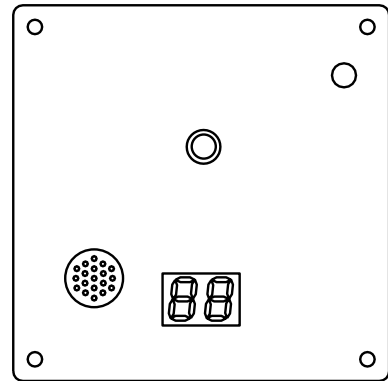


TEIL 2

Dringende Module

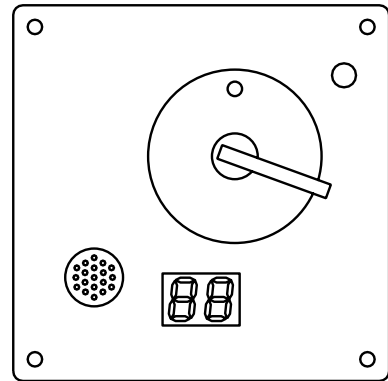
Modul Typ 50: Nervöser Knopf

- Wenn sich das Modul aktiviert, drücke den Knopf, bevor der kleine Timer abläuft.
- Wenn die letzte Ziffer der Seriennummer gerade ist, darf der Knopf nur während ungerader Sekunden (kleiner Timer) gedrückt werden.
- Wenn die letzte Ziffer der Seriennummer ungerade ist, darf der Knopf nur während gerader Sekunden (kleiner Timer) gedrückt werden.



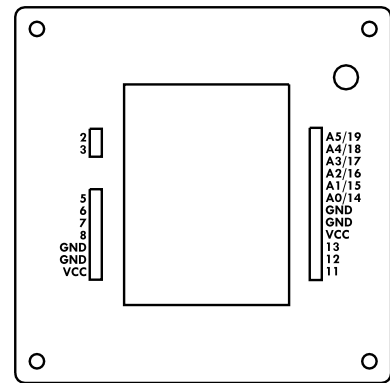
Modul Typ 51: Drehdings

- Wenn sich das Modul aktiviert, Sorge dafür, dass das sich drehende Dings in der Mitte nicht die Schraube berührt.
- Die Schraube kann beliebig verdreht werden.



Modul Typ 99: Prototyp

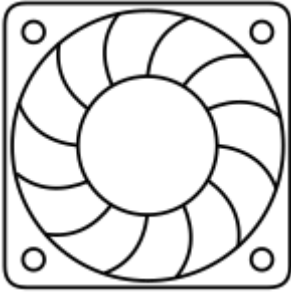
- Dieses Modul ist ein Prototyp.
- Die Anleitung variiert. Höre im Zweifelsfall auf den externen Experten.
- Der externe Experte ist gelegentlich mittwochs von 18:30 bis 22:00 Uhr auf der Frequenz 145,275 MHz im Gebiet C28 zu erreichen.



ANHÄNGE

Anhang A – Erkennungszeichen

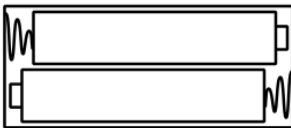
Lüfter



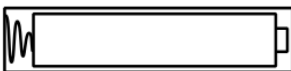
Der Lüfter kann mit oder ohne Schutzgitter vorhanden sein.

Batterien

Batterien im Doppelhalter gelten nur als eingelegt, wenn auch beide Batterien vorhanden sind.



Batterien im Einzelhalter werden einzeln gezählt.



Knöpfe und Schalter



Drucktaster

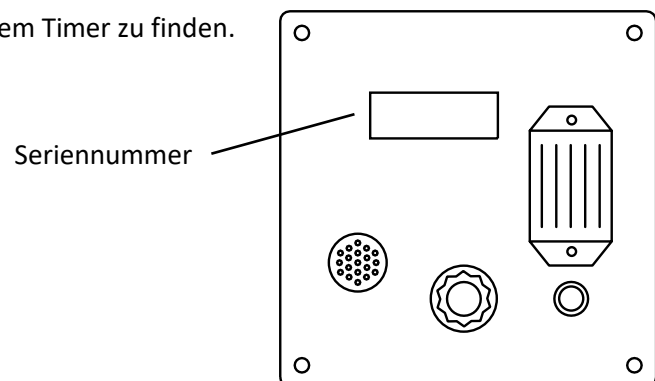
Drehknopf

Kippschalter

Schiebeschalter

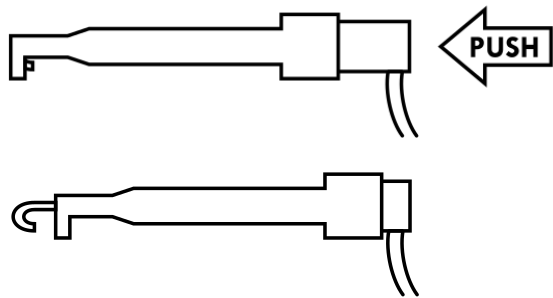
Seriennummer

Die Seriennummer ist auf dem Display unter dem Timer zu finden.



Anhang B – Stecker und Klemmen

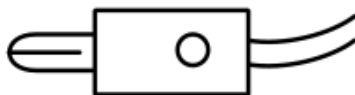
Prüfspitze



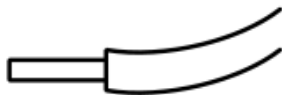
Krokodilklemme



Zwergstecker



Draht



Anhang C – Aufbauanleitungen

Materialien, die nicht fest verbaut sind, für ein Modul aber benötigt sind, sind **fett** markiert.

Modul Typ 01 Kabel

3 bis 6 zufällige rote, gelbe, weiße, blaue oder schwarze Kabel nebeneinander in die Stiftleisten stecken. Dabei dürfen sich die Kabel nicht überkreuzen.

- Das rote Kabel hat einen Wert von 100Ω .
- Das gelbe Kabel hat einen Wert von 330Ω .
- Das weiße Kabel hat einen Wert von 680Ω .
- Das schwarze Kabel hat einen Wert von $2,2k\Omega$.
- Das blaue Kabel hat einen Wert von $33k\Omega$.

Bei der Variante mit Kabeln zum Durchschneiden einen **Seitenschneider** dazulegen.

Modul Typ 02 Gedächtnis / Binärzahlen

-/-

Modul Typ 03 Morse Code

-/-

Modul Typ 04 LED-Kreis

-/-

Modul Typ 05 Verdrillte Kabel

Drei bis sechs zufällige rote, weiße, blaue, rot-weiße, blau-weiße oder rot-blaue Kabel waagrecht in die Anschlüsse stecken.

- Das rote und rot-weiße Kabel haben einen Wert von 100Ω .
- Das weiße Kabel hat einen Wert von 680Ω .
- Das blau-rote Kabel hat einen Wert von $2,2k\Omega$.
- Das blaue und blau-weiße Kabel haben einen Wert von $33k\Omega$.

Die Kabel müssen auf beiden Seiten auf derselben Höhe eingesteckt sein.

Bei der Variante mit Kabeln zum Durchschneiden einen **Seitenschneider** dazulegen.

Modul Typ 06 Logikgatter

Beide Schalter in die mittlere Stellung bringen.

Modul Typ 07 Widerstand

22 Widerstände mit folgenden Werten bereitlegen:

- 100, 180, 330, 470, 680
- 1k, 1k5, 2k2, 3k3, 4k7, 6k8
- 10k, 15k, 22k, 33k, 47k, 68k
- 100k, 150k, 220k, 330k, 560k

Es darf kein Widerstand in den Messpunkten stecken.

Bei dunkler Umgebung eine **Taschenlampe** beilegen.

Modul Typ 08 Messgerät

Verbindung trennen.

Modul Typ 09 Schieberegister

-/-

Modul Typ 50 Genervter Knopf

-/-

Modul Typ 51 Drehdings

Die Schraube von dem beweglichen Arm wegdrehen.

Anhang D – Game Master Bedienung

- Reset: Der Knopf unten rechts auf dem Timer startet das Spiel neu
- Menü
 - Drehknopf am Timer innerhalb von 5 Sekunden nach dem Öffnen des Koffers für mindestens eine Sekunde gedrückt halten, um in das Menü zu gelangen.
 - Einstellungen:
 - Zeit ändern: Auf welche Zeit der Timer gesetzt werden soll. Wenn der „Koffer-zu“-Sensor beim Bestätigen der Zeit noch geschlossen ist, wird die Zeit auch für die nächsten Starts übernommen. Ist der Koffer schon wieder „offen“ gilt diese Einstellung nur für das aktuelle Spiel.
 - Setup Nr. (wirksam erst nach Neustart):
 - Zufall: Die Module werden mit einem Zufallswert initialisiert und Module, die sich selbst andere Initialwerte geben können, haben bei jedem Durchgang andere Kombinationen.
 - Zahl zwischen 1 und 255: Die Module werden immer mit diesem Wert initialisiert und laufen bei gleichem Aufbau immer gleich ab.
 - Einfach (wirksam erst nach Neustart): Ob Module in einer vereinfachten Form ablaufen sollen, damit man auch beim ersten Versuch eine Chance hat das Modul zu lösen.
 - Sicherungen: Wie viele Fehler erlaubt sind, bevor die Bombe explodiert.
 - Wenn zu: Was passieren soll, wenn der Deckel geschlossen wird.
 - Pause: Der Timer wird pausiert und geht beim Öffnen an derselben Stelle weiter.
 - Reset: Timer wird auf die Startzeit zurückgesetzt.
 - Weiter: Timer läuft einfach weiter.
 - Start: Wann die Bombe anfangen soll runter zu zählen.
 - Sofort: Sobald möglich, keine weitere Aktion erforderlich.
 - Öffnen: Die Bombe muss einmal geschlossen werden und startet dann beim Öffnen.
 - Jetzt Neustart: Ob die Bombe jetzt neu gestartet werden soll.
- Nach dem Hochfahren grün blinkende Module wurden nicht erkannt oder sind nicht korrekt aufgebaut. -> Modul überprüfen
- Während dem Hochfahren rot-grün-blinkende Module sind noch im DEBUG-Modus und müssen neu programmiert werden.

Anhang E – Kampagne

Benötigte Module: 01 Kabel (2x), 02 Binärzahlen (2x), 03 Morse, 04 LED-Kreis (2x), 05 Verdrillte Kabel, 06 Logikgatter, 07 Widerstand, 08 Messgerät (2x), 09 Schieberegister (2x), 50 Nervöser Knopf, 51 Drehdings, 70 Batterien, 71 Lüfter

Räumstelhelfer

Nr.	Titel	Module	Zeit	Sicherungen	Einfach
1.1	Aller Anfang...	01, 02, 04	6:00	5	Ja
1.2	Etwas Altes, etwas Neues	01, 02, 07	6:00	5	Ja
1.3	Doppeldecker	01, 01, 02, 02, 04, 04	6:00	5	Ja
1.4	Nächstes Level	01, 04, 07, 08	6:00	3	Ja
1.5	Jetzt aber schnell!	01, 02, 04	3:00	3	Ja

Munitionsarbeiter

Nr.	Titel	Module	Zeit	Sicherungen	Einfach
2.1	Geheime Nachricht	02, 04, 03	05:00	5	Ja
2.2	Irgendwas ist anders	02, 07, 05, (71)	05:00	5	Ja
2.3	Nichts mehr ist einfach	03, 05, 07, 08, (71)	05:00	3	Ja
2.4	Das sollte bekannt sein	01, 01, 03, 07, 08	05:00	3	Ja
2.5	Beeilung!	01, 02, 04, 05, 07, (71)	03:00	3	Ja

Kampfmittelräumdienst

Nr.	Titel	Module	Zeit	Sicherungen	Einfach
3.1	Das ist fies	03, 05, 07, 08, 09, (71)	05:00	3	Ja
3.2	Null Fehlertoleranz	01, 03, 05, 07, 09, (71)	04:00	0	Ja
3.3	Logische Sache	02, 05, 06, 08, (70), (71)	04:00	3	Ja
3.4	Arbeitsbelastung	01, 02, 02, 03, 05, 08, 08, (71)	05:00	3	Ja
3.5	Zack, Zack!	01, 04, 05, 07, (71)	02:30	3	Ja
3.6	Von allem etwas	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, (70), (71)	08:00	5	Ja

Sprengmeister

Nr.	Titel	Module	Zeit	Sicherungen	Einfach
4.1	Was zum Teufel...?	02, 04, 07, 08	03:00	3	Nein
4.2	Nimm dir Zeit	01, 03, 05, 06, 08, (70), (71)	06:00	3	Nein
4.3	Die richtige Richtung	02, 03, 04, 09, 09	04:00	2	Nein
4.4	Das ist zu langsam!	01, 02, 03, 05, 07, 09	03:00	2	Nein

Detonator

Nr.	Titel	Module	Zeit	Sicherungen	Einfach
5.1	Ich fordere Aufmerksamkeit	02, 02, 04, 07, 08, 09, 50	06:00	2	Nein
5.2	Rundherum	03, 05, 04, 09, 51, (70), (71)	04:00	2	Nein
5.3	Multitasking	01, 05, 06, 09, 50, 51, (70), (71)	04:00	0	Nein
5.4	Das volle Programm	01, 02, 03, 06, 07, 08, 09, 50, 51, (70), (71)	08:00	2	Nein
5.5	Schlimmer wird's nicht	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, (70), (71)	04:00	0	Nein