

Handleiding Modelleren

BSc-opleiding Technische Wiskunde

februari 2012

M. Keijzer

namens de Leerlijn Modelleren
Delft Institute of Applied Mathematics
Technische Universiteit Delft

Inhoudsopgave

Inleiding , Wat is een wiskundig model? Waarom modelleren? Leerdoelen	3
1 Wiskundig modelleren	5
Fase 1: Probleemstelling ; De probleemstelling verandert; Lijn in het project . .	5
Fase 2: Modelvorming ; Eenheden; Referenties; Begin eenvoudig; Existentie en eenduidigheid; Consistente benaderingen	6
Fase 3: Rekenmethode ; Analytisch; Numeriek; Nauwkeurigheid	8
Fase 4: Valideren van het model ; Kwalitatieve controle; Kwantitatieve controle; Aanpassen van het model; Gevoeligheidsanalyse; Modellen met nog onbekende parameters	8
Fase 5: Conclusies trekken ; De uiteindelijke probleemstelling; Het uiteindelijke model; Analytische resultaten; Numerieke methoden en fouten; Numerieke resultaten; Antwoord op de probleemstelling	9
2 Samenwerken in een projectgroep	11
De vele taken; Rollen en verantwoordelijkheid; Besluiten en afspraken	11
3 Schriftelijk verslag	13
Indeling ; Onderdelen van een verslag	13
Figuren ; Wat wil je laten zien? Bijschriften; Eenvoud; Grafieken; Tabellen	16
Schrijven ; Tekstverwerkers; Nederlands/Engels; Indeling; Formules; Een goed verslag	17
4 Voordracht	19
Vorbereiding; Doel; Indeling; Beeldmateriaal; Spreken; Theater; Vragen	19
5 Posterpresentatie	23
Tot slot	24

Inleiding

Deze handleiding is bedoeld als achtergrondinformatie voor de vakken van de leerlijn Model-leren bij de Bachelor-opleiding (Technische) Wiskunde. Dit stuk kan gebruikt worden tijdens de hele Bachelor-opleiding. Daarnaast kunnen er bij de losse vakken nog meer specifieke handleidingen beschikbaar zijn.

Wat is een wiskundig model?

Een wiskundig model van een systeem is een beschrijving van het systeem in wiskundige formules. Met het model kan (een deel van) het gedrag van het systeem voorspeld worden. Een model geeft niet het hele complexe werkelijke systeem volledig weer, maar is alleen een vereenvoudigde beschrijving ervan zodat het gedrag begrijpelijk wordt (voor wiskundigen).

Waarom modelleren?

Wiskundige modellen worden gebruikt om simulaties mee uit te voeren ter vervanging van metingen. De bewegingen die een nieuw type supertanker gaat maken door de golven op zee kunnen tegenwoordig beter en goedkoper gesimuleerd worden op de computer dan dat ze bijvoorbeeld met een schaalmodel gemeten zouden kunnen worden. Sommige metingen zijn zelfs onmogelijk, zoals metingen aan het klimaat van de komende eeuw, of de structuur van een quark, of de verspreiding van een nieuw virus.

Modellen geven echter vooral ook inzicht. Met een model is het systeem geen black box meer, maar er is bekend welke grootheden er in het spel zijn en welke verbanden die onderling hebben (bijvoorbeeld de ene grootheid is evenredig met een andere, of de ene grootheid is de afgeleide naar de tijd van een andere). De wetenschap van de natuurkunde bestaat uit een heel bouwsel van modellen voor de fysische werkelijkheid, een bouwsel waar voortdurend aan verder wordt gewerkt.

Als je, met behulp van een model, begrijpt (of uit kunt rekenen) hoe de grootheden in het systeem van elkaar afhangen, dan kan je ook gaan sturen; dan kan je het gedrag van het systeem optimaliseren naar wat je precies wilt. Met een dosismodel voor radiotherapie kan je de bestralingsbundels zo instellen dat de tumor voldoende bestraald wordt en het gezonde weefsel zo weinig mogelijk. Als je de eisen die aan margarinemengsels worden gesteld in formules kunt vangen, dan kan je bijvoorbeeld optimaliseren op prijs. In een dienstregeling voor treinen kan je proberen de gevolgen van kleine vertragingen zo lokaal mogelijk te houden.

Door de komst van steeds krachtigere computers heeft het wiskundig modelleren (en het ontwikkelen van numerieke methodes en programmatuur) in de tweede helft van de vorige eeuw een grote vlucht genomen. Met een goed wiskundig model kan voor complexe systemen onderzocht worden hoe ze verbeterd kunnen worden: met kwalitatief betere producten, goedkoper, met minder afval, energiezuiniger, veiliger, sneller, betrouwbaarder, etc.

Leerdoelen van de modelleervakken

De modelleervakken hebben leerdoelen die, anders dan bij veel andere vakken, niet zozeer liggen in het verwerven van nieuwe kennis of het aanleren van nieuwe wiskundige methoden.

Bij deze vakken moet de student allereerst de modelleercyclus leren kennen: probleemstelling, opstellen van een model, doorrekenen, valideren van de resultaten, en weer opnieuw beginnen als dat nodig blijkt. De student moet ook de benodigde gegevens kunnen vinden in de literatuur en de benodigde programmatuur kunnen gebruiken en/of schrijven. Daarnaast oefent de student in het samenwerken in een groep, en het communiceren met de groepsleden en met de docent. Verder wordt er geoefend in het mondeling en schriftelijk rapporteren.

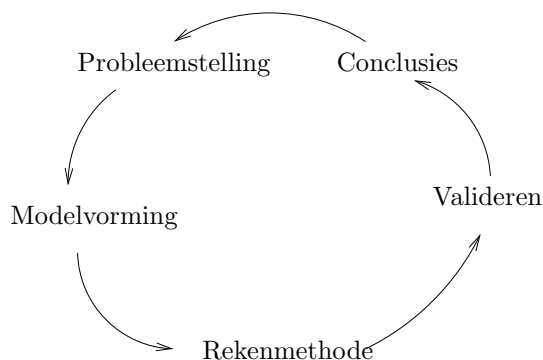
In deze handleiding wordt dezelfde indeling gevolgd: eerst een hoofdstuk over het modelleren zelf, dan een hoofdstuk over het samenwerken, en als laatste hoofdstukken over schriftelijk en mondeling rapporteren.

1 Wiskundig modelleren

Wiskundig modelleren is het karakteriseren van een situatie in een set van wiskundige formules om daarmee een bepaalde vraag over die situatie te beantwoorden. Het uiteindelijke model moet alle voor de vraag relevante effecten goed genoeg in zich hebben, terwijl tegelijkertijd het rekenen niet te ingewikkeld of te langdurig wordt.

Wiskundig modelleren bestaat uit verschillende fasen:

- Fase 1 — probleemstelling
- Fase 2 — modelvorming
- Fase 3 — rekenmethode
- Fase 4 — valideren van het model
- Fase 5 — conclusies trekken



Deze fasen worden echter vrijwel nooit zo in een keer doorlopen: meestal blijkt in een van de onderdelen dat de keuzes in een eerdere fase niet goed genoeg waren en aangepast moeten worden. Het eerste model is bijvoorbeeld eenvoudig, maar blijkt verfijnd te moeten worden omdat de resultaten nog niet goed genoeg overeenkomen met de werkelijkheid. De fasen worden zo meestal meerdere keren, cyclisch doorlopen.

Opbouw van de vakken

De modelleervakken zijn stapsgewijs opgebouwd. Bij het eerste modelleervak hoeven de studenten nog niet de hele cyclus tot in de puntjes onder de knie te hebben. Meestal worden dan bijvoorbeeld een eenvoudig wiskundig model en een eenvoudige rekenmethode al aangereikt en is er een grote vrijheid in wat de studenten precies als probleemstelling erbij kiezen. De hierna gegeven beschrijvingen van de modelleercyclus geven aan hoe het wiskundig modelleren uiteindelijk zou moeten gebeuren, maar het is dus geen pakket van eisen waaraan eerstejaars studenten al moeten voldoen.

■ Fase 1: Probleemstelling

Een wiskundig model wordt niet gemaakt om het model zelf. Modelleren doe je om een specifieke vraag te beantwoorden. Alleen met een duidelijke vraag kan je weten welke aspecten waarschijnlijk meegemodelleerd moeten worden, en welke waarschijnlijk onbelangrijk zijn. Met een goede probleemstelling weet je of het model vooral kwalitatieve resultaten moet geven of juist kwantitatieve, en als het kwantitatieve resultaten moeten zijn, hoe precies die moeten zijn. Hoe specifieker de vraag is, des te duidelijker is het waar de volgende fasen aan moeten voldoen.

Voorbeeld: het onderwerp ‘Opname van medicijnen in het lichaam’ kan zonder specifieke vraag

op zeer verschillende manieren gemodelleerd worden: een eenvoudig model met drie onbekende concentraties medicijn (in de maag, in het bloed en in het orgaan), of een stromingsmodel dat beschrijft hoe het medicijn door het bloed over het lichaam verdeeld wordt, of zelfs een model op moleculair niveau. Specifieke vragen bij dit onderwerp zijn bijvoorbeeld: ‘Hoe vaak moet medicijn X ingenomen worden om de concentratie boven Y mmol/l te houden in het bloed?’ of ‘Wat is de maximale tijd voordat pijnstiller Z gaat werken bij een volwassene?’

De probleemstelling verandert.

In het algemeen is de probleemstelling aan het begin van een project nog niet kant en klaar. Vaak komt een opdrachtgever met een nog vage vraag en dan moet de wiskundige, in overleg met de opdrachtgever, ervoor zorgen dat er een hanteerbare probleemstelling komt. (Een enkele keer blijkt dan al dat een wiskundig model niet nodig is, en dat bijvoorbeeld een paar eenvoudige metingen volstaan.)

Vaak moet tijdens het project de probleemstelling aangescherpt of beperkt worden, omdat het model niet algemeen toepasbaar blijkt te zijn. Soms wordt er tijdens het project een vruchtbaar zijpad gevonden en als ook de opdrachtgever interesse in de te verwachten resultaten heeft, dan kan de probleemstelling uitgebreid of veranderd worden.

Lijn in het project

Uiteindelijk geeft een goede probleemstelling het doel van het modelleren aan: het maakt duidelijk wat het model precies moet beschrijven en waar het aan moet voldoen. Als je niet altijd de probleemstelling in het oog houdt, kan je na verloop van tijd een prachtig model hebben, dat helaas niet uitrekent wat je nodig hebt. De conclusies van het onderzoek zijn de antwoorden op de probleemstelling. Iemand gaat het rapport over het onderzoek pas lezen als de probleemstelling (en de resultaten) interessant genoeg zijn.

KARIKATUUR

De eigenaar van een renstal vroeg aan drie deskundigen of ze binnen twee weken een manier konden bedenken waarop zijn paarden meer races zouden kunnen winnen. Na die twee weken had de paardentrainer een trainingsschema opgesteld met een variëteit aan oefeningen waarmee de conditie, behendigheid en wedstrijdmentaliteit van de paarden zouden moeten toenemen. De dierenarts had een uitgekiend dieetprogramma opgesteld, met daarbij richtlijnen voor wat er precies moest gebeuren als een van de paarden een lichte kwaal zou krijgen. De wiskundige zei dat hij een heel eind op weg was, maar nog wat tijd nodig had. Hij had al een model van een paard als bol en nu werkte hij aan het paard als cilinder.

■ Fase 2: Modelvorming

Bedenk eerst welke grootheid (of grootheden) het model moet gaan beschrijven. Zoek beschrijvingen, metingen, theorieën en wiskundige formules betreffende die grootheid. Vaak

bevatten de formules parameters of natuurconstanten; zoek daarvoor relevante waarden, of intervallen voor de waarden, op. Zorg ervoor dat je genoeg formules en gegevens bij elkaar krijgt om de grootte die je wilt modelleren straks uit te kunnen rekenen. Voorbeeld: als het model uit een stelsel differentiaalvergelijkingen bestaat heb je voldoende begin- en/of randvoorwaarden nodig.

Eenheden

Beslis welke eenheden je gaat gebruiken. Controleer alle formules op de eenheden; deze eenvoudige controle van de dimensies is vaak heel waardevol.

Referenties

Houd steeds bij waar je de informatie vandaan haalt: straks in het rapport moet er een referentie komen elke keer dat er externe informatie gebruikt wordt. Laat je dat na, dan heet dat plagiaat.

Begin eenvoudig, breid later uit waar nodig

Meestal zijn er veel aspecten van de situatie die meegemodelleerd zouden kunnen worden. Van tevoren is vaak niet duidelijk welk aspect wel relevant is voor dit probleem, en welk aspect niet (en dus weggelaten kan worden). Maak een eerste model zo eenvoudig mogelijk, en voeg pas in een latere ronde meer mogelijke invloeden toe.

Sommige ingewikkelde verbanden kunnen misschien vereenvoudigd worden, bijvoorbeeld door een niet-lineaire functie te lineariseren, of door een functie zelfs te vervangen door een constante. Soms is een ingewikkelde of meer-dimensionale geometrie niet essentieel voor de probleemstelling, en kan de geometrie eenvoudig genomen worden. In de volgende fasen worden de resultaten van het model getoetst, en als ze niet voldoen, dan moet het model uitgebreid of verfijnd worden.

Om het model zelf kwalitatief te toetsen is het nuttig om nog meer weg te laten en te kijken of de resultaten kwalitatief kloppen. Soms zijn er voor het eenvoudigere probleem metingen voorhanden en kan zo het model en de rekenmethode getoetst worden. Een meer-dimensionaal probleem kan bijvoorbeeld eerst in één dimensie doorgerekend worden (alhoewel dat misschien weinig over het echte probleem zegt). Bij een chemisch proces kan eerst naar de vloeistofbalansen gekeken worden, terwijl de reactieconstanten even op nul gezet worden. Een populatiemodel kan eerst lineair genomen worden, terwijl het echte model meestal kwadratische termen heeft.

Existentie en eenduidigheid

Voor de gevorderden: dit is het moment om te onderzoeken of je iets kunt zeggen over existentie en eenduidigheid van de oplossing. Als dat kan, scheelt dat straks bij het rekenen, en bij het interpreteren van de resultaten.

Consistente benaderingen

Een tweede punt voor gevorderden: als je een benadering gebruikt, is het zaak om in alle gebruikte formules diezelfde benadering te gebruiken. Het heeft bijvoorbeeld geen zin om in de differentiaalvergelijkingen preciezer te werken dan in de randvoorwaarden.

■ Fase 3: Rekenmethode

De keuze voor een rekenmethode hangt natuurlijk af van het model, de probleemstelling, kennis van de student en welke programmatuur beschikbaar is. Ook hier is het vanzelfsprekend om zo eenvoudig mogelijk te beginnen.

Analytische methoden

Soms is een (vereenvoudigd) model zo eenvoudig dat de oplossing analytisch uitgerekend kan worden, eventueel met behulp van een formulemanipulator zoals Maple.

Vaak is er al van tevoren kwalitatief wat te zien aan het model. Bij (klein) stelsels differentiaalvergelijkingen kan je bijvoorbeeld een richtingenveld (laten) schetsen, stationaire punten berekenen, het gedrag van de oplossingen daar in de buurt benaderen, en dan oplossingen in de faseruimte schetsen.

Analytische oplossingen en benaderingen (ook al is het probleem nog zo vereenvoudigd) zijn heel nuttig om meer inzicht te krijgen in het probleem, bijvoorbeeld om te zien hoe de verschillende grootheden en parameters doorwerken in de oplossing. Daarnaast kunnen deze exacte resultaten gebruikt worden om de rekenmethode en programmatuur te controleren.

Numerieke methoden

Uiteindelijk moet er meestal een numerieke methode gebruikt worden om het model door te rekenen. Vaak kan je daar heel veel mee aan, maar de resultaten geven wat minder snel inzicht dan analytische resultaten.

Uit de probleemstelling volgt hoe nauwkeurig de resultaten berekend moeten worden. Als bijvoorbeeld de metingen die je simuleert een fout van een paar procent hebben, is het waarschijnlijk niet nodig om tot in 10 decimalen door te rekenen.

Numerieke fout

Voor gevorderden: Een numerieke methode geeft geen exact antwoord, maar een schatting van de oplossing, met een numerieke fout. Schattingen zijn OK, maar als je niet weet hoe groot de fout van de schatting is, heb je weinig aan een schatting. Als je een numerieke methode kiest, moet je dus ook een manier vinden om de bijbehorende fout te schatten.

■ Fase 4: Valideren van het model

Nu moet gekeken worden of het model en de rekenmethode doen wat ze horen te doen.

Kwalitatieve controle

Controleer of het model kwalitatief in orde is. Als de gebruikte invoerwaarden of de parameters gevarieerd worden, veranderen de resultaten dan op de juiste manier? Geven de grafieken de verbanden weer die je verwacht?

Kwantitatieve controle

Vergelijk de resultaten met de kwantitatieve gegevens die bekend zijn, met metingen, of met de analytische resultaten voor een vereenvoudigd probleem, of met resultaten van een bekend model uit de literatuur.

Aanpassen van het model

Als de resultaten van het model niet overeenkomen met de gegevens uit de werkelijkheid, dan controleer je natuurlijk allereerst of er geen fout gemaakt is bij het invoeren, of bij het toepassen van de numerieke methode. Blijft er verschil (groter dan de verwachte numerieke fout), dan zal het model aangepast moeten worden.

Let wel: het is zeker niet de bedoeling om naar de metingen toe te gaan werken. Vooral als er maar een klein aantal metingen beschikbaar is, dan is het altijd mogelijk om een stel formules te maken die die metingen kunnen reproduceren, maar dan hebben die formules in het algemeen maar weinig waarde buiten de set metingen.

Het model mag alleen aangepast worden door óf de gebruikte benaderingen preciezer mee te nemen (een constante moet bijvoorbeeld misschien toch als een functie van de tijd meegenomen worden), óf door meer aspecten mee te modelleren m.b.v. preciezere fysische modellen (misschien is bijvoorbeeld de temperatuurafhankelijkheid toch belangrijk).

Gevoeligheidsanalyse

Dit is ook het moment om een gevoeligheidsanalyse te doen. Als sommige van de parameters veranderd worden, dan verandert de oplossing heel sterk, terwijl veranderen van andere parameters erg weinig uitmaakt in de oplossing. Een gevoeligheidsanalyse kan aangeven waar in het model aanpassingen het meeste effect hebben.

Modellen met nog onbekende parameters

Als een model parameters heeft met nog onbekende getalwaarden, dan kan een deel van de metingen gebruikt worden om die parameters in te stellen. Het zo kiezen van deze parameters dat deze metingen zo goed mogelijk benaderd worden, heet het ‘ijken’ of het ‘calibreren’ van het model.

Met de rest van de metingen moet dan gekeken worden of het model (met de gecalibreerde parameters) inderdaad goed werkt. Alleen met genoeg andere, onafhankelijke metingen kan het model dan gevalideerd worden.

Fase 5: Conclusies trekken

De uiteindelijke probleemstelling

Wat is precies de vraag die beantwoord wordt met dit onderzoek? Wat is de afbakening van het model: wanneer is het toepasbaar, en vooral, wanneer niet? Voor welke materialen, voor welke temperaturen, op welke tijdschaal is het model geldig, en wordt de probleemstelling aangepakt?

Het uiteindelijke model

Wat zijn precies de grootheden waar het om draait? Wat betekenen ze fysisch, en wat is van elk de eenheid? Hoe ziet het model eruit, welke termen zijn daarbij benaderd, en waarom, en welke effecten zijn daarbij verwaarloosd, en waarom?

Als er parameters ingesteld (geijkt) zijn voor het model, wat zijn hun waarden dan? Voor gevorderden: hoe nauwkeurig zijn die waarden bepaald, of hoe gevoelig is de oplossing voor een verandering in de parameters?

Analytische resultaten

Wat kan al van tevoren gezien worden aan het model, zonder numerieke berekeningen te doen?

Numerieke methoden en fouten

Welke numerieke methoden zijn uiteindelijk gebruikt, welke discretisatie is gebruikt, en hoe groot is de numerieke fout in de resultaten? Als er een statistisch resultaat is, bijvoorbeeld als er een gemiddelde waarde is geschat, wat is dan een betrouwbaarheidsinterval voor die schatting? Nogmaals: een schatting van een waarde is weinig waard als je niets weet over de grootte van de fout.

Numerieke resultaten

Laat zien dat met het model de bekende metingen of analytische resultaten goed voorspeld kunnen worden. Kijk dan wat de resultaten in algemenere situaties zijn: buiten het gebied van de bekende metingen, maar wel binnen de probleemstelling natuurlijk. Hoe werken de verschillende invoerparameters door in de oplossing? Hoe zien de grafieken eruit? Wat heeft overeenkomsten, wat is juist verschillend? Zijn er een bijzondere, onverwachte resultaten? Is daar een verklaring voor te geven?

Een van de mooiste resultaten van modelvorming kan zijn dat het model meer inzicht geeft. Soms blijkt bij het modelleren dat voorheen vrij willekeurige meetresultaten een verband blijken te hebben, een verband dat fysisch verklaard kan worden en dat gemodelleerd kan worden in een onderbouwde formule.

Antwoord op de probleemstelling

En dan de uiteindelijke conclusie: het antwoord op de probleemstelling, waar het allemaal om begonnen was, bijvoorbeeld: 'Medicijn X moet volgens dit model om de 3.5 tot 4.5 uren ingenomen worden om de concentratie tussen 0.95 Y en 1.05 Y mmol/l te houden in het bloed.' Of 'Als er in plaats X aan de Rijn een giflozing is, komt de piek Y dagen later bij plaats Z. De piek kan verlaagd worden door extra te spuien volgens een aantal scenario's.'

2 Samenwerken in een projectgroep

Mensen werken tegenwoordig maar zelden onafhankelijk van anderen en wiskundigen vormen daar geen uitzondering op. Met meerdere mensen werken aan een groot project maakt dat het werk verdeeld kan worden en op tijd af kan zijn: vele handen maken licht werk. Verder brengen mensen verschillende achtergronden en opleidingen, verschillende kennis en vaardigheden in: je kunt elkaar aanvullen.

Samenwerken is een kunst waar je je leven lang in kunt doorleren (net zoals in modelleren, en in schriftelijk en mondeling presenteren). Kijk goed hoe anderen het doen, maar leer vooral door zelf veel te oefenen en uit te proberen, en leer daarbij van je fouten en successen.

De vele taken van een projectgroep

Bij een modelleeropdracht heeft de groep allereerst de taken die iedereen ook zou hebben als hij of zij de opdracht alleen zou doen, zoals bijvoorbeeld het uitzoeken van een numerieke methode of het schrijven van het verslag. Maar als je met meer mensen werkt, komen daar vele nieuwe taken bij:

- De deelnemers moeten vergaderen (data, locaties regelen). De deelnemers moeten ook tussen de vergaderingen door met elkaar kunnen communiceren.
- Er moet een planning gemaakt worden. De taken moeten verdeeld worden. Er moet in de gaten gehouden worden dat de taken gedaan worden en de planning gehaald wordt, en zo niet, dan moet dat opgelost worden.
- Voor vergaderingen met meerdere besprekingspunten is een agenda nodig (en iemand die die opstelt). Tijdens de vergaderingen is het handig om een voorzitter te hebben. Er moet opgelet worden dat er niet te veel afgedwaald wordt, er moet op de tijd gelet worden en discussies moeten afgerond worden met besluiten en afspraken. Er moeten duidelijke notulen gemaakt worden, en eventuele afwezigen moeten op tijd weer op de hoogte gebracht worden.
- Er moet voortdurend consensus zijn over de belangrijke zaken, zoals over de taakverdeling, keuzes in het onderzoek en over het te behalen eindresultaat.

Daarnaast zijn er taken die nodig zijn om de **vergaderingen** goed te laten verlopen:

- **Divergeren:** informatie, ideeën, ervaringen, meningen of voorstellen inbrengen; vragen naar inbreng van anderen, bijvoorbeeld anderen uitnodigen om te zeggen wat ze er van denken; het probleem herdefiniëren; vragen naar verduidelijking; voortbouwen op inbreng van anderen; voorstellen van anderen verhelderen.
- **Convergeren:** iemands bijdrage samenvatten; verbanden zoeken tussen verschillende voorstellen; voorstellen toetsen aan de afspraken en planningen; meningen peilen; een discussie samenvatten; voorlopige conclusies trekken; een besluit nemen.

- **Taken om het groepsproces te bevorderen:** een coöperatieve sfeer bevorderen, bijvoorbeeld door te trakteren of iets persoonlijks te vertellen; aanmoedigen en ondersteunen van inbreng van anderen; actief meedenken met anderen; ervoor zorgen dat iedereen de kans krijgt om mee te doen; ervoor zorgen dat iedereen serieus genomen wordt en respectvol behandeld wordt; onderzoeken wat de voortgang van de discussie belemmert; gevoelens bespreekbaar maken; standpunten bij elkaar brengen; bemiddelen; kalmeren; een gespannen sfeer tegengaan door bijvoorbeeld een grapje te maken; spelregels creëren: nieuwe afspraken voorstellen over de manier van werken.

(aangepast uit DRIELUIK MONDELINGE COMMUNICATIE, DEEL III, MULTILATERALE COMMUNICATIE, ONDER REDACTIE VAN C.J.J. KORSWAGEN, ISBN 90-368-0116-8)

Rollen en verantwoordelijkheid

Dat zijn heel veel taken. De meeste mensen nemen van nature sommige taken makkelijk op zich, en laten sommige andere taken altijd liggen. Als je een bepaalde taak een paar keer op je genomen hebt, dan wordt dat al snel jouw rol in de groep. Toch is uiteindelijk iedere deelnemer van de groep ervoor verantwoordelijk dat al die taken allemaal gedaan worden. Je hoeft niet alles zelf te doen, maar je bent er wel verantwoordelijk voor dat het gedaan wordt (of je nu voorzitter bent of niet). Deze modelleerprojecten bieden een mooie gelegenheid om eens nieuwe rollen uit te proberen en onder de knie te krijgen, zodat je je repertoire aan rollen uit kunt breiden.

Besluiten en afspraken

Een belangrijk hulpmiddel om goed samen te kunnen werken, in plaats van langs elkaar heen te werken, is het op tijd nemen van duidelijke besluiten, het maken van afspraken en het werken met een gespecificeerde actielijst. Er kan veel mis gaan als groepsleden niet precies weten wat de anderen van hen verwachten. Besluiten zijn nodig bij de keuzes die er gemaakt moeten worden in het onderzoek. Afspraken zijn nodig over de manier waarop er gewerkt gaat worden. Een gespecificeerde actielijst is nodig om losse acties en taken vast te leggen (wat moet er precies gedaan worden, wie gaat/gaan het doen, wanneer moet het af zijn).

Unanieme besluiten (iedereen is voor) zijn in principe ideaal, maar vaak niet haalbaar. Alleen een meerderheid voor de beslissing is meestal veel te weinig, want dan is een aantal deelnemers tegen, terwijl ook zij voluit mee moeten kunnen blijven werken. Bij de meeste besluiten is consensus nodig: niet iedereen hoeft voor het voorstel te zijn, maar in ieder geval is er niemand tegen. Alleen met consensus is iedereen ook echt verantwoordelijk voor de beslissing, en daarom ook voor de uitvoering. Bij consensus vindt ieder groepslid dit voorstel het best werkbaar compromis. (Met 'ieder groepslid' worden natuurlijk ook de groepsleden bedoeld die een keer niet op de vergadering kunnen zijn, maar straks wel mee moeten werken aan de uitvoering van het besluit.)

Zorg er met elkaar voor dat er tijdig consensus is en dat de nodige besluiten op tijd genomen worden. Leg alle besluiten, afspraken en acties liefst **DIREKT** schriftelijk vast en zorg ervoor dat iedereen zo snel mogelijk een kopie ervan krijgt.

3 Schriftelijk verslag

Hoe wordt een rapport gelezen?

Er zullen maar enkele lezers zijn die het verslag straks van a tot z helemaal uit zullen spelen. Dat zijn eigenlijk alleen de mensen die direkt bij het project betrokken zijn of die een vervolgproject doen. Veel lezers zullen snel de titel en de samenvatting scannen (bijvoorbeeld als die op internet staat). Aan de hand daarvan beslissen ze of het de moeite waard is om het verslag op te vragen en het uitgebreider te lezen. De meeste lezers zullen de titel en de samenvatting lezen, en dan de rest van het verslag doorbladeren en af en toe een stukje lezen dat interessant lijkt. Na de samenvatting worden vaak allereerst de figuren bekeken, daarna leest men misschien de inleiding en de conclusies, en als laatste worden pas stukjes uit de tekst zelf gelezen, als men daar dan nog aan toe komt.

De titel, de samenvatting, de figuren en in mindere mate de inleiding en de conclusies vormen dus het gezicht van het rapport en moeten bij het schrijven extra aandacht krijgen.

■ Indeling

Een overzichtelijke indeling van het verslag is belangrijk. Voor de van-a-tot-z-lezers om de lijn van het verhaal vast te kunnen houden, en voor de bladerende lezers om snel te kunnen zien waar voor hen iets interessants staat.

Met de layout laat je de indeling zien in hoofdstukken, die onderverdeeld worden in paragrafen, die weer onderverdeeld worden in alinea's. Als dat nodig is, kunnen er nog extra niveau's ingelast worden als subparagrafen of (genummerde) lijsten. Voor elk van de onderdelen geldt dat het in principe over één (deel-)onderwerp gaat, terwijl het tegelijkertijd niet te lang of te kort mag zijn. Een alinea is bijvoorbeeld in het algemeen langer dan een zin, maar korter dan twintig regels.

De volgorde waarin jij de onderdelen schrijft, doet er niet zo veel toe. Wat veel mensen wel helpt is om een los bestand erbij te houden met de indeling in hoofdstukken en paragrafen en misschien zelfs in alinea's, zodat ze tijdens het schrijven overzicht houden van de indeling. Met sommige tekstverwerkers kan zo'n 'outline' automatisch bijgehouden worden aan de hand van de titels.

Hieronder een lijst van de meest gebruikte onderdelen van een verslag voor een modelleeropdracht. Let wel: je hoeft niet alle onderdelen te gebruiken, en je kan daarentegen ook extra onderdelen inlassen, als dat beter past bij het verhaal. Een verslag heeft drie delen: het voorwerk, de kern en het nawerk.

Onderdelen van een verslag: het voorwerk

De onderdelen van het voorwerk worden niet genummerd.

- **Omslag/Titelpagina** Vermeld in ieder geval de titel, de eventuele ondertitel, namen van de auteurs, het jaar van schrijven en de instelling(en) waar de auteurs werken/studeren.

Je kan kiezen voor alleen een voorpagina, of voor een omslag met daarna nog een titelpagina. Zorg ervoor dat de titel en de namen van de auteurs in ieder geval op de buitenkant te zien zijn.

Geef het rapport geen titel als 'Verslag Modelleren 2G' als het bijvoorbeeld 'Filevorming op de A13' kan heten. De titel moet liefst kort zijn, maar in ieder geval onderscheidend genoeg. Eventueel kan je een ondertitel gebruiken: 'Filevorming op de A13: de invloed van de maximum snelheid.' Het verslag van een BSc-project moet zowel een Nederlandse als een Engelstalige titel hebben, ongeacht in welke taal het verslag is geschreven.
- **Samenvatting**, een belangrijk onderdeel, omdat lezers meestal aan de hand hiervan beslissen om het verslag wel of niet te lezen. De samenvatting bevat de probleemstelling, de gebruikte rekenmethoden en de belangrijkste conclusies. De samenvatting kan i.p.v. in het voorwerk ook in het nawerk komen.
- **Inhoudsopgave**, handig om onderdelen mee op te kunnen zoeken, maar vooral krijgt de lezer hiermee een overzicht van de indeling van het verslag. Neem vooral ook de sub- en subsubparagrafen op.
- **Lijst met gebruikte symbolen** met hun betekenis in woorden en liefst met eenheden erbij. Dit is geen verplicht onderdeel, maar wel heel handig voor de lezer bij ingewikkeldere modellen. Ook handig: een lijst met de gebruikte getalswaarden voor constanten. Let wel: de grootheden moeten in de tekst ook gewoon netjes gedefinieerd worden.
- **Verklarende woordenlijst**, als er veel vaktermen en/of speciale afkortingen worden gebruikt, die waarschijnlijk nieuw zijn voor de lezers.
- **Voorwoord**, met daarin de informatie die niet tot het onderwerp van het onderzoek hoort, bijvoorbeeld de inbedding van het project, hoe en waar is het onderzoek uitgevoerd, de motivatie achter het onderzoek en het beoogde lezerspubliek.

Onderdelen van een verslag: de kern

De onderdelen van de kern (de hoofdstukken) worden i.t.t. het voor- en nawerk wel genummerd.

- **Inleiding**, meestal met de achtergrond van het probleem, het 'waarom' van het onderzoek. Waar komt het probleem vandaan? Waar gaat het onderzoek over? Wat is de hoofdvraag, de probleemstelling voor dit verslag? Wat is er in de literatuur van bekend? Vaak wordt hier ook (in woorden) een overzicht van de rest van het verslag gegeven (zodat de lezer direkt door kan gaan naar het interessante stuk).

- **Hoofdttekst**, onderverdeeld in de nodige hoofdstukken, meestal een hoofdstuk per deelvraag. Voor elke deelvraag worden na een korte inleiding de gebruikte modellen, de rekenmethoden, de resultaten, en de conclusies gegeven.

Gebruik betekenisvolle titels voor de onderdelen. Elk van de hoofdstukken en elke paragraaf moet een precieze titel hebben. Bedenk dat lezers vaak op grond van de titel beslissen of ze het stuk(je) gaan lezen of niet. Liever geen generieke titels zoals ‘Model I’, maar informatievere zoals bijvoorbeeld ‘Route voor een parabolisch stroomprofiel en constante vaarsnelheid’.

De modellen en de rekenmethoden moeten zo volledig beschreven worden dat de lezer in principe alles na zou kunnen rekenen. Toon als resultaten niet alleen grafieken, maar beschrijf juist ook goed in woorden wat de resultaten precies zijn, en welke conclusies u kunt trekken.

- **Conclusies**, ook al staan er in elk hoofdstuk conclusies over de deelvragen, er is ook nog een hoofdstuk nodig met conclusies voor het hele onderzoek. Hierin worden de conclusies van de hoofdstukken samengevat en worden conclusies over de hoofdvraag getrokken. Ook overeenkomsten of verschillen met eventuele hypothesen kunnen hier worden gesignaleerd.
- **Discussie (en aanbevelingen)** Soms hebben de auteurs nu al bedenkingen bij onderdelen van het model of de rekenmethoden. Deze relativeringen en misschien aanbevelingen of plannen voor verder onderzoek kunnen aan het einde van het onderdeel conclusies komen (maar wel duidelijk los daarvan), of in een apart hoofdstuk ‘discussie’.

Onderdelen van een verslag: het nawerk

De onderdelen van het nawerk worden niet genummerd.

- **Noten** zijn relevante opmerkingen die de tekst te veel onderbreken, en die in voetnoten gezet kunnen worden, of in een lijst in het nawerk.
- **Literatuurlijst** Bij alle informatie die van buitenaf is gekomen moet een referentie komen, en wel zo dat de lezer *ook over tien jaar* de onderliggende informatie terug kan vinden. Naar alle referenties moet verwezen worden vanuit de tekst. Om te zien hoe literatuurverwijzingen er precies uit zien, bekijk voorbeelden in een relevant boek of artikel.
- **Samenvatting**, als die nog niet in het voorwerk zit.
- **Bijlagen**, langere stukken tekst of een grote hoeveelheid gegevens, die niet nodig zijn voor de loop van het verhaal, maar wel interessant of noodzakelijk zijn. Voorbeelden: een bewijs, een lange afleiding van een formule, het gebruikte computerprogramma, de beschrijvingen van de casussen als die erg lang zijn. Bijlagen zijn afzonderlijk genummerd (meestal met hoofdletters) en elke bijlage heeft een titel. Naar alle bijlagen moet verwezen worden vanuit de tekst.

A picture can be worth a thousand words — but only if you can decipher it.

S.M. KOSSLYN: ELEMENTS OF GRAPH DESIGN, ISBN 0-7167-2362-X

■ Figuren

Figuren zijn naast de titel en de samenvatting het gezicht van een rapport. Een foto of een tekening van de situatie kan in een oogopslag veel duidelijk maken. Er zal altijd ook een beschrijving in de tekst nodig zijn, maar een beeld (met een korte ondertekst) helpt veel. Voorbeeld: een stroomdiagram bij een ingewikkeld rekenschema.

Wat wil je laten zien?

Bedenk bij elke figuur wat je precies wilt laten zien, en tegelijkertijd wat je erover wilt schrijven in de tekst. Elke figuur moet een bepaalde vraag beantwoorden. Als je bijvoorbeeld iets wilt zeggen over een detail, dan maak je een figuur waarin dat detail heel goed te zien is. Als je twee modellen wilt vergelijken, dan laat je de lezer niet twee losse grafieken met elkaar vergelijken (en zeker niet als die op verschillende bladzijden staan), maar dan zet je de grafieken samen in een figuur ('Aspect X voor modellen A en B').

Bijschriften

Elke figuur moet een unieke titel hebben (en een nummer waarnaar verwezen wordt in de tekst). Figuren hebben naast een titel vaak ook een ondertitel of bijschrift waarin heel goed kort de conclusie van de figuur kan komen te staan (terwijl die ook in de tekst zelf staat). Dit is vooral handig voor de lezers die eerst de figuren bekijken en pas later de tekst misschien lezen. Een voorbeeld van een titel met bijschrift: 'Gesimuleerde afstanden tussen 7 auto's die rijden volgens model A ($\mu = 1.7$, $h = 1s$): op $t = 13s$ botst de vierde auto tegen de derde.'

Ook al zijn de figuren zelfstandig 'overduidelijk', toch moeten ze altijd ook in de hoofdtekst goed beschreven worden, want de hoofdtekst moet het volledige verhaal geven. Dus bij elke figuur moet er in de hoofdtekst staan wat erin is uitgezet, wat valt er op, en wat zijn de conclusies. De titel en het eventuele onderschrift van de figuur zijn daar weer een samenvatting van.

Eenvoud

Zet niet te veel in een figuur: mensen kunnen in het algemeen hooguit vier verschillende visuele eenheden aan in een figuur. Twee krommen met ongeveer dezelfde vorm zijn een visuele eenheid, maar als ze kruisen zijn het er al twee. Een pijltje naar een kromme en de tekst ' $a = 0$ ' is weer een eenheid. Als een figuur te vol wordt, bedenk wat je precies wilt zeggen met de figuur. Als je er twee dingen mee wilt zeggen, dan komt dat waarschijnlijk beter tot zijn recht in twee figuren.

Grafieken

Gebruik een grafiek alleen om kwantitatieve verbanden te laten zien tussen grootheden, bijvoorbeeld hoe een functie verandert in de tijd. Absolute hoeveelheden (zoals bijvoorbeeld de

maximum snelheid) kunnen beter in een tabel. Kies bewust tussen een ‘scatter graph’ en een ‘line graph’: losse metingen worden vaak als losse punten weergegeven (eventueel met foutenlijnstukjes of betrouwbaarheidsintervallen erbij) en simulaties met een fijne discretisatie vaak door een kromme.

Als een parameter niet voor elke grafiek hetzelfde is, dan moet ergens in de grafiek of in het onderschrift de waarde gegeven staan. Een lezer zou in principe de resultaten van elke grafiek moeten kunnen reproduceren.

Tabellen

Voor tabellen geldt hetzelfde als voor figuren: ze zijn zichtbaarder dan de tekst zelf. Elke tabel moet een duidelijke boodschap hebben, een reden hebben om er te staan, een reden die ook verwoordt wordt in de titel en eventueel de ondertitel van de tabel. Zet dingen die vergeleken moeten worden door de lezer bij elkaar. Maak de tabel niet te groot of te ingewikkeld, maar splits indien nodig. Geef zoveel informatie dat de getallen er in principe mee gereproduceerd zouden kunnen worden.

Kies tot op hoeveel decimalen je numerieke resultaten afrondt. Wat is zinvol gezien de fouten, en hoe precies wil de lezer de getallen weten?

Schrijven

Schrijven is meestal veel werk, omdat je vaak pas tijdens het schrijven het materiaal echt ordent. Het is heel normaal als de schrijver van de eerste versie (van een onderdeel) die tekst meerdere keren helemaal omgooit. De tweede persoon die commentaar levert op de tekst kan dat het beste in pen op een geprinte versie doen, of in een andere kleur in een digitale versie, zodat je ziet wat van wie is. Je moet dan van tevoren afspreken wie gaat beslissen welke suggesties overgenomen worden en welke niet.

Het is heel normaal als deze tweede persoon de tekst helemaal ‘rood’ maakt met commentaar. En het is ook normaal als de tekst na verwerking van de suggesties nog een paar keer helemaal ‘rood’ gemaakt wordt door een derde lezer of weer door dezelfde lezer. Net als het modelleren zelf, is het schrijven van een verslag meer een cyclische bezigheid dan een lineaire en wordt er ongeveer net zoveel geschrapt als dat er uiteindelijk wordt geproduceerd.

Tekstverwerkers

De keuze van tekstverwerker is natuurlijk vrij. Wiskundigen, zeker als ze met langere formules werken, gebruiken echter in het algemeen bij voorkeur L^AT_EX. Deze practica kunnen een goede gelegenheid zijn om deze taal te leren.

Nederlands/Engels

BSc-verslagen zijn in het algemeen in het Nederlands. Als je in het Engels gaat schrijven, en als dat niet je moedertaal is, maak dan niet de fout je vaardigheid in het Engels te overschatten. Vraag, als het resultaat er echt toe doet, hulp aan een expert. Het verslag van

het Bachelor-project kan in het Nederlands of in het Engels geschreven zijn, maar moet *zowel een Engelse als een Nederlandse titel* hebben.

Formules

Bedenk dat een afleiding die alleen uit formules bestaat slecht leesbaar is. Neem voor je lezers de moeite om in woorden op te schrijven wat je doet. Met woorden kan je ook een paar stappen tegelijk doen en dan hoeven niet alle tussenresultaten als formule in het verslag te komen. De stappen moeten natuurlijk ook weer niet zo groot worden dat het niet redelijk eenvoudig na te rekenen is door de lezer.

Leuteren heeft geen zin. Een verslag, zeker de kern ervan, hoeft helemaal niet dik te zijn; sterker nog: hoort een bescheiden omvang te hebben.

H. CORSTENS: EEN VERSLAG ?, 1998

Een goed verslag

In een verslag moeten in principe alle gegevens (of referenties naar gegevens) staan die de lezer nodig heeft om de resultaten te kunnen reproduceren. Maar uiteindelijk is een verslag natuurlijk meer dan dat. Een echt goed verslag is een verhaal met bijbehorende spanningsbogen: het beschrijft waarom het onderzochte probleem interessant en relevant is, hoe degelijk en efficiënt het model en de oplossingsmethode zijn, het geeft een heldere beschrijving van wat er interessant is aan de resultaten, en het eindigt kort en bondig met goed onderbouwde conclusies, waar de opdrachtgever duidelijk mee verder kan.

4 Voordracht

Een goede spreker is niet zo geboren, maar is zo geworden door veel te oefenen en zich voor elke voordracht heel goed voor te bereiden.

Voorbereiding

Ook al is het onderzoek helemaal afgerond en is het verslag geschreven, het voorbereiden van de voordracht zal in het algemeen nog veel tijd moeten kosten. Allereerst zullen er keuzes gemaakt moeten worden voor de inhoud van de voordracht: waar moet de focus van de voordracht precies liggen en wat wordt weggelaten? Dan moet er een indeling gemaakt worden voor de voordracht; soms is die gelijk aan die van het verslag, maar soms is een andere indeling toepasselijker. Er moet beeldmateriaal komen dat geschikt is om te projecteren (figuren uit het verslag kunnen meestal niet onveranderd gebruikt worden) en tenslotte de voordracht zelf moet een aantal keren geoefend worden, liefst met toehoorders.

Een goede voorbereiding maakt dat de spreker zó vertrouwd is met de inhoud en de vorm van de voordracht, dat hij of zij tijdens de voordracht ook nog aandacht kan hebben voor de reacties van het publiek.

Doel van de voordracht

In een korte voordracht van, zeg 20 minuten plus 5 minuten vragen, kan maar één onderwerp echt behandeld worden. Je kunt in die tijd óf de probleemstelling en het antwoord goed behandelen, óf diep ingaan op een bepaald onderdeel van het model, óf juist echt de gebruikte numerieke methode laten zien, maar niet alles tegelijk. Je zult dus moeten kiezen wat je hoofdonderwerp van de voordracht wordt. Welke boodschap moet het publiek mee naar huis nemen? De overige onderdelen van het onderzoek vat je alleen kort samen als dat nodig is voor het hoofdonderwerp.

De boodschap moet je samen kunnen vatten in een korte zin of titel. Als je meer dan vijftien woorden nodig hebt, dan is het onderwerp waarschijnlijk nog niet voldoende afgebakend. Het is bij een voordracht in het algemeen beter om één ding heel goed te vertellen, dan meer dingen maar half.

Keep in mind you are leading - not driving - your audience along a route with which you, and you alone, are familiar. It is your job to “keep them with you” all the way. If you lose them (or their concentration) once, you may never get them back!

SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS’ SPEAKER MANUAL

Indeling

Het kost iemand in het publiek in het algemeen veel energie om de lijn van een verhaal bij te

houden. Anders dan bij het lezen van een rapport kan je niet even terugbladeren. Als spreker kan je het je publiek makkelijk maken door die lijn heel duidelijk te laten zijn, dan kunnen je toehoorders zich concentreren op de inhoud. Grofweg: vertel waar je het over gaat hebben (met een overzicht van de indeling in woord en/of beeld), vertel het dan, en vat aan het eind de boodschap samen.

Het verhaal zelf moet een indeling hebben die makkelijk te volgen is: de overgangen van het ene punt naar het volgende, van de ene figuur naar de volgende, moeten volkomen logisch zijn. Als je bij een ‘splitsing’ in je verhaal komt, geef dan heel duidelijk aan welke kant je op gaat en waarom. Als je opeens een andere kant op gaat met je verhaal, zeg dat ook heel duidelijk en geef je reden ervoor. Een zijpad opgaan kan, als je maar heel duidelijk maakt dat het een zijpad is, en het moment aangeeft wanneer je weer teruggaat naar de hoofdlijn. Een of meer beelden met de verschillende onderwerpen (en hun verband) kunnen hierbij helpen.

Beeldmateriaal

De kwaliteit van het beeldmateriaal is belangrijk. Een afbeelding kan korte tekst zijn: de titel van de voordracht en de naam van de spreker, de kernpunten van de voordracht, een kort citaat, een formule, een korte samenvatting. Het kan ook een figuur zijn: een schema, een grafiek, een tabel, een tekening, een foto. Sommigen kiezen de indeling van een voordracht niet aan de hand van een lijst titels, maar aan de hand van de figuren die ze willen laten zien. De tekst ordenen ze dan daar omheen.

Als vuistregel heb je 2 tot 3 minuten per beeld nodig. Ook hier geldt: liever weinig beelden waar je rustig aandacht aan kunt besteden, dan veel beelden die elkaar heel snel afwisselen.

Een geprojecteerd beeld is veel minder leesbaar dan een figuur of een stuk tekst in een rapport. Er kan weinig op (maximaal 7 regels met maximaal 7 woorden), letters moeten groter en meestal vet, lijnen moeten dikker, en een teveel aan details moet eruit. Je kunt van tevoren testen of een beeld goed genoeg is voor projectie met de ‘1 staat tot 6’-regel: als het beeld als grootste maat X cm meet (een A4-tje is 30 cm hoog), dan moet het op een afstand van 6 X cm goed duidelijk zijn (voor het A4-tje dus op 180 cm afstand). Waarschuwing: in het algemeen kan je figuren uit het rapport niet zo overnemen in je presentatie.

In de beelden kan je wel kleur en eventueel beweging gebruiken. Gebruik deze effecten echter met mate: te veel kleur of beweging leidt af van de inhoud.

Ik houd van het proza, dat als een man op mij toekomt, met schitterende ogen, met een luide stem, ademend, en met grote gebaren van handen.

LODEWIJK VAN DEYSSEL: KRITIEKEN

Spreken

Goed spreken kan je leren. Zorg allereerst ervoor goed voorbereid te zijn op wat je precies wilt vertellen. Oefen de voordracht meerdere keren, liefst met toehoorders, of neem de oefensessie

op. Let ook goed op de lengte van de voordracht. Bedenk van tevoren welke delen je weg kunt laten als toch blijkt dat het te lang wordt. Door je goed voor te bereiden toon je respect voor je publiek, en dat publiek zal dan ook eerder goed naar jou luisteren.

Begin de voordracht zelf door allereerst goed op twee benen te gaan staan en het publiek rustig aan te kijken. Het kan helpen om de eerste paar zinnen uit het hoofd te leren, zodat je zeker weet dat je goed begint. Spreek duidelijk en niet te snel. Gebruik zo weinig mogelijk jargon en afkortingen, en als er toch een vakterm nodig is, leg die dan uit. (Mensen in het publiek die die term toevallig niet kennen, ben je anders kwijt.) Gebruik, als dat kan, liever weinig woorden, dan veel. Om compact en helder te leren formuleren bij het spreken kan het handig zijn om de eerste keren een voordracht woordelijk uit te schrijven.

Theater

Bedenk dat een voordracht ook een vorm van theater is: het publiek kijkt niet alleen naar de geprojecteerde beelden, maar kijkt ook naar het gezicht en de bewegingen van de spreker. Met je mimiek, gebaren en bewegingen kan je het verhaal ondersteunen en de voordracht levendiger maken.

Oogcontact met het publiek is erg belangrijk. Als iemand in het publiek nooit wordt aangekeken door de spreker, dan voelt hij zich automatisch ook niet aangesproken. Kijk dus niet alleen naar het scherm, of naar de grond, of naar een vertrouwd groepje mensen in het publiek, maar durf je hele publiek aan te spreken.

Een grapje kan helpen om wat afwisseling te geven. Wees wel voorzichtig, en ga er altijd van uit dat er in je publiek meerdere schoonmoeders, Limburgers, verstrooide professoren en hun sympathisanten zitten.

VUISTREGEL

Mensen onthouden ongeveer:

- 10% van wat ze lezen,
 - 20% van wat ze horen,
 - 30% van wat ze zien,
 - 50% van wat ze horen en zien,
 - 80% van wat ze zeggen (*zelf formuleren*),
 - 90% van wat ze doen.
-

Vragen

Hoe actiever de toehoorders zijn tijdens de voordracht, des te meer onthouden ze ervan. Een van de middelen om het je publiek actiever te laten zijn, is vragen stellen, zelfs als je die later zelf beantwoordt. Je kunt bijvoorbeeld aan het begin een quiz-vraag stellen over jullie spannendste onderzoeksresultaat.

Soms stelt iemand uit je publiek tijdens de voordracht een vraag en na afloop moet er zeker ruimte zijn voor vragen. Dit is een belangrijk deel van een voordracht, ook al is het het minst

voorspelbaar. Ontspan, iedereen weet dat het moeilijk is om vragen te beantwoorden, zelfs al heb je je helemaal verdiept in het onderwerp. Benader iedereen respectvol: iedere vraag is een goede vraag. Als één iemand deze vraag stelt, zijn er meestal meerderen met dezelfde vraag.

Vraag gerust door tot je de vraag goed begrijpt en herhaal de vraag dan voor iedereen. (Dat geeft jou, en de rest van het publiek, meteen tijd om na te denken.) Je kunt de vraag gewoon (proberen te) beantwoorden. Je kunt de vraag ook doorspelen naar iemand anders, of misschien zelfs (respectvol!) terugspelen naar de vragensteller met een “Interessante vraag, heeft u iets specifieks op het oog?” Het is zeker geen schande om te zeggen dat je het antwoord niet weet, of dat je het niet onderzocht hebt (en dat het misschien een goede richting voor verdere studie is). Veel wetenschappelijke contacten zijn al gelegd en veel nieuwe studies zijn al opgestart naar aanleiding van vragen aan het einde van een voordracht.

5 Posterpresentatie

Op conferenties wordt vaak een posterpresentatie gehouden. Een poster geeft op een groot papier (A0 of A1) een visueel overzicht van een onderzoek. Posters zijn bedoeld om informele gesprekken tussen onderzoekers over hun werk uit te lokken.

Noodzakelijke elementen op een poster:

- **Titel**, kort en interessant
- **Auteurs**, namen, instituten en een datum
- **Probleemstelling**, doel van het onderzoek(sonderdeel van de poster)
- **Methode**, korte omschrijving van de gevolgde werkwijze
- **Resultaten**, vaak in de vorm van een of meer figuren
- **Conclusie(s)**, de boodschap van de poster

De ruimte op een poster is zeer beperkt: beperk dus ook de informatie erop tot een kern: Wat moet de boodschap van de poster worden? Wat wil je overbrengen? Dat is niet alles wat er in het onderzoeksverslag staat, maar alleen de hoofdzaak ervan of een interessant onderdeel eruit. Net als bij een voordracht kan je veel beter een ding heel goed laten zien, dan vele een beetje.

Een poster werkt allereerst visueel: beperk de tekst (en formules) tot een minimum. Lange zinnen en zeker lappen tekst en afleidingen van formules zijn ongeschikt voor posters. De tekst die er wel staat moet in een (zeer) groot lettertype. Toch moet de boodschap van de poster ook zonder mondelinge toelichting wel begrijpelijk zijn, dus bijvoorbeeld de belangrijkste variabelen moeten wel gedefinieerd worden. Bedenk ook dat als er weinig tekst is, spelfouten extra opvallen.

Kies krachtige figuren. Let erop dat de figuren geen of weinig tekst nodig hebben, dus zorg voor de juiste symbolen langs de assen (eenheden?) en voor een goede legenda. Ook in de figuren moeten een duidelijk en groot font gebruikt worden en lijnen moeten waarschijnlijk dikker gemaakt worden.

Ontwerp een evenwichtige compositie en zorg voor een duidelijke ‘leesrichting’. Zorg ook voor een element dat de aandacht trekt, dat de interesse wekt: een pakkende titel of een opvallend beeld. Je maakt reclame voor je onderzoek. (En net als bij reclame moet je oppassen dat het niet tè wordt.) Een poster moet vooral nieuwsgierig maken naar het onderzoek, een interessante, duidelijke boodschap hebben, en verleiden tot een gesprek met de onderzoekers.

Tot slot

We eindigen deze handleiding met een citaat uit een collegehandleiding van Civiele Techniek. Wat daarin staat geldt niet alleen voor het modelleren zelf, maar ook voor het werken in een groep, voor het maken van een verslag en voor het houden van een voordracht.

De kunst van het modelleren is om in de fasen van schematisatie en modelformulering een goede balans te treffen tussen doelmatigheid (wat moet het model kunnen) en efficiëntie (hoeveel inspanning, geld etc. mag het kosten in ontwikkeling en gebruik). Zeker in de aanvangsfase van de ontwikkeling van een model is eenvoud een hoge deugd. Ingewikkelder maken kan altijd nog.

De fasen van het schematiseren en van de modelformulering zijn de meest essentiële en ook de moeilijkste van het modelleren. Het zijn ook de moeilijkste fasen om te onderwijzen en om mee vertrouwd te raken. Dit is een gevolg van een aantal factoren, die juist in deze fasen een rol spelen:

- het open-eind karakter van modelleren;*
- het niet beschikbaar zijn van recepten;*
- het beroep dat op inzicht en intuïtie wordt gedaan om hoofdzaken van bijzaken te kunnen onderscheiden; en*
- het lef dat nodig is om een complex probleem te kunnen vereenvoudigen (door minder belangrijke zaken weg te laten).*

(...) De meest effectieve methode om zelfvertrouwen in het modelleren te ontwikkelen is het zelf een aantal keren te doen, samen met één of enkele anderen, en met ondersteuning wanneer daaraan behoefte bestaat.

COLLEGEHANDLEIDING 'MODELFORMING' DOOR J.A. BATTJES, N. BOOIJ EN M.A. HOOIJMEIJER, FACULTEIT CTTG, TU DELFT
