```
public class MyChoice implements PlayConstants {
   private PlayGround ground;
   private YourChoice yours;
   private int acceptableChoice, value;
   public MyChoice(PlayGround g, int place) {
      ground = new PlayGround(g,place,YOU);
      if (ground.won(place,YOU)) { value = YOU; return; }
      acceptableChoice = ground.force(ME);
      if (acceptableChoice != -1) { value = ME; return; }
      acceptableChoice = ground.force(YOU);
      if (acceptableChoice != -1) {
         yours = new YourChoice(ground,acceptableChoice);
         value = yours.value(); return;
      }
      ...
```

- Die Objekt-Methode `int force(int who);` liefert einen Zug, mit dem `who` unmittelbar gewinnt – sofern ein solcher existiert :-), andernfalls `-1`.
- Der Aufruf `ground.force(ME)` ermittelt einen solchen Gewinnzug für das Programm.
- Falls kein Gewinnzug existiert, liefert der Aufruf `ground.force(YOU)` eine Position, mit der der Gegner in einem Zug gewinnen könnte (was verhindert werden muss :-)
- Nur wenn keiner dieser Fälle auftritt, überprüfen wir sämtliche Zug-Möglichkeiten ...

```
      ...
      PossibleMoves moves = new PossibleMoves(ground);
      int tmp = moves.next();
      if (tmp == -1) { value = NONE; return;}
      value = YOU; do { acceptableChoice = tmp;
         yours = new YourChoice(ground,acceptableChoice);
         if (yours.value() > YOU) { value = yours.value(); return; }
         tmp=moves.next();
      } while (tmp != -1);
   }
   public int value() { return value;}
   public int acceptableChoice() { return acceptableChoice; }
   public MyChoice select(int place) {
      return yours.answer(place);
   }
}  // end of class MyChoice
```

- Bei der Iteration über alle Zug-Möglichkeiten geben wir uns bereits mit einem akzeptablen Zug zufrieden, genauer gesagt: dem ersten, der mindestens unentschieden liefert.

Der Grund:

als nachziehender können wir (bei Tic-Tac-Toe und gegen einen optimalen Gegner) nichts besseres erreichen :-(

- `public int value();` liefert wieder den Spiel-Wert des Spielbaums.
- `public int acceptableChoice()` liefert einen akzeptablen Zug und
- `public MyChoice select(int place)` liefert bei gegebenem Spielzug für den akzeptablen Zug und die Antwort `place` des Gegners den nächsten Teilbaum.

24.3 Die Klasse `Game`

Die Klasse `Game` sammelt notwendige Datenstrukturen und Methoden zur Durchführung eines Spiels.

```
public class Game implements PlayConstants {
   public PlayGround ground = new PlayGround();
   private int count = 0;
   private MyChoice gameTree;
   public int nextMove(int place) {
      if (count == 1)
           gameTree = new MyChoice(ground,place);
      else gameTree = gameTree.select(place);
      return gameTree.acceptableChoice();
   }
   ...
```

- `PlayGround ground` enthält die jeweils aktuelle Spiel-Konfiguration.
- `int count` zählt die Anzahl der bereits ausgeführten Züge.
- `MyChoice gameTree` enthält eine Repräsentation der `ME`-Strategie.
- `public int nextMove(int place)` liefert den Antwort-Zug auf den `YOU`-Zug `place`:
  - War `place` der erste `YOU`-Zug, wird ein `MyChoice`-Objekt `gameTree` für das verbleibende Spiel angelegt.
  - Bei jedem weiteren Zug wird `gameTree` auf die gemäß `place` ausgewählte Teil-Strategie gesetzt.
  - Den nächsten `ME`-Zug liefert jeweils `acceptableChoice` in `gameTree`.

```
    ...
    public boolean possibleMove(int place) {
       if (count%2 == 1) return false;
       return (ground.free(place));
    }
    public boolean finished() { return (count == 9);}
    public void move(int place,int who) {
       count++;
       ground.move(place,who);
    }
}  // end of class Game
```

Weitere nützliche Methoden:

- `boolean possibleMove(int place)` überprüft, ob der Zug `place` überhaupt möglich ist;
- `public boolean finished()` überprüft, ob bereits 9 Züge gespielt wurden;
- `public void move(int place,int who)` erhöht den Zug-Zähler und führt den Zug auf dem Spielfeld `ground` aus.

24.4 Die graphische Benutzer-Oberfläche

Idee:

- Unbesetzte Felder repräsentieren wir durch `Button`-Komponenten.
- Die Knöpfe werden in einem (3×3)-Gitter angeordnet.
- Wird ein Zug ausgeführt, wird der entsprechende Knopf durch eine (bemalte) `Canvas`-Fläche ersetzt.

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
class MyButton extends Button {
   private int number;
   public MyButton(int i) {
      number = i;
      setBackground(Color.white);
   }
   public int getNumber() { return number;}
}  // end of class MyButton
```

- `MyButton` erweitert die Klasse `Button` um die Objekt-Variable `int number`.
- `number` wird vom Konstruktor gesetzt und mit `int getNumber();` abgefragt.

```
public class Arena extends Frame {
   private MoveObserver moveObserver;
   public Arena() {
      setBackground(Color.blue);
      setSize(300,300); setLocation(400,400);
      setLayout(new GridLayout(3,3,3,3)); start();
   }
   public void start() {
      removeAll();
      moveObserver = new MoveObserver(this);
      for (int i=0; i<9;i++) {
         MyButton b = new MyButton(i);
         b.addActionListener(moveObserver); add(b);
      }
   }
```

- `Arena` ist die Unterklasse von `Frame`, in der wir das Spielfeld anlegen.
- Dazu wählen wir das `GridLayout` als Layout-Manager.
- `public GridLayout(int row, int col, int cs, int rs);` konstruiert ein `GridLayout`-Objekt mit `row` Zeilen, `col` Spalten sowie den Abständen `cs` und `rs` zwischen den Spalten bzw. Zeilen.
- Zu der Arena fügen wir neun (durch-numerierte) `MyButton`-Komponenten hinzu.
- Gemeinsamer `ActionListener` für sämtliche Knöpfe ist das `MoveObserver`-Objekt `moveObserver`.
- `public void removeAll();` beseitigt sämtliche Komponenten eines Containers.

```
   ...
   public void move(int place, Canvas canvas) {
      remove(place); add(canvas, place);
   }
   public static void main(String[] args) {
      Arena arena = new Arena(); arena.setVisible(true);
   }
}  //end of class Arena
```

- `public void move(int place, Canvas canvas);` ersetzt die Komponente an der Stelle `place` durch die `Canvas`-Komponente `canvas`.
- `public void remove(int i);` beseitigt die `i`-te Komponente eines `Container`-Objekts.
- `public void add(Component c, int i);` fügt die Komponente `c` als `i`-te Komponente ein.

24.5 Beantwortung eines Zugs

Beachte:

- Ziehen der Tic-Tac-Toe-Spielerin heißt Drücken eines Knopfs.
- Drücken eines Knopfs löst einen `ActionEvent` aus.
- Die Klasse `MoveObserver` verarbeitet die Ereignisse.
- Aufgabe eines `MoveObserver`-Objekts ist es, das Spielfeld zu modifizieren und einen Antwort-Zug zu liefern, d.h. zu finden und dann anzuzeigen.

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
public class MoveObserver implements
                            ActionListener, PlayConstants {
   private Game game; private Arena frame;
   public MoveObserver(Arena a) {
      game = new Game(); frame = a;
   }
   public void actionPerformed(ActionEvent e) {
      MyButton button = (MyButton) e.getSource();
      int place = button.getNumber();
      if (!game.possibleMove(place)) return;
      frame.move(place,new Cross());
      game.move(place,YOU);
      frame.setVisible(true);
      ...
```

- Wurde das Feld `place` ermittelt, das die Gegnerin setzte, wird der Knopf an dieser Stelle durch ein neues `Cross`-Element ersetzt.
- Dann wird der Zug auch auf der internen Repräsentation des Spielbretts auseführt.
- `frame.setVisible(true);` macht diese Änderung auf dem Bildschirm sichtbar.

```
...
if (game.ground.won(place,YOU)) {
   game.ground.clear();
   (new MyDialog(frame,"You won ...")).setVisible(true);
   return;
}
if (game.finished()) {
   (new MyDialog(frame,"No winner ...")).setVisible(true);
   return;
}
place = game.nextMove(place);
frame.move(place,new Circle());
game.move(place,ME);
frame.setVisible(true);
...
```

- Die Objekt-Methode `public void clear();` der Klasse `PlayGround` verhindert weitere Züge, indem sämtliche Felder auf `3` gesetzt werden (Hack – sorry!).
- Falls die Spielerin `YOU` gewonnen hat, beenden wir das Spiel und erzeugen ein Dialog-Fenster der Klasse `MyDialog`.
- Ähnlich verfahren wir, wenn das Spiel nicht verloren, aber zuende ist ...
- Ist das Spiel weder verloren noch zuende, bestimmen wir unseren nächsten Zug.
- Diesen führen wir auf unserer Intern-Darstellung des Spielbretts wie in dem `Arena`-Frame aus.

```
        ...
        if (game.ground.won(place,ME)) {
           game.ground.clear();
           (new MyDialog(frame,"I won ...")).setVisible(true);
           return;
        }
     }
}  // end of class MoveObserver
```

- Falls unser Zug zum Gewinn führte, beenden wir das Spiel und erzeugen ein `MyDialog`-Fenster.

24.6 Ein Dialog-Fenster

Aufgaben:

1. Anzeige des Spiel-Ausgangs;
2. Ermöglichen der Beendigung bzw. Wiederholung des Spiels.

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
public class MyDialog extends Frame implements ActionListener {
   private Button repeat, kill; private Arena arena;
   public MyDialog(Arena frame, String string) {
      arena = frame;
      setLocation(200,200); setSize(250,50);
      setBackground(Color.yellow);
      setForeground(Color.blue);
      setLayout(new FlowLayout());
      add(new Label(string));
      repeat = new Button("new");
      repeat.addActionListener(this); add(repeat);
      kill = new Button("kill");
      kill.addActionListener(this);   add(kill);
   }
```

- `public void setForeground(Color c);` setzt die aktuelle Vordergrund-Farbe auf `c`. Schrift erscheint dann z.B. in dieser Farbe.
- Wir legen ein neues Fenster mit gelbem Hintergrund und blauem Vordergrund an.
- Wir benutzen das `FlowLayout`, um Elemente im Fenster zu positionieren.
- Den Kommentar zum Spiel-Ergebnis übergeben wir dem Konstruktor, der es in einem `Label`-Element anzeigt.
- Weiterhin fügen wir zwei Knöpfe für Wiederholung bzw. Beendigung hinzu.
- Gemeinsamer `ActionListener` beider Knöpfe ist das Fenster-Objekt selbst ...

```
    ...
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
       Button b = (Button) e.getSource();
       if (b == kill) { arena.setVisible(false); System.exit(0);}
       else {
          arena.start(); arena.setVisible(true);
          setVisible(false);
       }
    }
}   // end of class MyDialog
```

- `public void exit(int x);` ist eine Klassen-Methode der Klasse `System`, die die Applikation (mit Rückgabe-Wert `x`) beendet.

- Falls der `"kill"`-Knopf gedrückt wurde, wird die Applikation beendet.
- Falls der `"new"`-Knopf gedrückt wurde, wird für `arena` die `start()`-Methode aufgerufen, d.h. ein neues `Game`-Objekt angelegt und die Komponenten in `arena` neu zu Knöpfen initialisiert.
- `setVisible(false);` lässt das Fenster verschwinden.

24.7 Effizienz

Problem:

Spielbäume können RIESIG werden!!

Unsere Lösung:

- Wir erzeugen die ME-Strategie nicht für alle möglichen Spiel-Verläufe, sondern erst nach dem ersten Zug der Gegnerin. Spart ... Faktor 9
- Wir berücksichtigen Zug-Zwang. Spart ... ??!!...:-)
- Wir sind mit akzeptablen ME-Zügen zufrieden. Spart ungefähr ... Faktor 2

Achtung:

- Für Tic-Tac-Toe reicht das vollkommen aus: pro Spielverlauf werden zwischen 126 und 1142 `MyChoice`-Knoten angelegt ...
- Für komplexere Spiele wie Dame, Schach oder gar Go benötigen wir weitere Ideen ...

1. Idee: Eröffnungen

- Tabelliere Anfangs-Stücke optimaler Spiel-Verläufe.
- Konstruiere die Strategie erst ab der ersten Konfiguration, die von den tabellierten Eröffnungen abweicht ...

Beispiel: Tic-Tac-Toe

Wir könnten z.B. beste Antworten auf jeden möglichen Eröffnungs-Zug tabellieren:

```
public interface Opening {
   int[] OPENING = {
      4, 4, 4, 4, 2, 4, 4, 4, 4
   };
}
```

- Die Funktion `int nextMove(int place);` schlägt dann den ersten Antwort-Zug in `OPENING` nach.

- Erst bei der zweiten Antwort (d.h. für den vierten Stein auf dem Brett) wird die `ME`-Strategie konstruiert.
- Dann bleiben grade mal höchstens $6! = 720$ Spiel-Fortsetzungen übrig ... die Anzahl der tatsächlich benötigten `MyChoice`-Knoten scheint aber nur noch zwischen 9 und 53 zu schwanken (!!!)

2. Idee: Bewertungen

Finde eine geeignete Funktion `advice`, die die Erfolgsaussichten einer Konfiguration direkt abschätzt, d.h. ohne Aufbau eines Spielbaums.

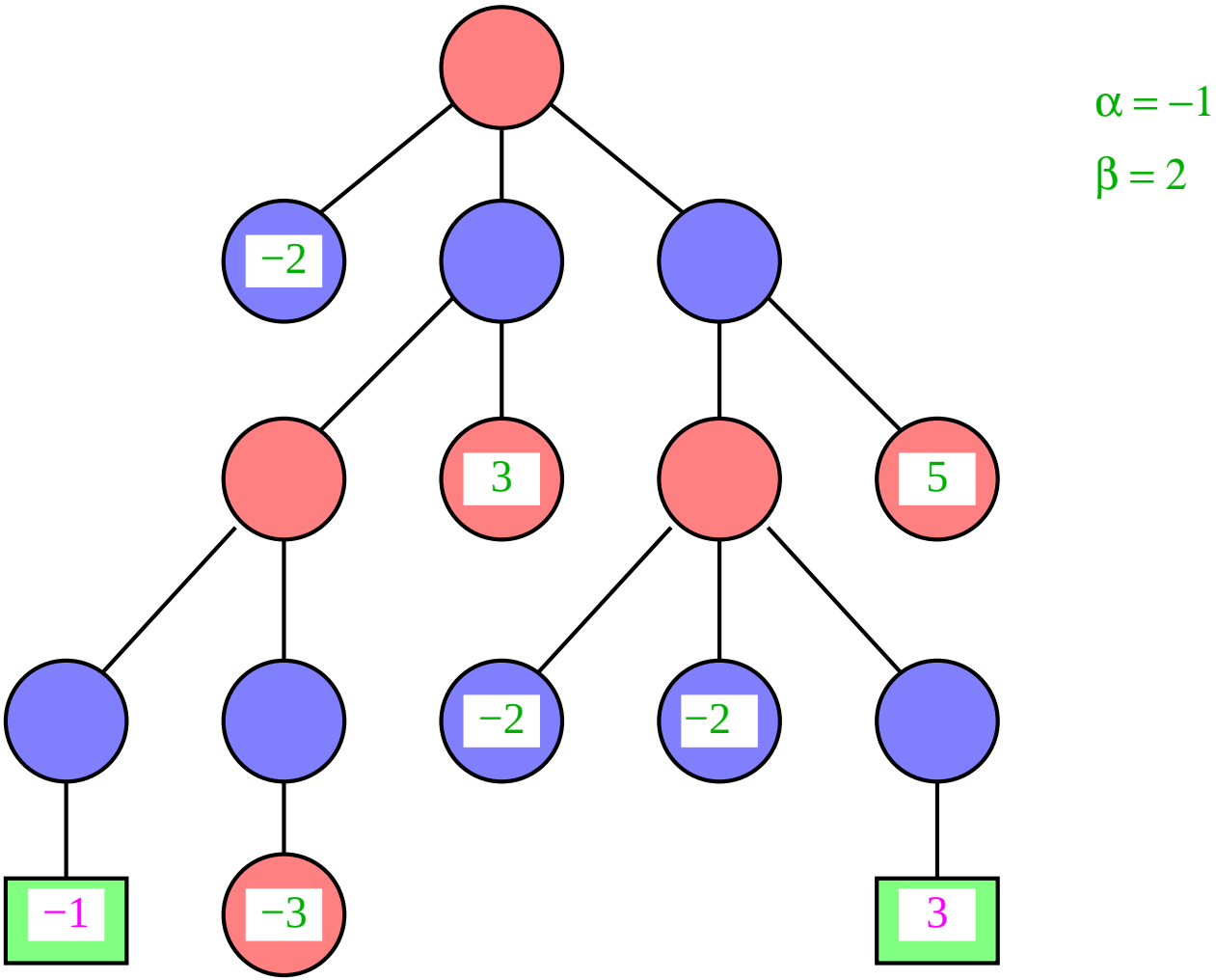
Achtung:

- I.a. ist eine solche Funktion nicht bekannt :-(
- Man muss mit unpräzisen bis fehlerhaften Bewertungs-Funktionen zurecht kommen ...

3. Idee: (α, β)-Pruning

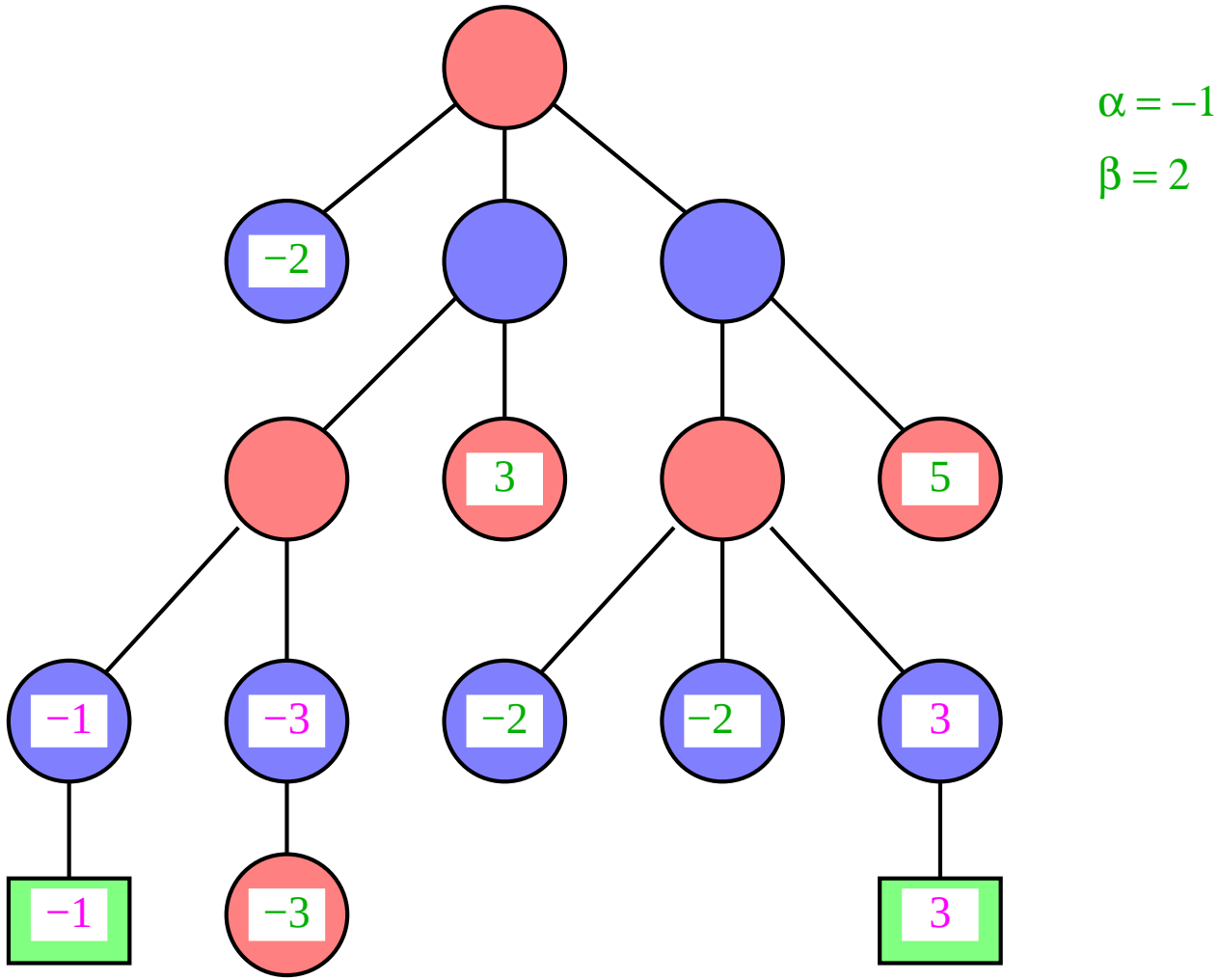
- Wir nehmen an, wir hätten eine halbwegs zuverlässige Bewertungsfunktion `advice`, d.h. es gibt Zahlen $\alpha < 0 < \beta$ so dass für Konfigurationen conf gilt:
  - Ist `advice(`conf`)` $< \alpha$, gewinnt voraussichtlich die Gegnerin;
  - Ist $\beta <$ `advice(`conf`)`, gewinnt voraussichtlich das Programm.
- Zur Bestimmung unseres nächsten Zugs, betrachten wir sukzessive alle Nachfolger-Konfigurationen conf.
  - Ist $\beta <$ `advice(`conf`)`, ist der Zug akzeptabel.

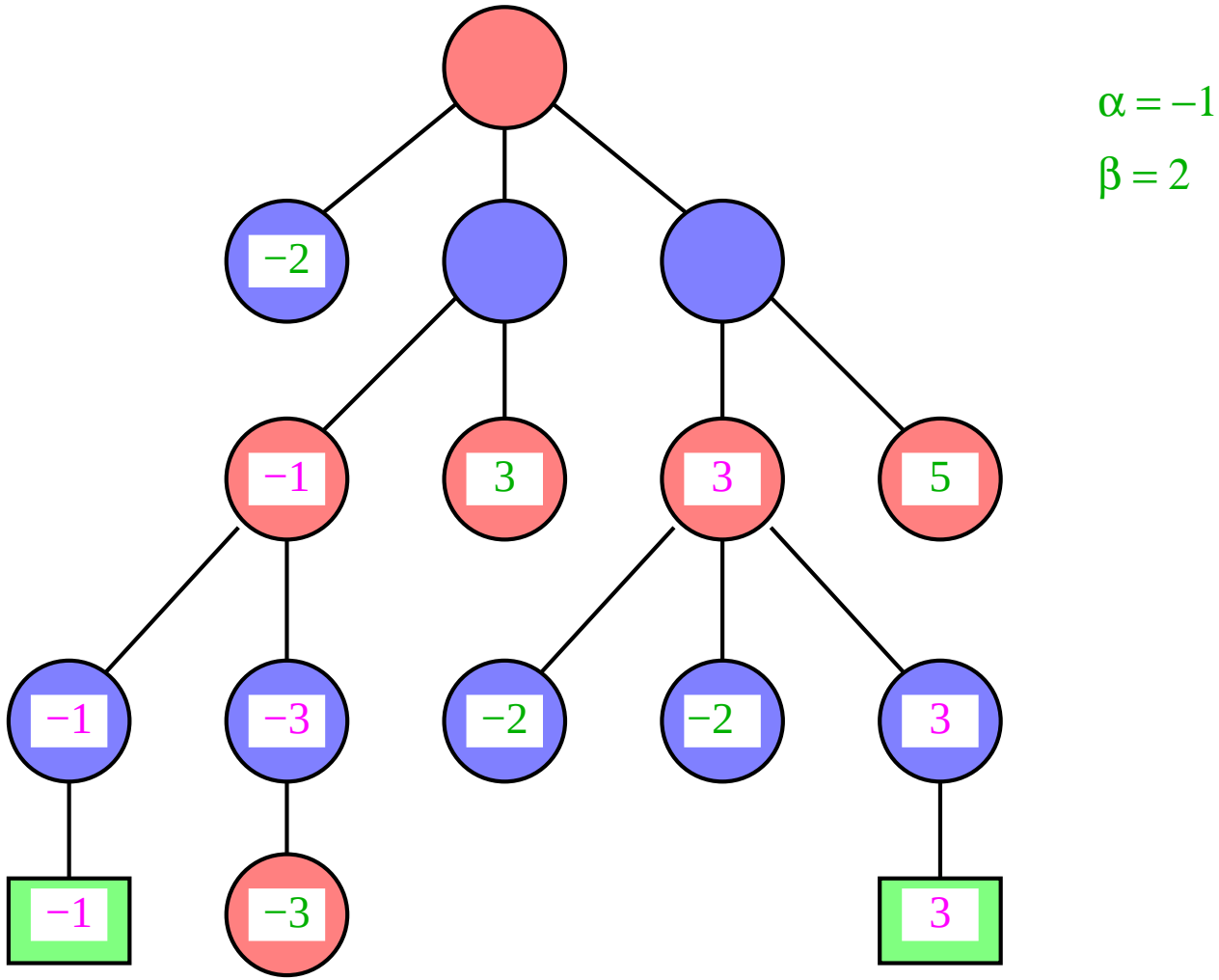
- Gibt es keinen akzeptablen Zug, betrachten wir rekursiv die Nachfolger aller Konfigurationen conf, für die $\alpha <$ `advice(`conf`)` .
- Für gegnerische Konfigurationen gehen wir dual vor ...

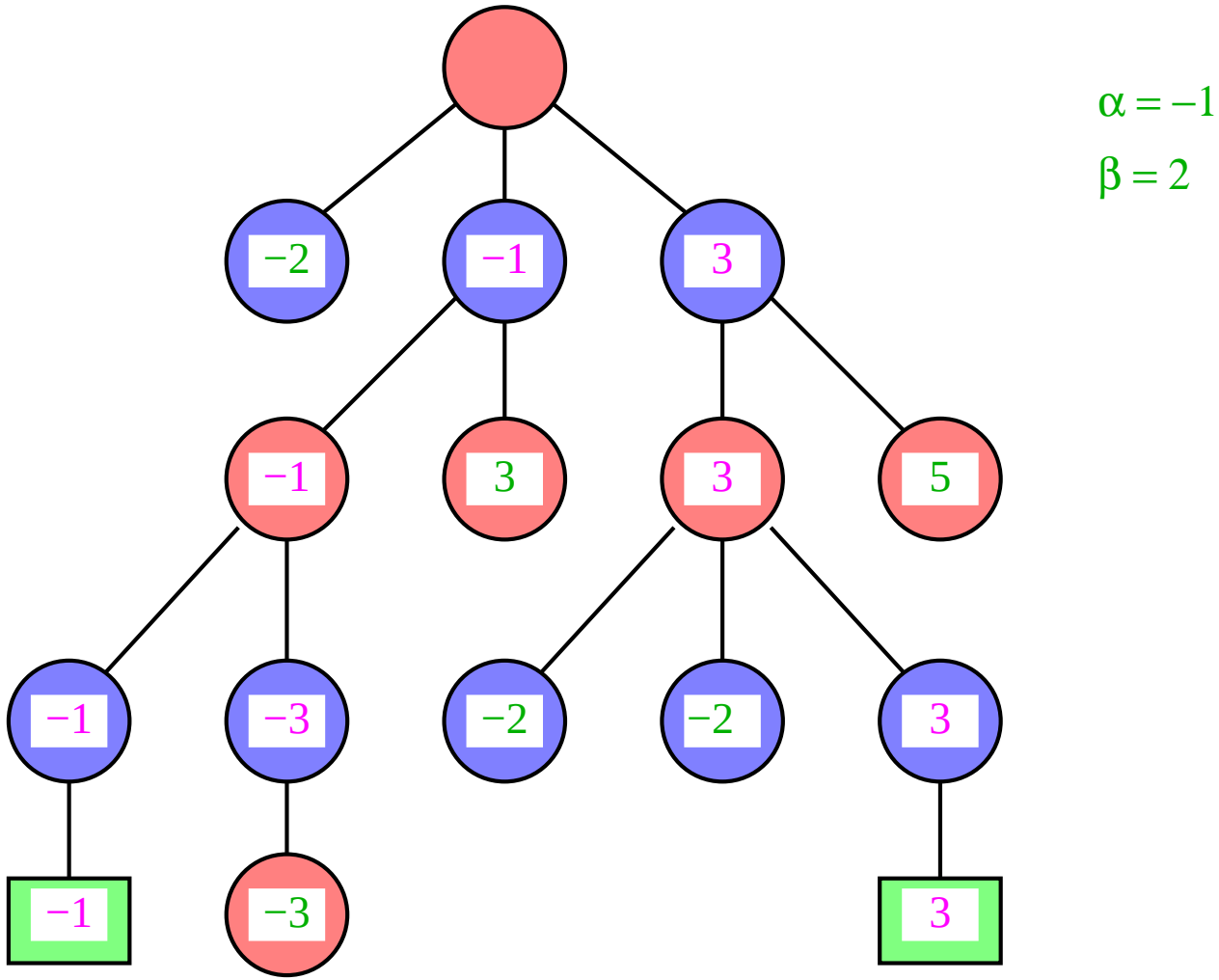


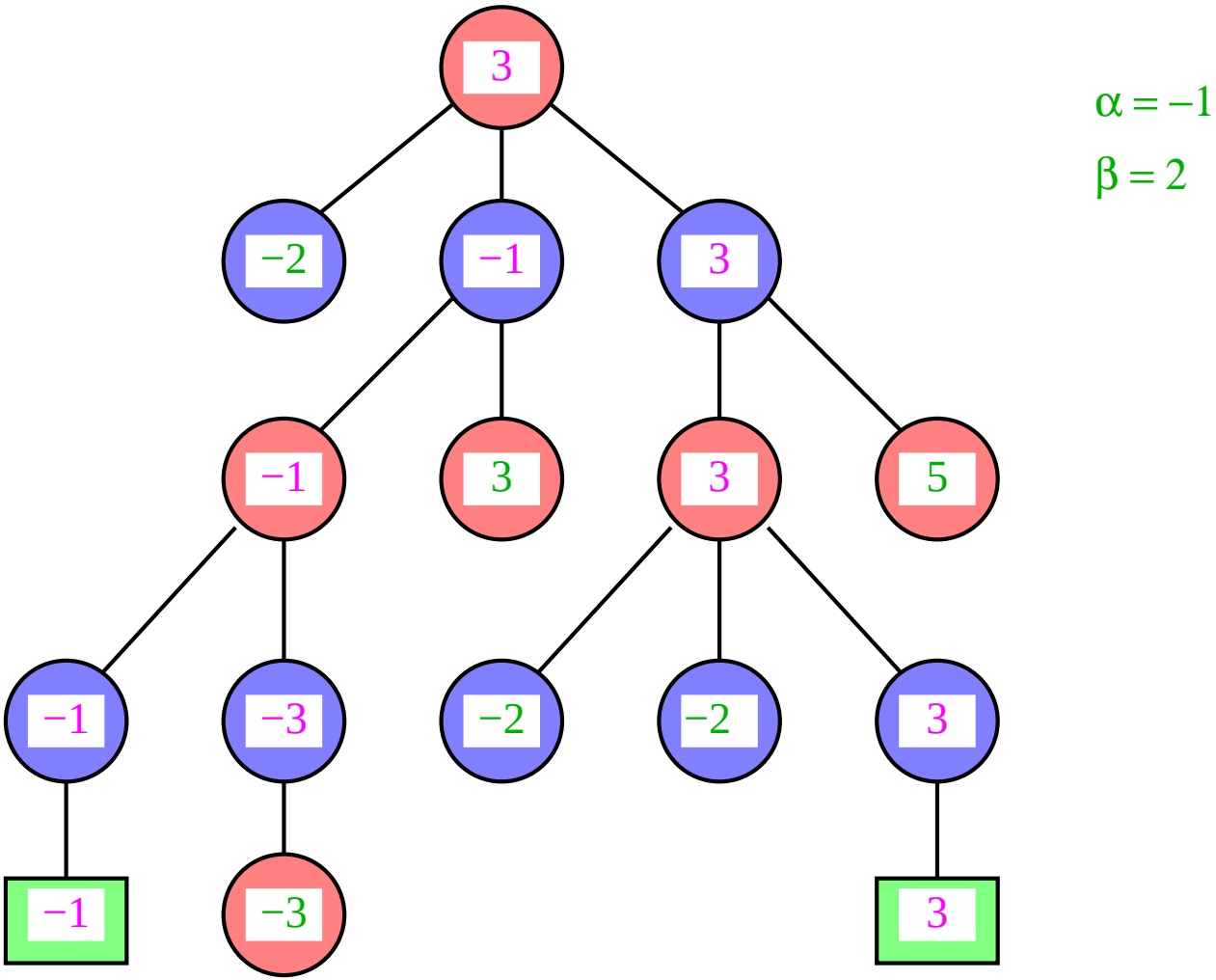
$\alpha = -1$

$\beta = 2$


α = −1
β = 2
−2
3
5
−1
−3
−2
−2
3
−1
−3
3

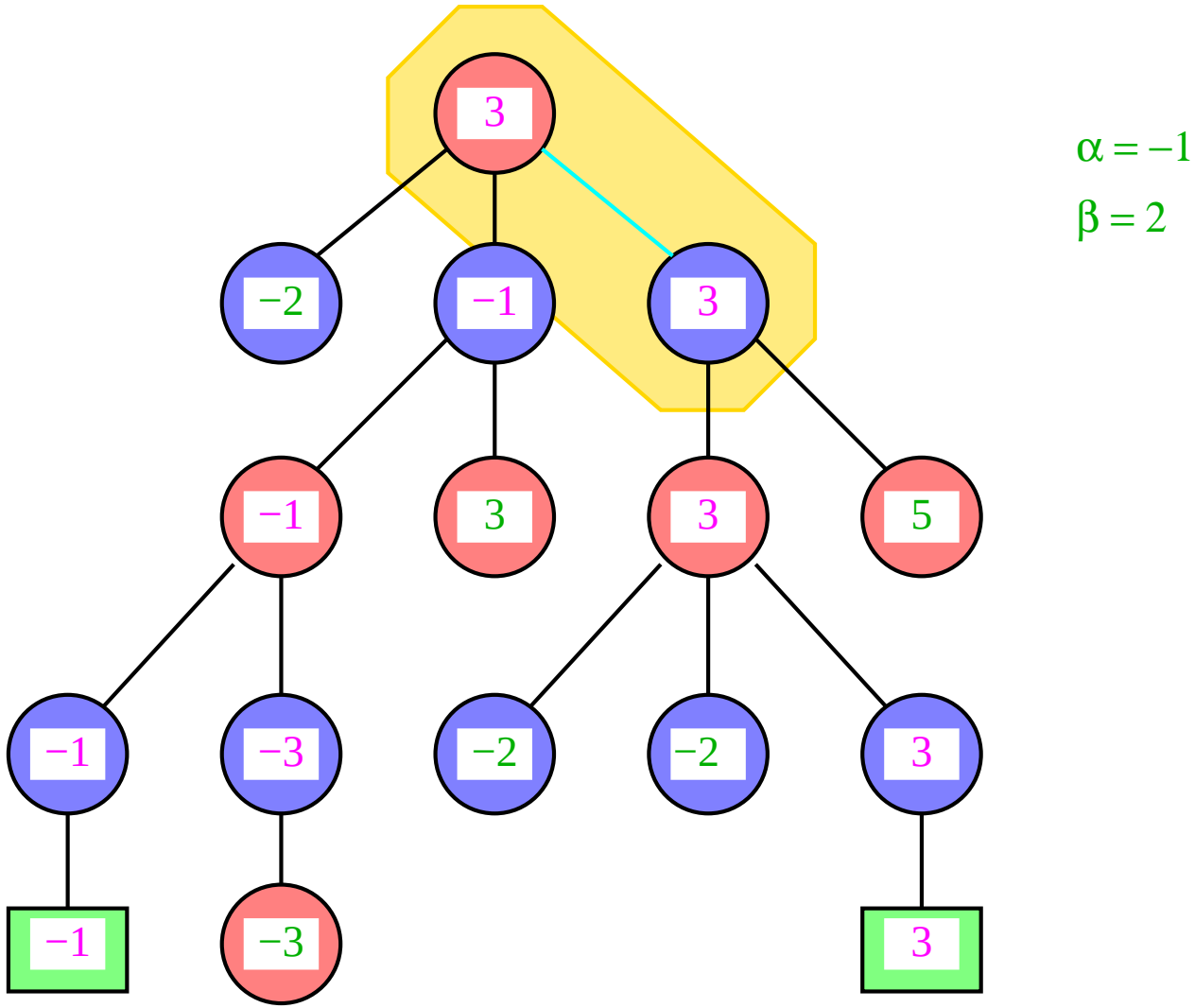

α = −1
β = 2
−2
−1
3
3
5
−1
−3
−2
−2
3
−1
−3
3


α = −1
β = 2
−2
−1
3
−1
3
3
5
−1
−3
−2
−2
3
−1
−3
3



$\alpha = -1$

$\beta = 2$



$\alpha = -1$

$\beta = 2$

Vorteil:

Die Anzahl der zu untersuchenden Konfigurationen wird (hoffentlich ;-) beträchtlich eingeschränkt!

Nachteil:

Ist die Bewertungsfunktion offensichtlich fehlerhaft, lässt sich das Programm austricksen ...

Frage:

Wie findet man eine Bewertungsfunktion deren Fehlerhaftigkeit nicht so offensichtlich ist???

Ausblick:

- Nicht alle 2-Personen-Spiele sind endlich.
- Gelegentlich hängt der Effekt eines Zugs zusätzlich vom Zufall ab.
- Eventuell ist die aktuelle Konfiguration nur partiell bekannt.

$\Longrightarrow$ Spieltheorie