

Examination / Tentamen
Introduction to Earth Observation (AE2–E02)
Faculty of Aerospace Engineering
Delft University of Technology

24-08-2006, 9:00–12:00

ANSWERS INCLUDED AT END

Please read these instructions first:

This exam contains 23 multiple-choice questions. Please mark one answer per question on the 'Four Choice Response Form'. *If you want to correct your answer, mark a new box and draw a cross through the originally marked box.* In case of more corrections per answer it is recommended to ask for a new form, since the forms are processed automatically. Please note that the order of the a-b-c-d options differs for every question on the response form!

Avoid the suggestion of fraude! For example, do not excessively emphasize answers on this exam, so that it may be visible for other participants of the examination. In case of doubt, the proctors can ask you to move to another table.

Do not forget to write down your **name** and **7-digit student number**. Also mark your student number in the corresponding boxes. If the student number is missing, the exam result is invalid! Finally **sign** the form.

Use of the book of Rees (2001), hard copies of the additional lecture notes on reference systems and potential fields (8–11) and sea floor mapping (16), and a pocket calculator are allowed. You are **not** allowed to use hard copies of the lecture slides or any other material.

Good luck!

S.v.p. eerst deze instructies lezen:

Dit tentamen bestaat uit 23 meerkeuzevragen. S.v.p. één antwoord per vraag op het Vierkeuze antwoordformulier markeren. *Indien u een antwoord wilt corrigeren, markeer een nieuw vakje en zet een kruis door het oorspronkelijke gemarkeerde vakje.* Bij meerdere correcties per antwoord is het verstandig om een geheel nieuw antwoordformulier te vragen aangezien de formulieren automatisch worden verwerkt. Houd er rekening mee dat de volgorde van de a-b-c-d opties in het antwoordformulier verschilt per vraag!

Vermijd de suggestie van fraude, bijvoorbeeld door antwoorden op dit tentamen overdreven te omcirkelen zodat dit voor andere deelnemers aan het tentamen zichtbaar is. Bij twijfel kunnen de toezichthouders u vragen een andere plaats in te nemen.

Vergeet niet om uw **naam** en **7-cijferig studienummer** te noteren, dit laatste ook door de vakjes eronder zwart te maken. Indien het studienummer ontbreekt is het tentamenresultaat ongeldig! Zet tot slot uw **handtekening** op het formulier.

Gebruik van Rees (2001), de hand-outs behorend bij de colleges over referentiesystemen en potentiaalvelden (8–11) en sea-floor mapping zijn toegestaan, evenals een zakrekenmachine. Het is **niet** toegestaan kopieën van sheets of enig ander materiaal te gebruiken.

Succes!

Question 1

A satellite on an exact repeat orbit completes 244 orbital revolutions in 17 days, at inclination $i=108^\circ$. It passes the equator northbound at UT 9h 00m. At what time (UT) does it pass the latitude 40° North?

- a) UT 8h 41m
- b) UT 9h 12m
- c) UT 9h 25m
- d) UT 9h 38m

Question 2

Consider the statement: the Doppler effect depends on who is moving, the emitter or the receiver.

- a) This is not true, only the relative speed is important
- b) This is true for sound; for light the difference is too small to be measurable
- c) This is true for sound, but for light only the relative speed matters
- d) This is true for sound and for light

Question 3

The GPS system utilizes two frequencies, $\lambda_1 = 19$ cm (L1-frequency) and $\lambda_2 = 24$ cm (L2-frequency). This allows to separate the ionospheric signal delay $\frac{A}{f^2}$, which depends on the frequency as follows

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{c_{vac}} + \frac{A}{f^2}$$

For $\Delta t_{L1} - \Delta t_{L2} = 1 \cdot 10^{-8}$ s (corresponding to 3 m path length), how big is the constant A ?

- a) about 4 (MHz)²s
- b) about 0.04 (MHz)²s
- c) about $4 \cdot 10^{-4}$ (MHz)²s
- d) 0 (zero)

Vraag 1

Een satelliet in een exacte herhaalbaan voltooit 244 baan-rotaties in 17 dagen, bij een inclinatie van $i=108^\circ$. Hij passeert de equator in noordelijke richting om UT 9:00u. Hoe laat (UT) passeert hij de 40° noorderbreedte?

- a) UT 8:41u
- b) UT 9:12u
- c) UT 9:25u
- d) UT 9:38u

Vraag 2

Beschouw de bewering: Het Doppler effect hangt af van wie er beweegt, de zender of de ontvanger.

- a) Dit is onjuist, alleen de relatieve snelheid is van belang
- b) Dit is juist voor geluid; voor licht is het verschil onmeetbaar klein
- c) Dit is juist voor geluid, maar voor licht is alleen de relatieve snelheid van belang
- d) Dit is juist voor licht en geluid

Vraag 3

Het GPS systeem werkt met twee frequenties: $\lambda_1 = 19$ cm (L1-frequentie) en $\lambda_2 = 24$ cm (L2-frequentie). Dit maakt het mogelijk om de ionosferische vertraging $\frac{A}{f^2}$ te elimineren. Deze hangt als volgt van de frequentie af:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{c_{vac}} + \frac{A}{f^2}$$

Wat is de waarde van de constante A voor $\Delta t_{L1} - \Delta t_{L2} = 1 \cdot 10^{-8}$ s (overeenkomstig met een padlengte van 3 m)?

- a) ca. 4 (MHz)²s
- b) ca. 0.04 (MHz)²s
- c) ca. $4 \cdot 10^{-4}$ (MHz)²s
- d) 0 (nul)

Question 4

What is the required time measurement accuracy to meet a position error of 1 cm when tracking a LEO satellite?

- a) $1 \cdot 10^{-4}$ s
- b) $1 \cdot 10^{-6}$ s
- c) $1 \cdot 10^{-8}$ s
- d) $1 \cdot 10^{-10}$ s

Question 5

A C-band (6 GHz) SAR satellite at an altitude of 800 km has a radar antenna of 12 m long in along-track direction, and an off-nadir look angle of 30° . Calculate the along-track resolution of a single radar pulse, and the optimal along-track resolution for a focused SAR image. Which values are closest to the correct answer?

- a) 4.5 km and 5 m
- b) 4.5 km and 25 m
- c) 1.2 km and 5 m
- d) 1.2 km and 25 m

Question 6

A skyplot is a graphical representation of a particular satellite's orbit in a local, horizontal reference system (axes = zenith, East, North). But satellite orbits are computed in the CRS system in the first place. What information is necessary to prepare a skyplot?

- a) only local time
- b) local time and the location on Earth where the skyplot is to be computed
- c) local time, the location on Earth where the skyplot is to be computed, plus Earth rotation parameters
- d) local time and Earth rotation parameters; the location is not necessary because the skyplot will be the same for all locations

Vraag 4

Welke nauwkeurigheid in tijdswaarneming is er nodig voor een maximale positie fout van 1 cm wanneer een LEO satelliet word getrackt?

- a) $1 \cdot 10^{-4}$ s
- b) $1 \cdot 10^{-6}$ s
- c) $1 \cdot 10^{-8}$ s
- d) $1 \cdot 10^{-10}$ s

Vraag 5

Een C-band (6 GHz) SAR satelliet beweegt op een hoogte van 800 km. De radar antenne heeft een *along-track* lengte van 12 m, en kijkt onder een *off-nadir* hoek van 30° . Gevraagd wordt de along-track resolutie van een enkele radarpuls, en de optimale along-track resolutie van het gefocuste SAR beeld te berekenen. Welke twee waarden komen het dichtst bij het juiste antwoord?

- a) 4.5 km en 5 m
- b) 4.5 km en 25 m
- c) 1.2 km en 5 m
- d) 1.2 km en 25 m

Vraag 6

Een skyplot is een grafische weergave van een satellietbaan in een lokaal horizontaal referentiesysteem (assen: zenith, Oost, Noord). Satellietbanen worden echter berekend in het CRS systeem. Welke informatie is nodig om een skyplot te maken?

- a) alleen de lokale tijd
- b) de lokale tijd en de locatie op aarde waar de skyplot berekend moet worden
- c) de lokale tijd, de locatie op aarde waar de skyplot berekend moet worden, plus aardrotatie parameters
- d) de lokale tijd en aardrotatie parameters; de locatie op aarde is niet nodig omdat het skyplot voor alle locaties hetzelfde zal zijn

Question 7

An altimetry satellite possesses a repeat period of $T_p = P = 12$ days. What is the aliasing period $T_a = \frac{1}{f_a}$ caused by the M2 tide ($T = 12.42061$ hours)?

- a) 3.2 days
- b) 6.4 days
- c) 32 days
- d) 64 days

Question 8

The intersatellite ranging system between the two GRACE satellites has an estimated precision of $1 \mu\text{m/s} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. This means that we can derive gravitational potential differences between the two satellite positions with a precision of about

- a) $> 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}^2$
- b) $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}^2$
- c) $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^2$
- d) $< 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$

Question 9

Let the Gauss coefficients of the geomagnetic dipole field be $g_{10} = -29705 \text{ nT}$, $g_{11} = -1890 \text{ nT}$, $h_{11} = 5385 \text{ nT}$. Give a representative value for the vertical field intensity B_z at the Earth's surface, at 45° latitude.

- a) 42 nT
- b) 420 nT
- c) 4200 nT
- d) 42000 nT

Vraag 7

Een altimetriesatelliet heeft een herhalingsbaan van $T_P = P = 12$ dagen. Wat is de periode $T_a = \frac{1}{f_a}$ waarbij aliasing veroorzaakt door het M2 getij ($T = 12.42061$ uur) optreedt?

- a) 3.2 dagen
- b) 6.4 dagen
- c) 32 dagen
- d) 64 dagen

Vraag 8

Het afstandsbepalingssysteem tussen de twee GRACE satellieten heeft een geschatte nauwkeurigheid van $1 \mu\text{m/s} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Dit betekent dat we het gravitatie-potentiaalverschil tussen de twee satellieten kunnen bepalen met een nauwkeurigheid van ongeveer

- a) $> 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}^2$
- b) $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}^2$
- c) $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^2$
- d) $< 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$

Vraag 9

Laat de Gauss coëfficiënten van het geomagnetische dipool veld $g_{10} = -29705 \text{ nT}$, $g_{11} = -1890 \text{ nT}$ en $h_{11} = 5385 \text{ nT}$ zijn. Geef een representatieve waarde voor de verticale veld-intensiteit B_z op het aardoppervlak, op een breedtegraad van 45° .

- a) 42 nT
- b) 420 nT
- c) 4200 nT
- d) 42000 nT

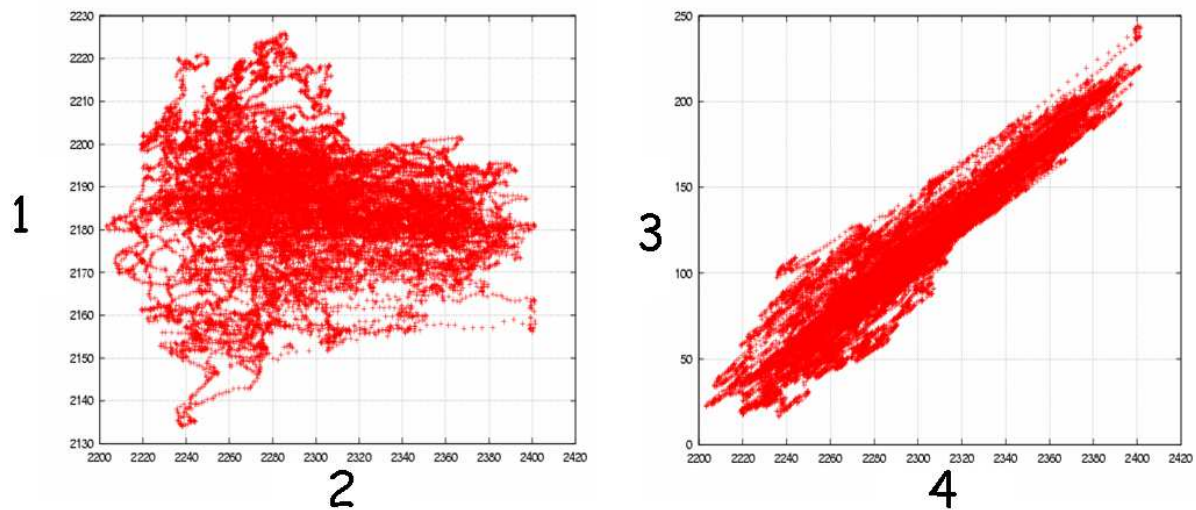


Figure 1: GPS atmospheric delay observations. Units are in millimeters.

Question 10

How big is the area (in km^2) that is illuminated by a radar-altimetric pulse of 2 ns duration, emitted at satellite altitude of 1200 km

- a) 1.2 km^2
- b) 2.3 km^2
- c) 3.9 km^2
- d) 5.4 km^2

Question 11

Consider the two plots in Fig. 1, obtained from GPS measurements. The labels for the axis are Zenith Total Delay (ZTD), Zenith Hydrostatic Delay (ZHD), Zenith Wet Delay (ZWD), and Zenith Ionospheric Delay (ZID). All units are in mm. The correct label positions are:

- a) 1-ZWD, 2-ZID, 3-ZHD, 4-ZID
- b) 1-ZID, 2-ZTD, 3-ZWD, 4-ZTD
- c) 1-ZTD, 2-ZID, 3-ZHD, 4-ZWD
- d) 1-ZHD, 2-ZTD, 3-ZWD, 4-ZTD

Vraag 10

Hoe groot is het gebied (in km^2) dat wordt belicht door een radaraltimetriepuls met een duur van 2 ns, uitgezonden op een satelliehoogte van 1200 km?

- a) 1.2 km^2
- b) 2.3 km^2
- c) 3.9 km^2
- d) 5.4 km^2

Vraag 11

Beschouw de twee plots in Fig. 1, verkregen met GPS waarnemingen. De bijschriften van de assen zijn Zenith Total Delay (ZTD), Zenith Hydrostatic Delay (ZHD), Zenith Wet Delay (ZWD), en Zenith Ionospheric Delay (ZID). Alle eenheden zijn in mm. De correcte posities van de bijschriften zijn:

- a) 1-ZWD, 2-ZID, 3-ZHD, 4-ZID
- b) 1-ZID, 2-ZTD, 3-ZWD, 4-ZTD
- c) 1-ZTD, 2-ZID, 3-ZHD, 4-ZWD
- d) 1-ZHD, 2-ZTD, 3-ZWD, 4-ZTD

Question 12

A black body of 20 °C is situated in the direct sunlight. When we integrate the total outgoing power over all frequencies, the black body will radiate approximately

- a) 5 W/m²
- b) 60 W/m²
- c) 420 W/m²
- d) This depends on the emissivity of the black body

Question 13

We would like to measure the bathymetry of an area of approximately 200 m depth with an accuracy of 1 m. Assume that the accuracy for measuring the roll of the platform is 0.5°. What is the maximum roll angle (measured from nadir) under which an acoustic multibeam system should operate?

- a) approx. 30°
- b) approx. 15°
- c) approx. 75°
- d) this depends on the velocity of the platform

Question 14

Satellite radar interferometry (InSAR) can be used to infer

- a) topographic elevation models
- b) surface deformation models
- c) both a) and b)
- d) none of the above

Question 15

The average distance Earth-Moon is 384403 km, and the Moon has an average diameter of 3476 km. What is the approximate solid angle covered by the Moon when viewed from Earth?

- a) 0.06 sr
- b) 0.006 sr
- c) 0.0006 sr
- d) 0.00006 sr

Vraag 12

Een *black body* van 20 °C bevindt zich in het directe zonlicht. Wanneer we de totale uitgaande energie van deze *black body* integreren over alle frequenties, dan bedraagt de uitgestraalde energie ongeveer

- a) 5 W/m²
- b) 60 W/m²
- c) 420 W/m²
- d) Dit is afhankelijk van de emissiviteit van de *black body*

Vraag 13

Men wil de bathymetrie van een gebied met een diepte van ca. 200 m bepalen met een nauwkeurigheid van 1 m. Neem aan dat de nauwkeurigheid van de rolhoekbepaling 0.5° is. Wat is de maximale rolhoek (gemeten vanuit nadir) waaronder een akoestisch multibeamstelsysteem zou moeten werken?

- a) ca. 30°
- b) ca. 15°
- c) ca. 75°
- d) dit is afhankelijk van de snelheid van het platform

Vraag 14

Satelliet radar interferometrie (InSAR) kan worden gebruikt voor de vervaardiging van

- a) modellen voor topografische hoogte
- b) modellen voor deformatie van het aardoppervlak
- c) zowel a) als b)
- d) geen van de bovenstaande antwoorden

Vraag 15

De gemiddelde afstand aarde-maan is 384403 km, en de gemiddelde diameter van de maan is 3476 km. Onder ongeveer welke ruimtehoek zien we de maan vanaf de aarde?

- a) 0.06 sr
- b) 0.006 sr
- c) 0.0006 sr
- d) 0.00006 sr

Question 16

The average albedo and average surface temperature of Earth are 30% and 15 °C, respectively. What is the approximate observed Brightness temperature of the Earth under these circumstances?

- a) 5 K
- b) 10 K
- c) 85 K
- d) 200 K

Question 17

Which satellite sensor will use most power for operation?

- a) Scatterometer
- b) Visible sensor
- c) Near-infrared sensor
- d) Passive microwave radiometer

Question 18

A music track of approx. 3 minutes occupies 3 MBytes on my MP3 player. Compared to the result of Nyquist's sampling theorem (assuming 16 bit/sample, stereo, and a frequency range of 50–20000 Hz):

- a) hardly any compression seems to take place
- b) MP3 compresses with a factor of around 10
- c) MP3 compresses with a factor of around 100
- d) Nyquist does not apply here

Question 19

For military and intelligence applications, the capability to read handwritten documents in daylight from space might be highly desirable.

- a) This would, however, require optics with a focal length of more than a kilometer
- b) This would, however, require optics with a diameter of hundreds of meters
- c) Both of the above objections are true
- d) Such systems probably already exist, but they wouldn't tell us, would they?

Vraag 16

Het gemiddelde albedo en de gemiddelde oppervlakte temperatuur van de aarde zijn respectievelijk 30% en 15 °C. Geef een goede benadering van de waargenomen *brightness temperature* van de aarde onder deze omstandigheden.

- a) 5 K
- b) 10 K
- c) 85 K
- d) 200 K

Vraag 17

Welke satelliet sensor zal de meeste energie gebruiken tijdens gebruik?

- a) Scatterometer
- b) Zichtbaar licht sensor
- c) Nabij-infrarood sensor
- d) Passieve microgolf radiometer

Vraag 18

Een muziekje van ca. 3 minuten neemt op mijn MP3-speler 3 MBytes geheugenruimte in. Vergeleken met het resultaat van het Nyquist bemonsteringstheorema (uitgaande van 16 bits/sample, stereo, 50–20000 Hz frequentiebereik):

- a) lijkt er nauwelijks compressie plaats te vinden
- b) is de MP3-compressie ongeveer een factor 10
- c) is de MP3-compressie ongeveer een factor 100
- d) Nyquist is hier niet van toepassing

Vraag 19

Voor militaire en spionage-toepassingen zou een systeem waarmee vanuit de ruimte in daglicht handgeschreven documenten gelezen kunnen worden, zeer wenselijk zijn.

- a) Dit zou echter een optisch systeem vereisen met een brandpuntsafstand van meer dan een kilometer.
- b) Dit zou echter een optisch systeem vereisen van honderden meters doorsnede
- c) Beide bovenstaande bezwaren zijn van toepassing
- d) Zo'n systeem is er waarschijnlijk allang, maar dat zullen ze vast niet bekendmaken.

Question 20

Recording Thermal Infrared (TIR) emission from the earth's surface with spaceborne sensors is possible:

- a) only at night, because during the day there is too much reflected sunlight in the same range of wavelengths
- b) also during the day, because the contribution of reflected sunlight is known and can be subtracted from the measurements
- c) also during the day, because reflected sunlight in the TIR-range is negligible
- d) only during the day, because at night temperatures are too low to generate emission that can be measured from space.

Question 21

An aircraft flies at 5000 m altitude. It carries a pushbroom scanner with an opening angle of 90° . At the center of the swath (at nadir), the spatial resolution (rezel size) is $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ (resp. along-track and across-track). What is a good approximation of the spatial resolution near the edges (East and West) of the swath?

- a) $1\text{ m} \times 1\text{ m}$
- b) $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$
- c) $1.5\text{ m} \times 1\text{ m}$
- d) $1\text{ m} \times 1.5\text{ m}$

Question 22

A monochromatic, randomly polarized bundle of visible light hits a perfectly flat water surface with a certain incidence angle (deviation from vertical). The reflected radiation is completely perpendicular polarized

- a) when the incidence angle is larger than or equal to the Brewster angle
- b) when the incidence angle is smaller than or equal to the Brewster angle
- c) when the incidence angle is equal to the Brewster angle
- d) this will not happen

Vraag 20

Thermisch-infrarode (TIR) straling die door het aardoppervlak wordt uitgezonden, kan vanuit de ruimte opgenomen worden:

- a) alleen 's nachts, want overdag is er teveel gereflecteerd zonlicht in hetzelfde golflengtebereik
- b) ook overdag, want de bijdrage van het gereflecteerd zonlicht is bekend en kan van de metingen afgetrokken worden
- c) ook overdag, want reflecteerd zonlicht in het TIR-bereik is verwaarloosbaar
- d) alleen overdag, want 's nachts is het te koud zodat de uitgezonden straling niet meetbaar is vanuit de ruimte.

Vraag 21

Een vliegtuig bevindt zich op 5000 m hoogte. Aan boord is een pushbroom scanner met een openingshoek van 90° . In het midden (nadir) is de ruimtelijke resolutie $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ (resp. in de vliegrichting en loodrecht erop). Wat is een goede benadering voor de ruimtelijke resolutie aan de randen van de swath (oost en west)?

- a) $1\text{ m} \times 1\text{ m}$
- b) $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$
- c) $1.5\text{ m} \times 1\text{ m}$
- d) $1\text{ m} \times 1.5\text{ m}$

Vraag 22

Een monochromatische, willekeurig gepolariseerde bundel zichtbaar licht valt op een spiegelglad wateroppervlak onder een bepaalde invalshoek (= afwijking van verticaal). De gereflecteerde straling is volledig loodrecht (*perpendicular*) gepolariseerd:

- a) als de invalshoek groter of gelijk is dan/aan de hoek van Brewster
- b) als de invalshoek kleiner of gelijk is dan/aan de hoek van Brewster
- c) als de invalshoek gelijk is aan de hoek van Brewster
- d) dit effect reedt niet op

Question 23

Oversampling, i.e. using a sampling interval that is smaller than the footprint size or the instantaneous field of view:

- a) is considered useful in laser altimetry and VIR remote sensing, because it improves spatial resolution
- b) is considered useful in laser altimetry and VIR remote sensing, because it improves accuracy
- c) is considered useless in laser altimetry and VIR remote sensing, because it wastes storage space without adding information
- d) There is something wrong with all the above alternatives

Vraag 23

Oversampling, d.w.z. het gebruik van een bemonsteringsinterval dat kleiner is dan de footprint cq. de IFOV:

- a) Kan nuttig zijn bij laseraltimetry en bij VIR remote sensing om de ruimtelijke resolutie te verbeteren
 - b) Kan nuttig zijn bij laseraltimetry en bij VIR remote sensing om de nauwkeurigheid te verbeteren
 - c) is niet nuttig bij laseraltimetry of VIR remote sensing, want het is een verspilling van opslagruimte, zonder dat informatie wordt toegevoegd
 - d) Er is iets mis met alle bovenstaande alternatieven
-

Before handing in the exam sheet please check:

- this form will be scanned and automatically processed. Are the scores clear?
- write your name
- write your student number
- fill in boxes with student number
- sign the form

Voor u uw formulier inlevert, controleer s.v.p.:

- Dit formulier wordt automatisch gescand. Is het duidelijk ingevuld?
- Naam ingevuld?
- Studienummer ingevuld?
- Studienummer aangegeven door vakjes zwart te maken?
- Onderteken het formulier

Answers / Antwoorden

1. b
2. c
3. b
4. b
5. a
6. c
7. d.
8. b.
9. d.
10. b.
11. d
12. c
13. a
14. c
15. d
16. d
17. a
18. b
19. c
20. c
21. a
22. c
23. d