



# RAIL NL

## Heuristic Heroes

Susan van den Broek  
Sarah-Jane van Els  
Linza Hitijahubessy



# CASE OMSCHRIJVING

## Dienstregeling voor het treinverkeer

- Lijnvoering: trajecten waarover treinen rijden
- Traject: route van sporen en stations
- Connectie: spoorverbinding tussen stations

Nederland: 61 stations, 89 connecties



# CASE OMSCHRIJVING

## Dienstregeling voor het treinverkeer

- Lijnvoering: trajecten waarover treinen rijden
- Traject: route van sporen en stations
- Connectie: spoorverbinding tussen stations

Nederland: 61 stations, 89 connecties

Probleem: lijnvoering voor Nederland

- Maximaal 20 trajecten
- Binnen 3 uur
- K zo hoog mogelijk



# FORMULE DOELFUNCTIE

$$K = P * 10000 - (T * 100 + \text{MIN})$$

K: de kwaliteit van de lijnvoering

P: de fractie van de bereden verbindingen

T: het aantal trajecten

MIN: het aantal minuten van alle trajecten samen

# DOELFUNCTIE BOVENGRENS

- Hoogst mogelijk P: 1
- T: totaal aantal minuten connecties / maximale tijd  
lijnvoering:  $1551 / 180 = 9$
- MIN: totaal aantal minuten = 1551

$$K = P * 10000 - (T * 100 + \text{MIN})$$

$$1 * 10.000 - (9 * 100 + 1551) = \mathbf{7549}$$

# TOESTANDSRUIMTE

1. Aantal mogelijkheden voor 1 traject:

Totaal aantal stations \* maximaal aantal connecties^maximaal aantal haltes

$$61 * 9^{36} = \mathbf{1.37 \times 10^{36}}$$

2. Aantal mogelijkheden voor 20 trajecten:

$$(61 * 9^{36})^{20} = \mathbf{5.77 \times 10^{722}}$$

# METHODEN

# RANDOM

Maak een lijnvoering

Herhaal tot  $p \geq \text{requested\_p}$ :

Herhaal tot  $\# \text{ routes} \leq 20$ :

Maak een route

Herhaal tot route  $\leq 180$  min:

Kies een random begin  
station

Kies een random connectie





# GREEDY: UNUSED

Maak een lijnvoering

Herhaal tot  $p \geq \text{requested\_p}$ :

Herhaal tot # routes  $\leq 20$ :

Maak een route

Herhaal tot route  $\leq 180$  min:

Kies een random begin station

**Als er ongebruikte connecties  
zijn:**

**Kies een random  
ongebruikte connectie**

Kies een random connectie



# GREEDY: SHORTEST

Maak een lijnvoering

Herhaal tot  $p \geq \text{requested\_p}$ :

Herhaal tot  $\# \text{ routes} \leq 20$

Maak een route

Herhaal tot  $\leq 180 \text{ min}$ :

Kies een random begin  
station

Als er ongebruikte  
connecties aanwezig zijn:

**Kies de kortste  
ongebruikte connectie**

Kies een random (unused)  
connectie



# GREEDY LOOKAHEAD

$$K = P * 10000 - (T * 100 + \text{MIN})$$

Maak een lijnvoering

Herhaal tot  $p \geq \text{requested\_p}$ :

Herhaal tot # routes  $\leq 20$ :

Maak een route

Herhaal tot  $\leq 180$  minuten:

Kies een random **beginstation met ongebruikte connecties**

Herhaal:

**Kijk drie lagen vooruit:**

**Kies de connectie met de hoogste K score**



# GREEDY LOOKAHEAD

Maak een lijnvoering

Herhaal tot  $p \geq \text{requested\_p}$ :

Herhaal tot # routes  $\leq 20$ :

Maak een route

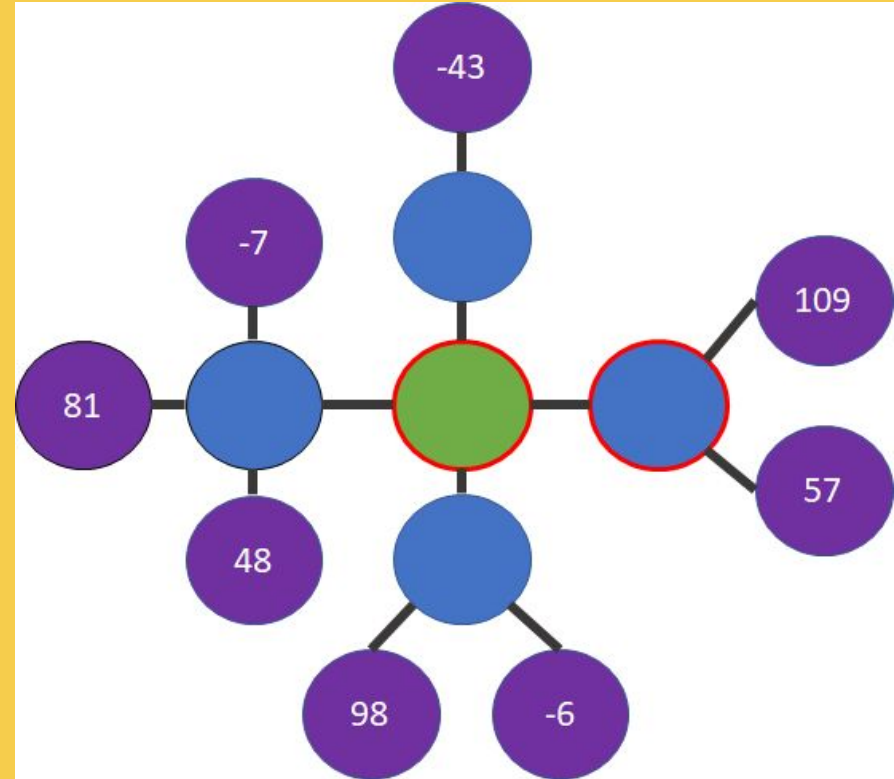
Herhaal tot  $\leq 180$  minuten:

Kies een random **beginstation** met  
**ongebruikte connecties**

Herhaal:

**Kijk drie lagen vooruit:**

Kies de **connectie** met de  
**hoogste K score**



# HILLCLIMBING

Gebruik een geldige oplossing

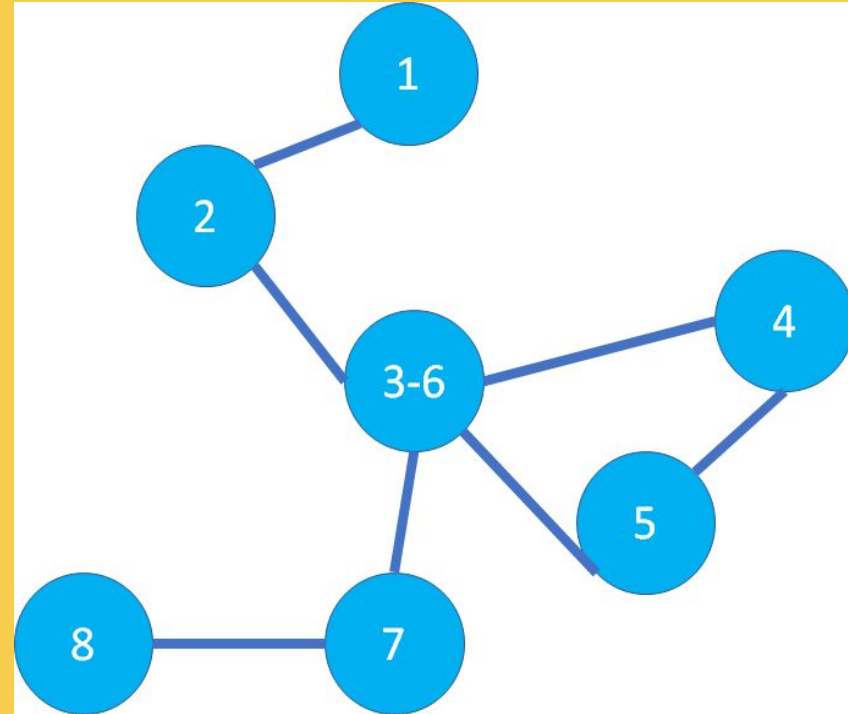
Herhaal:

Kies random één van de mutaties:

- Verwijder eerste connectie / station
- Verwijder laatste connectie / station
- Voeg connectie / station toe aan het begin
- Voeg connectie / station toe aan het eind

Kies een random route

Accepteer als de K-score verbetert



# HILLCLIMBING

Gebruik een geldige oplossing

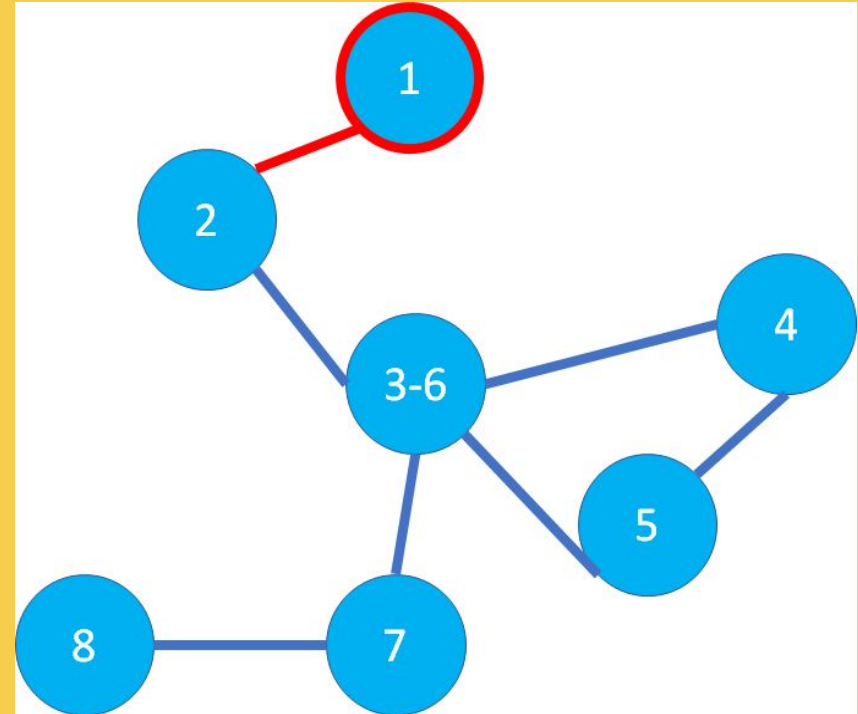
Herhaal:

Kies random één van de mutaties:

- **Verwijder eerste connectie / station**
- Verwijder laatste connectie / station
- Voeg connectie / station toe aan het begin
- Voeg connectie / station toe aan het eind

Kies een random route

Accepteer als de K-score verbetert



# HILLCLIMBING

Gebruik een geldige oplossing

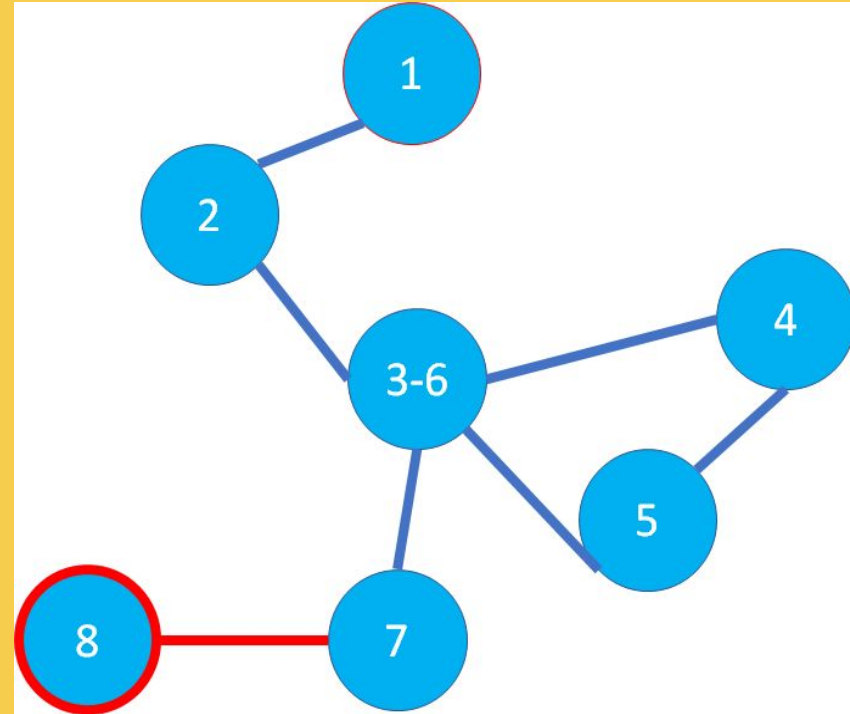
Herhaal:

Kies random één van de mutaties:

- Verwijder eerste connectie / station
- **Verwijder laatste connectie / station**
- Voeg connectie / station toe aan het begin
- Voeg connectie / station toe aan het eind

Kies een random route

Accepteer als de K-score verbetert



# HILLCLIMBING

Gebruik een geldige oplossing

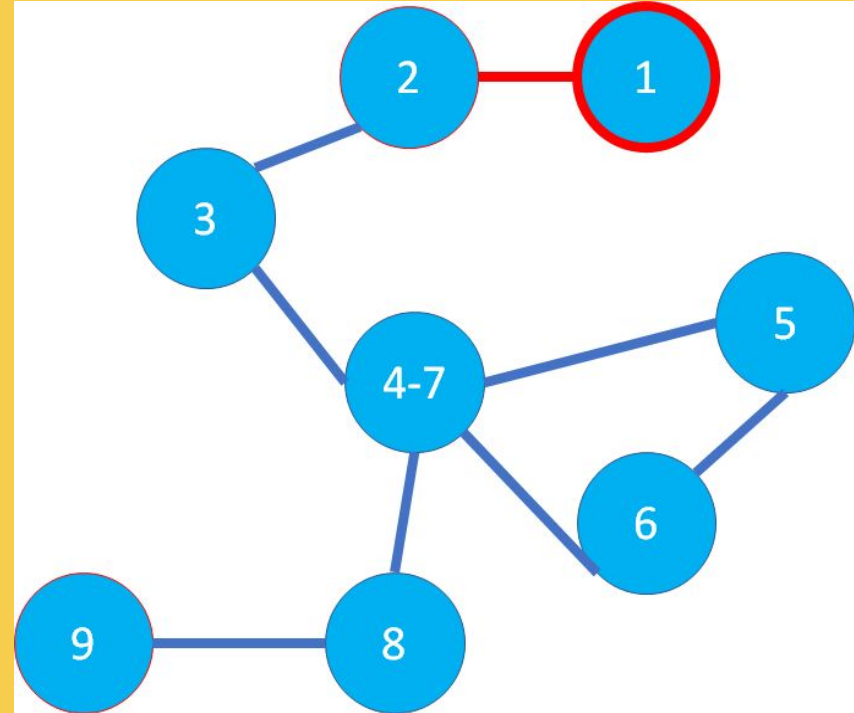
Herhaal:

Kies random één van de mutaties:

- Verwijder eerste connectie / station
- Verwijder laatste connectie / station
- **Voeg connectie / station toe aan het begin**
- Voeg connectie / station toe aan het eind

Kies een random route

Accepteer als de K-score verbetert





# HILLCLIMBING

Gebruik een geldige oplossing

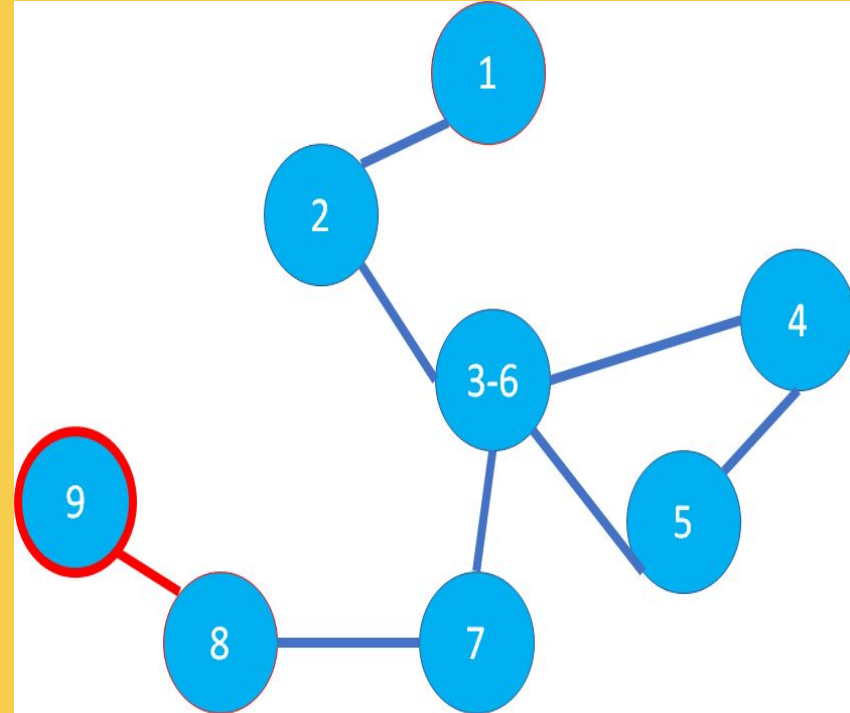
Herhaal:

Kies random één van de mutaties:

- Verwijder eerste connectie / station
- Verwijder laatste connectie / station
- Voeg connectie / station toe aan het begin
- **Voeg connectie / station toe aan het eind**

Kies een random route

Accepteer als de K-score verbetert



# HILLCLIMBING

Gebruik een geldige oplossing

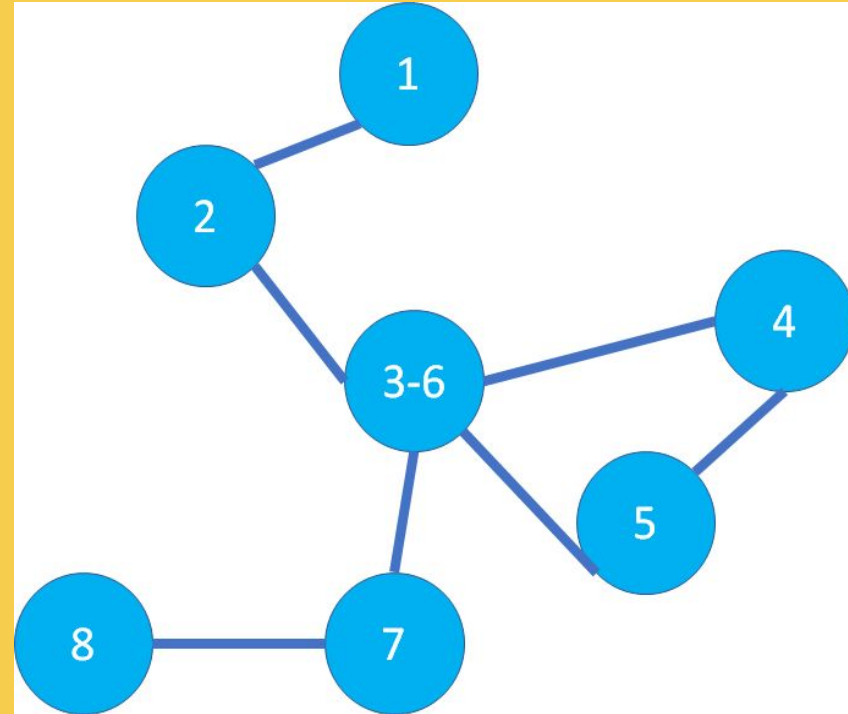
Herhaal:

Kies random één van de mutaties:

- Verwijder eerste connectie / station
- Verwijder laatste connectie / station
- Voeg connectie / station toe aan het begin
- Voeg connectie / station toe aan het eind

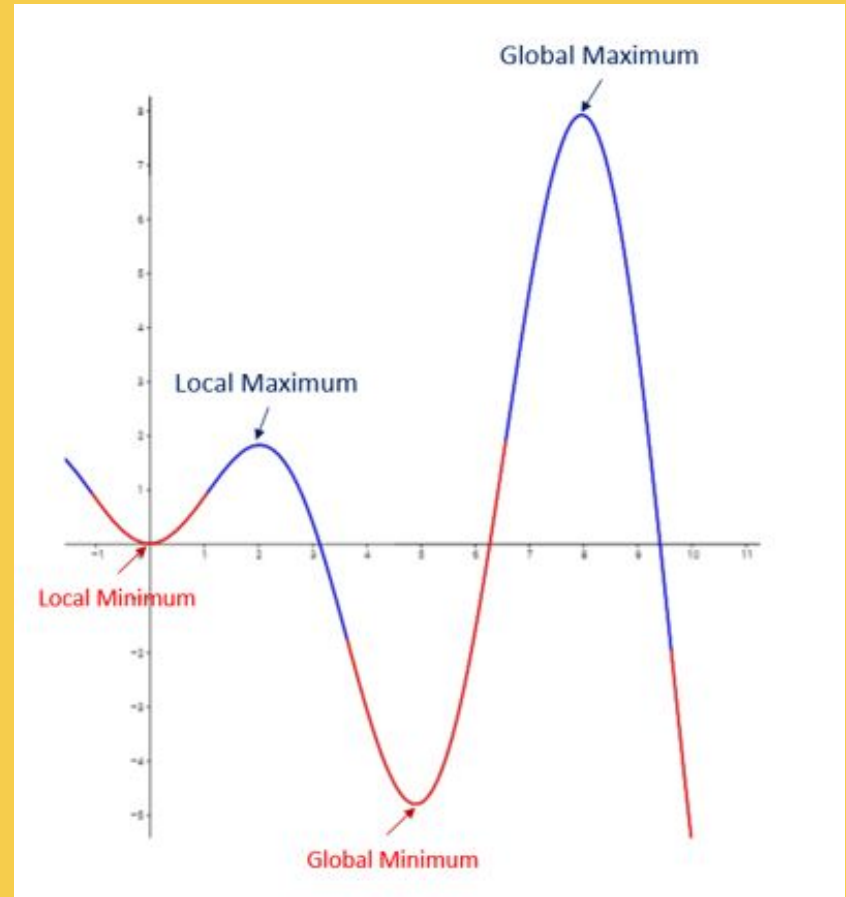
Kies een random route

Accepteer als de K-score verbetert



# SIMULATED ANNEALING

- Hill Climbing stopt op een top
- Lokaal optimum ??
- Verbeteringen altijd accepteren
- Verslechtingen soms accepteren



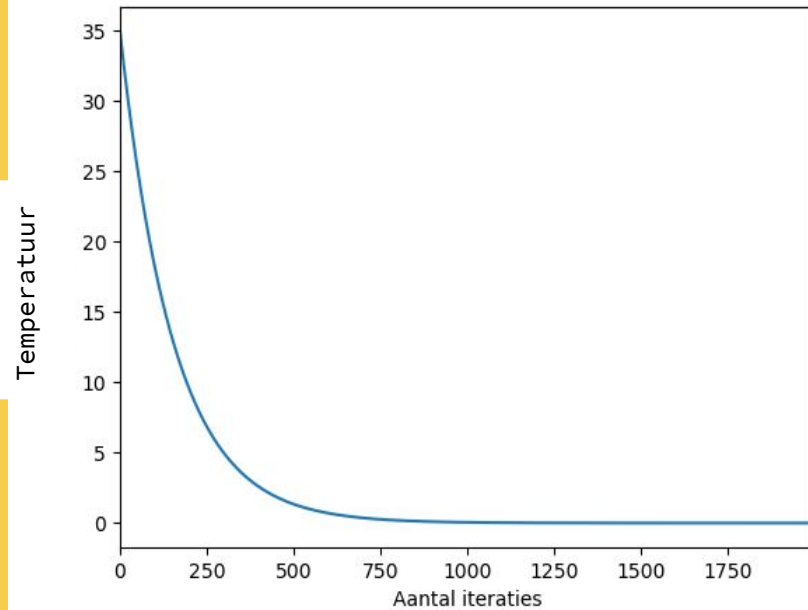
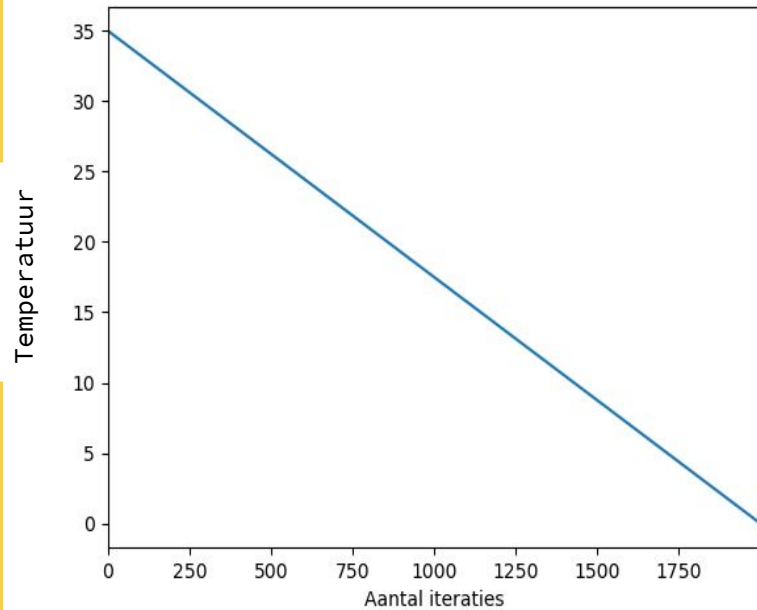
# SIMULATED ANNEALING

- Hill climber (parent class)
- Begin temperatuur:  $T_0 = 46.5$ 
  - In het begin: 10% acceptatiekans voor de **grootste verslechtering**
- Update temperatuur (exponentieel)

```
self.T = self.T0 * 0.9935^self.iteration
```

- **$P = e^{\Delta K / T}$**
- Delta: Nieuwe K – Oude K

# COOLING SCHEME



# RESULTATEN



## ... WELKE P-WAARDE?

- Op zoek naar de beste p-waarde
- 'Beste' gebaseerd op:
  - K-score
  - Runtime
- Per algoritme onderzocht



# ... REQUESTED\_P?

De 'beste' P verschilt per algoritme

Random & Shortest:  $P = 0,87$

Unused & Greedy Lookahead:  $P = 1$

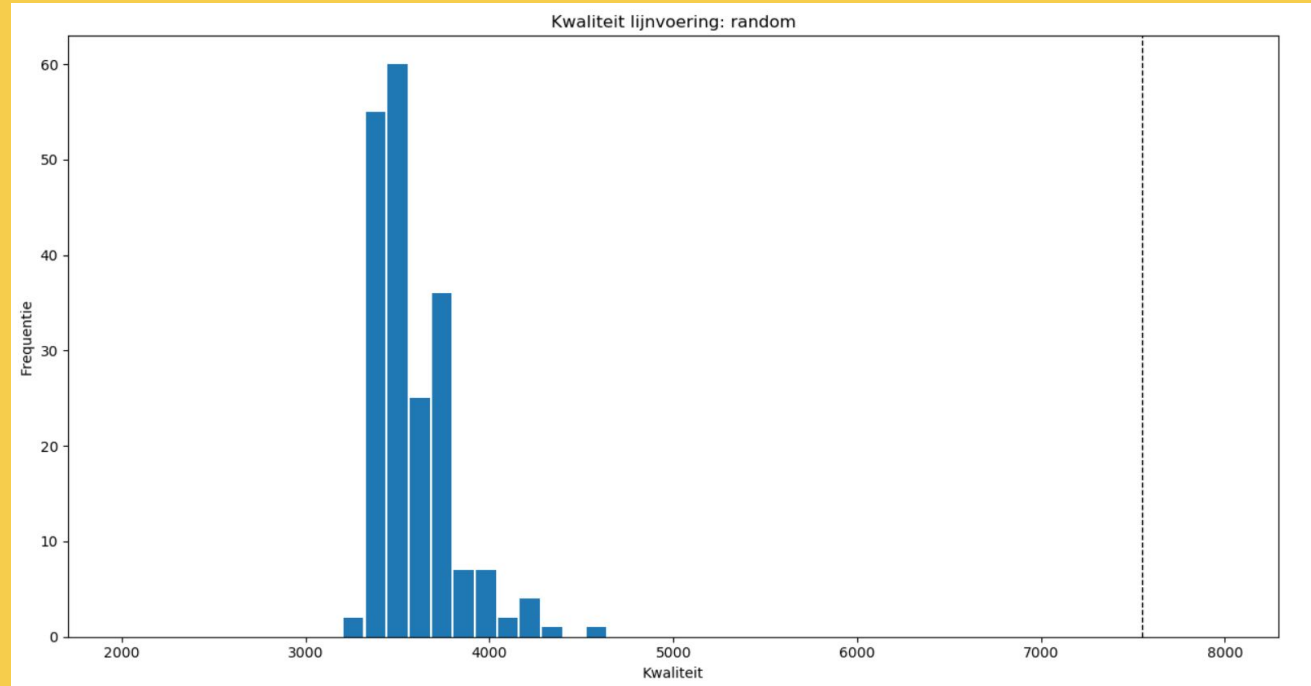
# RESULTATEN

# RANDOM ALGORITME

$P = 0,87$

Gemiddelde score:

**3583**

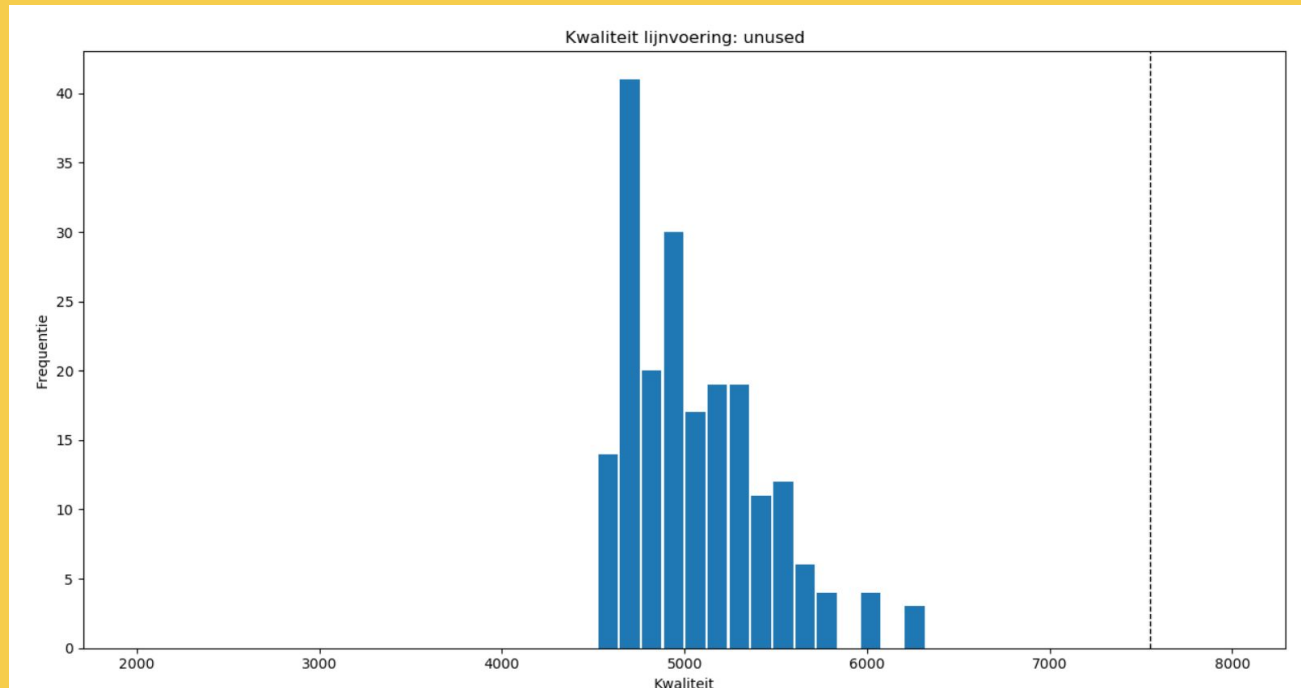


# UNUSED

P = 1

Gemiddelde score:

**5061**

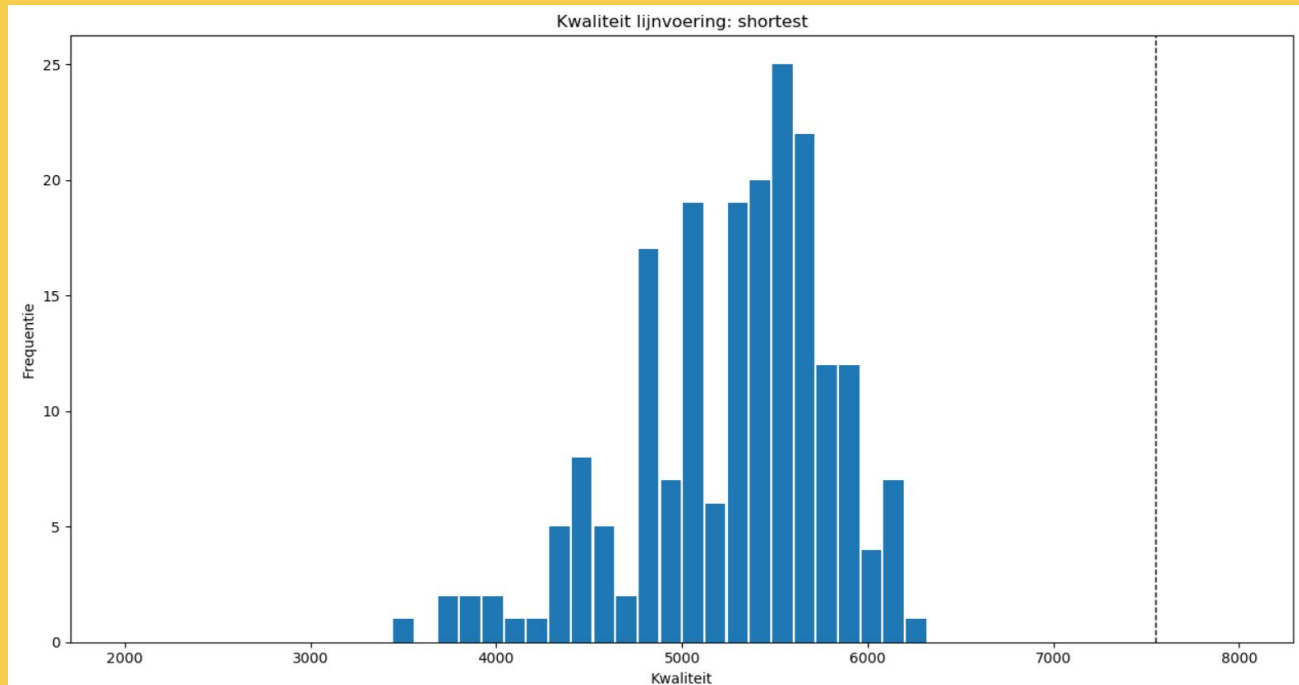


# SHORTEST

P = 0,87

Gemiddelde score:

**5272**

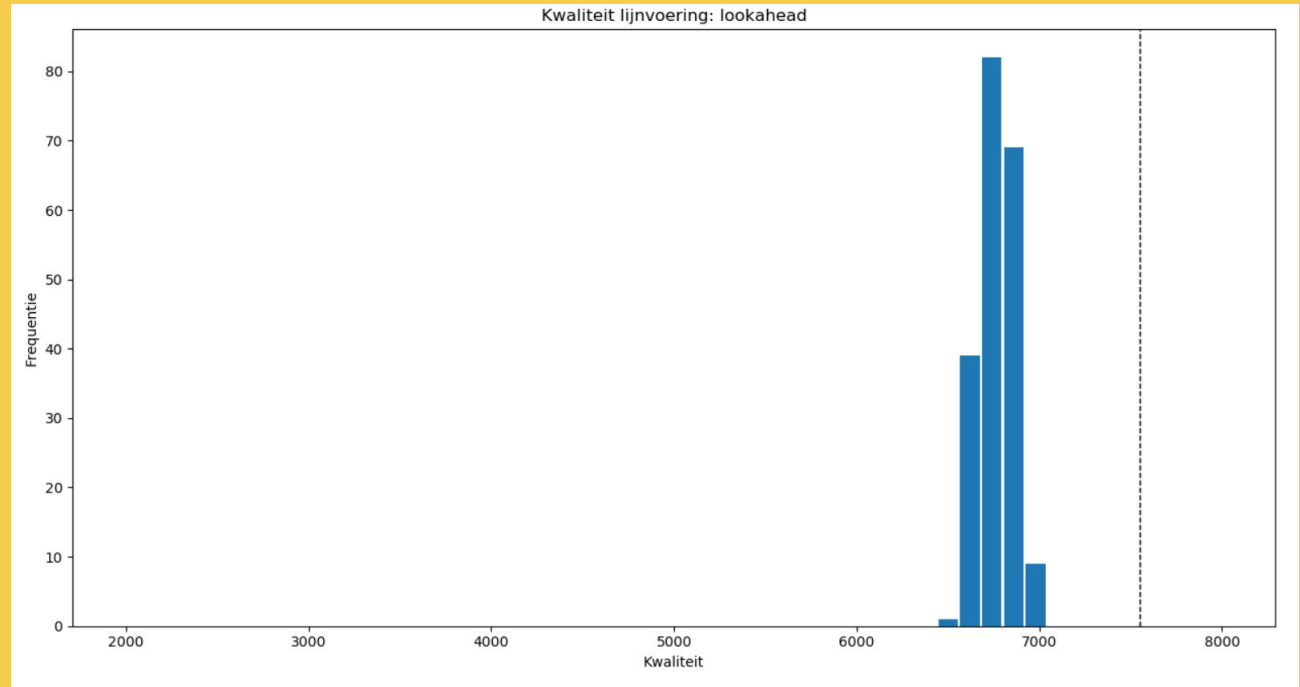


# GREEDY LOOKAHEAD

P = 1

Gemiddelde score:

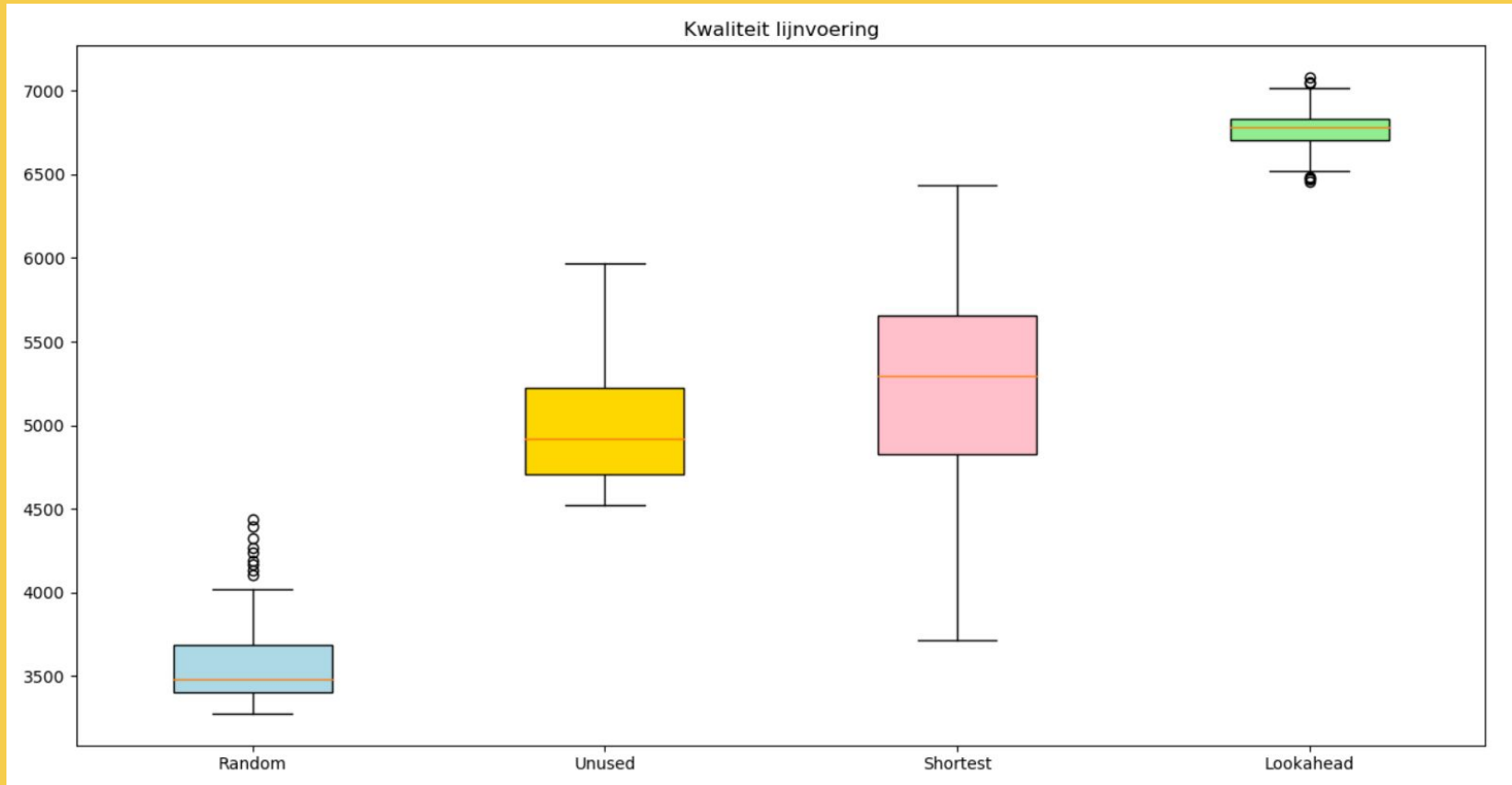
**6767**



# RESULTATENOVERZICHT

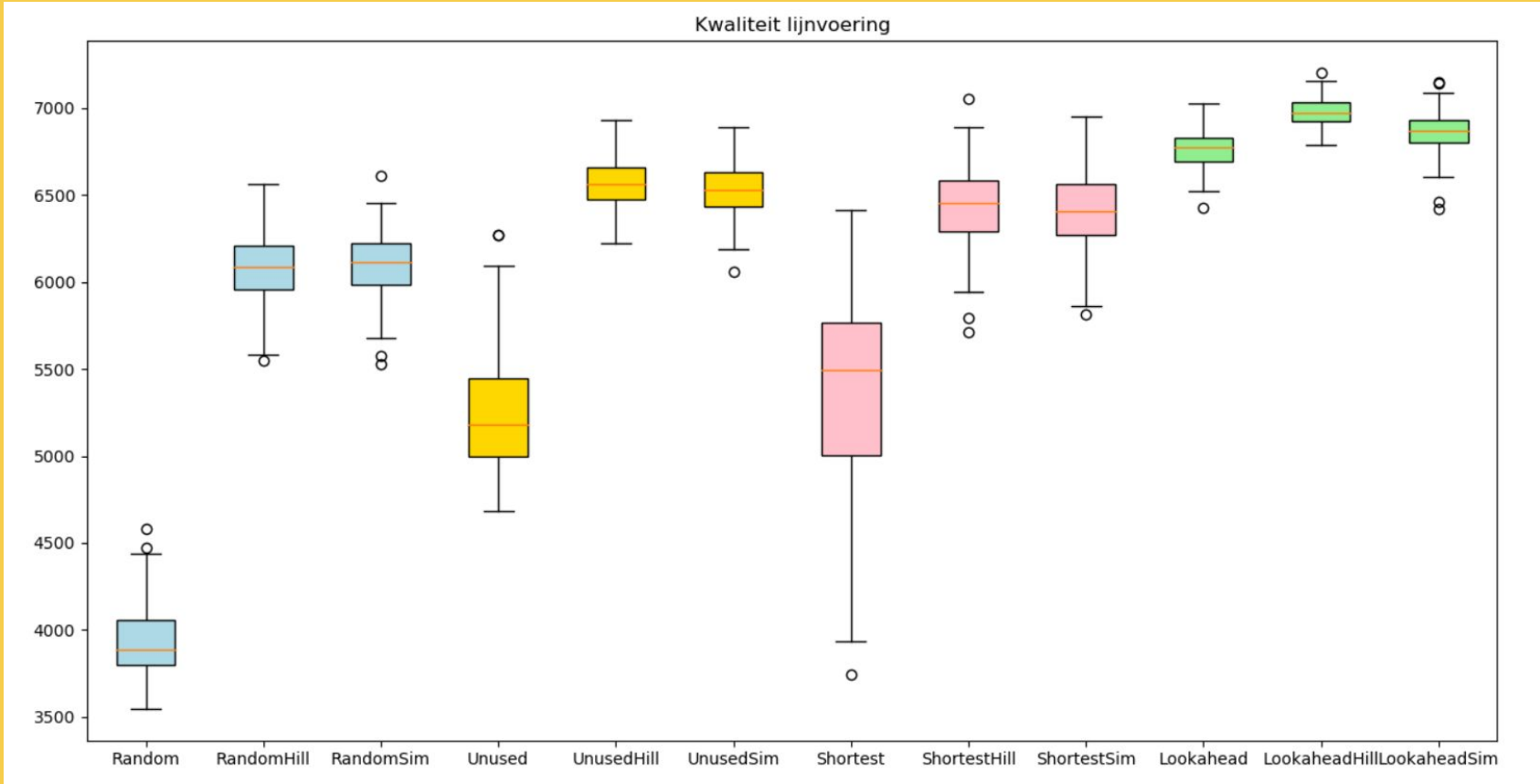
	<b>P</b>	<b>Totaal aantal minuten (<i>Min</i>)</b>	<b>Aantal routes (T)</b>	<b>Score (K)</b>
<b>Random</b>	0,87	3244,4	19,5	3583
<b>Unused</b>	1	3091,0	18,7	5061
<b>Shortest</b>	0,87	2176,7	13,3	5272
<b>Greedy lookahead</b>	1	1891,0	13,3	6767

# BOXPLOTS





# BOXPLOTS - ITERATIEVE ALGORITMEN



DISCUSSIE

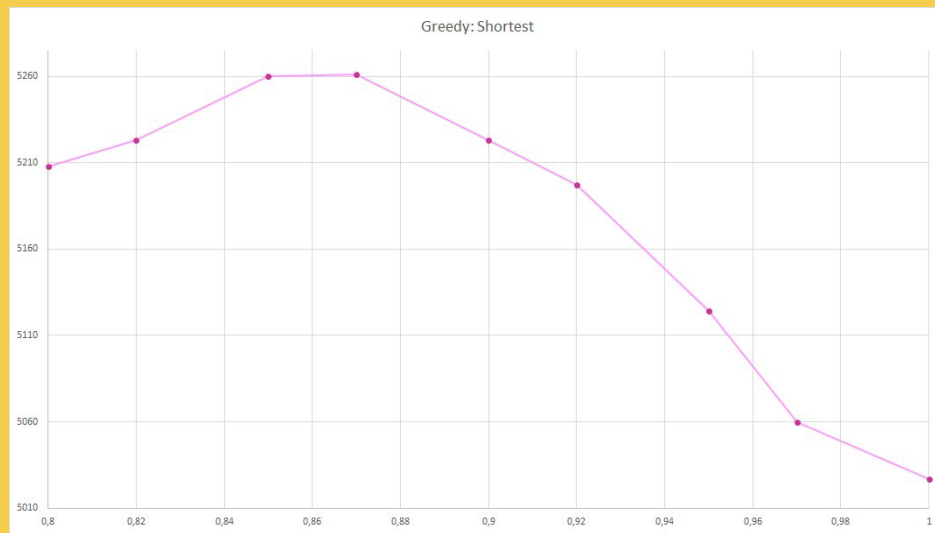
# REQUESTED\_P

Verwachting: **hogere P is beter**

- $10000/89 = 112$  punten per connectie
- Langste connectie is 63 minuten:
- Minimaal 49 punten per nieuwe connectie
- Ook korte connecties, dus speling om een nieuwe connectie 'te vinden'

# NIET ALTIJD 1...

	Totaal aantal minuten ( <i>Min</i> )	Aantal routes (T)	Score (K)
Random	3244,4	19,5	3583
Unused	3091,0	18,7	5061
Shortest	2176,7	13,3	5272
Greedy lookahead	1891,0	13,3	6767



# WAAROM EEN LAGERE P?

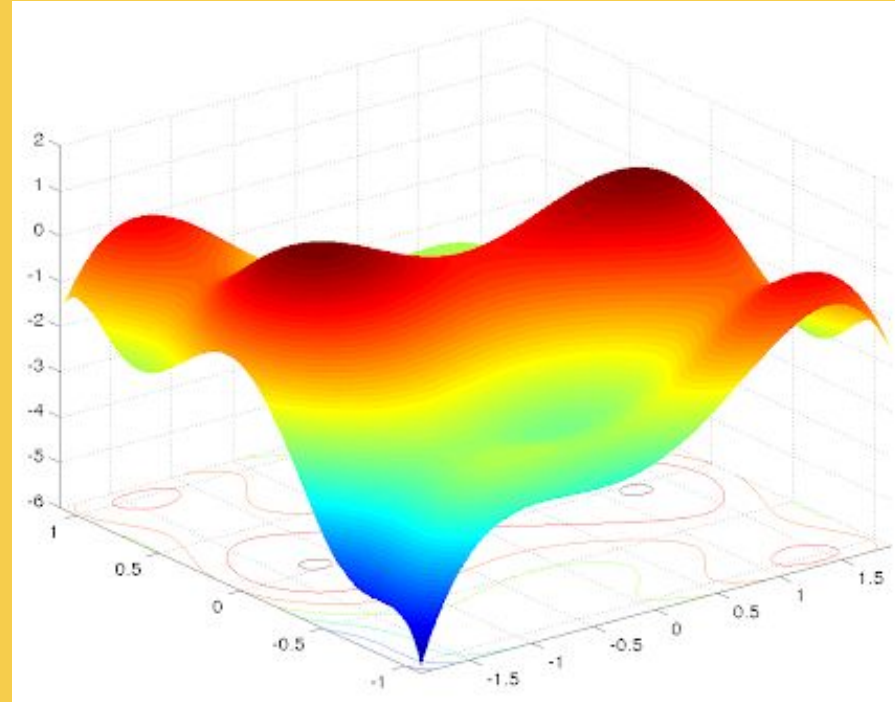
- **Shortest** gebruikt kortere connecties dan **unused**
- Bij een hogere P -> **kopstations**

	Minuten per traject	Connecties per traject	Tijd per connectie
Shortest	163,7 min	5,9	27,9 min
Unused	165,3 min	4,8	34,7 min

# HILL EN SIMULATED

Verwachting: **simulated is beter**

- Heuvelachtig oplossingslandschap
- Simulated annealing kan 'ontsnappen' uit lokaal optimum
- Hill zit altijd vast in een optimum



# HILL EN SIMULATED

## ... Hill was beter

- Geen heuvelachtig oplossingslandschap?
- De algoritmen kunnen niet de juiste mutaties uitvoeren
  - Nieuwe routes toevoegen
- Coolingsschema (en temperatuur?) niet goed afgesteld





# TOEKOMSTIG ONDERZOEK

# Vragen voor de toekomst

- P van 1 minder bij grotere problemen?
  - Connectie levert minder op dan de minuten die het kost
- Vorm van het traject
  - Compact/circulair of uitgestrekt in dezelfde richting
- Stapsgewijs gelijktijdig maken van trajecten
  - Voorkom greedy gedrag
- Belang van het beginstation
  - Ligging
  - Veel versus weinig connecties
  - Korte versus lange connecties

# RANDOM

Maak een lijnvoering

Herhaal tot  $p \geq \text{requested\_p}$ :

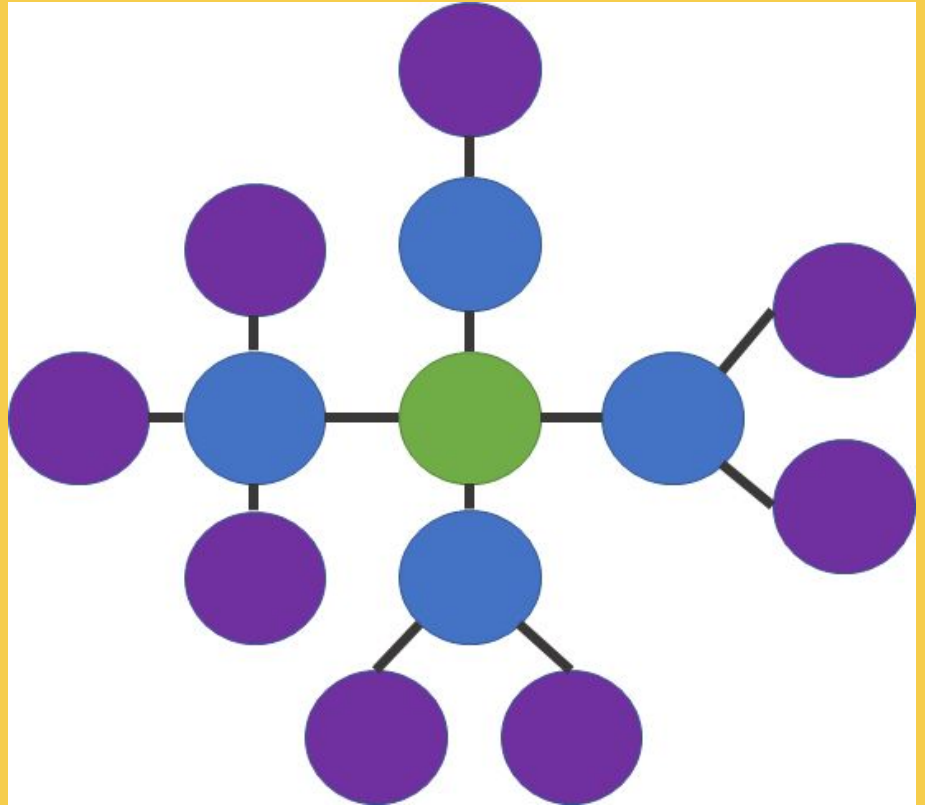
Herhaal tot # routes  $\leq 20$ :

Maak een route

Herhaal tot route  $\leq 180$  min:

Kies een random begin  
station

Kies een random connectie



# GREEDY: UNUSED

Maak een lijnvoering

Herhaal tot  $p \geq \text{requested\_p}$ :

Herhaal tot # routes  $\leq 20$ :

Maak een route

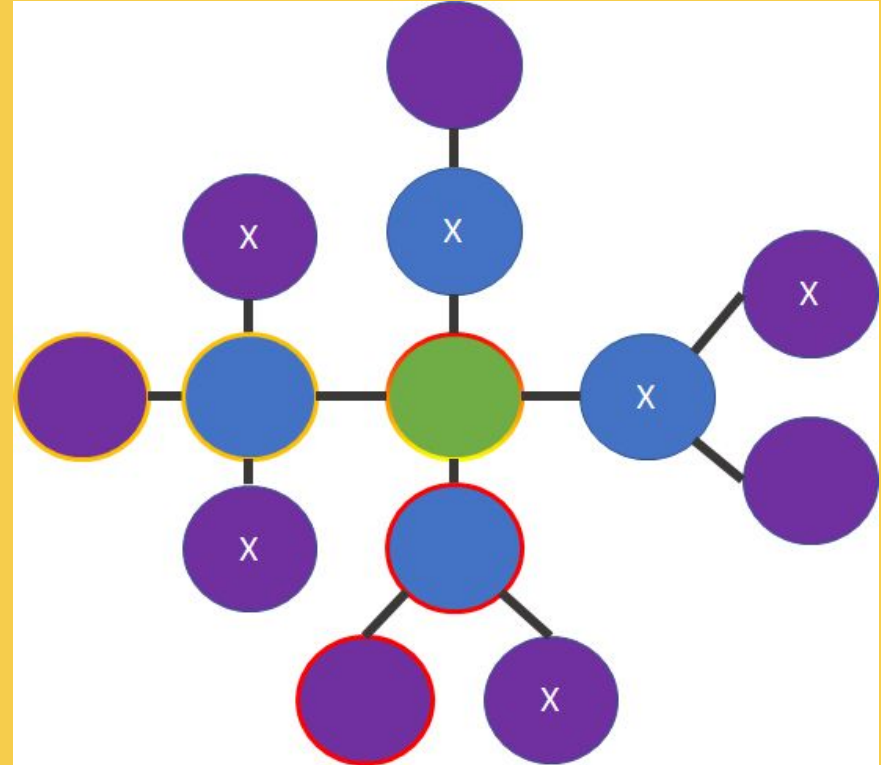
Herhaal tot route  $\leq 180$  min:

Kies een random begin station

**Als er ongebruikte connecties  
aanwezig zijn:**

**Kies een random  
ongebruikte connectie**

Kies een random connectie



# GREEDY: SHORTEST

Maak een lijnvoering

Herhaal tot  $p \geq \text{requested\_p}$ :

Herhaal tot # routes  $\leq 20$

Maak een route

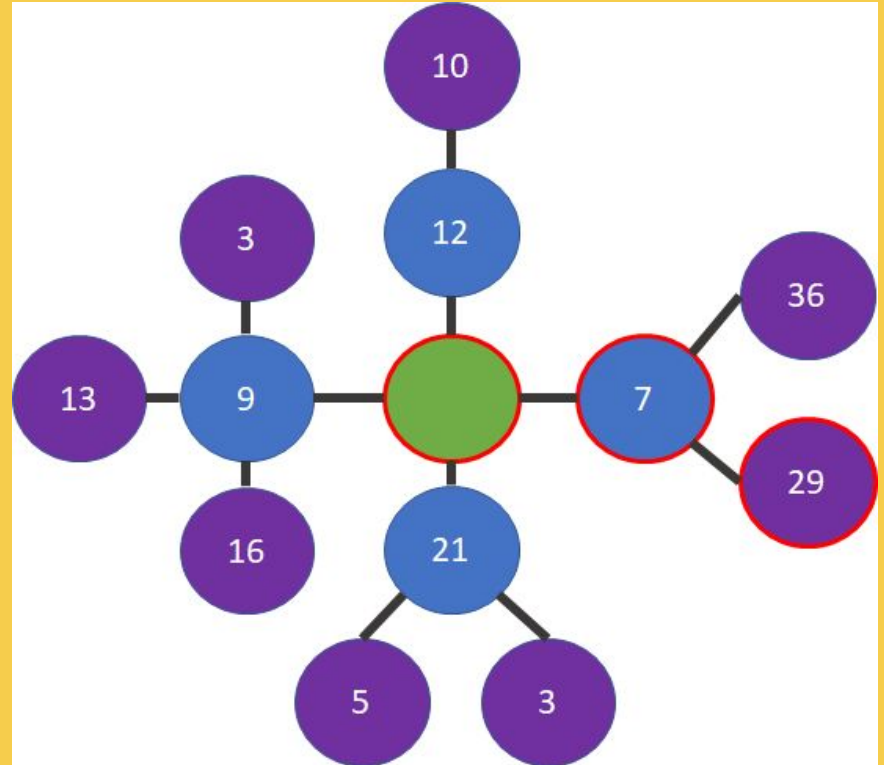
Herhaal tot  $\leq 180$  min:

Kies een random begin  
station

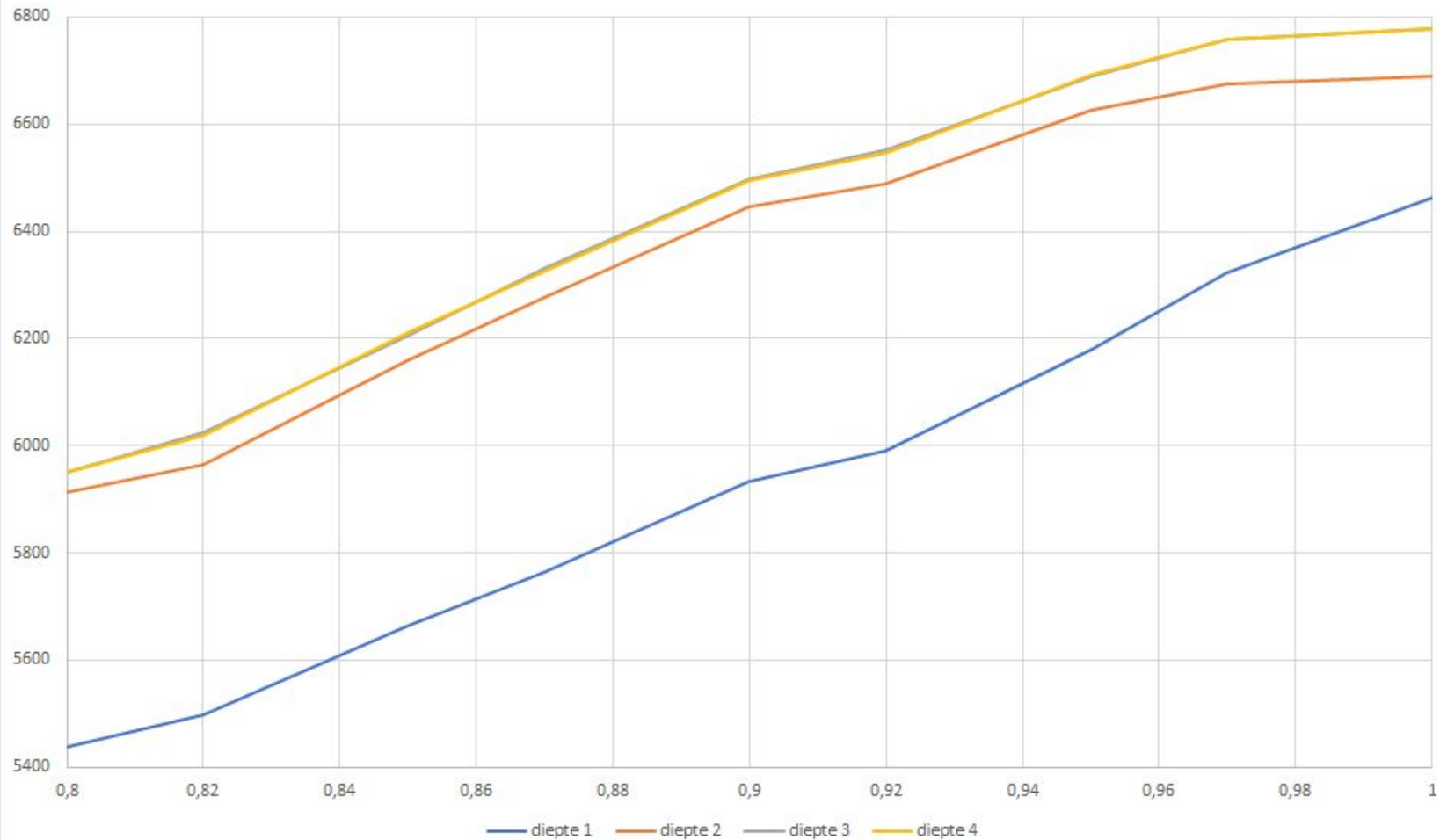
Als er ongebruikte  
connecties aanwezig zijn:

Kies de **kortste  
ongebruikte** connectie

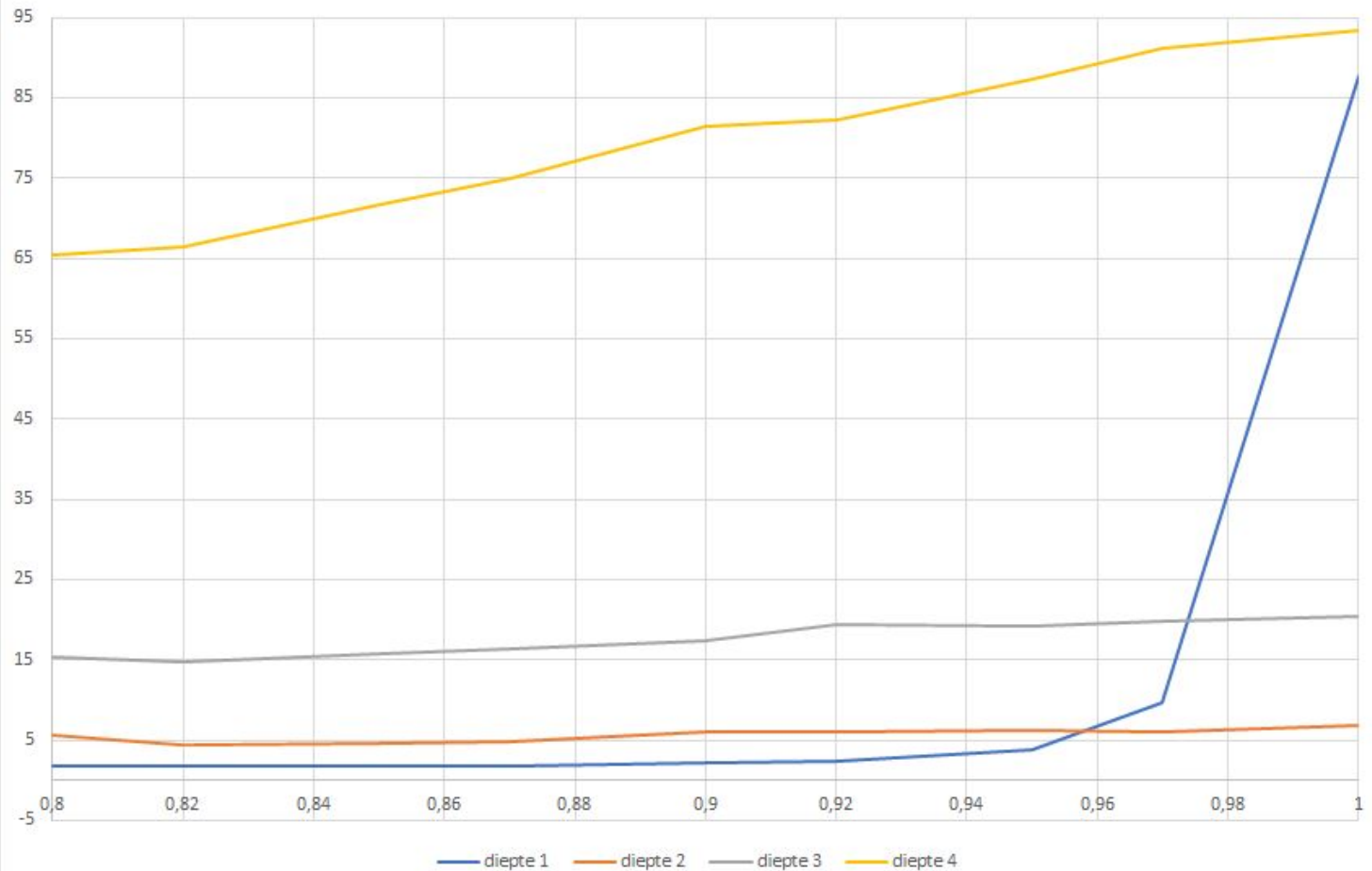
Kies een random (unused)  
connectie



K-scores per p-waarde op verschillende dieptes



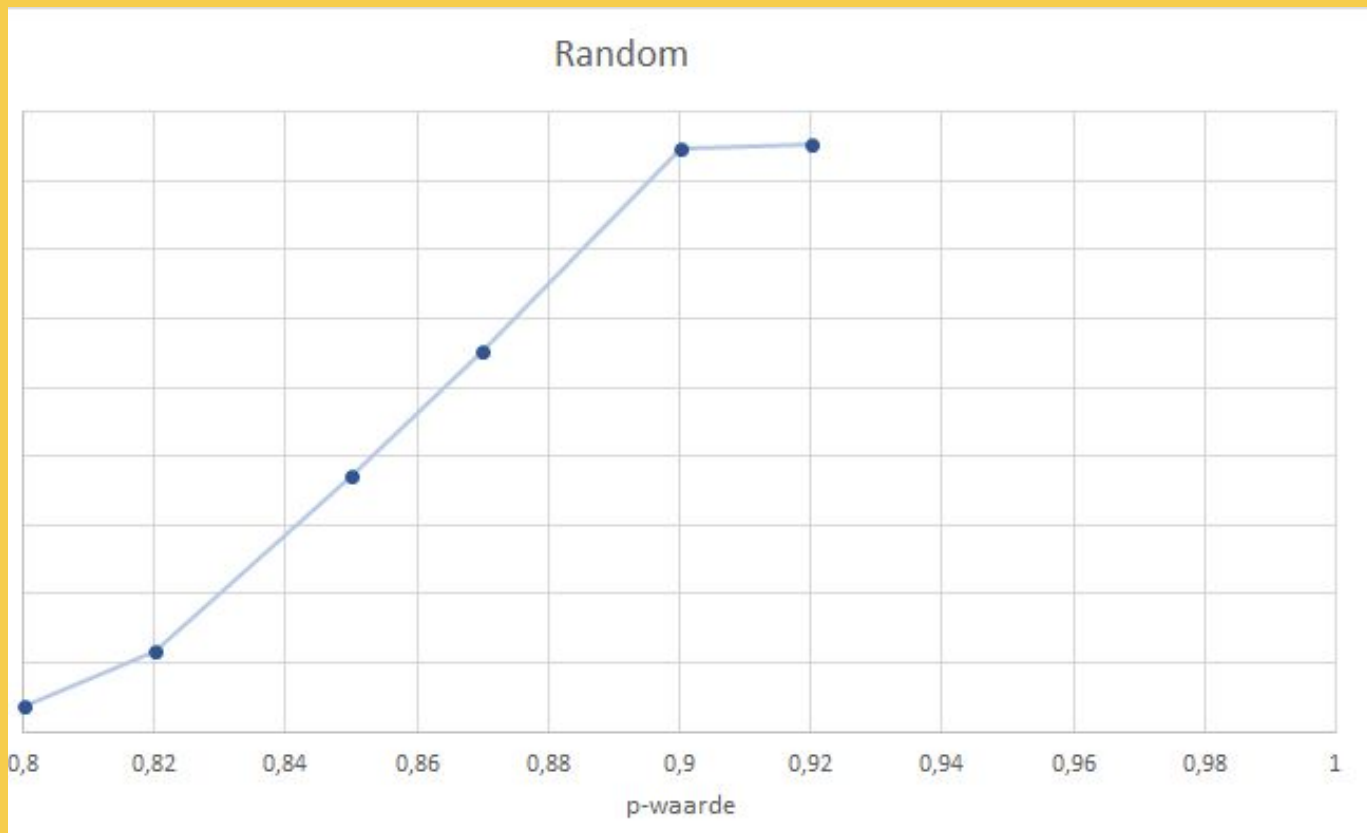
Runtime per p-waarde op verschillende dieptes



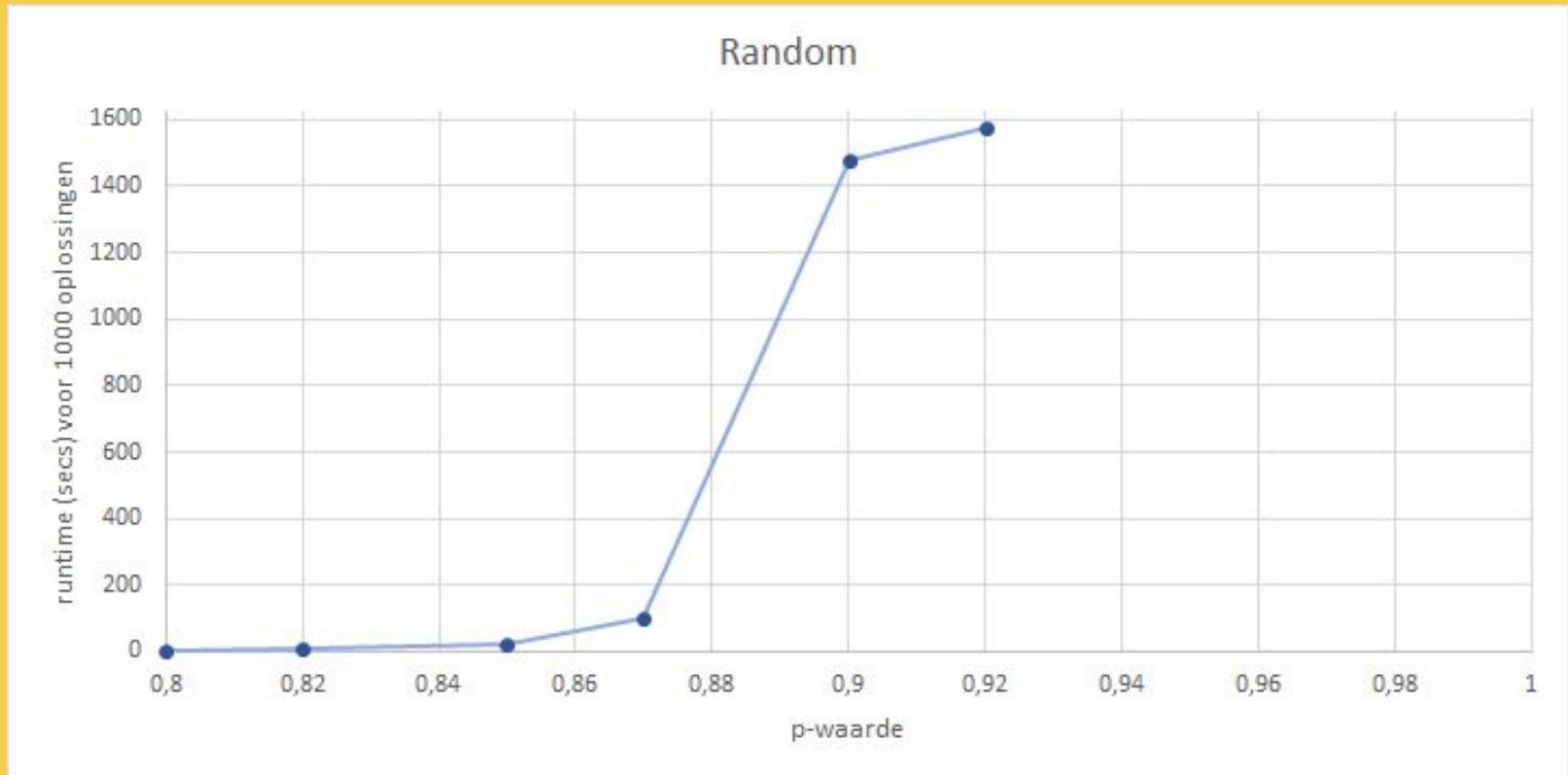




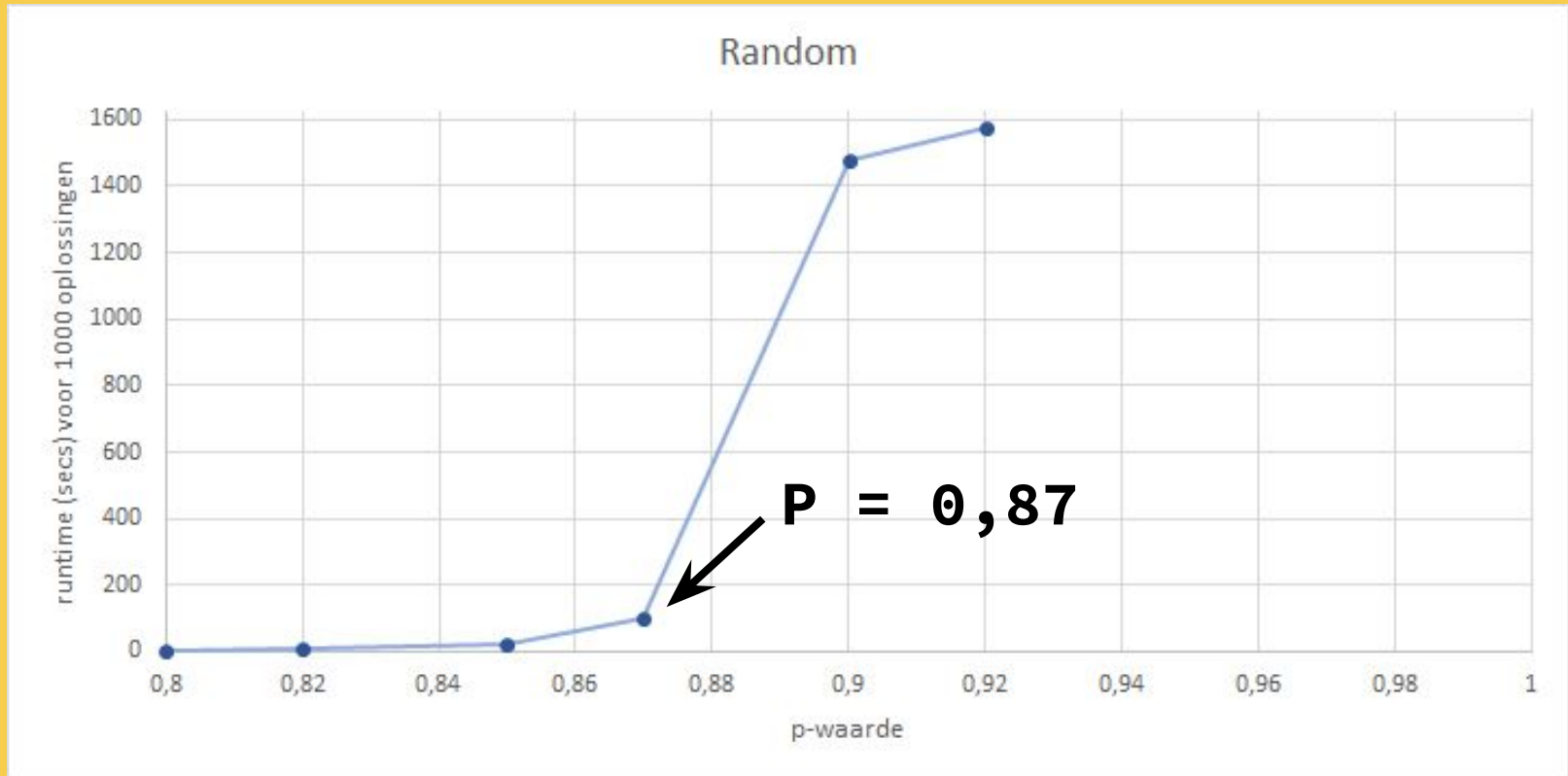
# P-WAARDE VS K-SCORE: RANDOM



# P-WAARDE VS RUNTIME: RANDOM



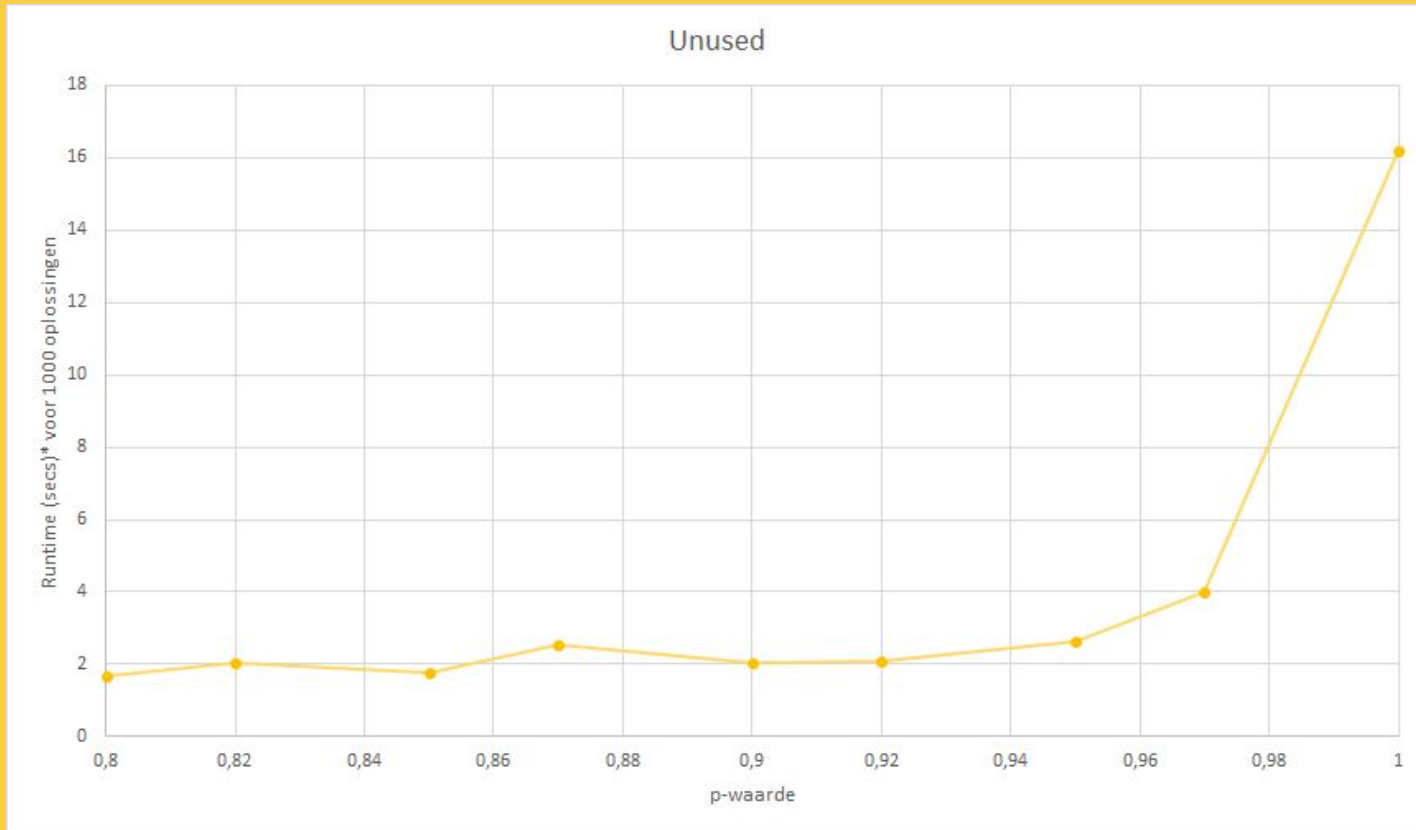
# P-WAARDE VS RUNTIME: RANDOM



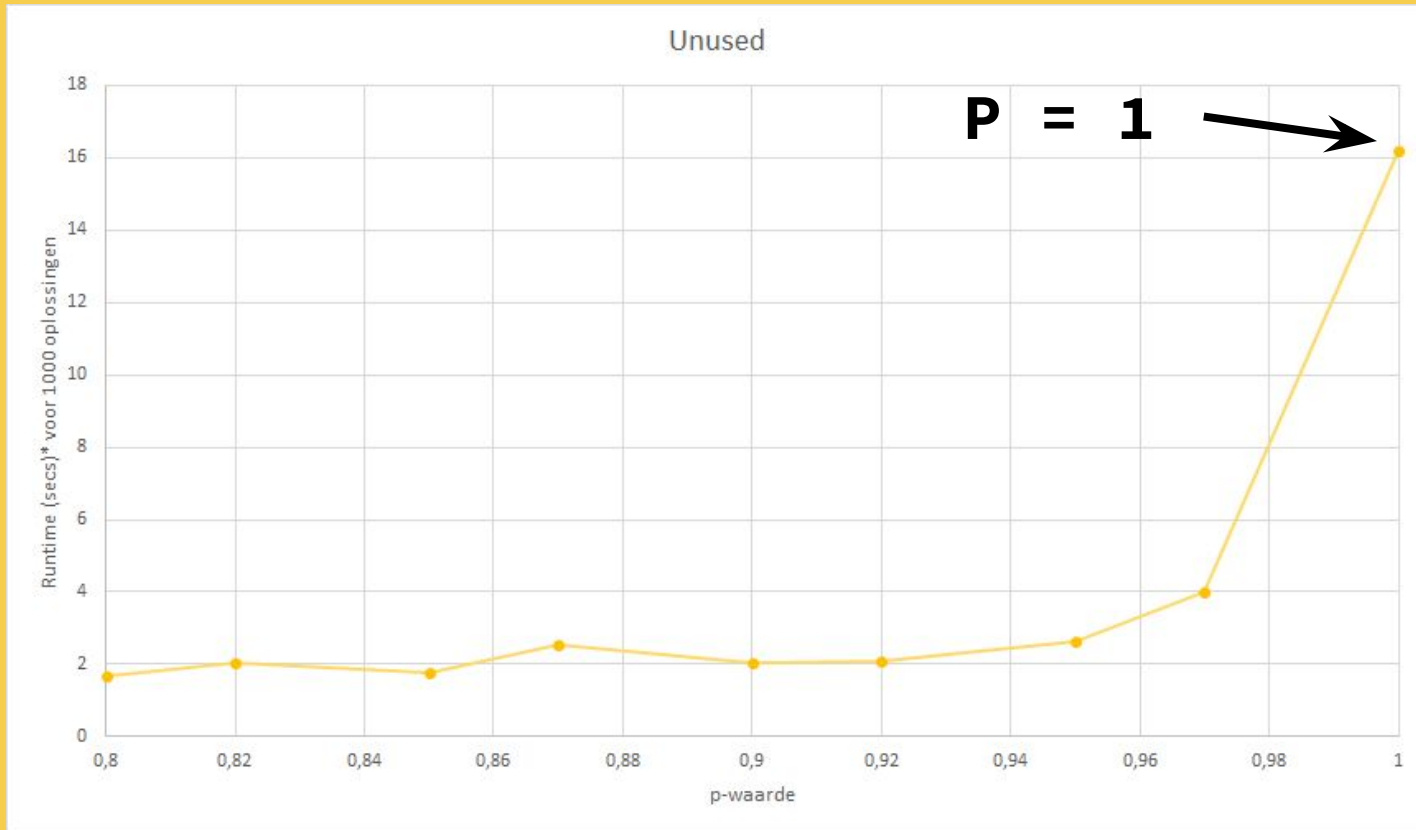
# P-WAARDE VS K-SCORE: UNUSED



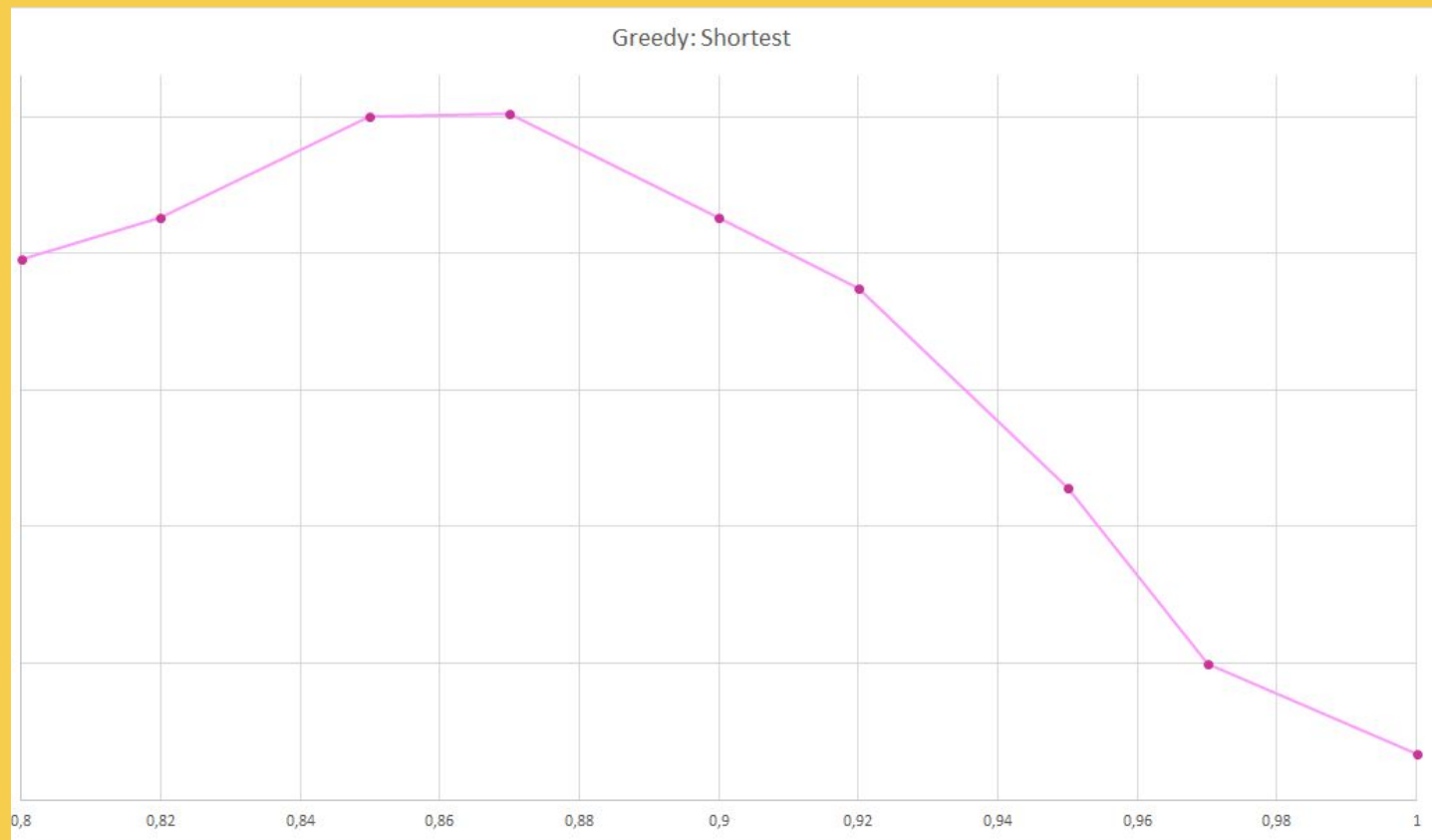
# P-WAARDE VS RUNTIME: UNUSED



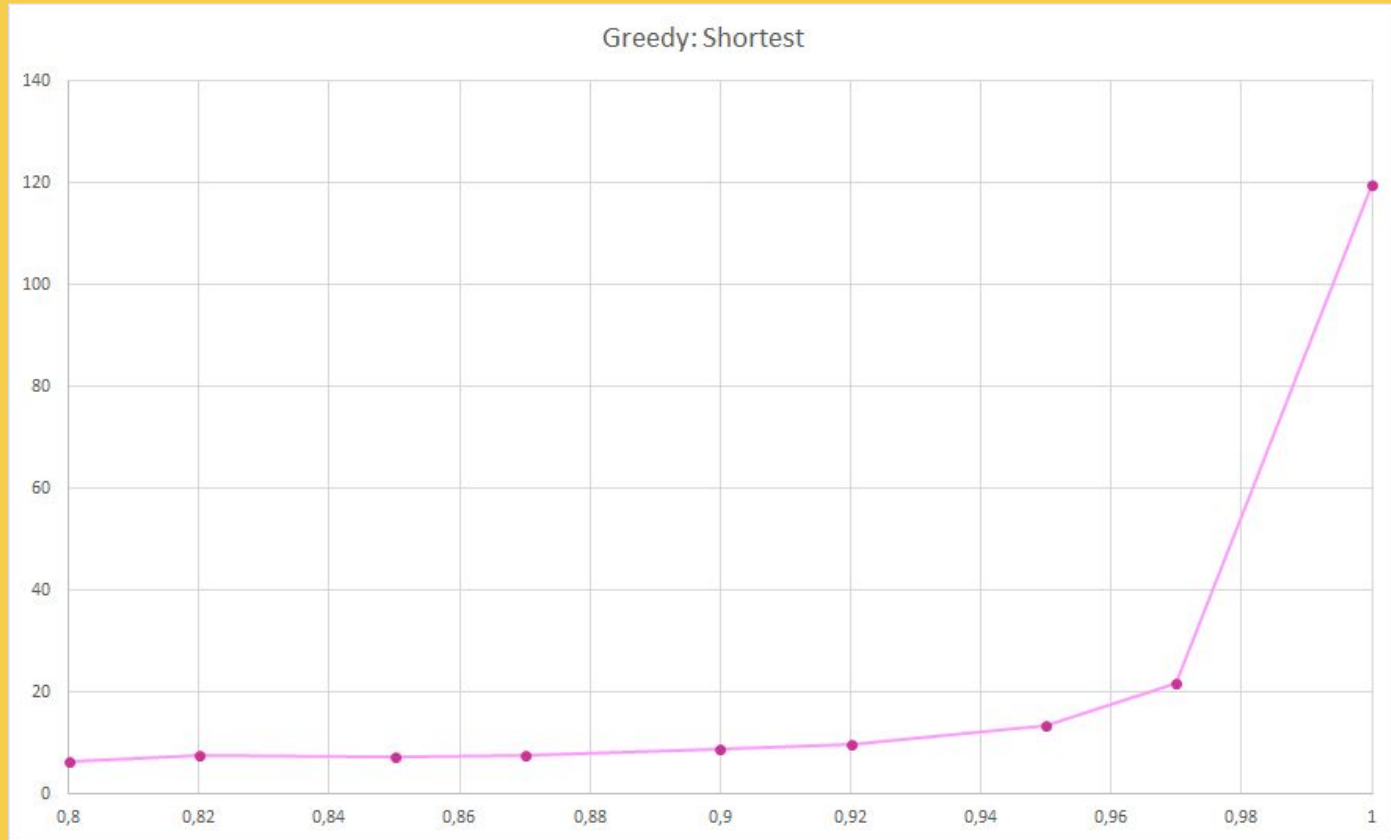
# P-WAARDE VS RUNTIME: UNUSED



# P-WAARDE VS K-SCORE: SHORTEST



# P-WAARDE VS RUNTIME: SHORTEST

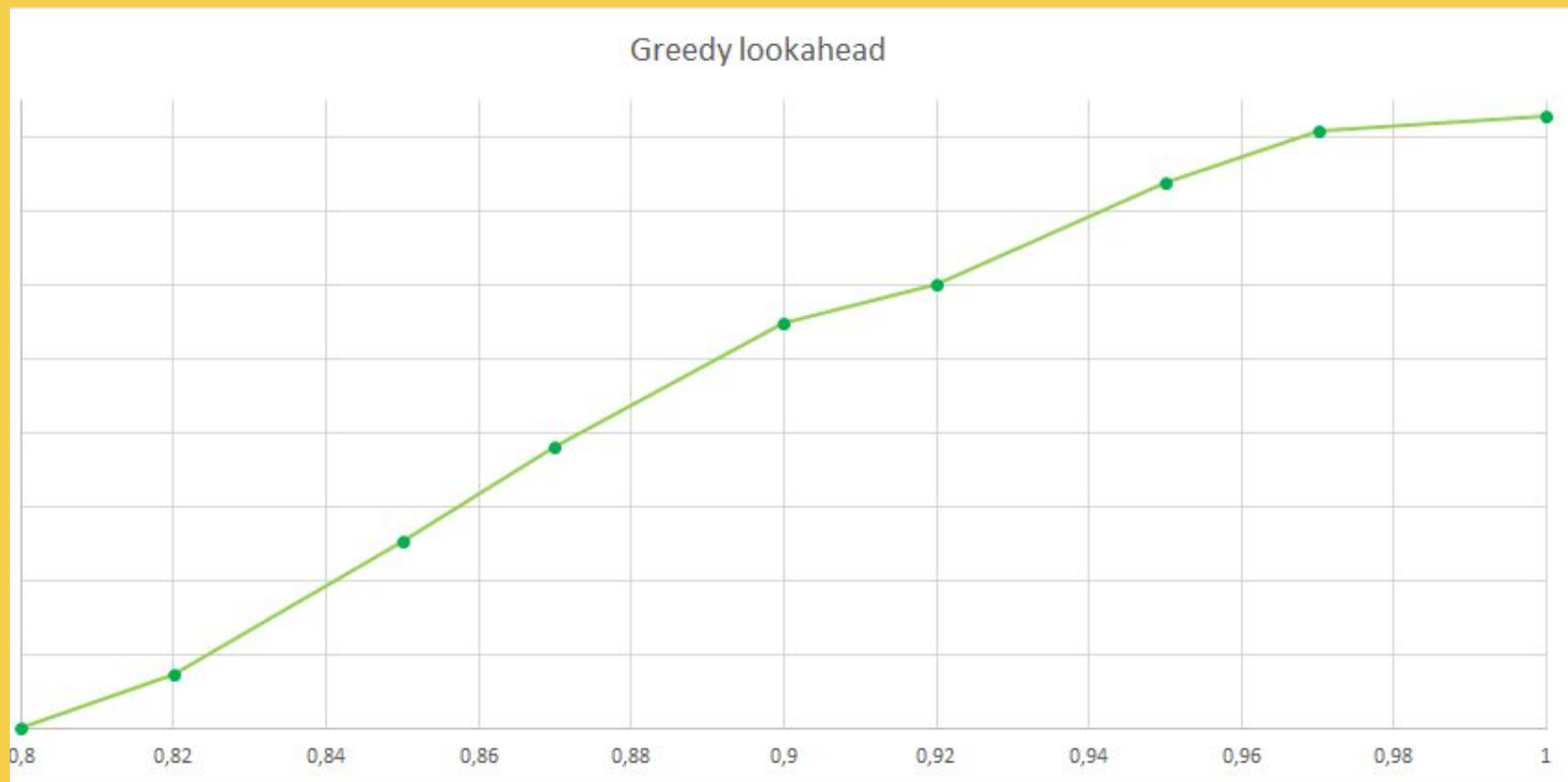




# P-WAARDE VS RUNTIME: SHORTEST



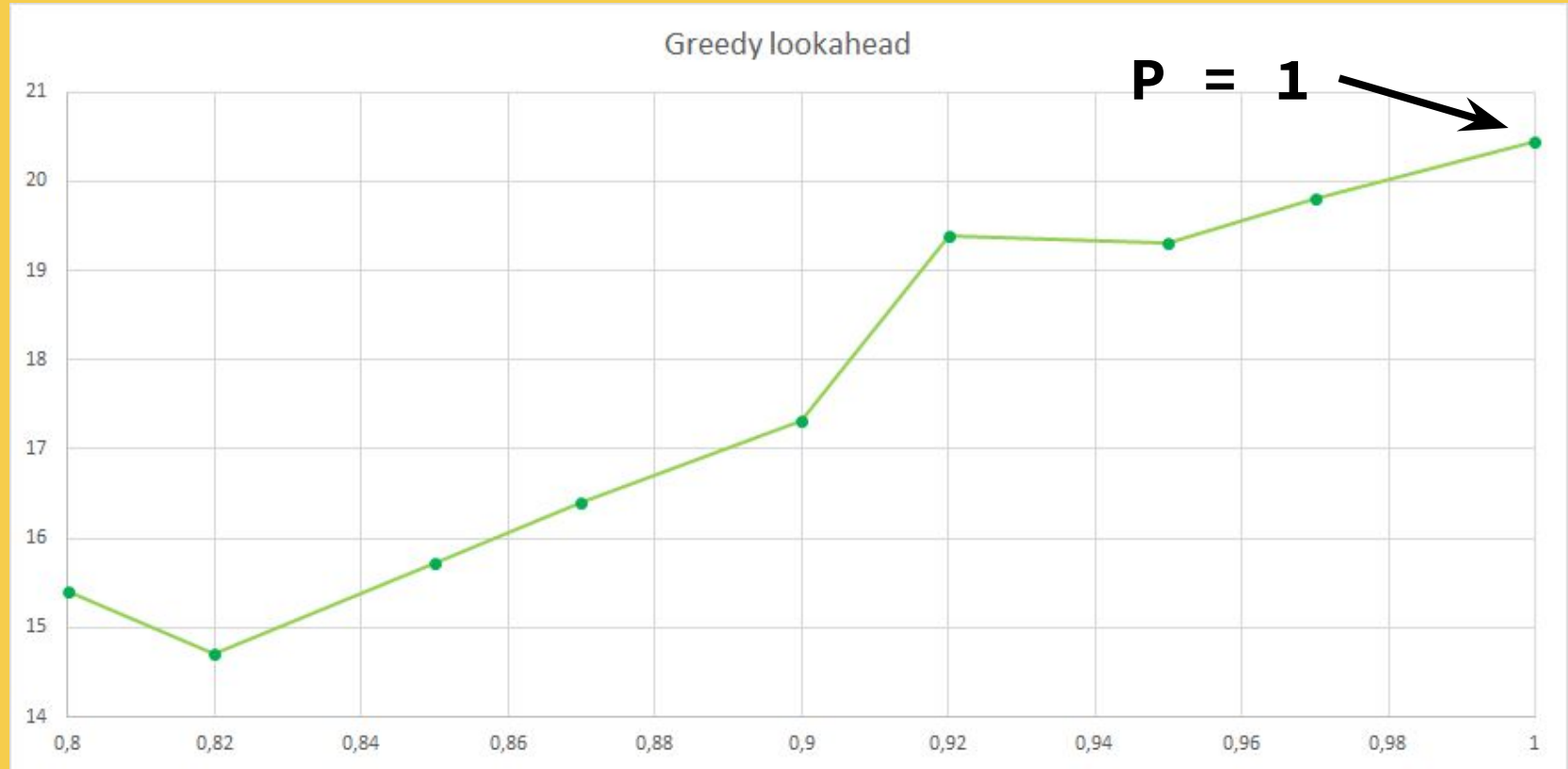
# P-WAARDE VS K-SCORE: GREEDY LOOKAHEAD



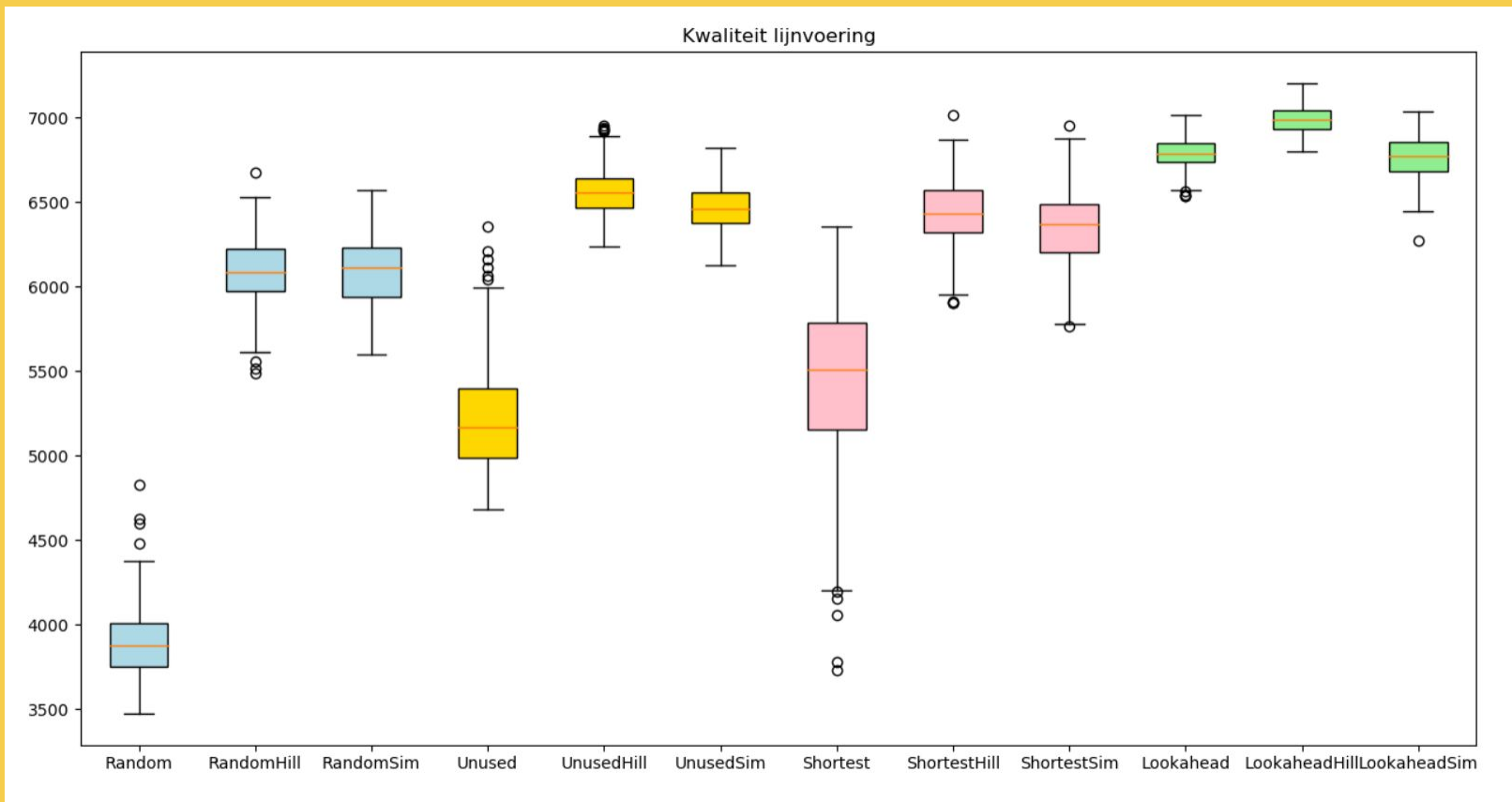
# P-WAARDE VS RUNTIME: GREEDY LOOKAHEAD



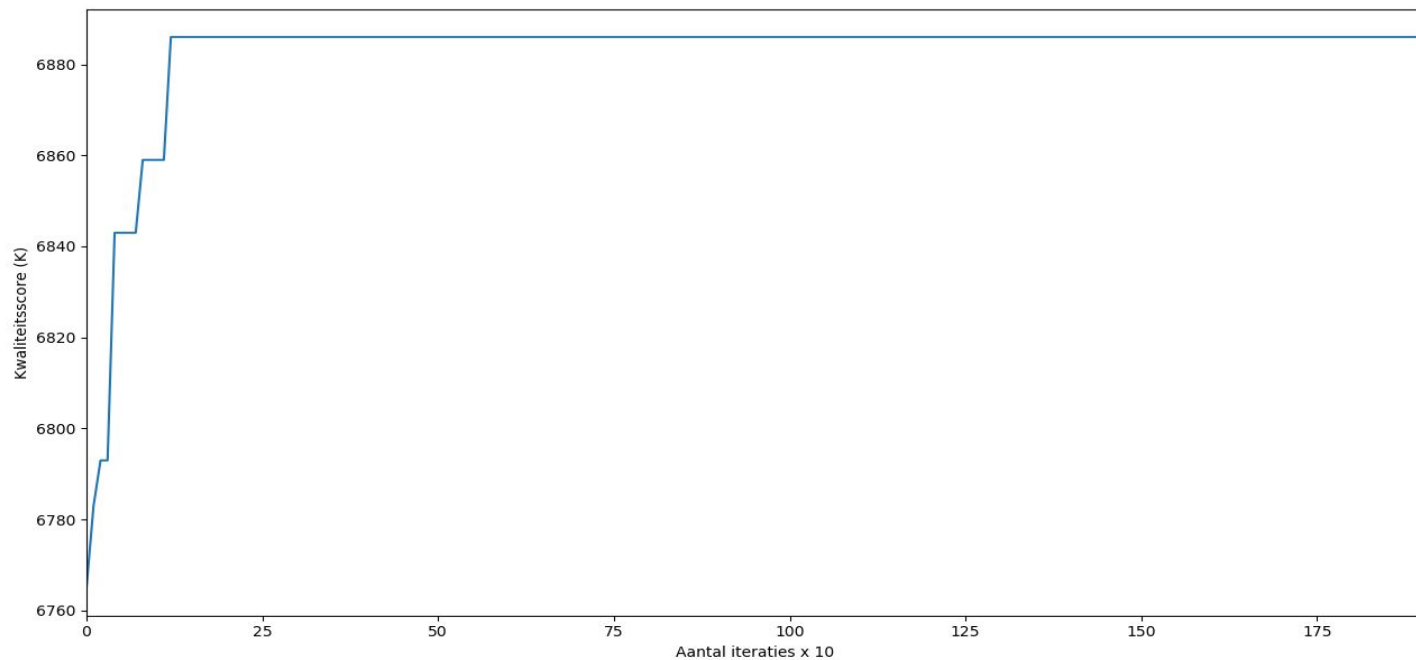
# P-WAARDE VS RUNTIME: GREEDY LOOKAHEAD



# BOXPLOT



# HILLCLIMBING



# SIMULATED ANNEALING

