

IT in der Feuerwerksplanung und -Durchführung

Stefan Brass

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

(Professor für Informatik, Certified Oracle8 DBA,

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

Zur Klärung vorweg (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.

Zur Klärung vorweg (2)

- Einige Daten:
 - ◇ Heute abend werden Bomben bis 100mm Durchmesser geschossen (und 3 Stück 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 Effekttyp ab, und könnte bis etwa 60m betragen.
 - ◇ Das Bruttogewicht beträgt z.B. 400g, die Netto-Explosivstoffmasse (Pulvergewicht) 200g.

Zur Klärung vorweg (3)

- Zur Sicherheit:

- ◇ Als Sicherheitsabstand sind 80% der Steighöhe vorgeschrieben, wenn die Bombe keinen Blitzknallsatz enthält, sonst 100%.

(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 Rohrkrepiern kommen kann, sind Stahlrohre wegen der Splitter eine zu große Gefahr. Sie sind nur für ganz große/schwere Bomben nötig.

Zur Klärung vorweg (4)

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

Das Feuer wird dann über schwarzpulvergetränkte Fäden in einem Papierschlauch ("gedeckte Stoppine") weitergeleitet zur Treibladung (im Millisekundenbereich). Die Explosion der Treibladung (Schwarzpulver) entzündet dann den Verzögerungszünder.
 - ◇ Dadurch ist auch der Feuerwerker nicht im unmittelbaren Gefahrenbereich (Rohrkrepieler).

Zur Klärung vorweg (5)

- Da die elektrische Zündung jeder Bombe einzeln zu aufwändig wäre, werden oft Bombenstränge aus z.B. 5 Bomben mit einem Verzögerungszünder dazwischen verwendet.

Außerdem gibt es fertige Feuerwerksbatterien mit vielen Bombetten oder Kometensternen von kleinem Kaliber (z.B. 30mm), die nur einmal elektrisch gezündet werden, und dann z.B. 100 Schuss in z.B. 30s abgeben.

- Heute abend: 85 Zeitpunkte, zu denen ein Effekt elektrisch gezündet wird, oft aber mehrere gleichzeitig, deswegen ca. 130 Elektroanzünder.

Feuerwerk heute abend

- Beginn ca. 22:30, Dauer: 7min, eingesetzte Artikel:
 - ◇ 111 Feuerwerksbomben Kaliber 75–125mm
Außerdem 32 Stück Kaliber 60mm und 5 Stück Kaliber 65mm.
 - ◇ 5 Kometensterne Kaliber 60mm
Außerdem 32 “Single Shots” 45mm (Kometen und Feuertöpfe),
27 Kometensterne 24mm, 5 römische Lichter 38mm.
 - ◇ 24 Feuertöpfe Kaliber 75mm und 125mm
 - ◇ 10 Bengaltöpfe
 - ◇ 10 Vulkane (Brenndauer 60s, Höhe 6–8m)
 - ◇ 9 Feuerwerksbatterien und 4 “Single Rows” .
 - ◇ 4 Sonnen

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.

Daten von Feuerwerksartikeln

- Bezeichnung
- Anbieter, Bestellnummer, Preis
- Lagerbestand
- Brenndauer (ggf. minimal, maximal)
- Dauer von Zündung bis zur Entfaltung am Himmel
- Sicherheitsabstand (Steighöhe, Kaliber)
- Gefahrgutklasse, Netto-Explosivstoffmasse

Daten eines Abbrennplans

- Basisdaten des Feuerwerks (Ort, Datum, Budget)
- Folge von Punkten:
 - ◇ Nummer
 - ◇ Effektzeit
 - ◇ Artikel (eventuell auch mehrere verschiedene)
 - ◇ Anzahl der Einzelartikel, pyrotechnische Verzögerung zwischen den Artikeln
 - Eventuell auch mehrere unabhängige Artikelfolgen (Bombenstränge) gleichzeitig.
 - ◇ Position(en) auf dem Abbrennplatz

Nutzen der Informatik (1)

- Lagerhaltung, Buchführung, ...
- Prüfung und Auswertung des Abbrennplans:
 - ◇ Wie viele Rohre von welchem Typ müssen mitgenommen werden?
 - ◇ Gibt es Lücken (es ist peinlich, wenn es längere dunkle Pausen im Feuerwerk gibt).
 - ◇ Zuordnung von Anschlusskästen der Zündanlage, Kanälen.
 - ◇ Erstellung eines Plans, der die Aufstellung der Rohre und Zuordnung der Bombenstränge zeigt.

Nutzen der Informatik (2)

- 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 (3)

- 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.

Es gibt auch Computerspiele, in denen man sich virtuell als Feuerwerker betätigen kann. Professionelle Programme sind dagegen teuer.

- Die Anbieter der Artikel haben zum Teil auch Videos im Internet.

Man kann auch ohne teure Spezialprogramme Video(s) und Musik gleichzeitig abspielen, um sich einen Eindruck zu verschaffen.

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. Unser Feuerwerk hat 85 Zündkreise. "Stepper-Effekte", bei denen z.B. ein Kometenfächer mit 0.3s Abstand zwischen den Rohren gezündet wird, brauchen viele Kanäle.
 - ◇ Zu programmierbaren Zeitpunkten muß für eine kurze Zeit (10ms) ein relativ kräftiger Strom (minimal 0.6A, besser 1–2A) durch ein bestimmten Zündkreis fließen.

Zündanlagen (2)

- Daten der Elektroanzünder:
 - ◇ Der Widerstand eines Elektroanzünders sind etwa $0.8\text{--}2\ \Omega$ (Anzünder vom Typ "A").
 - ◇ Es werden allerdings Serienschaltungen mehrerer Anzünder gebaut, und der Widerstand der Zuleitungskabel ist nicht zu vernachlässigen.

Serienschaltungen sind für die gleichzeitige Zündung mehrerer Effekte recht zuverlässig, da es eine kurze Zeitspanne gibt zwischen ausreichend Wärmeenergie im Zünder und der eigentlichen Zündung, die den Kreis unterbrechen kann.

- ◇ Unsere Anlage hat $20\ \text{V}$ Zündspannung.

Zündanlagen (3)

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

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 (4)

- Eingriffsmöglichkeiten während des Feuerwerks z.B.:
 - ◇ 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”.

Unsere Zündanlage (1)

- Prototyp, noch in Entwicklung
- Viele Gedanken in Sicherheit investiert
- Bedienmöglichkeiten über weitere Programmierung erweiterbar (Herzstück: Mini 2440 "FriendlyARM" Rechner mit Touchscreen unter Linux) (ca. 120€).
- Microcontroller (ATtiny44, 1.80€) pro Zündeinheit (d.h. pro Anschlussklemmenpaar).

Kommunikation mit Steuereinheit über eigenen Bus (s.u.).

- Microcontroller (ATMega1284P) in Steuereinheit.

Kommunikation mit Linux-Rechner über serielle Schnittstelle.

Unsere Zündanlage (2)

- **Sicherheit:** Es darf auf keinen Fall eine unbeabsichtigte Zündung während des Aufbaus erfolgen:
 - ◇ Unsere Zündmodule (mit den Anschlussklemmen) haben keine eigene Stromversorgung.
 - ◇ Der Strom auf dem Bus zwischen Zündmodulen und Steuereinheit reicht nicht zur Zündung.
 - ◇ Zündenergie wird in einem Kondensator gesammelt, geht nur, wenn auf dem Bus eine höhere Spannung als im Testbetrieb anliegt.
 - ◇ Software-Überwachung (Kurzschluss des Kondensators, Spannungsmessung am Kondensator)

Unsere Zündanlage (3)

- **Bus:** Kommunikation zwischen Steuereinheit und Zündeinheiten
 - ◇ Über normalen Verschleißdraht (2-adrig, üblich in der Feuerwerkerei)
 - ◇ Steuereinheit an Zündeinheit (u.a.): Zündzeit, aktuelle Zeit, Laden, Feuerwerk starten
 - ◇ Zündeinheit an Steuereinheit (u.a.): Widerstand des Zündkreises, Spannung am Kondensator, aktueller Zustand

Warnungen zum Schluß

- 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 (BAM-geprüft).
- Auch legales Feuerwerk ist kein harmloses Spielzeug: Ein gewisser Respekt ist angebracht.
- Die positive Seite: Inzwischen gibt es in Deutschland zu Silvester Feuerwerksbatterien mit $\geq 500\text{g}$ Satzgewicht. Auch Elektroanzünder sind erhältlich.