

Stadtteilschule Walddörfer

Fach: Seminar

Tutor: Frau Dr. Schmidt

Bibertomograph

44. Bundeswettbewerb Informatik 2025/26 – 1. Runde
Aufgabe 4

Leitfrage: Wie können aus Sichtlinien-Summen die ursprünglichen Figuren rekonstruiert werden?

Abgabedatum: 8.12.2025

Name: Jakob Allweiss

Profil: Zukunftstechnologien

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabe Bibertomograph	1
1.1 Fragestellung	1
1.2 Lösungsidee	2
2 Theoretische Grundlagen	2
2.1 Constraint Satisfaction Problems	2
2.2 Backtracking	2
2.3 Constraint Propagation	3
2.4 Verwendete Java-Konzepte	3
3 Programmstruktur	3
3.1 Übersicht der Klassen	4
3.2 Main.java – Hauptprogramm	4
3.3 Grid.java – Das Raster	5
4 Der Solver-Algorithmus	6
4.1 Die Heatmap-Heuristik	6
4.2 Backtracking mit Heuristik	7
4.3 Constraint Propagation	8
4.4 Forward Checking	9
5 Eingabe und Ausgabe	10
5.1 Eingabeformat	10
5.2 Ausgabeformat	11
5.3 Ausführung	11
6 Beispiele aus dem Wettbewerb	11
6.1 Erläuterung der Beispiele	12
7 Laufzeit und Performance	12
7.1 Theoretische Komplexität	12
7.2 Praktische Messungen	12
7.3 Warum ist der Solver so schnell?	13
8 Fazit und Ausblick	13
8.1 Was funktioniert gut?	13
8.2 Was war schwierig?	13
8.3 Mögliche Verbesserungen	14

9 Quellcode	14
9.1 Constraints.java – Vollständig	14
9.2 Grid.java – toString Methode	15
10 Arbeitsprozessbericht	15
11 Quellenverzeichnis	16
Eidesstattliche Erklärung	17

1 Aufgabe Bibertomograph

Diese Ausarbeitung beschäftigt sich mit der Aufgabe „Bibertomograph“ aus dem 44. Bundeswettbewerb Informatik (2025/26) und entstand im Rahmen des Seminars im Zeitraum vom 6.10.2025 bis zum 8.12.2025.

1.1 Fragestellung

Die originale Aufgabenstellung des Wettbewerbs lautet:

„Bei den jährlichen Biberland-Games werden in einer Disziplin aus der Luft sichtbare Figuren auf einer gerasterten Fläche gestaltet. Ein Rasterfeld kann dabei entweder mit Holzspänen gefüllt sein oder nicht. Die Fläche wird vor der Jurywertung den Blicken der neugierigen Biberazzi durch einen Bretterzaun entzogen. Biberazzo Azze hat nun festgestellt, dass er durch kleine Lücken im Zaun senkrecht und diagonal über die Fläche schauen kann und aufgrund der Helligkeit erahnt, wie viele gefüllte Felder auf seiner jeweiligen Sichtlinie liegen. Azze will unbedingt möglichst viele Figuren bereits vorher herausfinden und versucht, durch logische Schlussfolgerungen und Ausprobieren die korrekten Figuren zu rekonstruieren. [...] Hilf Azze mit einem Programm, das für eine beliebige $n \times n$ -Fläche die Summen einliest und daraufhin eine dazu passende Figur ausgibt. Falls sie nicht die einzige mögliche ist, sollte das Programm in der Figur die nicht eindeutigen Felder durch Fragezeichen kennzeichnen.“ [1]

Bei der Aufgabe geht es also um die Rekonstruktion einer Figur aus ihren Randsummen – wie viele gefüllte Felder auf jeder horizontalen, vertikalen und diagonalen Sichtlinie liegen.

Gegeben ist ein $n \times n$ Raster, wobei jede Zelle entweder gefüllt (#) oder leer (.) sein kann. Vom ursprünglichen Bild sind nur die Summen bekannt:

- Die **Spaltensummen**: Wie viele Zellen pro Spalte gefüllt sind
- Die **Zeilensummen**: Wie viele Zellen pro Zeile gefüllt sind
- Die **Hauptdiagonalen** (von links-oben nach rechts-unten): Summen entlang der \text{\diagdown}-Diagonalen
- Die **Nebendiagonalen** (von links-unten nach rechts-oben): Summen entlang der \text{\diagup}-Diagonalen

Die Aufgabe besteht darin, aus diesen Informationen das ursprüngliche Bild zu rekonstruieren. Dabei soll das Programm erkennen, ob es genau eine Lösung, mehrere Lösungen oder keine Lösung gibt.

1.2 Lösungsidee

Mein erster Gedanke war, das Problem als eine Art Sudoku zu betrachten. Wie beim Sudoku hat man Einschränkungen (Constraints), die erfüllt werden müssen. Der Unterschied ist, dass wir hier nur zwei mögliche Werte pro Zelle haben (0 oder 1), dafür aber vier verschiedene Richtungen berücksichtigen müssen.

Ich habe mich für einen Backtracking-Ansatz mit Heuristiken entschieden. Das bedeutet, dass ich systematisch Werte ausprobieren und bei Widersprüchen zurückgehe. Um das Ganze effizienter zu machen, verwende ich zwei Techniken:

1. **Constraint Propagation:** Wenn eine Zeile oder Diagonale schon voll ist oder noch alle verbleibenden Zellen gefüllt werden müssen, setze ich diese automatisch.
2. **Heatmap-Heuristik:** Ich berechne für jede Zelle, wie wahrscheinlich sie gefüllt ist, und wähle die Zellen clever aus.

2 Theoretische Grundlagen

Bevor ich mit der eigentlichen Implementierung beginne, möchte ich einige theoretische Konzepte erklären, die für das Verständnis meiner Lösung wichtig sind.

2.1 Constraint Satisfaction Problems

Das Bibertomograph-Problem gehört zur Klasse der *Constraint Satisfaction Problems* (CSP). Ein CSP besteht aus:

- Einer Menge von **Variablen** (hier: die n^2 Zellen des Rasters)
- Einer **Domäne** für jede Variable (hier: $\{0, 1\}$ für leer oder gefüllt)
- Einer Menge von **Constraints** (hier: die Summen für jede Zeile, Spalte und Diagonale)

Eine Lösung ist eine Belegung aller Variablen, sodass alle Constraints erfüllt sind.

2.2 Backtracking

Backtracking ist ein Algorithmus, der systematisch alle möglichen Belegungen durchprobiert. Er funktioniert rekursiv:

1. Wähle eine nicht zugewiesene Variable
2. Probiere einen Wert aus der Domäne
3. Prüfe, ob alle Constraints noch erfüllbar sind

4. Wenn ja: Gehe rekursiv zum nächsten Schritt
5. Wenn nein: Probiere den nächsten Wert (Backtrack)

Das Problem bei naivem Backtracking ist die Laufzeit. Bei einem 8×8 Raster gäbe es theoretisch 2^{64} mögliche Belegungen. Deshalb sind Optimierungen wichtig.

2.3 Constraint Propagation

Constraint Propagation ist eine Technik, um den Suchraum zu verkleinern. Die Idee ist einfach: Wenn durch die bisherigen Entscheidungen bestimmte Zellen eindeutig festgelegt sind, setze ich sie sofort.

Beispiel: Wenn in einer Zeile mit Zielsumme 3 bereits 3 Zellen gefüllt sind, müssen alle verbleibenden Zellen leer sein. Umgekehrt: Wenn die Zielsumme 3 ist und noch genau 3 Zellen unzugewiesen sind, müssen alle gefüllt werden.

2.4 Verwendete Java-Konzepte

Für die Implementierung habe ich folgende Java-Konstrukte verwendet, die über den Stoff der Stufe 1 hinausgehen:

- `ArrayList<Grid>`: Eine dynamische Liste zum Speichern der gefundenen Lösungen
- `int[][]`: Zweidimensionale Arrays für das Raster
- `System.arraycopy()`: Effizientes Kopieren von Arrays für das Backtracking
- `BufferedReader`: Zum Einlesen der Eingabedateien

3 Programmstruktur

Mein Programm besteht aus fünf Klassen, die jeweils eine bestimmte Aufgabe haben. Diese Aufteilung macht den Code übersichtlicher und leichter zu testen.

3.1 Übersicht der Klassen

Klasse	Beschreibung
Main.java	Einstiegspunkt des Programms. Liest die Eingabedatei, startet den Solver und gibt die Ergebnisse aus.
Grid.java	Repräsentiert das $n \times n$ Raster. Speichert den Zustand jeder Zelle und berechnet Summen für Zeilen, Spalten und Diagonalen.
Constraints.java	Speichert die Zielwerte (Randsummen) und berechnet die Heatmap für die Heuristik.
InputParser.java	Liest die Eingabedatei und erzeugt ein Constraints-Objekt.
HeuristicSolver.java	Der eigentliche Lösungsalgorithmus mit Backtracking, Constraint Propagation und Heuristik.

3.2 Main.java – Hauptprogramm

Die Main-Klasse ist der Einstiegspunkt. Sie liest die Eingabedatei, startet den Solver und gibt die Ergebnisse formatiert aus.

```

1  public static void main(String[] args) {
2      if (args.length < 1) {
3          System.out.println("Verwendung: java Main <eingabedatei.txt>")
4          ;
5          System.exit(1);
6
7      String filename = args[0];
8
9      // Eingabe parsen
10     Constraints constraints = InputParser.parse(filename);
11
12     // Heatmap berechnen und anzeigen
13     double [][] heatmap = constraints.computeHeatmap();
14
15     // Solver starten
16     HeuristicSolver solver = new HeuristicSolver(constraints);
17     solver.setMaxSolutions(100);
18
19     List<Grid> solutions = solver.solve();
20
21     // Ergebnisse ausgeben
22     System.out.println("Gefundene Loesungen: " + solutions.size());
23 }
```

Listing 1: Hauptprogramm (Main.java)

3.3 Grid.java – Das Raster

Die Grid-Klasse repräsentiert das Spielfeld. Jede Zelle kann drei Zustände haben:

- -1: Noch nicht zugewiesen
- 0: Leer (wird als . ausgegeben)
- 1: Gefüllt (wird als # ausgegeben)

```
1 public class Grid {  
2     private final int size;  
3     private final int[][] cells;  
4  
5     public Grid(int size) {  
6         this.size = size;  
7         this.cells = new int[size][size];  
8         // Initialisiere alle Zellen als nicht zugewiesen  
9         for (int i = 0; i < size; i++) {  
10             for (int j = 0; j < size; j++) {  
11                 cells[i][j] = -1;  
12             }  
13         }  
14     }  
15  
16     // Kopiert das Grid (wichtig fuer Backtracking)  
17     public Grid copy() {  
18         Grid copy = new Grid(size);  
19         for (int i = 0; i < size; i++) {  
20             System.arraycopy(cells[i], 0, copy.cells[i], 0, size);  
21         }  
22         return copy;  
23     }  
24 }
```

Listing 2: Grid-Konstruktor und Kopieren

Wichtig sind die Methoden zum Berechnen der Summen. Für die Diagonalen muss man etwas aufpassen mit der Indexierung:

```
1 // Hauptdiagonale: k = row + col, Bereich: 0 bis 2*(size-1)  
2 public int getDiagDownSum(int k) {  
3     int sum = 0;  
4     for (int i = 0; i < size; i++) {  
5         int j = k - i;  
6         if (j >= 0 && j < size && cells[i][j] == 1) {  
7             sum++;  
8         }  
9     }  
10    return sum;
```

```

11 }
12
13 // Nebendiagonale: k = col - row + (size-1)
14 public int getDiagUpSum(int k) {
15     int sum = 0;
16     for (int i = 0; i < size; i++) {
17         int j = k - (size - 1) + i;
18         if (j >= 0 && j < size && cells[i][j] == 1) {
19             sum++;
20         }
21     }
22     return sum;
23 }
```

Listing 3: Berechnung der Diagonalsummen

Die Indexierung der Diagonalen war einer der schwierigsten Teile. Für die Hauptdiagonale gilt $k = \text{row} + \text{col}$, für die Nebendiagonale $k = \text{col} - \text{row} + (n - 1)$.

4 Der Solver-Algorithmus

Der HeuristicSolver ist das Herzstück meines Programms. Er kombiniert Backtracking mit Constraint Propagation und einer Heatmap-Heuristik.

4.1 Die Heatmap-Heuristik

Die Heatmap berechnet für jede Zelle einen Wert zwischen 0 und 1, der angibt, wie wahrscheinlich die Zelle gefüllt ist. Dafür betrachte ich alle vier Linien, die durch die Zelle gehen, und berechne deren „Dichte“.

```

1 public double[][] computeHeatmap() {
2     double[][] heatmap = new double[size][size];
3
4     for (int i = 0; i < size; i++) {
5         for (int j = 0; j < size; j++) {
6             // Dichte fuer jede Linie durch diese Zelle
7             double rowDensity = (double) rowSums[i] / size;
8             double colDensity = (double) colSums[j] / size;
9
10            // Hauptdiagonale: k = i + j
11            int diagDownK = i + j;
12            int diagDownLen = size - Math.abs(diagDownK - (size - 1));
13            double diagDownDensity = (double) getDiagDownSum(diagDownK
14                                              ) / diagDownLen;
15
16            // Nebendiagonale: k = j - i + (size - 1)
17            int diagUpK = j - i + (size - 1);
```

```

17         int diagUpLen = size - Math.abs(diagUpK - (size - 1));
18         double diagUpDensity = (double) getDiagUpSum(diagUpK) /
19             diagUpLen;
20
21         // Durchschnitt aller Dichten
22         heatmap[i][j] = (rowDensity + colDensity + diagDownDensity
23                         + diagUpDensity) / 4.0;
24     }
25
26     return heatmap;
}

```

Listing 4: Berechnung der Heatmap

4.2 Backtracking mit Heuristik

Der Backtracking-Algorithmus wählt immer die Zelle aus, bei der wir am „sichersten“ sind. Das bedeutet: Zellen, deren Heatmap-Wert weit von 0.5 entfernt ist (also klar gefüllt oder klar leer), werden zuerst behandelt.

```

1 private void backtrack(Grid grid) {
2     if (solutions.size() >= maxSolutions) {
3         return;
4     }
5
6     nodeCount++;
7
8     // Wae hle naechste Zelle basierend auf Heuristik
9     int[] nextCell = selectNextCell(grid);
10
11    // Wenn keine unzugewiesene Zelle mehr, pruefe Loesung
12    if (nextCell == null) {
13        if (isValidSolution(grid)) {
14            solutions.add(grid.copy());
15        }
16        return;
17    }
18
19    int row = nextCell[0];
20    int col = nextCell[1];
21
22    // Reihenfolge der Werte basierend auf Heatmap
23    int[] valuesToTry;
24    if (heatmap[row][col] >= 0.5) {
25        valuesToTry = new int[]{1, 0};
26    } else {
27        valuesToTry = new int[]{0, 1};
}

```

```

28     }
29
30     for (int value : valuesToTry) {
31         // Forward Check
32         if (!isValueFeasible(grid, row, col, value)) {
33             continue;
34         }
35
36         Grid newGrid = grid.copy();
37         newGrid.set(row, col, value);
38
39         // Constraint Propagation
40         if (propagate(newGrid)) {
41             backtrack(newGrid);
42         }
43     }
44 }
```

Listing 5: Backtracking-Hauptschleife

4.3 Constraint Propagation

Die Propagation prüft alle Zeilen, Spalten und Diagonalen. Wenn eine Linie „erzwungen“ ist, werden die Zellen automatisch gesetzt.

```

1 private int propagateLine(Grid grid, int index, boolean isRow) {
2     int sum = isRow ? grid.getRowSum(index) : grid.getColSum(index);
3     int unassigned = isRow ? grid.getRowUnassigned(index) : grid.
4         getColUnassigned(index);
5     int target = isRow ? constraints.getRowSum(index) : constraints.
6         getColSum(index);
7
8     int remaining = target - sum;
9
10    // Konflikt: Mehr gefüllt als erlaubt
11    if (remaining < 0) return -1;
12
13    // Konflikt: Nicht genug Platz
14    if (remaining > unassigned) return -1;
15
16    // Alle verbleibenden müssen 1 sein
17    if (remaining == unassigned) {
18        for (int k = 0; k < size; k++) {
19            int i = isRow ? index : k;
20            int j = isRow ? k : index;
21            if (!grid.isAssigned(i, j)) {
22                grid.set(i, j, 1);
23            }
24        }
25    }
26}
```

```

22         }
23     }

24

25     // Summe erreicht: alle verbleibenden muessen 0 sein
26     if (remaining == 0) {
27         for (int k = 0; k < size; k++) {
28             int i = isRow ? index : k;
29             int j = isRow ? k : index;
30             if (!grid.isAssigned(i, j)) {
31                 grid.set(i, j, 0);
32             }
33         }
34     }

35     return 0;
36 }
37 }
```

Listing 6: Propagation fuer eine Zeile/Spalte

4.4 Forward Checking

Forward Checking prüft, ob ein Wert überhaupt noch möglich ist, bevor wir ihn ausprobieren. Das spart viele unnötige Backtracking-Schritte.

```

1 private boolean isValueFeasible(Grid grid, int row, int col, int value
2     ) {
3     if (value == 1) {
4         // Pruefe ob wir noch Platz fuer eine 1 haben
5         if (grid.getRowSum(row) >= constraints.getRowSum(row)) return
6             false;
7         if (grid.getColSum(col) >= constraints.getColSum(col)) return
8             false;
9
10        int diagDownK = row + col;
11        if (grid.getDiagDownSum(diagDownK) >= constraints.
12            getDiagDownSum(diagDownK))
13            return false;
14
15        int diagUpK = col - row + (size - 1);
16        if (grid.getDiagUpSum(diagUpK) >= constraints.getDiagUpSum(
17            diagUpK))
18            return false;
19    } else {
20        // Pruefe ob genug Platz fuer benoetigte 1en bleibt
21        int rowRemaining = constraints.getRowSum(row) - grid.getRowSum
22            (row);
23        if (grid.getRowUnassigned(row) - 1 < rowRemaining) return
24            false;
25    }
26 }
```

```

18
19         // ... analog fuer Spalte und Diagonalen
20     }
21
22     return true;
23 }
```

Listing 7: Forward Checking

5 Eingabe und Ausgabe

5.1 Eingabeformat

Die Eingabedateien haben ein einfaches Format:

1. Zeile 1: Die Größe n des Rasters
2. Zeile 2: Die n Spaltensummen (von links nach rechts)
3. Zeile 3: Die n Zeilensummen (von oben nach unten)
4. Zeile 4: Die $2n - 1$ Hauptdiagonalsummen
5. Zeile 5: Die $2n - 1$ Nebendiagonalsummen

```

1 public static Constraints parse(String filename) throws IOException {
2     try (BufferedReader reader = new BufferedReader(new FileReader(
3             filename))) {
4         // 1. Zeile: Groesse n
5         int size = Integer.parseInt(reader.readLine().trim());
6
7         // 2. Zeile: Spaltensummen
8         int[] colSums = parseIntArray(reader.readLine(), size);
9
10        // 3. Zeile: Zeilensummen
11        int[] rowSums = parseIntArray(reader.readLine(), size);
12
13        // 4. Zeile: Hauptdiagonalsummen (2*n - 1 Werte)
14        int[] diagDownSums = parseIntArray(reader.readLine(), 2 * size
15                - 1);
16
17        // 5. Zeile: Nebendiagonalsummen
18        int[] diagUpSums = parseIntArray(reader.readLine(), 2 * size -
19                1);
20
21        return new Constraints(size, colSums, rowSums, diagDownSums,
22                diagUpSums);
23    }
24}
```

20 }

Listing 8: Parsen der Eingabedatei

5.2 Ausgabeformat

Das Programm gibt die Lösung als Raster aus, wobei # für gefüllte und . für leere Zellen steht. Bei mehreren Lösungen wird zusätzlich eine kombinierte Ansicht gezeigt, wo ? für mehrdeutige Zellen steht.

5.3 Ausführung

Um das Programm auszuführen, benötigt man Java (mindestens Version 11). Alle Befehle müssen aus dem Hauptverzeichnis des Projekts ausgeführt werden (dort wo sich die Ordner `src/` und `testdata/` befinden).

Der einfachste Aufruf erfolgt über:

```
java src/Main.java testdata/tomograph00.txt
```

Alternativ kann man zuerst kompilieren und dann ausführen:

```
javac src/*.java
java -cp src Main testdata/tomograph00.txt
```

Das Programm gibt dann die Heatmap, die gefundenen Lösungen und Statistiken aus.

6 Beispiele aus dem Wettbewerb

Hier zeige ich die Ergebnisse für drei Testdateien aus dem Wettbewerb nebeneinander:

tomograph01 (2×2) Eindeutig	tomograph00 (8×8) Eindeutig	tomograph03 (4×4) Mehrdeutig
.. #.	..###... .#.#.###... #..#.#####. ...#.#.#.....# ..#.#.??# ?##? ?..? .??#
1 Lösung, 1 Knoten	1 Lösung, 6 Knoten	2 Lösungen, 5 Knoten

6.1 Erläuterung der Beispiele

tomograph01 ist das kleinste Beispiel (2×2). Die Constraints sind so restriktiv, dass der Solver die Lösung sofort durch Constraint Propagation findet – ohne jegliches Backtracking.

tomograph00 zeigt ein größeres 8×8 Raster. Trotz der Größe findet der Solver die eindeutige Lösung in nur 6 Knoten, weil die Heuristik die richtigen Zellen zuerst wählt.

tomograph03 ist besonders interessant: Es gibt **zwei gültige Lösungen**. Die Zellen mit ? können sowohl gefüllt als auch leer sein. Das zeigt, dass die Randsummen allein nicht immer eine eindeutige Lösung bestimmen.

Die beiden Lösungen für tomograph03 sind:

Lösung 1	Lösung 2
. # . #	. . ##
. #####	#### .
#
. . # #	. # . #

. # . #	. . ##
. #####	#### .
#
. . # #	. # . #

. # . #	. . ##
. #####	#### .
#
. . # #	. # . #

. # . #	. . ##
. #####	#### .
#
. . # #	. # . #

7 Laufzeit und Performance

7.1 Theoretische Komplexität

Die theoretische Laufzeitkomplexität des Bibertomograph-Problems lässt sich wie folgt analysieren:

Worst-Case (naives Backtracking): Bei einem $n \times n$ Raster hat jede Zelle zwei mögliche Werte (0 oder 1). Ohne Optimierungen müsste man im schlimmsten Fall alle 2^{n^2} Kombinationen durchprobieren. Das ergibt eine Komplexität von:

$$O(2^{n^2})$$

Für ein 8×8 Raster wären das $2^{64} \approx 1.8 \cdot 10^{19}$ Möglichkeiten – praktisch unlösbar.

Mit Constraint Propagation: Durch das frühzeitige Erkennen von Widersprüchen und das automatische Setzen von erzwungenen Zellen wird der Suchbaum erheblich beschnitten. Die tatsächliche Komplexität hängt stark von den Constraints ab:

- Bei stark eingeschränkten Problemen (viele Nullen oder volle Zeilen) kann die Lösung oft in $O(n^2)$ gefunden werden, weil die Propagation alles löst.
- Bei weniger eingeschränkten Problemen liegt die praktische Komplexität typischerweise bei $O(k \cdot n^2)$, wobei k die Anzahl der Backtracking-Schritte ist.

7.2 Praktische Messungen

In der Praxis zeigt sich, dass mein Solver sehr effizient arbeitet:

Testfall	Größe	Knoten	Zeit
tomograph00	8×8	6	36 ms
tomograph01	2×2	1	33 ms
tomograph02	4×4	1	44 ms
tomograph03	4×4	5	34 ms

Die geringe Anzahl der durchsuchten Knoten zeigt, dass die Heuristiken gut funktionieren. Die Laufzeit liegt bei allen Testfällen bei etwa 30-45 ms, wobei der Großteil davon für das Laden und die JVM-Initialisierung verwendet wird. Die eigentliche Lösung wird in unter 1 ms gefunden.

7.3 Warum ist der Solver so schnell?

Drei Faktoren machen den Solver effizient:

1. **Frühe Erkennung von Sackgassen:** Forward Checking prüft vor jedem Setzen, ob der Wert überhaupt noch möglich ist. Dadurch werden viele unnötige Rekursionen vermieden.
2. **Automatisches Füllen:** Wenn eine Zeile/Spalte/Diagonale nur noch eine Möglichkeit hat, wird sie sofort gesetzt. Das reduziert die Anzahl der Entscheidungspunkte.
3. **Kluge Reihenfolge:** Die Heatmap-Heuristik wählt zuerst die Zellen, bei denen wir am sichersten sind. Dadurch werden Fehler früh erkannt.

8 Fazit und Ausblick

8.1 Was funktioniert gut?

Mein Solver löst alle Testfälle des Wettbewerbs korrekt und effizient:

- Die Kombination aus Constraint Propagation und Heatmap-Heuristik reduziert die Anzahl der durchsuchten Knoten erheblich.
- Selbst bei größeren Rastern (8×8) ist die Laufzeit sehr kurz (unter 100 ms).
- Das Programm erkennt korrekt, wenn es mehrere Lösungen gibt.

8.2 Was war schwierig?

Die größten Herausforderungen waren:

1. **Diagonalen-Indexierung:** Die korrekte Berechnung der Indizes für die Diagonalen ($k = \text{row} + \text{col}$ und $k = \text{col} - \text{row} + (n - 1)$) hat am meisten Zeit gekostet.

2. **Debugging:** Bei Backtracking-Algorithmen ist es schwer zu sehen, wo genau ein Fehler liegt. Ich habe viel mit Ausgaben gearbeitet.
3. **Kopieren von Zuständen:** Beim Backtracking muss man aufpassen, dass man das Grid richtig kopiert, sonst ändert man versehentlich den ursprünglichen Zustand.

8.3 Mögliche Verbesserungen

- **Arc Consistency:** Eine stärkere Form der Propagation, die noch mehr Suchraum eliminieren könnte.
- **Parallelisierung:** Für sehr große Raster könnte man verschiedene Teilbäume parallel durchsuchen.
- **GUI:** Eine grafische Oberfläche würde die Ergebnisse anschaulicher machen.

9 Quellcode

Im Folgenden sind die wichtigsten Teile des Quellcodes dokumentiert.

9.1 Constraints.java – Vollständig

```
1  public class Constraints {  
2      private final int size;  
3      private final int[] colSums;  
4      private final int[] rowSums;  
5      private final int[] diagDownSums;  
6      private final int[] diagUpSums;  
7  
8      public Constraints(int size, int[] colSums, int[] rowSums,  
9                          int[] diagDownSums, int[] diagUpSums) {  
10         this.size = size;  
11         this.colSums = colSums;  
12         this.rowSums = rowSums;  
13         this.diagDownSums = diagDownSums;  
14         this.diagUpSums = diagUpSums;  
15     }  
16  
17     public int getSize() { return size; }  
18     public int getColSum(int col) { return colSums[col]; }  
19     public int getRowSum(int row) { return rowSums[row]; }  
20     public int getDiagDownSum(int k) { return diagDownSums[k]; }  
21     public int getDiagUpSum(int k) { return diagUpSums[k]; }  
22 }
```

Listing 9: Constraints.java

9.2 Grid.java – `toString` Methode

```

1  @Override
2  public String toString() {
3      StringBuilder sb = new StringBuilder();
4      for (int i = 0; i < size; i++) {
5          for (int j = 0; j < size; j++) {
6              if (cells[i][j] == 1) {
7                  sb.append('#');
8              } else if (cells[i][j] == 0) {
9                  sb.append('.');
10             } else {
11                 sb.append('?');
12             }
13         }
14         sb.append('\n');
15     }
16     return sb.toString();
17 }
```

Listing 10: Ausgabe des Rasters

10 Arbeitsprozessbericht

Datum	Geplant	Erreicht	Probleme	Lösung
Mo 06.10.2025	Konzepte Umsetzung, erste Experimente in Java	Lösungswege überlegt (Voxel-Projection, Brute-Force)	-	-
Mo 13.10.2025	Mit Programmieren anfangen	Grid-Klasse angefangen	-	-
Mo 03.11.2025	Weiter am Code arbeiten	Eingabe-Parser fertig, Constraints-Klasse erstellt	Diagonalen verwirrend	Erstmal ignoriert
Mo 10.11.2025	Solver schreiben	Backtracking-Ansatz implementiert	Funktioniert nicht bei allen Testfällen	-
Mo 17.11.2025	Bugs fixen	Diagonalen-Bug gefunden und gefixt, läuft jetzt	-	-
Mo 24.11.2025	Dokumentation anfangen	LaTeX-Vorlage erstellt	pdflatex ging nicht	Pakete installiert

Datum	Geplant	Erreicht	Probleme	Lösung
Mo 01.12.2025	Arbeit fertig schreiben	Text geschrieben, Beispiele eingefügt	-	-
Mo 08.12.2025	Nochmal drüberlesen	Kleinigkeiten korrigiert	-	-

11 Quellenverzeichnis

1. Bundeswettbewerb Informatik: Aufgabenblatt 44. Wettbewerb 2025/26, Aufgabe: Bibertomograph
<https://bwinfo.de/bundeswettbewerb/44/#c5529>
 (letzter Abruf: 7.12.2025)
2. Oracle: Java SE Documentation – ArrayList
<https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/ArrayList.html>
 (letzter Abruf: 6.12.2025)
3. YouTube: Backtracking Algorithm Tutorial
<https://www.youtube.com/watch?v=m-b51C82-UE>
 (letzter Abruf: 2.12.2025)
4. ResearchGate: Heuristic vs Brute-Force Comparison
https://www.researchgate.net/figure/Heuristic-brute-force-comparison_tbl1_24017925
 (letzter Abruf: 28.11.2025)

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass die vorliegende Seminararbeit mit dem Titel „44. BwInf Bibertomograph“ von mir selbstständig erarbeitet wurde und ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Diejenigen Teile der Arbeit, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Ort, Datum, Unterschrift