

# Tentamen Numerieke Wiskunde (WISB251)<sup>1</sup>

16 april 2020



Maak één opgave per vel en schrijf op ieder vel duidelijk je naam en studentnummer. Laat duidelijk zien hoe je aan de antwoorden komt. Onderstaande formules en stellingen mag je zonder bewijs gebruiken. Succes!

**Hierbij verklaar ik dat ik de uitwerkingen van dit tentamen zelf heb gemaakt, zonder hulp van andere personen of van andere hulpmiddelen dan het cursusboek/dictaat/eigen aantekeningen.**

Naam:

Studentnummer:

Datum:

Plaats:

Handtekening:

## Handige formules en notatie

- **Representatiefout** zwevendekommagetallen:  $\text{fl}(x) = x(1 + \epsilon) = x(1 + \epsilon')^{-1}$  met  $|\epsilon|, |\epsilon'| \leq \eta$ .
- **Exacte afronding**:  $\text{fl}(\text{fl}(x) \circ \text{fl}(y)) = (\text{fl}(x) \circ \text{fl}(y))(1 + \epsilon)$  met  $|\epsilon| \leq \eta$  en waarbij  $\circ$  staat voor een van de elementaire rekenkundige operaties  $+, -, *, /$ .
- **Meerdere afrondfouten**: Gegeven  $|\epsilon_i| \leq \eta$  en  $n\eta < 1$ , dan  $\prod_{i=1}^n (1 + \epsilon_i) = (1 + \theta_n)$  met  $|\theta_n| \leq \frac{n\eta}{1 - n\eta}$ .
- **Gedeelde differenties** (met  $x_0 \leq x_1 \leq \dots \leq x_n$ )

$$f[x_i] = f(x_i), \quad f[x_i, x_j] = \frac{f[x_j] - f[x_i]}{x_j - x_i}, \quad f[x_i, x_j, x_k] = \frac{f[x_j, x_k] - f[x_i, x_j]}{(x_k - x_i)}.$$

$$f[x_0, \dots, x_n] = \frac{f^{(n)}(\xi)}{n!}, \quad \xi \in [x_0, x_n].$$

- **Interpolatie** Gegeven een functie  $f$  en steunpunten  $x_0 < x_1 < \dots < x_n$  zijn het interpolerende polynoom  $p_n$  en de bijbehorende foutterm  $e_n$  gegeven door:

$$p_n(x) = f[x_0] + f[x_0, x_1](x - x_0) + \dots + f[x_0, x_1, \dots, x_n] \prod_{i=0}^{n-1} (x - x_i),$$

$$e_n(x) = f(x) - p_n(x) = f[x_0, x_1, \dots, x_n, x] \prod_{i=0}^n (x - x_i).$$

- **Middelwaardstelling**: Gegeven continue functies  $f$  en  $w$  waarbij  $w$  niet van teken wisselt op het interval  $[a, b]$ , dan is er een  $\xi \in [a, b]$  waarvoor:

$$\int_a^b f(x)w(x) dx = f(\xi) \int_a^b w(x) dx.$$

- **Vastepuntstelling**: De iteratie

$$x_{k+1} = g(x_k),$$

met  $x_0 \in [a, b]$  convergeert linear naar een vast punt  $x_* \in [a, b]$  als  $|g'(x)| < 1$  op  $[a, b]$ . Als bovendien  $g'(x_*) = 0$ , dan convergeert de iteratie kwadratisch.

- **Vastepuntiteratie voor lineaire stelsels**: De iteratie

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + M(\mathbf{b} - A\mathbf{x}_k),$$

convergeert als de spectrale radius van  $I - MA$  kleiner dan 1 is, oftewel  $\rho(I - MA) < 1$ .

2 pt. **vraag 1 - Afrondfouten** In deze opgave bekijken we de afrondfout in de berekening  $y = 2 - x^3$ . Je mag aannemen dat  $x$  een zwevendekommagetal is.

a) Laat zien dat de *relatieve fout* kan worden begrensd door

$$\frac{|\text{fl}(y) - y|}{|y|} \leq \frac{3\eta}{1 - 3\eta} \frac{2 + |x^3|}{|2 - x^3|},$$

waarbij  $\eta$  de afrondeenheid is.

b) Voor welke waarde(n) van  $x$  is deze berekening problematisch?

3 pt. **vraag 2 - Vastepuntiteratie** We gebruiken de volgende vastepuntiteratie:

$$x_{k+1} = x_k + \alpha f(x_k),$$

met  $\alpha \in (0, 1)$  om de nulpunten te vinden van de functie

$$f(x) = (1 + x)(1 - x).$$

a) Convergeert de iteratie naar het nulpunt  $x_* = 1$  wanneer  $x_0 = 1 + \delta$  met  $|\delta|$  klein genoeg? Zoja, hoe snel (lineair of kwadratisch)? Beargumenteer ook duidelijk waarom.

b) Convergeert de iteratie naar het nulpunt  $x_* = -1$  wanneer  $x_0 = \delta - 1$  met  $|\delta|$  klein genoeg? Zoja, hoe snel (lineair of kwadratisch)? Beargumenteer ook duidelijk waarom.

3 pt. **vraag 3 - Interpolatie en differentiatie** We gebruiken de volgende benadering van de afgeleide

$$f'(x_0) \approx p'_2(x_0) = \frac{-9f(x_0 - 2h) + 5f(x_0) + 4f(x_0 + 3h)}{30h}.$$

a) Stel het interpoleren polynoom  $p_2$  met steunpunten  $\{x_0 - 2h, x_0, x_0 + 3h\}$  op en laat zien dat dit tot de gegeven benadering van de afgeleide van  $f$  op  $x_0$  leidt.

b) Laat zien dat de fout is gegeven door

$$f'(x_0) - p'_2(x_0) = -h^2 f'''(\xi),$$

met  $\xi \in [x_0 - 2h, x_0 + 3h]$ .

c) Gegeven  $f(x) = \sin(\pi x)$  en een  $\epsilon > 0$ , bepaal  $h$  zodat  $|f'(x_0) - p'_2(x_0)| \leq \epsilon$  voor alle  $x_0 \in [0, 1]$ .

3 pt. **vraag 4 - Differentiaalvergelijkingen** We bekijken de volgende methode om een differentiaalvergelijking  $u'(t) = f(u(t))$  op te lossen

$$\tilde{u}_{n+1} = \tilde{u}_n - hf(\tilde{u}_n) + 2hf(\tilde{u}_n + \frac{h}{2}f(\tilde{u}_n)).$$

waarbij  $\tilde{u}_n$  een benadering is van  $u(n \cdot h)$ .

a) Laat zien dat de methode een truncatiefout van orde  $h^2$  heeft.

b) Bepaal het stabiliteitsgebied van de methode.