

Informatik zur Planung und Durchführung von Feuerwerken

Stefan Brass

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Professor für Informatik

(Datenbanken, logische Programmierung),

Inhaber einer Erlaubnis nach §27 SprengG
und eines Befähigungsscheins nach §20 SprengG
zum Abbrennen von Großfeuerwerk



Stefan Brass

Universität Halle, 2018



Stefan Brass

Universität Halle, 2018



Stefan Brass

Universität Halle, 2018

Inhalt

1. Ablauf eines Großfeuerwerks
2. Planungs-Software, Datenbanken
3. Musik-synchrones Feuerwerk, Simulation (kurz)
4. Microcontroller, Zündanlagen (ganz kurz)
5. Sicherheitstipps für Silvester

Feuerwerksbomben (1)

- Raketen werden bei professionellen Feuerwerken nur noch sehr selten verwendet.

Es kann leicht zu Abweichungen von der geplanten Flugbahn kommen, und die herabfallenden Stäbe stellen eine Gefahr da.

- Stattdessen werden “Feuerwerksbomben” (Kugel- und Zylinderbomben) aus Abschussrohren senkrecht in die Luft geschossen (wie bei einer Kanone).
- Die Feuerwerksbomben enthalten einen Verzögerungszünder, der am höchsten Punkt der Flugbahn die Zerlegerladung zündet: Die Bombe zerplatzt dann in viele Leucht- oder Kometensterne.

Feuerwerksbomben (2)

- Einige Daten:
 - ◇ Zur Langen Nacht werden Bomben bis 100mm Durchmesser geschossen (gelegentlich 125mm).
 - ◇ Die Steighöhe dieser Bomben sind ca. 120-140m.
 - ◇ Der höchste Punkt wird etwa 2.5-3.5s nach dem Abschuss erreicht.
 - ◇ Der Durchmesser am Himmel hängt stark vom Effektyp ab, und könnte bis etwa 60m betragen.
 - ◇ Das Bruttogewicht beträgt z.B. 400g, die Netto-Explosivstoffmasse (Pulvergewicht) 200g.



Stefan Brass





Sicherheit

- Als Sicherheitsabstand sind 80% der Steighöhe vorgeschrieben, wenn die Bombe keinen Blitzknallsatz enthält, sonst 100%. Bei Langer Nacht ca. 130m.

(Genauer das Maximum von diesem Wert und 800 bzw. 1000 * Kaliber.) Es kommt vor, dass Bomben oben nicht zünden und wieder herunterfallen, und eventuell auch am Boden zünden.

- Die Abschussrohre sind heute meist aus GFK oder HDPE (oder Pappe).

Da es auch zu Rohrkippern kommen kann, sind Stahlrohre wegen der Splitter eine zu große Gefahr.

- Schlimmster Fall: Rohre kippen um, schießen weiter.

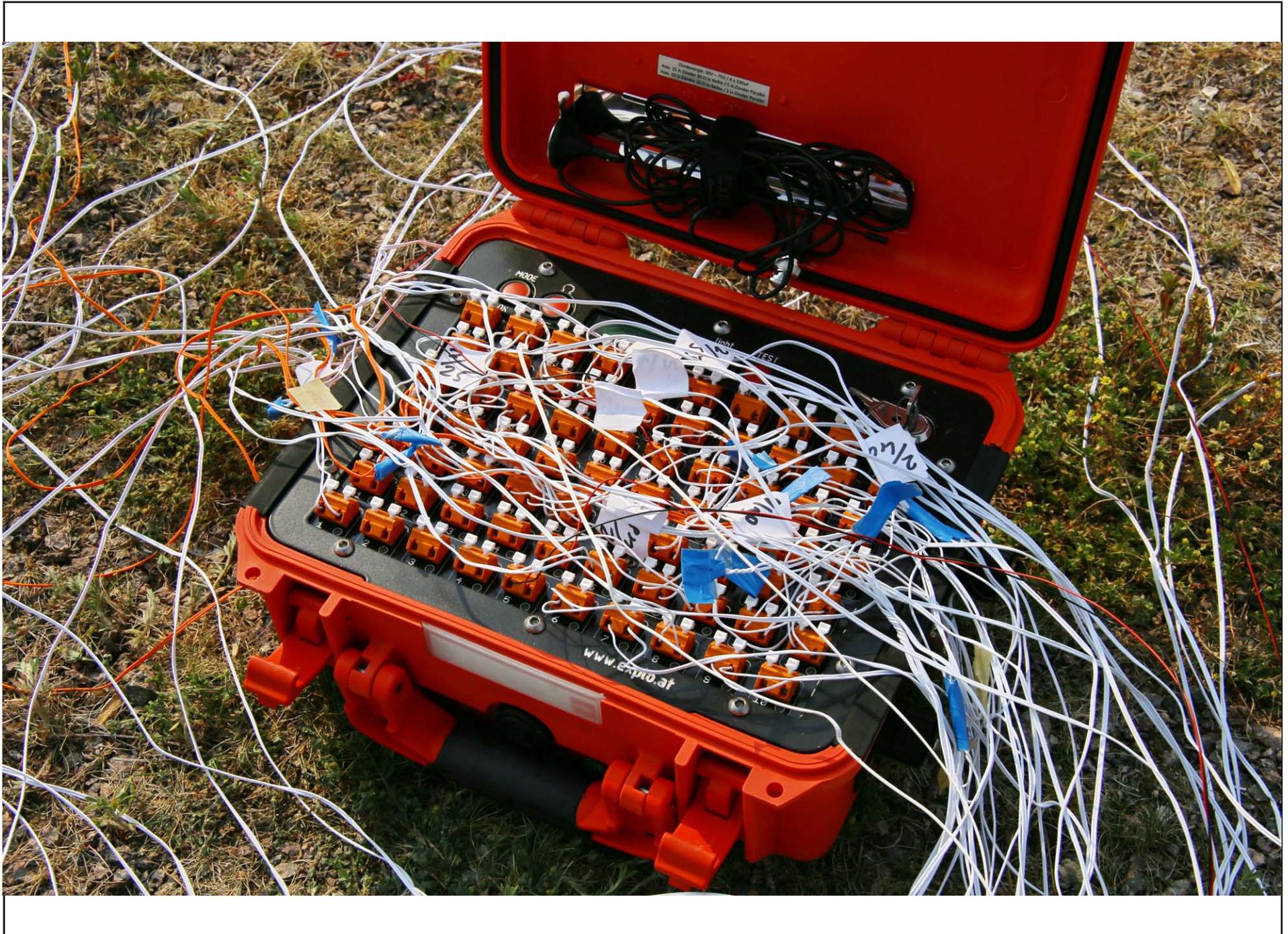
Zündung

- Solche großen Feuerwerkskörper werden nicht mit der Hand gezündet, sondern elektrisch:
 - ◇ Ein kurzer Stromstoß von ca. 1A und wenigen Millisekunden Dauer erwärmt einen Glühdraht, wodurch sich die umgebene Zündpille entzündet.

Das Feuer wird dann über schwarzpulvergetränkte Fäden in einem Papierschlauch ("gedeckte Stoppine") weitergeleitet zur Treibladung ($< 0.1s$). Die Explosion der Treibladung (Schwarzpulver) entzündet dann den Verzögerungszünder. Recht geringe Spannung, z.B. 12V. Ein E-Anzünder: ca. 2Ω . Ggf. Serienschaltung.
 - ◇ Dadurch ist auch der Feuerwerker nicht im unmittelbaren Gefahrenbereich (Rohrkrepierer).

Außerdem ist der Ablauf schneller und z.B. musiksynchron.





Zündanlage (1)

- Im letzten Bild zu sehen war ein 70-Kanal Empfänger der Firma Explo aus Österreich.
- Im Prinzip enthält so eine Zündanlagen-Modul
 - ◇ einen kleinen Computer (Microcontroller),
 - ◇ der viele Schalter betätigen kann (hier 70),
 - ◇ Spannungsversorgung mit Akku (Zündsp. 45V),
 - ◇ Widerstandsmessung/Durchgangstest für jeden Zündkreis,
 - ◇ Funk-Schnittstelle zum Datenaustausch,
 - ◇ Schlüsselschalter und lokale Bedienelemente.

Zündanlage (2)

- Bei der “Langen Nacht der Wissenschaften” 2017 waren 7 solche Empfänger im Einsatz.

Die meisten waren fast voll belegt, insgesamt gab es 424 Zündkreise.

- Außerdem gehört zur Zündanlage noch:
 - ◇ Ein Sender, an dem der Feuerwerker den Startknopf drückt.

Weitere Bedienmöglichkeiten z.B. “Pause” bzw. “Stop”. Außerdem gibt es Knöpfe für Ersatzeffekte. Während das Feuerwerk läuft, wird jeweils der nächste zu zündene Effekt angezeigt.
 - ◇ Ein Musik-Modul, das eine WAV-Datei abspielen kann, und auch vom Sender kontrolliert wird.

Feuerwerksmaterial 2017

- 170 Feuerwerksbomben
40×65 mm, 45×75 mm, 74×100 mm, 11×125 mm. Zusätzlich Feuer-
töpfe: 4×75 mm, 3×100 mm, 4×125 mm. Kometen: 14×75 mm.
Bombetten und Kometen der Firma Zink: 36×60mm, 80×24mm.
- 120 Feuertöpfe (Papphülse, Kaliber 30–45 mm)
- 81 Kometen (Papphülse, Kaliber 30–45 mm)
- 26 Elemente (11–19 Schuss gefächert, 25–30mm)
- 20 Feuerwerksbatterien (z.B. 100×30mm, Z-Shape)
- 19 Römische Lichter und Lichterbündel
- 57 Fontänen, Vulkane, Sonnen
- 47 Bengaltöpfe und Bengalblinker



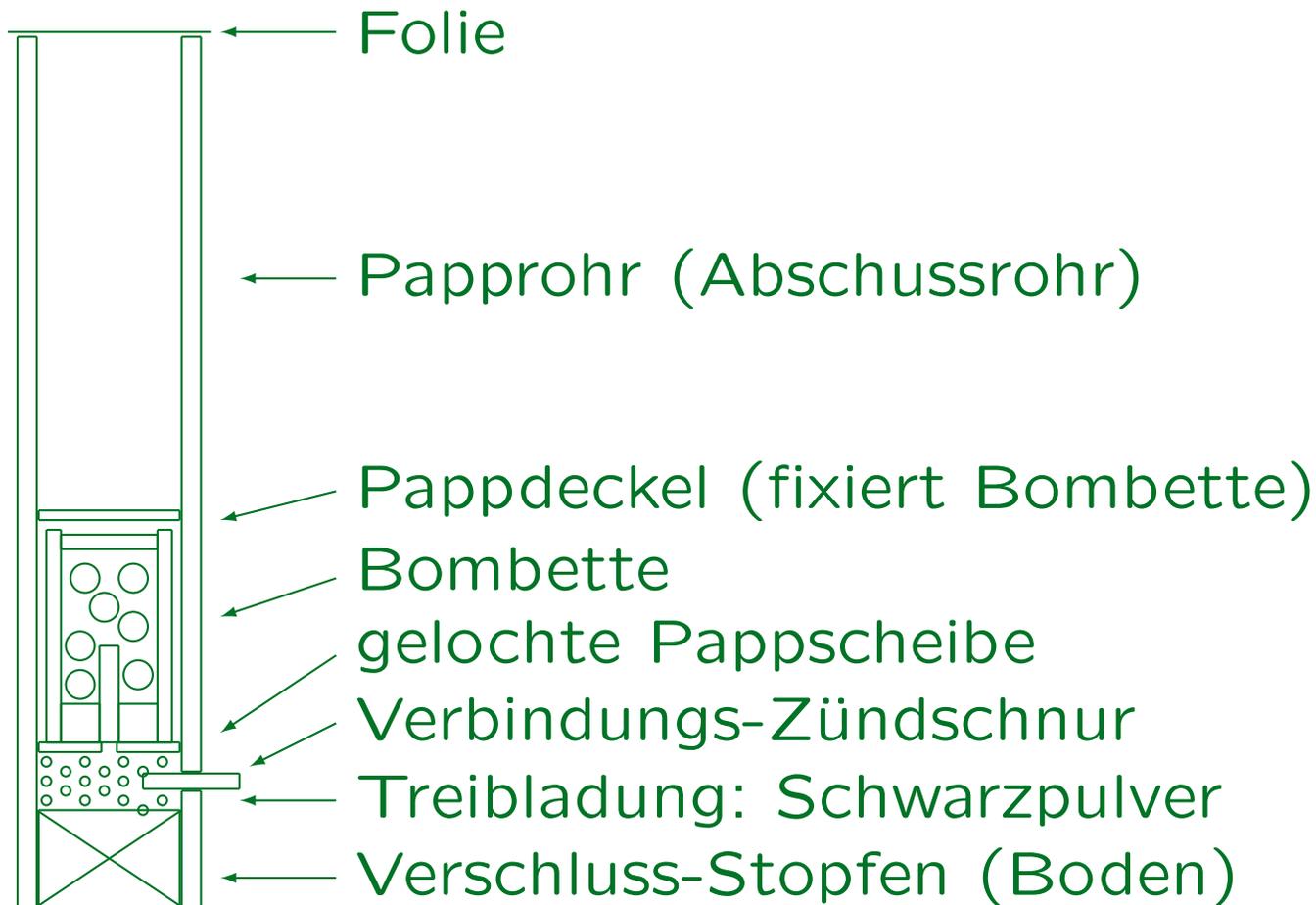






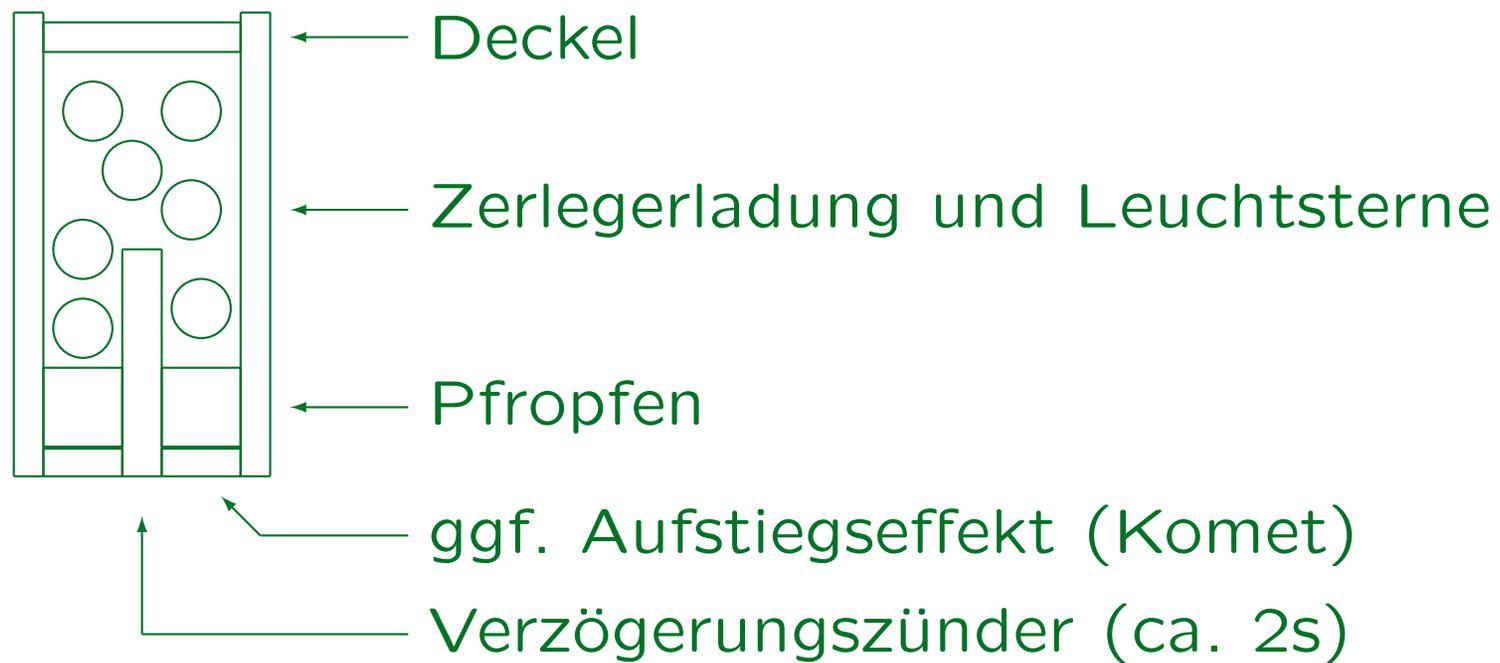


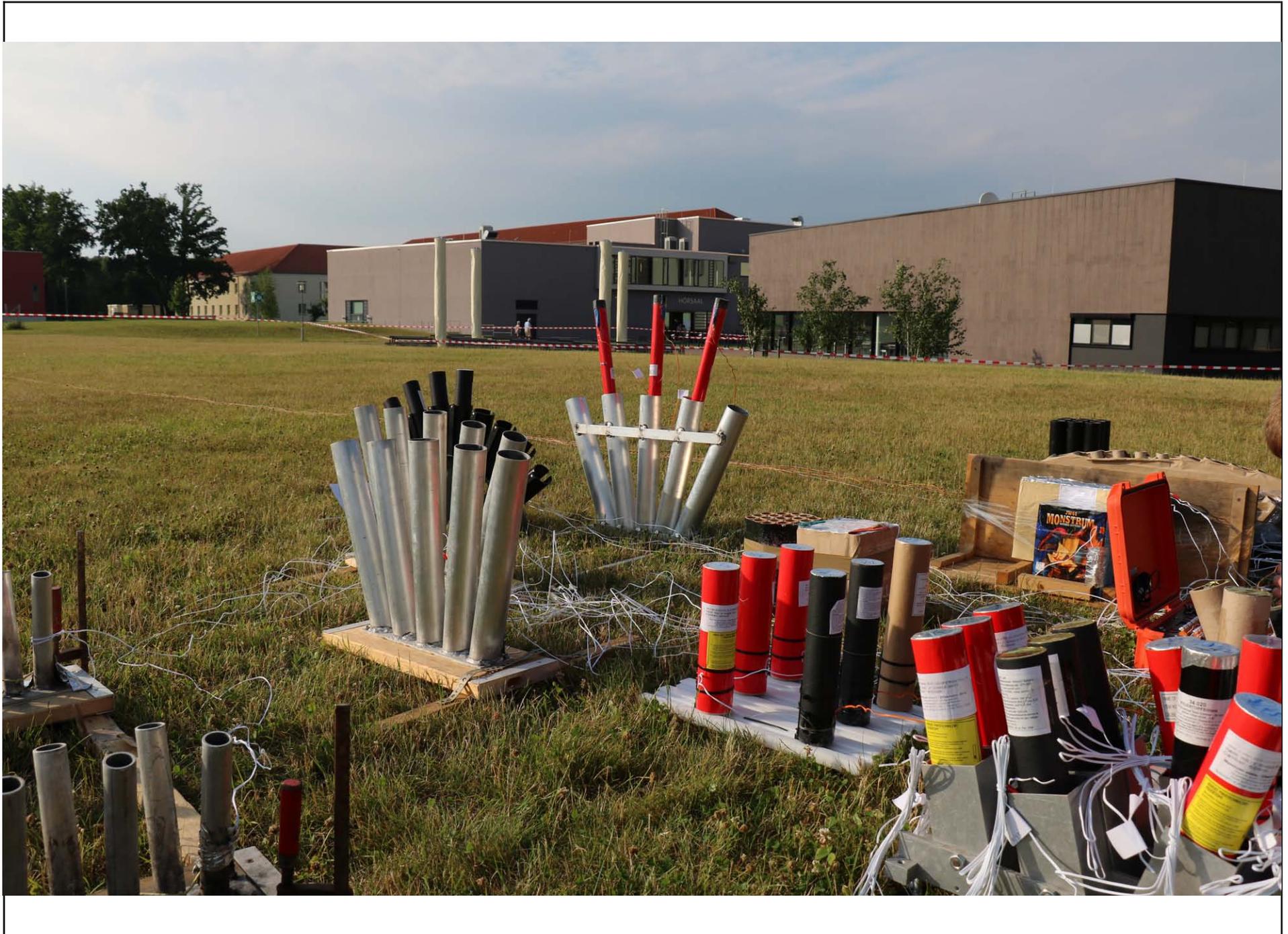
Feuerwerksbatterien (1)



Feuerwerksbatterien (2)

Bombette:







Räumliche Aufteilung

- Oft gibt es mehrere Abschusspositionen:
 - ◇ Hinten für die Feuerwerksbomben
 - ◇ Mitte für Batterien, Kometen, Feuertöpfe
 - Hier gibt es zwei Positionen: Links und Rechts. Wenige Effekte auch in der Mitte (hinter Mensa).
 - ◇ Vorne für Bodenfeuerwerk (Bengalen, Fontänen, Sonnen), kleine Kometen, Feuertöpfe, Batterien.
 - Über ganze Breite verteilt, wir hatten 7 Positionen für gesteppte Feuertöpfe/Kometen, z.B. von links nach rechts, 0.3s Abstand.
- Viele Module der Zündanlage \Rightarrow Kurze Kabel.
- Vorangegangene Fotos: Mittelposition. Nun vorne.



Stefan Brass

Universität Halle, 2018





Stefan Brass

Universität Halle, 2018



Stefan Brass

Universität Halle, 2018

Flamer

- 2015 hatten wir vorne auch zwei Gas-Flamer:
 - ◇ Erzeugt bei Zündung kleinen Feuerball.
 - ◇ Im Unterschied zu Feuerwerksartikeln kann man sie fast beliebig häufig zünden.
 - ◇ Damit kann man also sehr preiswert viele musik-synchrone Akzente setzen.

Es macht aber natürlich Arbeit, die genauen Zeiten festzulegen.

- 2016 hatten wir sogar vier Expl Wave-Flamer:
 - ◇ Sie spritzen eine Brennflüssigkeit (max. 10m).
 - ◇ Der Winkel ist programmierbar, auch kurz oder lang oder Bewegung während die Flamme brennt.

Ablauf Großfeuerwerk (1)

- Zuerst Abbrennplatz, Budget, ggf. Musik klären.
- Dann ist ein “Abbrennplan” aufzustellen: Welche Effekte werden zu welchen Zeitpunkten gezündet?
“Choreographie”. Enthält auch Abschussposition, geneigten Abschuss.
- Anschließend Vorbereitung in Feuerwerksfirma:
 - ◇ Material aus dem Lager holen,
 - ◇ beschriften (Modul/Anschlussklemme),
 - ◇ ggf. schon Elektroanzünder anbringen,
 - ◇ Bombenstränge mit Verzögerungszündern bauen,
 - ◇ gegen Regen mit Folie einpacken,
 - ◇ in Kartons verpacken (nach Position sortiert).

Ablauf Großfeuerwerk (2)

- Oft sind mehrere Personen einen ganzen Tag damit beschäftigt,
 - ◇ die Rohre aufzustellen,
 - ◇ die Feuerwerksbomben in die Rohre zu verladen,
 - ◇ sowie die anderen Effekte aufzustellen und zu befestigen,
 - ◇ ggf. alles gegen Regen mit Folie abzudecken,
 - ◇ die Elektroanzünder anzubringen,
 - ◇ und mit der Zündanlage zu verkabeln.
- Dann kommt der spannende Moment der Zündung!

Ablauf Großfeuerwerk (3)

- Nach dem Feuerwerk kurze Wartezeit wegen Spätzündern (15min), anschließend Kontrolle der Rohe.

Eventuell hat nicht alles gezündet.

- Sicherung der Zündanlage

Abgebrannte Elektroanzünder: Müll, Kabel: Müll bzw. Recycling.

- Abbau und Aufladen der Rohre.
- Einsammeln von Müll, z.B. Feuerwerksbatterien.
- Früh am nächsten Tag: Nochmals Kontrolle auf Versager, kleinen Müll einsammeln.

Noch etwas

- Feuerwerker mischen keine Chemikalien selbst, sondern kaufen fertige Artikel, die einer offiziellen Qualitätskontrolle unterliegen.

Typischerweise werden die Feuerwerksbomben auch fertig mit Treibladung geliefert, bei kleinen Bombetten und Kometensternen muss man selten noch Schwarzpulver für die Treibladung abmessen.

- Feuerwerker sind keine Pyromanen, sondern Pyro-Künstler und Pyro-Techniker.

Es wäre mir sehr peinlich und würde mich unglücklich machen, wenn ich einen ernsthaften Brand auslösen sollte.

- Feuerwerker sind nicht lebensmüde.

Inhalt

1. Ablauf eines Großfeuerwerks
2. Planungs-Software, Datenbanken
3. Musik-synchrones Feuerwerk, Simulation (kurz)
4. Microcontroller, Zündanlagen (ganz kurz)
5. Sicherheitstipps für Silvester

Lagerhaltung (1)

- Welche Artikel habe ich?

Man muss häufig ganze Kartons kaufen, brennt das aber nicht bei einem Feuerwerk ab. Vieles, was im Katalog steht, ist nicht (oder nicht sofort) lieferbar. Manche Importeure sammeln lange vor der Lieferung Bestellungen ein, und ordern die Ware dann erst in China. Kleine Feuerwerker wie ich, die dann auch noch von vielen Firmen die schönsten Artikel haben wollen, haben auch ein Transport-Problem: Ein Gefahrguttransport ist teuer, man muss sich an Großbestellungen befreundeter Feuerwerker anhängen. D.h. schöne Artikel muss man kaufen, wenn man die Gelegenheit dazu hat, nicht erst, wenn man sie für ein Feuerwerk braucht.

- Reservierte Artikel bei Planung mehrerer Feuerwerke.
- Man muss wissen, wie viel Netto-Explosivmasse in Artikeln welcher Gefahrgutstufe man hat.

Lagerhaltung (2)

- Feuerwerksartikel ohne CE müssen weg.

Seit Juli 2017 sind sie nicht mehr legal. Dabei gab es vorher schon ein Qualitäts-Sicherungssystem. Die Prüfung der BAM für Silvesterfeuerwerk war möglicherweise zuverlässiger als die von einigen CE-Zertifizierungs-Agenturen. Feuerwerksartikel laufen meist nicht ab, aber blau sieht bei Überlagerung nicht mehr sehr farbtensiv aus.

- Suchen passender Artikel für eine Stelle in der Musik bei der Planung eines Feuerwerks.

Z.B. leise Stelle in der Musik, ich möchte den Abschnitt in gold und blau halten, 20 s bis zum nächsten Effekt, nicht zu teuer.

- Nachbestellung von Artikeln, die man gerne einsetzt, wenn Firma X gerade eine Rabattaktion hat.

Buchhaltung (1)

- Man möchte natürlich gerne wissen, was ein Feuerwerk kostet.

Damit ich bei der Langen Nacht zumindest nicht zu viel aus der eigenen Tasche dazu bezahle. 2017 konnte man den Wert von Artikel ohne CE allerdings mit 0 € ansetzen, wenn man wollte (es war eine große Enteignungsaktion). Warenwert 2017: ca. 2.800 € (netto).

- Was ein Artikel kostet, ist gar nicht so einfach, wenn ich mehrere Posten zu verschiedenem Preis gekauft habe, und im Katalog noch ein anderer Preis steht.

Wenn man Programme entwickelt, muss man den allgemeinsten Fall betrachten, nicht nur den Normalfall.

Buchhaltung (2)

- Neben den reinen Feuerwerksartikeln gibt es viele weitere Kosten:
 - ◇ E-Anzünder
 - Je nach Länge des Kabels (0.3m bis 6 m) ab ca. 0.30€ bis ca. 1€.
 - ◇ Kabel (Verschleißdraht)
 - ◇ Kabelbinder, Klebeband, Bindendraht, Folie,
 - ◇ Arbeit!
 - ◇ Versicherung
 - ◇ Miete für ein Lager (Raum in einem Bunker)
 - ◇ Amortisierung/Abnutzung der Ausrüstung

Abbrennplan (1)

- Im Prinzip einfach:
 - ◇ Welcher Artikel soll
 - ◇ in welcher Stückzahl
 - ◇ an welchem Ort (Position auf Abbrennplatz)
 - ◇ zu welchem Zeitpunkt gezündet werden?
Genauer Effekt-Zeit, siehe unten bei Musikfeuerwerken.
 - ◇ Ggf. gewinkelter Abschuss/Fächerung.
 - ◇ Ggf. Anzahl/Verzögerung bei Bombenkettten.
- Eingabe möglichst einfach: Bei zwei Stück links und rechts symmetrisch keine doppelte Eingabe.
Oder Steppersequenz. Oder sich wiederholende Takte in Musik.

Abbrennplan (2)

- Automatische Zuordnung der Positionen im Abbrennplan zu Kanälen der Zündanlage:
 - ◇ Nächstliegendes Modul (kurze Kabel).

Muss noch freien Kanal haben. Oft ist nicht an jeder Stelle auf dem Abbrennplatz, an der Artikel stehen, ein eigenes Modul.
 - ◇ Bei gleicher Zündzeit Serienschaltung möglich, aber nur falls E-Anzünder aus gleicher Charge.

Wenn ein Artikel schon ab Werk mit E-Anzünder kommt, kann ich ihn nicht mit einem Artikel kombinieren, in den ich noch einen E-Anzünder einbauen muss. Auch wichtig: Gleiche Zündzeit, nicht gleiche Effektzeit (siehe unten, z.B. Bomben mit unterschiedlicher Steigzeit). Je nach Zündanlage und Kabellänge Maximalzahl von E-Anzündern in einer Serienschaltung (sonst Widerstand zu groß).

Abbrennplan (3)

- Automatische Zuordnung zu Kanälen, Forts.:

- ◇ Chronologische Reihenfolge der Kanäle.

Einfache Zündanlagen verlangen das. Ggf. 0.3s Mindest-Abstand. Wenn man die Steigzeiten der Bomben abzieht, kann chronologische Reihenfolge der Zündzeiten anders sein als die chronologische Reihenfolge der Effektzeiten, die man geplant hat.

- ◇ Falls gleicher Artikel links/rechts, soll es der gleiche Kanal in beiden Modulen sein?

Dann bleiben ggf. Kanäle frei, was eventuell den Durchgangstest unübersichtlich macht. Es ist auch einfacher zu sehen, ob etwas fehlt, wenn alle Kanäle bis zu einer maximalen Kanalnummer auch belegt sind.

Abbrennplan (4)

- Automatische Zuordnung von Feuerwerksbomben zu Rohren:
 - ◇ Die Abschussrohre sind in sogenannten “Racks” fest montiert, z.B. 5, 6, oder 10 Stück.
 - ◇ Daraus werden mit Seitenteilen Blöcke gebaut, so dass die Racks nicht umkippen können.
 - ◇ Wenn man Rohre leicht neigen will (z.B. für eine Fächerung am Himmel), geht das nur in Einheiten von Racks.

Die Seitenteile müssen das auch zulassen, also passende Befestigungen haben.

Abbrennplan (5)

- Zuordnung Feuerwerksbomben-Rohre, Forts.:
 - ◇ Natürlich muss das Kaliber passen.
 - ◇ Ein Strang aus mehreren Bomben mit Verzögerungszündern dazwischen (“pyrotechnisch verleitet”) muss innerhalb eines Racks verlaufen.
 - ◇ Optimierung: Verteilung von Bombensträngen über Racks mit möglichst wenig freie Rohren.

Dabei ist auch wählbar, welche Racks wie geneigt werden. Z.B. habe ich Racks Kaliber 100mm mit 5 Stück und mit 6 Stück. Wenig freie Rohre wäre gar nicht wichtig, aber die geplanten Bomben müssen in meine Racks passen. Auch eine große Firma mit genügend Equipment möchte möglichst wenig Racks transportieren.

Abbrennplan (6)

- Zuordnung Feuerwerksbomben-Rohre, Forts.:
 - ◇ Gefächerte Bomben, bei denen die Zündschnur verbunden ist, brauchen nebeneinander liegende Rohre in passend gefächerten Racks.
 - ◇ Schussbahnen von Rohren, die ungefähr gleichzeitig abgeschossen werden, dürfen sich nicht kreuzen.

Am besten hätte man gefächerte Rohre nur außen, aber dann müsste man fast alle Blöcke in einer Linie hintereinander aufbauen. Wenn nur ein Modul der Zündanlage: Lange Kabel. (Zusatzarbeit für Verlängern der Kabel, wenn Kabel am Anzünder nicht reicht.)
 - ◇ Möglichst symmetrisch, chronologisch.

Abbrennplan (7)

- Am Ende braucht man viele Dokumente mit verschiedenen Sichten auf die gleichen Daten:
 - ◇ Gesamt-Abbrennplan zur Übersicht
 - ◇ Materialliste: Was ist aus welchem Lager einzupacken?

Geordnet nach Position auf Abbrennplatz und Gefahrgut-Klasse (z.B. 1.4G oder 1.3G: Wenn beides in einem Karton, müssten eigentlich beide Aufkleber darauf geklebt werden.).
 - ◇ Druck von Etiketten für die Artikel

Mit Modulnummer, Kanalnummer, ggf. Position auf Abbrennplatz, Bezeichnung wie im Abbrennplan.

Abbrennplan (8)

- Nötige Dokumente, Forts.:
 - ◇ Aufbau- und Bestückungsplan für Racks

Auch für andere Positionen Aufbauanleitungen, z.B. Belegungsplan für Winkelschussgestelle für Feuertöpfe/Kometen in Papphüllen. Schwarzpulvermenge, z.B. 4g für Zink-Kometen 24mm.
 - ◇ Equipment-Liste

Am besten Checkliste zum Abhaken, damit man nichts vergisst. Z.B. auch Stative, Winkelschussgestelle (s.o.), Gestelle für römische Lichter/Batterien, Feuerlöscher, Zündanlage, Werkzeug.
 - ◇ Belegungsliste für jedes Modul der Zündanlage

Sollte neben dem Modul liegen. Laminiert, falls Regen.
 - ◇ Steuerdatei für Zündanlage

Prüfung des Abbrennplans (1)

- Gibt es Lücken? (Es ist peinlich, wenn es längere dunkle Pausen im Feuerwerk gibt).
- Die Brenndauer der Artikel ist nicht ganz exakt, man muss Minimum und Maximum speichern.

Gerade billige Silvesterbatterien können unterschiedlich lang brennen. Wenn es Videos im Internet gibt, kann man da schauen, ob die Brenndauer sich von der offiziellen Angabe des Herstellers unterscheidet. Man sammelt Erfahrungen und sollte nach dem Feuerwerk eine Videoaufzeichnung mit dem Abbrennplan vergleichen und ggf. die Angaben in seiner Datenbank aktualisieren.

- Am Ende, wenn das große Finale war, darf nicht ein kleines römisches Licht noch hinterherballern.

Prüfung des Abbrennplans (2)

- Design-Regeln:

- ◇ Silber ist sehr hell, Gold eher dunkel. Dunkle Effekte wirken nicht, wenn sie mit hellen kombiniert werden, oder direkt danach kommen.
- ◇ Wenn man teure Sonnen am Boden hat, kann man nicht gleichzeitig hohe Bomben schießen: Zuschauer wissen nicht, wo hinschauen.
- ◇ Eine Steigerung wäre gut.
 - Kleine Artikel wirken nach großen nicht gut, wenn es nicht von der Musik her passt. Steigerung: Größe, Frequenz, Lautstärke.
- ◇ Abwechslung, aber nicht wild durcheinander.

Prüfung des Abbrennplans (3)

- Beispiel für einen Planungs-Fehler:
 - ◇ Steigende Krone (Foto siehe nächste Folie) wurde 2017 gestartet, als noch Feuerwerksbomben am Himmel waren.
 - ◇ Ich weiss nicht, wie mir der Planungsfehler unterlaufen ist, aber so konnten nur die Experten die steigende Krone wahrnehmen.
 - ◇ Richtig wäre, dass man mehrere steigende Kronen startet, wenn es sonst völlig ruhig ist.

Es waren auch zwei steigende Kronen geplant. Glück im Unglück war, dass eine (aus welchen Gründen auch immer) nicht gestartet ist und daher für 2018 noch da ist.



Informatik-Technik (1)

- Relationale Datenbanken: Daten in Tabellen.

Im Gegensatz zu Tabellenkalkulationen gibt es meist mehrere, oft sogar relativ viele Tabellen.

- Mit der Datenbank-Sprache SQL kann man Daten auswählen/suchen, verknüpfen, und aggregieren (z.B. Anzahl oder Summe).

- Die Sprache basiert auf logischen Formeln und ist insofern anders als normale Programmiersprachen.

Man schreibt auf, was die Bedingungen an die gesuchten Daten sind, aber nicht, wie die Antwort berechnet wird (mit welchem Algorithmus). Der Anfrageoptimierer wählt einen effizienten Auswertungsplan.

Informatik-Technik (2)

- Es gibt inzwischen eine ganze Reihe kostenloser Datenbanksysteme, z.B.:
 - ◇ MariaDB (freiere Variante von MySQL)
 - ◇ PostgreSQL
 - ◇ Microsoft SQL Server Express Edition
 - ◇ Oracle Express Edition
- Die DB-Dateien sind immer systemspezifisch.

Für längerfristigen Erhalt der Daten sollte man sie zusätzlich in einem anderen, lesbaren Format haben. Hinweis zur Langzeitspeicherung: Gebrannte CD-Roms ggf. nur 5 Jahre!

Informatik-Technik (3)

- XML ist ein normiertes Format für strukturierte und semistrukturierte Daten.

Es ist ähnlich zu HTML, das für Webseiten verwendet wird, erlaubt aber anwendungsspezifische "Tags".

- Mit XML Schema und XQuery hat man viele Vorteile von relationalen Datenbanken, aber
 - ◇ ein langfristig stabiles Format,
 - ◇ und kann kleinere Datenbestände vollständig im Texteditor halten.

Statt speziell entwickelter Formulare für die Tabellen. Allerdings ist die Tabellenstruktur einfacher als die hierarchische Struktur von XML.

Informatik-Technik (4)

- Ich habe für meine Planungssoftware ein eigenes, Prolog-basiertes Datenformat verwendet.

Prolog ist eine logische Programmiersprache, in der man Regeln und Fakten aufschreibt.

- Man kann die Syntax für Abbrennpläne als eigene, einfache Programmiersprache sehen.

“Domain-specific Languages” werden heute häufig verwendet.

- Die aktuelle Version sind über 7000 Zeilen Prolog, es gibt aber noch viel zu tun.

Hinzu kommen \LaTeX -Makros für die erzeugten Dokumente.

Ein Programm-Fehler

- Beim “Big Bay Boom” in San Diego am 4. Juli 2012 wurde das ganze Feuerwerk auf einmal gezündet.

Es war für 17 min geplant. 7000 Feuerwerksbomben an 5 Positionen über 22km. Feuerwerkskosten: 125.000\$, ganzer Event: 400.000\$.

- Die veröffentlichte Erklärung besagt, dass beim der Kombination der eigentlichen Zünddatei mit einer Backup-Zünddatei ein Fehler passiert ist, der eine Datei lieferte, die alles auf einmal gezündet hat.

Die Backup-Zünddatei war nötig, um dem lokalen Feuerwerker die Möglichkeit zu geben, seinen Teil des Feuerwerks manuell zu starten, falls das Startsignal über Funk nicht ankommt. Durch kürzeren Vorlauf sollte es wieder synchron mit den anderen Positionen werden.

Inhalt

1. Ablauf eines Großfeuerwerks
2. Planungs-Software, Datenbanken
3. Musik-synchrones Feuerwerk, Simulation (kurz)
4. Microcontroller, Zündanlagen (ganz kurz)
5. Sicherheitstipps für Silvester

Nutzen der Informatik (1)

- Besonders bei musiksynchronen Feuerwerken muss man vom geplanten Effektzeitpunkt (Öffnen der Bombe am Himmel) zurückrechnen zum Zündzeitpunkt (Abschuss).

Es ist physikalisch nicht möglich, daß sowohl der Knall (Zerlegerknall, Abschusknall?) als auch der Lichteffect synchron zur Musik erfolgen. Man entscheidet sich für den Lichteffect. Es gibt aber auch das Problem, daß die Musik auf großen Plätzen je nach Standort nicht ganz gleichzeitig gehört wird. Feuertöpfe und Kometen haben einen relativ kleinen Knall. Oft ist aber auch bei "Pyromusicals" nur ein kleiner Teil der Effekte genau synchronisiert. Es kommt mehr darauf an, die Stimmung der Musik und besonders Stimmungswechsel aufzunehmen.

Nutzen der Informatik (2)

- Feuerwerke sind relativ teuer, und oft gleichzeitig Premiere und Abschiedsvorstellung.

Man kann die Wirkung vorher also nicht testen, obwohl man mit der Zeit natürlich Erfahrung gewinnt.

- Deswegen ist eine Simulation vorher nützlich.

Stand der Technik: Viele bewegte, leuchtende Partikel in 3D.

- Virtuelle Feuerwerke auch als Spiel: fwsim

[<http://www.fwsim.com/de/index.html>]. Kostet momentan 24.95 €.

- Oft gibt es Videos der Artikel im Internet.

Leider ist mir keine Software bekannt, die Videos passend zu kombinieren. Würde echter aussehen als Simulation.

Nutzen der Informatik (3)

- Ich benötige für die Planung eines Musikfeuerwerks eher mehr als einen Tag pro Minute Dauer.
- Gute Software könnte das beschleunigen.
- Z.B. muss man oft genau den Schlag in der Musik finden, auf den man einen Effekt setzen möchte.
- Übliche Lösung: Musik läuft mit Anzeige der Lautstärkekurve, man drückt Taste, klickt, oder merkt sich die angezeigte Zeit.
- Nun soll es aber genau passen (± 5 ms), und das ist nicht immer der lauteste Punkt.

Nutzen der Informatik (4)

- Es wäre schön, wenn ich den Punkt nur ungefähr markieren müsste, und es dann automatisch auf den nächsten Schlag in der Musik “einrastet”.
- Es gibt hierzu Forschung zu “Onset-Detection”.
- Für Pop-Musik funktioniert das recht gut (z.B. automatische Bestimmung der “Beats per Minute”).
- Für klassische Musik bisher nicht, weil die Temposchwankungen zu groß sind.

Ich brauche aber nicht alle Takte zu erkennen, sondern nur besondere Betonungen. Vielleicht geht das doch.

Nutzen der Informatik (5)

- Vermutlich ist die Planung eines Feuerwerks
 - ◇ 20% Inspiration und
 - ◇ 80% Arbeit (wie viele Kunst).
- Es wäre schön, wenn die Planungssoftware aus der Datenbank der vorhanden Artikel Vorschläge erarbeiten könnte, wie Lücken in einem Entwurf zu füllen wären.

Dazu müsste man nur exakt aufschreiben, was die Anforderungen an gewünschten Lösungen wären. Im Bereich des “Constraint Logic Programming” gibt es Verfahren, um Lösungen zu finden, die bestimmte Bedingungen erfüllen (z.B. Stundenplan-Probleme).

Inhalt

1. Ablauf eines Großfeuerwerks
2. Planungs-Software, Datenbanken
3. Musik-synchrones Feuerwerk, Simulation (kurz)
4. Microcontroller, Zündanlagen (ganz kurz)
5. Sicherheitstipps für Silvester

Zündanlagen (1)

- Grundsätzlich einfach:
 - ◇ Es gibt viele Paare von Anschlussklemmen (Zündkreise, Kanäle).

Bei großen Musikfeuerwerken können das durchaus 1000 sein, natürlich aufgeteilt über viele Anschlußkästen.
 - ◇ Zu programmierten Zeitpunkten muss für eine kurze Zeit (10ms) ein Strom von minimal 0.6 A (besser 1–2 A) durch einen Zündkreis fließen.
 - ◇ Der Widerstand eines Elektroanzünder sind etwa 0.8–2 Ω (Anzünder vom Typ "A").

Es werden aber Serienschaltungen mehrerer Anzünder gebaut, und der Widerstand der Zuleitungskabel ist nicht zu vernachlässigen.

Zündanlagen (2)

- Wenn das Feuerwerk aufgebaut ist, muss es einen Test der Zündkreise geben, minimal auf Durchgang, besser eine Widerstandsmessung.

Ein A-Anzünder darf bei 180 mA in 5min nicht zünden. Reale Testströme liegen bei wenigen mA.

- Oft bestehen Zündanlagen aus mehreren Einheiten, die über Funk verbunden sind.

Ein sicheres Funk-Protokoll, bei dem nicht fremde Personen eine vorzeitige Zündung auslösen können, ist eine wichtige Anwendung der Informatik. Zündanlagen unterscheiden sich auch darin, ob sie eine bidirektionale Kommunikation erlauben, ob man also am "Master" die Widerstandswerte der "Slaves" sehen kann.

Zündanlagen (3)

- Eingriffsmöglichkeiten während des Feuerwerks z.B.:
 - ◇ Stop/Pause
 - ◇ Ersatzeffekt zünden
 - ◇ nächsten Effekt vorzeitig zünden oder verzögern
 - ◇ Effekte überspringen oder Effektgruppe sperren
 - Z.B. bei plötzlich aufkommendem Wind keine tiefziehenden Effekte. Oder Teile des Abbrennplatzes sperren bei besonderen Vorkommnissen.
- Überblick, welche Zündkreise durch Ereignisse wie ungeplante “Bodenbomben” unterbrochen wurden.
 - Das Publikum applaudiert meist bei solchen “Spezialeffekten”.

Zündanlagen-Projekt (1)

- Dr. Gabrisch und ich arbeiten schon seit einiger Zeit an einer eigenen Zündanlage.
- Microcontroller (ATtiny44, 2.70€) pro Kanal.
 - 4 KByte Flash-Speicher für Programm, 256 Byte EEPROM für Daten, 256 Byte RAM, 12 programmierbare I/O Pins, 10 bit Analog-Digital-Wandler, 2 Timer. Programmierung in C oder Assembler.
 - Größere solche AVR-Microcontroller in der Hobby-Plattform Arduino.
- Modularer Aufbau: Viele 1-Kanal Zündeinheiten, wenige Steuereinheiten, eine Benutzersteuerung.
- Benutzersteuerung aktuell mit Nano PI Neo Air (Linux-Computer mit WLAN für ca. 35€).

Zündanlagen-Projekt (2)

- Sicherheit durch Hardware/Software-Kombination:
 - ◇ Der Strom am Bus ist so begrenzt, dass er einen Elektroanzünder nicht direkt zünden kann.
 - ◇ Zündenergie wird in Kondensator gesammelt.

Das erfordert etwas Zeit. Microcontroller könnte noch reagieren.
 - ◇ Im Test-Modus gibt es eine niedrigere Spannung, der Kondensator kann sich durch eine in Reihe geschaltete Zenerdiode nicht aufladen.
 - ◇ Im “Scharf” Modus eine höhere Spannung.
 - ◇ Zur Zündung müssen zwei MOS-FETs richtig geschaltet sein.

Inhalt

1. Ablauf eines Großfeuerwerks
2. Planungs-Software, Datenbanken
3. Musik-synchrones Feuerwerk, Simulation (kurz)
4. Microcontroller, Zündanlagen (ganz kurz)
5. Sicherheitstipps für Silvester

Wichtige Warnungen

- Bauen Sie Feuerwerkskörper nicht selbst, verwenden Sie Feuerwerkskörper nur bestimmungsgemäß.

Wenn man Chemikalien mischt, muss man genau wissen, was man tut: Es gibt Sätze, die spontan explodieren.

- Verwenden Sie nur Feuerwerkskörper, die Sie in Deutschland legal verwenden dürfen.

Mit CE, Kat. F1/F2/T1, Identifikationsnummer z.B. 0589-F2-0001. Es gibt in Deutschland zu Silvester Feuerwerksbatterien mit $\geq 500\text{g}$ Satzgewicht, Verbände noch größer. Auch Elektroanzünder sind für Nicht-Profis erhältlich. Man braucht also kein illegales Feuerwerk.

- Auch legales Feuerwerk ist kein harmloses Spielzeug: Ein gewisser Respekt ist angebracht.

Sicherheitstipps (1)

- Feuerwerksartikel sind kein Spielzeug, man sollte sie mit etwas Respekt und Vorsicht verwenden.

Es gibt immer wieder schwere Unfälle, meist wegen eklatanter Mißachtung simpler Sicherheitsregeln.

- Man lese die Anleitung schon bei Tageslicht.

Insbesondere informiere man sich, wo oben und unten ist. Bei Feuerwerksbatterien ist die Züandschnur meistens unten, bei römischen Lichtern oben.

- Alkohol und Feuerwerksartikel vertragen sich nicht.

Großer Stress, wilde Parties, etc. können ähnliche Wirkung haben: Man kann die Gefahren nicht mehr richtig einschätzen.

Sicherheitstipps (2)

- Kinder müssen unbedingt überwacht werden.
- Man trage Kleidung aus Baumwolle oder Leder.
Keine Synthetik. Die kann schmelzen und mit der Haut verkleben.
- Schutzbrille, Ohrstöpsel und ggf. Helm führen vermutlich zu Gelächter, sind aber durchaus sinnvoll.
Es ist Ihre Gesundheit. Selbst bei vorübergehenden Gehörproblemen ist die Stimmung im Eimer. Bei Ohrgeräuschen und Taubheit muss man noch in der Nacht ins Krankenhaus.
- Man besorge sich ein Sturmfeuerzeug, Begalhölzer oder Zündlichter.
Elektrische Zündung wäre sicherer (nicht billig, erfordert Wissen).

Sicherheitstipps (3)

- Man achte auf ausreichend Platz.

Man kann keine gefächerten Batterien in engen Schluchten zwischen hohen Häusern abbrennen. Autos in der Nähe können Lackschäden durch Funken bekommen. In der Nähe von Fachwerkhäusern, Reedgedeckten Häusern, Tankstellen, Krankenhäusern etc. ist Feuerwerk verboten.

- Man schließe die Fenster.

- Zuschauer sollten weit genug entfernt sein.

Bei Feuerwerksbatterien kommt es gelegentlich vor, dass ein Rohr zu wenig Treibladung hat, oder die Bombette hoch gerutscht ist: Sie hüpfert dann aus dem Rohr und platzt am Boden. Wegdrehen! Es fällt auch immer Asche oder Pappstückchen sowie Tonpfropfen herunter, bei Raketen die ganze Rakete mit dem Stab: Wer da nach oben schaut, sollte wirklich eine Schutzbrille oder Glück haben.

Sicherheitstipps (4)

- Feuerwerksbatterien brauchen eine ebene, feste Unterlage.

Z.B. nicht im Schnee: Der erste Schuss einer Fächerbatterie drückt die Seite in den Schnee ein, danach schießt sie schräg in Richtung Publikum.

- Feuerwerksbatterien müssen gegen Umfallen gesichert werden.

Z.B. auf Brett befestigen. Schwere Steine daneben legen.

- Bei gefächerten Batterien achte man darauf, welche Seite zum Publikum ausgerichtet sein soll.

Sicherheitstipps (5)

- Raketen aus Rohren oder Flaschen abschiessen, die gegen Umfallen gesichert sind. Senkrecht (max. 5°)!

Auf gar keinen Fall aus der Hand: Der Feuerstrahl ist sehr heiß und enthält kleine glühende Teilchen, das ergibt üble Verbrennungen. Auch nicht einfach in die Erde drücken: Die Rakete wird wahrscheinlich nicht starten und am Boden platzen. Auch nicht schräg vom Balkon!

- Man verwende nur legales Feuerwerk.

Für Großfeuerwerksartikel braucht man eine Ausbildung: Z.B. lange Züandschnur suggeriert Sicherheit, aber gedeckte Stoppine schlägt im Millisekundenbereich durch! Großfeuerwerker brauchen keine Verzögerungen, weil sie elektrisch zünden.

- Konsequenzen bedenken, z.B. nicht Knaller in Glasflaschen zünden.

Sicherheitstipps (6)

- Man zünde mit langem Arm und halte keine Körperteile über die Abschussrohre.

Beim Zünden nicht in der Hand halten! Nach der Zündung entferne man sich sofort. Der Abschussknall kann aus nächster Nähe sehr ungesund für das Gehör sein. Außerdem sind Rohrkrepiere denkbar (Bombette platzt im Rohr, dabei wird das Rohr aufreißen — im schlechtesten Fall zerlegt sich die Batterie und feuert weiter).

- Bei Versagern halte man ausreichend lange Abstand (ca. 10–30 min) wegen möglichen Spätzündern.

Auch dann halte man keineswegs den Kopf über ein Rohr (man denke dabei auch an geneigte Rohre bei gefächerten Batterien — dann ist seitlich auch gefährlich). Die meisten Feuerwerksbatterien haben eine Ersatzanzündung.

Sicherheitstipps (7)

- Man trage keine Vorräte am Körper.

Die Knaller sollen ja nicht in der Hosentasche losgehen.

- Karton mit Vorräten gegen Funkenflug abdecken.

Den Züandschnurschutz vorher schon zu entfernen, würde später das Abbrennen zwar beschleunigen, widerspricht aber völlig dem Zweck. Man kann vorher natürlich testen, ob sich die Kappen über der Züandschnur bei Raketen lösen lassen, und sie dann wieder aufsetzen. Ein Cuttermesser ist ggf. für andere Arten des Züandschnurschutzes nützlich. Falls man den Züandschnurschutz vorher entfernt hat, kann man die Züandschnur mit Alufolie schützen.

- Man halte sich fern von Menschenmassen, in denen wild Feuerwerksartikel gezündet werden.

Sicherheitstipps (8)

- Man halte einen Eimer Wasser und einen Feuerlöscher bereit.
- Es kommt vor, dass Feuerwerksbatterien oder andere Artikel nach dem Abbrand weiter glimmen und mit einiger Verzögerung anfangen zu brennen.

Die Feuerwerksbatterien sind ja hauptsächlich aus Pappe. Sie dürfen aber eigentlich nicht nachbrennen. Man kontrolliere die Überreste nach ca. 15 Minuten noch einmal und übergieße sie ggf. mit Wasser. Auf gar keinen Fall nehme man abgebrannte Batterien sofort mit nach drinnen und lasse sie dort ohne Kontrolle liegen.

- Eine Stirnlampe ist nützlich.

Noch ein kurzer Werbespot

- Auch zur Langen Nacht 2018 am 6. Juli ist ein Feuerwerk in Vorbereitung (Beginn 22:45, ca. 10min).

Campus Heide Süd, Haltestelle Straßburger Weg, beste Sicht von Parkplatz zwischen Von-Seckendorff- und Von-Danckelmann-Platz.

- Informatik ist ein spannendes Studienfach mit vielen Anwendungen und guten Berufsaussichten.

Man sollte aber mit Mathematik nicht auf Kriegsfuß stehen, und sich auch in Maschinen hineindenken können.

- Im Wintersemester halte ich u.a. “Objektorientierte Programmierung” (Java) und “Einführung in Datenbanken”. Sie können gerne kommen.

Dank

- An die Fotografen:
 - ◇ Prof. Dr. Krause-Rehberg (3, 4, 14, 18, 19, 28)
 - ◇ Martin Michael Koch (9, 10, 13, 20, 21, 22, 25, 26, 29, 30, 31, 53)
 - ◇ Dr. Henning Thielemann (8)
 - ◇ Noriko Zhang (2)
- An die Feuerwerksfirmen: Big Zanders Feuerwerke, FireFashion, Gravenhorst Feuerwerke.
- An die Sponsoren der Langen Nacht.
- An die Mitarbeiter beim Aufbau.
- An die Freiwillige Feuerwehr Dölau.

Zusammenfassung

- Feuerwerk kann Kunst sein.
- Die Planung eines Feuerwerks (insbesondere musik-synchron) ist ein großer Aufwand.
- Gute Planungssoftware kann die Arbeit verringern und helfen, Fehler zu vermeiden.
- Es müssen viele Dokumente/Ansichten aus einer zentralen Datenbasis erstellt werden.
- Wissen über Gefahren und Sicherheitsmaßnahmen kann lebenswichtig sein (auch für Silvester-Feuerwerker).