



## Problemstellung



Warenverkehr bei einer Aufbausimulation (alle Bilder Pixabay-Lizenz - kein Nachweis notwendig)

Bei einem Aufbausimulationsspiel kann man verschiedene Gebäude bauen. Jedes Gebäude produziert eine bestimmte Ware. Damit das Gebäude arbeiten kann, benötigt es bestimmte Waren:

Die Minen müssen mit Essen versorgt werden, das entweder Fleisch vom Metzger oder Brot vom Bäcker sein kann. Sie produzieren Kohle bzw. Eisenerz. Die Eisenschmelze stellt daraus das vom Werkzeugmacher benötigte Eisen her. Der Werkzeugmacher heizt seine Schmiede mit Kohle und erzeugt aus dem Eisen Sensen für die Getreidefarm, Fleischermesser für den Metzger und Pickel für die Minen. Mit dem Getreide der Farm werden die Schweine gefüttert und in der Mühle das Mehl für den Bäcker gemahlen. Die Schweine werden vom Metzger geschlachtet.

Diese Abhängigkeiten machen es schwer zu entscheiden, in welcher Reihenfolge man die Gebäude bauen sollte, damit sie nicht ungenutzt herumstehen.

1. Gib (wenn möglich) eine sinnvolle Baureihenfolge der Gebäude an.

*Es ist nicht möglich eine gute Reihenfolge zu finden, da kein Gebäude anfangen kann zu produzieren, da immer irgendeine Voraussetzung fehlt.*



## Modellierung

Die Problematik der gegenseitigen Abhängigkeiten tritt in vielen Situationen auf. Daher sollte es möglich sein, automatisch mit einem Algorithmus zu entscheiden, ob überhaupt eine sinnvolle Reihenfolge gefunden werden kann und wenn ja welche. Diese Reihenfolge nennt man topologische Sortierung. Dazu soll die Ausgangssituation zunächst als gerichteter Graph modelliert werden.

2. Entscheide, welche der folgenden Informationen wichtig für die Festlegung der Reihenfolge sind:

- Name der Gebäude
- Welchen Rohstoff produzieren die Gebäude?
- Welchen Rohstoff benötigen die Gebäude?
- Welches Gebäude produziert den benötigten Rohstoff für ein Gebäude?
- Anzahl der Gebäude

*Man braucht nur die Information, welches Gebäude den benötigten Rohstoff produziert. Die Art des Rohstoffs ist dabei egal.*

### Modellierung

Knoten:

*Die Knoten repräsentieren die verschiedenen Gebäude.*

Kanten:

*Zwei Knoten sind durch Kanten verbunden, wenn eine Abhängigkeit zwischen den Gebäuden besteht. Dabei gibt die Richtung der Kante die Richtung der Abhängigkeit wieder.*

### Topologische Sortierung

*Geben ist ein Graph.*

*Existenz:*

*Gibt es eine Abfolge der Knoten des Graphen, so dass für jede Kante  $k$  gilt: Wenn  $k$  von  $A$  nach  $B$  geht, dann steht  $A$  vor  $B$  in der Abfolge.*

*Bestimmung der Reihenfolge:*

*Gib eine Abfolge der Knoten des Graphen an, so dass für jede Kante  $k$  gilt: Wenn  $k$  von  $A$  nach  $B$  geht, dann steht  $A$  vor  $B$  in der Abfolge.*



## Weiterführende Fragen

Im Computerspiel gibt es zwei Möglichkeiten, Verklemmungen zu lösen.

- Weitere Gebäude werden eingeführt: z.B. eine Fischerhütte, die ohne Voraussetzung Essen (Fisch) produziert.
- Man erhält eine Anzahl von Anfangsgegenständen, mit denen man die Produktion in Gang bringen kann: z.B. 20 Pickel.

### Aufgaben

3. *Gib an, welche Kanten des ursprünglichen Graphen (zumindest vorübergehend) entfernt werden können, wenn man die Fischerhütte hinzufügt und 20 Pickel zur Verfügung stehen. Zeige, dass so die Verklemmung gelöst wird und eine topologische Sortierung nun möglich ist.*



4. *Analysiere, welche Gegenstände am Spielanfang zur Verfügung gestellt werden könnten, um die Verklemmung ohne ein neues Gebäude zu lösen.*

*Es könnte z.B. eine Ration Essen oder Kohle und Eisen bereitstehen. Auch andere Lösungen sind denkbar. Meist sind in echten Spielen Werkzeuge, Baumaterial und Essen vorhanden.*

5. *Entscheide, ob man den Algorithmus für die topologische Sortierung auch auf einen ungerichteten Graph anwenden kann.*

*Nein, da dann nicht mehr klar ist, in welcher Richtung die Kante zu lesen ist. Schon bei einer einzigen Kante würde eine Verklemmung auftreten, da keiner der angrenzenden Knoten als erstes abgearbeitet werden dürfte.*

6. *Analysiere, unter welcher Voraussetzung es nicht möglich ist, eine topologische Sortierung zu finden.*

*Sobald der Graph einen Zyklus hat, findet man keine topologische Sortierung.*



## Beschreibung des Algorithmus, um eine topologische Sortierung zu bestimmen

Bei jedem Knoten wird als Wert die Anzahl der eingehenden Kanten (Eingangsgrad) eingetragen. Das ist die Anzahl der noch unerfüllten Voraussetzungen.

Danach wiederholt man folgendes:

- Suche einen noch unmarkierten Knoten, der den Wert 0 hat (= alle Voraussetzungen sind erfüllt). Füge diesen der topologischen Sortierung hinzu und markiere ihn als bearbeitet. Reduziere den Wert aller Knoten um 1, zu denen eine Kante vom aktuellen Knoten führt.
- Gibt es keinen Knoten mit dem Wert 0 und es sind noch nicht alle Knoten abgearbeitet, dann ist es nicht möglich, eine topologische Sortierung zu finden.



## Pseudocode des Algorithmus, um eine topologische Sortierung zu bestimmen

### Topologische Sortierung:

Für jeden Knoten  $k$  des Graphen:

    setze den Wert des Knoten auf seinen Eingangsgrad

Setze `topologische_Sortierung` auf leer

Wiederhole solange es einen unmarkierten Knoten mit Wert 0 gibt

    Nimm einen unmarkierten Knoten  $k$  mit Wert 0

    Markiere  $k$

    Füge  $k$  der `topologische_Sortierung` hinzu

    Für jeden Nachbarknoten  $n$  von  $k$ :

        reduziere den Wert des Knoten  $n$  um 1

Ende Wiederhole

Falls noch unmarkierte Knoten übrig sind:

    => es gibt keine topologische Sortierung

sonst:

    => `topologische_Sortierung` ist gefunden



## Quelltext des Algorithmus, um eine topologische Sortierung zu finden

```
if (g.getAnzahlKnoten()==0) {
    return;
}

ArrayList<Knoten> knoten = g.getAlleKnoten();
for(Knoten k: knoten) {
    k.setWert(g.getEingehendeKanten(k).size());
}

String reihenfolge = "";

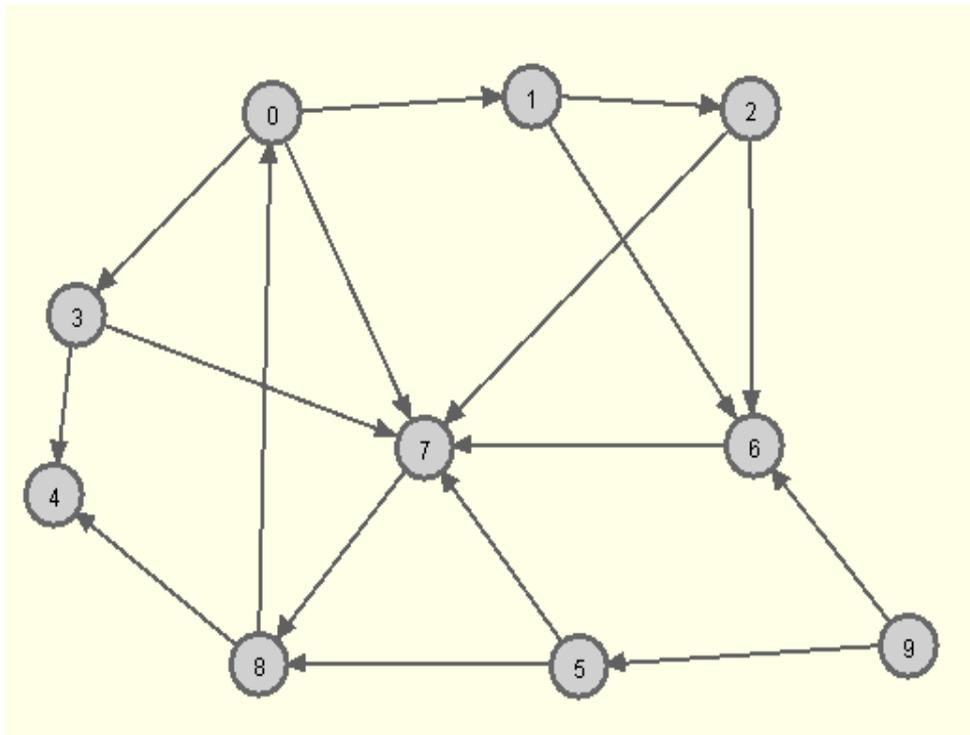
while(knoten.size()>0) {
    Collections.sort(knoten);
    Knoten k = knoten.get(0);
    k.setMarkiert(true);

    if(k.getIntWert() != 0) {
        melde("Fehler: Wert ist nicht 0 - Zyklus vorhanden");
        return;
    } else {
        reihenfolge += " "+g.getKnoteninfo(k, false);
        knoten.remove(k);
        for(Knoten k2 : g.getNachbarKnoten(k)) {
            k2.setWert(k2.getIntWert()-1);
        }
    }
}

melde("Topologische Sortierung: "+reihenfolge);
```



### Beispiel 1



### Beispiel 2

