

# Didactische Aanbevelingen voor Architectuuronderwijs

Gerrit Muller  
Embedded Systems Institute  
Laplace Building 0.10  
P.O. Box 513  
5600 MB Eindhoven  
The Netherlands

[http://www.extra.research.philips.com/natlab/sysarch/  
Gerrit.Muller@EmbeddedSystems.nl](http://www.extra.research.philips.com/natlab/sysarch/Gerrit.Muller@EmbeddedSystems.nl)

**Abstract.** Het onderwijzen van het architecting vak verschilt van het onderwijzen van een traditioneel mono-disciplinair vak, omdat het focus veel meer ligt op vaardigheden en minder op feiten. De leraar moet een leerproces bij de studenten laten ontstaan waarin de student wordt gestimuleerd om het onderwerp op een perceptieve, reflectieve en een exploratieve manier eigen te maken. Dit artikel geeft een aantal aanbevelingen voor interactie, illustratie, het ontwikkelen van de “zachte” vaardigheden, het gebruik van media en studenten terugkoppeling.

## Introductie

Er is een groot gebrek aan opleidingen in het architectuurvak. Op bachelor niveau is het onderwijs volledig mono-disciplinair. Op masters niveau wordt soms een klein deel (5%) van de tijd besteed aan enige verbreding. Het belangrijkste architectuuronderwijs vindt in de praktijk plaats, ondersteund door allerhande korte cursussen.

Bonwell (Bonwell 1991) beschrijft de voordelen van “active learning” en de barrières om deze leermethode in te voeren. In onze eigen systeemarchitecting cursussen hebben we geëxperimenteerd met meerdere vormen van “active learning”. Figuur 1 toont het systems architecting curriculum zoals dat wordt voorgesteld door Philips en het Embedded Systems Institute (ESI). De ervaring van het geven van deze cursussen bij Philips en ESI is dat voor architectuur onderwijs een actieve leerstijl nodig is, meer actief dan normaal wordt toegepast in bachelor en masters onderwijs. De reden dat een actieve leerstijl belangrijk is voor het architectuuronderwijs is dat de ontwikkeling van interpersoonlijke vaardigheden een belangrijker doel van de cursus is dan het doorgeven van een grote hoeveelheid informatie. In dit artikel formuleren we didactische aanbevelingen voor het architectuuronderwijs.

Het curriculum van Philips en ESI relateert de mate van volwassenheid van de systeem architect, zoals bovenaan figuur 1 wordt getoond, aan het type kennis en vaardigheden dat wordt aanbevolen voor het onderwijs. Om het beeld compleet te krijgen worden de traditionele vakgebieden aan de linkerkant getoond als startpunt van de opleiding tot architect. Hoe meer volwassen architecten zijn hoe meer hun onderwijs behoefte verschuift naar vaardigheden en niet-technische kennis.

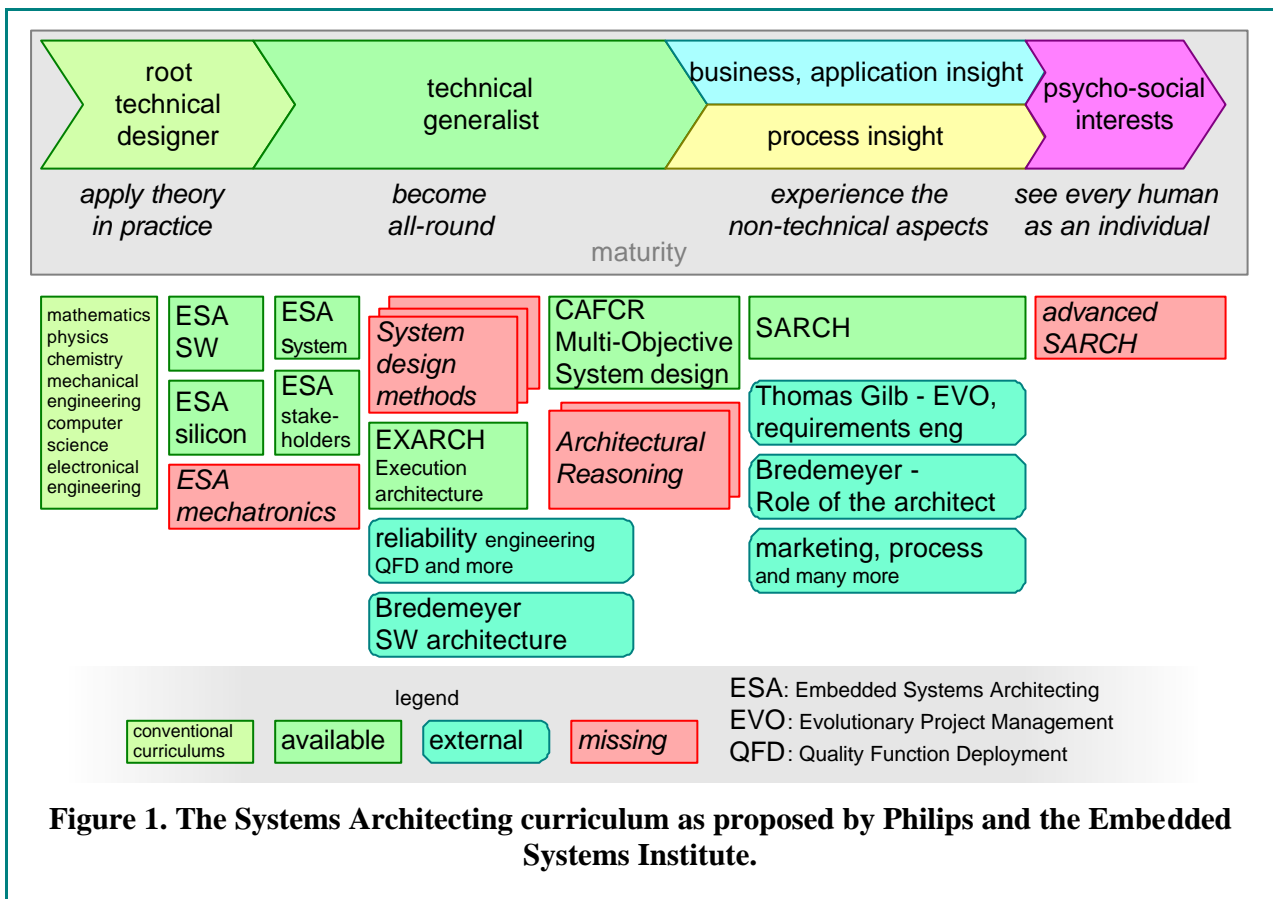
**ESA** (26 dagen) De *Embedded Systems Architecting* (ESA) cursus geeft technische verbreding aan ingenieurs met een paar jaar ervaring en de ambitie richting architect. In de stakeholders module wordt ook al een vooruitblik gegeven op de niet-technische aspecten die belangrijk zijn

voor een architect.

**EXARCH** (5 dagen) De *Execution Architecture* (EXARCH) focuseert op de performance en het real-time gedrag van embedded systemen.

**CAFCR** (5 dagen) De cursus *Multi-Objective Embedded Systems Design, based on CAFCR* geeft meerdere methoden om klantdoelstellingen te vertalen in ontwerpbeslissingen. De CAFCR methode, eigenlijk KAFKR in de Nederlandse vertaling, is gebaseerd op vijf gezichtspunten: **K**lantdoelstellingen, **A**pplicatie, **F**unctioneel, **C**onceptueel en **R**ealisatie Views.

**SARCH** (5 dagen) De *Systems Architecting* (SARCH) cursus geeft een overzicht over alle niet-technische aspecten van de architectenbaan. Negen verschillende gezichtspunten, variërend van proces en rol tot requirements en roadmapping, worden gebruikt om de functie van systeem architect in een kader te plaatsen.



De doelgroep van dit type cursussen bestaat uit hoogopgeleide, professionele ingenieurs. Zij zoeken onderwijs om van mono-disciplinaire ingenieurs te groeien naar multidisciplinaire systeem architecten. De conventionele BaMa leerstijl die gebruikt wordt voor mono-disciplinaire onderwerpen is eenrichtingsverkeer en individuele training, voornamelijk wiskundige vraagstukken. Deze conventionele leerstijl past niet goed bij de doelgroep en het multidisciplinaire onderwerp. De multidisciplinaire natuur van architecting vereist goede interpersoonlijke vaardigheden, om alle stakeholders betrokken te krijgen. De training stijl voor

deze cursussen moet dit ondersteunen. In contrast hiermee kunnen veel mono-disciplinaire vaardigheden individueel getraind worden. Recht voor zijn raap klassikaal onderwijs is misschien voldoende voor mono-disciplinaire vaardigheden.

## Het Combineren van een Passieve en Actieve Leerstijl

Het doel van de systeem architecting cursussen is om studenten inzicht te verschaffen in methoden. Dit vereist dat enige theoretische achtergrond van het onderwerp wordt overgedragen. Een effectieve manier van het overdragen van kennis is het tonen van voorbeelden. Het theoretische deel geeft overzicht en reflectie; het voorbeeld brengt het onderwerp tot leven. Echter het geven van theorie en voorbeelden is nog onvoldoende om de studenten de gegeven informatie volledig eigen te laten maken. Door actief met de theorie aan de slag te gaan ontwikkelen zich de praktische vaardigheden.

De cursus context dicteert een strikte tijdslimiet. Als leraar moeten we een balans vinden tussen de passieve, theorie en illustratie, en de actieve, oefeningen, delen van de cursus. Toen de vijfdaagse SARCH cursus binnen Philips startte was de ratio passief/actief 60/40. In andere woorden er werd veel informatie verschaft, terwijl er wat minder tijd gepland was voor het actief gebruiken van de informatie. Al snel werd duidelijk dat het actieve gebruik van het materiaal cruciaal is voor de waardering. In de daarop volgende cursussen verschoof de ratio geleidelijk naar 40/60: minder theorie and meer oefening. Op dat moment begonnen studenten te klagen dat ze te weinig nieuwe theorie leerden. Nu is de ratio ongeveer 50/50. De SARCH cursus is een cursus met een hoge dichtheid die materiaal biedt over een grote variëteit van onderwerpen. In meer gefocusseerde cursussen, zoals de EXARCH cursus over performance en real-time gedrag, of de CAFCR cursus over systeem ontwerp voor meerdere doelstellingen schuift de ratio naar 25/75, weinig theorie en veel oefening. De oefeningen in deze cursussen vereisen intensieve begeleiding door de leraar, omdat de oefening zelf een belangrijk leervehikel is.

De iteratie tussen theorie en illustratie is veel meer fijnkorrelig. De meeste theoretische modellen hebben illustratie nodig om als waardevol te worden ervaren. De leraar moet zijn eigen ervaring gebruiken om illustratieve voorbeelden te vinden. In sommige gevallen hebben de deelnemers zelf illustratieve voorbeelden voor handen. Zie de sectie *Interactie* voor meer hints. Het cursusmateriaal dekt het theoretische deel af, omdat deze informatie generiek is. De illustraties zijn vaak niet beschikbaar in een eenvoudig toegankelijke vorm, vanwege vertrouwelijkheid. Voorbeelden zijn het meest effectief, als iemand die erbij betrokken was erover vertelt. Als iemand anders het illustratieve verhaal vertelt dan gaat veel van de authenticiteit verloren, waardoor de waarde van het voorbeeld vermindert.

## Interactie

Actief betrokken studenten absorberen en verteren meer materiaal. De leraar moet de student zoveel mogelijk stimuleren om actief te zijn. Een manier om dat te bereiken is om de les heel interactief te maken. In de volgende secties zullen we een variëteit van interactieve middelen bespreken:

- Het stellen van vragen aan de studenten:
  - Provocatief
  - Verkennend
  - Uitnodigen om eigen ervaringen te vertellen
- Houd de communicatie open in alle richtingen:

- Sta discussies toe en stimuleer deze
- Blijf in controle over de twee richtingen communicatie, bijvoorbeeld middels een parkeerflip.
- Creëer een open en veilige leeromgeving.
- Houd de studenten alert door het wisselen van gezichtspunt en counterintuïtieve voorbeelden.
- Zorg voor een consistent mindset tijdens de cursus

### ***Het stellen van vragen aan de studenten***

Iedere module start met het stellen van een vraag aan het gehoor. Voorbeelden van vragen zijn:

**Provocatief:** “Wat is het meest belangrijke proces in jouw bedrijf?” De provocatie is dat het “meest belangrijke” in deze context betekenisloos is. Desalniettemin zal het stellen van de vraag de studenten dwingen om verschil te maken tussen belangrijke of kern processen en minder belangrijke ondersteunende processen.

**Verkennend:** “Wat zijn de deliverables van een architect?” De studenten moeten zelf actief zijn om met deliverables te komen. In de slipstream van deze vraag worden een aantal gerelateerde discussies gevoerd, zoals: “Wat zijn deliverables?”

**Uitnodigen om eigen ervaringen te vertellen:** “Wie heeft er wel eens een roadmap gezien?” gevolgd door de vraag “Wat was de inhoud van deze roadmap?” of “Wat is de waarde van deze roadmap voor the organisatie?” De antwoorden op deze vragen illustreren al een flink deel van de theorie. De theorie wordt dan nog snel doorgelopen om een overzicht te bieden.

### ***Houd de communicatie open in alle richtingen***

**Sta discussies toe en stimuleer deze** De presentatie en de vragen moeten de studenten uitnodigen om hun eigen ervaringen te vertellen. Het bediscussiëren van de eigen ervaringen en het vergelijken met andermans ervaringen helpt de studenten om de kennis tot leven te brengen. Het zal ook discussies triggeren tussen studenten onderling, wat de inzichten nog verder zal verrijken.

**Blijf in controle over de twee richtingen communicatie** De cursus context moet een sfeer creëren waarin de studenten voelen dat ze actief mee mogen doen. Dit betekent dat het op ieder moment mogelijk moet zijn om vragen te stellen. Soms zullen deze vragen een discussie op gang brengen tussen de deelnemers. De leraar heeft hier een belangrijke taak: aan de ene kant moet hij deze sfeer koesteren, maar aan de andere kant moet hij het cursus programma en de gerelateerde tijdslijmieten bewaken. De leraar moet facilitator vaardigheden bezitten om dit balanceerspel te spelen. Een bruikbaar facilitator instrument is de parkeerflip. De parkeerflip is een flipover die aan de muur bevestigd is en duidelijk als Parking flip herkenbaar is. Studenten mogen op ieder moment vragen en opmerkingen op deze flip parkeren. De leraar kan ook zelf suggereren om vragen of discussieonderwerpen te parkeren, zeker als de vraag of discussie te ver afwijkt van de doelstellingen van de huidige module. Aan het begin en aan het eind van iedere module is enige tijd gereserveerd om geparkeerde onderwerpen te bespreken.

**Creëer een open en veilige leeromgeving** De regels over de interactie tijdens de cursus worden aan het begin van de cursus neergezet. Om tweerichtingen communicatie met alle studenten te verzekeren moet een open en veilige leeromgeving worden gecreëerd. De hoofdregels die gelden

zijn:

- Discussieer op een constructieve manier, hitte zoekende projectielen zijn niet toegestaan!
- Domme vragen bestaan niet

In werkelijkheid blijken “domme” vragen vaak vragen te zijn die vanuit een ander gezichtspunt nieuw inzicht opleveren. Sommige vragen hebben onvoldoende waarde voor de hele groep. In dat geval kunnen de vragen het best off-line worden beantwoord, bijvoorbeeld in de pauze.

De leraar moet ook zorgen dat alle deelnemers in balans een bijdrage kunnen leveren. Stille deelnemers moeten worden gestimuleerd om bij te dragen, terwijl monopolisatie door luidruchtige studenten moet worden voorkomen.

### ***Het alert houden van de studenten***

Het klassikale karakter kan studenten onbewust verleiden om in lean-back mode te gaan luisteren. Naast een levendige presentatie stijl helpt het om de studenten wakker te houden door plotselinge wisselingen van gezichtspunt of door het geven van counterintuïtieve voorbeelden. De studenten moeten op dit soort events reageren. Als ze inactief blijven dan is dit een duidelijk signaal dat de leraar zijn gehoor heeft verloren. Op zo'n moment kan de leraar hen expliciet wekken of een pauze aankondigen.

### ***Zorg voor een consistente mindset tijdens de cursus***

Het werk van de systeem architect vergt een specifieke instelling. Deze instelling wordt door de hele cursus heen gewoven in een beperkt aantal rode draden:

- Wees klant, markt en resultaat gericht
- Gebruik gezond verstand
- Gebruik meerdere gezichtspunten
- Wees constructief kritisch
- Bewaak je integriteit en geloofwaardigheid als een architect
- Gebruik feiten, wees specifiek
- Communiceer helder en to-the-point, geef overzicht

Alle interactiemiddelen die genoemd zijn (het stellen van vragen, open communicatie en het alert houden) worden ingezet om deze instelling te stimuleren. Bijvoorbeeld, een stelling van een student:

“We kunnen dit niet, want de hoeveelheid software is veel te groot”

kan worden weerlegd met vragen zoals:

- “Waarom hebben we deze hoeveelheid software nodig?”
- “Hoeveel werk is nodig, gegeven deze hoeveelheid software?”
- “Als de klant dit echt nodig heeft, hoe kunnen we de klant dan toch helpen?”

## **Ontwikkeling van de Zachte Vaardigheden**

Het ontwikkelen van vaardigheden is een belangrijk doel van alle architectuur gerichte opleidingen. In de volgende secties bespreken we hoe de zachte vaardigheden *presenteren*, *teamwork* en *zelfreflectie* continu worden getraind als spin-off van de oefeningen. In de laatste sectie wordt het belang van het geven van gebalanceerde feedback aan studenten besproken.

## **Presenteren**

Communicatievaardigheden zijn heel belangrijk. In deze cursussen worden de cursisten de hele tijd getraind in communiceren en presenteren als bijeffect van de oefeningen. Het resultaat van iedere oefening moet in 5 minuten worden gepresenteerd, waarbij een of soms twee flips mogen worden gebruikt. Dit formaat dwingt de studenten om de hoofdlijnen te presenteren. Er is geen tijd of ruimte op de flips om het complete verhaal te vertellen. In de praktijk moeten architecten ook in staat zijn om hun punt ter plekke binnen vijf minuten te maken.

## **Teamwork**

Architecten opereren altijd als lid van grotere teams: project team, specificatie team, design team et cetera. Het ontwikkelen van teamwork vaardigheden is ook een bijeffect van de oefeningen. Alle oefeningen worden in teams van ongeveer 4 mensen gedaan. De teams worden relatief klein gehouden om actieve deelname van iedereen zeker te stellen. In grotere teams is er meer ruimte om stilletjes achterover te leunen.

## **Zelfreflectie**

Zelfreflectie triggert vaak op effectieve wijze de ontwikkeling van vaardigheden. In de discussie van de resultaten van de oefeningen worden de studenten regelmatig uitgenodigd om een stap in de “meta” richting te maken: “Wat heb ik of wat hebben wij gedaan?”, “Wat zijn de resultaten?”, “Zijn er alternatieven?”. De laatste module van de cursus nodigt de student uit om zijn inzichten te verwerken in een persoonlijk plan voor de korte termijn en voor de lange termijn.

## **Het geven van gebalanceerde feedback**

De leraar moet feedback geven aan de studenten over de resultaten van oefeningen en over het proces om die resultaten te bereiken. Het is belangrijk dat deze feedback gebalanceerd is; sterke punten moeten specifiek en expliciet benoemd worden. De punten die verbeterd kunnen worden moeten ook specifiek en expliciet gemaakt worden. Veel studenten moeten zelfvertrouwen opbouwen om dit soort presentaties te geven of om op een kwetsbare manier in een team te opereren. De positieve feedback is nodig om het zelfvertrouwen te versterken.

## **Het Gebruik van Media**

Een rijke verzameling aan media kan worden gebruikt: slides, animaties, lezingen, flips, memostickers, laptops met allerlei interactieve programma's en nog veel meer. Vanuit didactisch oogpunt zijn media middelen en geen doelen. Het is aan te bevelen om media te selecteren die ondersteunend zijn en op een natuurlijke wijze passen. Vermijd ingewikkeld gereedschap en flitsende animaties, omdat er een flink risico is dat ze niet werken. En zelfs als ze werken zoals gepland, dan is een dominant medium vaak meer afleidend dan ondersteunend. Als voorbeeld bespreken we hier onze eigen werkwijze.

Bij Philips en het ESI worden de cursussen als blok gegeven in een klaslokaal. De blokken hebben een lengte tussen twee en vijf dagen. Het cursusmateriaal is beschikbaar op internet: <http://www.extra.research.philips.com/natlab/sysarch/CourseDescriptions.html>. De studenten krijgen de URL een paar weken voor het begin van de cursus, met de medeling dat zij zich mogen voorbereiden, maar dat voorbereiding geen vereiste is. Het beschikbaar stellen van het

materiaal is een stuk dienstverlening aan de studenten, met name voor diegene die zich comfortabeler voelen als ze zich wel kunnen voorbereiden. De slides en de readers worden aan het begin van de cursus ook in papieren vorm uitgedeeld

Gedurende het college worden de slides geprojecteerd en wordt de inhoud besproken. Om snelle navigatie met simpele vooruit en achteruit knoppen mogelijk te maken is dit materiaal geheel zonder animaties gemaakt. Welke slides tijdens het college precies worden gebruikt hangt van de interactie af. Er zijn geen twee cursussen die exact dezelfde volgorde van slides hebben. De combinatie van flexibiliteit en eenvoudige browsing werkt effectief.

De flip wordt veel gebruikt voor de interactie. Bijvoorbeeld bij een verkennende vraag zoals “Wat zijn de deliverables van de architect?” resulteert in een brainstorm-achtige lijst, waarbij alle antwoorden op een flip worden geschreven. In een korte discussie worden de antwoorden geannoteerd (“Is een tijdsplan werkelijk een deliverable van een architect? Nee, het is een deliverable van een projectleider.”). Deze flips worden dan aan de muur van het klaslokaal gehangen. Gedurende de cursus komen alle besproken lijsten en de bijbehorende schetsen aan de muur te hangen en vormen op die manier een collectief geheugen. Dit helpt als gerelateerde items worden besproken. Wanneer bijvoorbeeld de activiteiten van de architect onderwerp van discussie zijn, dan kan de leraar terugrijpen op de deliverables: veel activiteiten blijken nooit zichtbaar te worden in een van de deliverables!

Een ander low-tech hulpmiddel zijn de gele memostickers. Deze kunnen worden gebruikt voor individuele inputs, voor brainstorms en om eenvoudig aan te passen schema's te maken. De stickers zullen meestal op een flip worden geplakt, die op zijn beurt aan de muur hangt. Voor brainstorms is het nuttig om de deelnemers eerst hun ideeën individueel op memostickers te laten opschrijven, omdat daarmee de ideeën zonder beïnvloeding worden verkregen, inclusief de ideeën van de stillere studenten.

## Oefeningen

De oefeningen nodigen de studenten uit om de aangeboden theorie te vergelijken met de eigen ervaringen. De praktijk van alledag is altijd veel moeizamer dan de aangeboden theorie.

### ***Instructie voor de oefening***

De instructie voor de oefeningen moet om specifieke informatie vragen, bijvoorbeeld schets de operationele organisatie waarin je werkt en benoem de namen van de betrokken mensen expliciet. Het specifiek zijn van de oefening is belangrijk, omdat algemene en oppervlakkige antwoorden het leerdoel missen. In het gegeven voorbeeld ziet een naamloze organisatie er mooi uit, maar op het moment dat er namen in gezet moeten worden leidt dit meteen tot verhitte discussies tussen de studenten.

De beschrijving van de oefeningen moet kort en open zijn. Zeer gedetailleerde oefeningen verleiden de studenten om in een te nauw veld naar antwoorden te zoeken. Daarentegen helpt het om een aanpak van een paar stappen aan te geven voor het doorlopen van de oefening. Bijvoorbeeld: begin met een individuele brainstorm om de meest kritieke timing requirements te bepalen, creëer daarna gemeenschappelijk een control diagram en een timing diagram.

### ***Teamomvang***

Teams moeten voldoende groot zijn om een groepsdynamica beleving te creëren. Aan de andere kant moet de omvang beperkt blijven om ervoor te zorgen dat alle teamleden actief deelnemen inclusief de stillere teamleden. De ervaring leert dat de twee genoemde eisen het best

worden ingevuld met teams van vier mensen. Een team van drie mensen werkt ook, hoewel de groepsdynamische aspecten dan al minder aanwezig zijn. In uitzonderlijke gevallen worden teams van 5 mensen gebruikt, hoewel dan het stilste teamlid dan vaak teveel in de achtergrond blijft. Het aantal teams is ook beperkt, omdat het moeilijk is om alle teams betrokken te houden met teveel teams. Vier teams is ongeveer het maximum waarbij alle teams hun aandacht bij het werk van andere teams kunnen houden.

## **Duur**

De duur van de oefeningen is ongeveer 40 minuten. Als er meer tijd wordt gegeven dan wordt er niet meer voortgang geboekt. Om de oefening werkelijk significant verder te helpen moeten er meerdere uren voor worden uitgetrokken. Het terugrapporteren door de vier teams vergt ongeveer een half uur, oplopend tot een uur als er veel discussies losbarsten.

## **Feedback van de Studenten**

De studenten in deze cursussen hebben een gevarieerde achtergrond in opleiding en domein. Dit maakt iedere cursus uniek. Het wordt aanbevolen om iedere dag expliciet naar feedback te vragen. Wij gebruiken de *benefit en concern* methode: iedere student schrijft aan het eind van de dag een gele sticker met benefits en een gele sticker met concerns. Deze methode helpt de studenten om gebalanceerde feedback te geven.

De leraar leest alle feedback. De benefits geven aan in hoeverre de cursus de leerdoelstellingen haalt. De concerns moeten worden gescreend op klachten waar meteen actie op nodig is, bijvoorbeeld:

- “Het lokaal is te warm” vereist een aanpassing van de klimaat controle.
- “Discussies duren te lang” betekent dat er meer gebruik moet worden gemaakt van de parkeerflip.
- “Ik ben de weg kwijt in alle informatie” moet worden opgelost door een kort overzicht te geven.

De leraar moet aan de studenten laten merken dat de feedback gelezen en gebruikt wordt. Dit kan door de volgende dag te beginnen met het adresseren van een paar concerns van de vorige dag.

## **REFERENCES**

Bonwell, Charles C. and Eison, James A, “Active Learning: Creating Excitement in the Classroom”, <http://www.ntlf.com/html/lib/bib/91-9dig.htm>, *ERIC Clearinghouse on Higher Education*, Washington, D.C.; George Washington Univ., Washington, D.C., September 1991.

Gaudí systems architecting: <http://www.extra.research.philips.com/natlab/sysarch/>