

De begrippen Architectuur, Uitrusting en Realisatie als hulpmiddel bij het ontwerpen.

Herbert Rutgers, PA0SU.

Voorwoord

In mijn loopbaan bij Philips heb ik mij intensief beziggehouden met het ontwerpen van systemen en heb cursussen ontwikkeld en gegeven betreffende het ontwerpen van hardware en software. In al die jaren heb ik gemerkt hoe ingewikkeld het ontwikkelproces is. Thuis kwam ik dit weer tegen bij het zelf ontwerpen en bouwen van mijn zend/ontvang-apparatuur.

Creativiteit is een onvoorspelbare emotie. Op de gekste momenten borrelen ideeën op. Vaak zijn ze ook niet aan de orde. Als we ons tijdens een ontwerp uitsluitend laten leiden door deze erupties, ontstaat een onsamenhangend ontwerp.

De creatieve gedachten mogen natuurlijk niet verloren gaan. Er is echter niets zo vluchtig als emoties. We moeten de waardevolle brain waves dus adequaat vastleggen zodat ze voor den dag gehaald kunnen worden wanneer ze aan de orde zijn. Bovendien meen ik dat de creativiteit bestuurbaar is door theoretische kennis en inzicht in het proces, gecombineerd met noeste arbeid. Ik doe hier, aan de hand van voorbeelden uit onze hobby, een poging om dat uiteen te zetten.

Eindhoven, 10 september 1997,

Inhoudsopgave

1. Samenvatting	3
2. Introductie	3
3. Enkele Begrippen	4
3.1 Architectuur	4
3.1.1 Eisen aan de Architectuur	4
3.2 Uitrusting	6
3.3 Realisatie	7
3.4 Resumerend	8
3.5 Interfaces, Raakvlakken	9
3.5 Overbelasting	10
4. Wat hebben we aan deze Kennis?	11
5. Ontwikkelingen in de Tijd	11
6. Hardnekkigheid van Uitrustingen	12
7. Ontwerpen	14
8. Ontwikkelen in Fasen	14
8.1 Het Ontwikkelproces-model	15
8.2 Het watervalmodel	15
8.3 Wat hebben wij er aan als zelfbouwer?	16
8.4 Een watervalmodel voor 'zelfbouwers'	17
8.5 Prototyping	17
9. Onze Praktijk	18
10. Ten Slotte	19
Litteratuur	20

1. Samenvatting

Wanneer je als zendamateurl een zender of ontvanger maakt, ben je in feite bezig met het ontwerpen van een systeem. Van een systeem kan beschouwd worden: de architectuur of user interface, zijnde de functionele verschijning zoals die door de gebruiker ervaren wordt, de uitrusting, zijnde de logische structuur die de architectuur waar maakt, en de realisatie of implementatie, zijnde de verzameling constructies en de materiaalkeuzen die de uitrusting gestalte geven.

De architectuur komt te voorschijn bij vragen die met 'wat' beginnen, de uitrusting met 'hoe'- en de realisatie met 'waarvan-' en 'waarmee-' vragen.

Bij het ontwerpen van (grote) systemen is het van belang deze drie niveaus uit elkaar te houden omdat er anders oplossingen (uitrustingen en realisaties) bedacht worden voordat duidelijk is wat er precies gemaakt moet worden. Het gevolg is dat de architectuur wordt vertroebeld door een verkeerd gekozen uitrusting. Hetzelfde geldt voor de uitrusting en de realisatie: een ontwerper moet niet te vroeg aan implementaties denken omdat hij anders goede uitrustingen te vroeg als onhaalbaar beschouwt. We moeten daarbij bedenken dat eenmaal gekozen uitrustingen zeer hardnekkig kunnen zijn al zijn ze technologisch al lang achterhaald. Als zo'n uitrusting bovendien slecht is gekozen, zitten we generaties lang met een slechte architectuur opgescheept!

Om het onderscheid tussen architectuur, uitrusting en realisatie te garanderen, moet een ontwerp in de tijd gefaseerd uitgevoerd worden. Voor kleine systemen voldoet het waterval-model. Elke fase van het model heeft op zijn minst een document als produkt.

Voor zelfbouwende zendamateurlers voldoet dit watervalmodel. De fasen daarin noemen we vervolgens:

analyse, definitie, globaal ontwerp, detail ontwerp, en evaluatie.

De produkten van die fasen zijn respectievelijk:

vooronderzoeksrapport, specificatie, blokschema's, schema's, en artikel in Electron. Een prototype ontstaat tijdens het globale- en het detail ontwerp. Als er maar één apparaat gemaakt wordt, zoals in ons geval, dan is dit prototype het doel van onze inspanningen.

Behalve het begrip prototype als hierboven bedoeld, worden er in het bedrijfsleven soms prototypes gemaakt om de architectuur helder te krijgen (early prototyping).

2. Introductie

Tegenwoordig kun je als zendamateurl een ontvanger of zend-ontvanger kant en klaar kopen. Tussen de twee- en de vijfduizend gulden is er een ruime keuze. Deze apparaten van Japanse makelij voldoen. Of ze eenvoudig te bedienen zijn, is de vraag. Zelf onderhouden cq. repareren is echter een crime.

Er zijn redenen genoeg om het bouwen van een zender, ontvanger of zendontvanger zelf ter hand te nemen. In een hobby gelden bovendien ook irrationele redenen. Bij zo'n exercitie moeten we niet alleen 'verstand van radio' hebben, maar ook nog enig benul van hoe je zoiets aanpakt. Het zijn toch vrij ingewikkelde systemen, die radio's, waar je hoge eisen aan stelt. Ik denk dat het resultaat alleen bevredigend zal worden als je systematisch te werk gaat. Bovendien moet je volgens mij in een bepaalde volgorde werken en geen dingen gaan máken voordat je precies weet wat het ding in zijn geheel moet kunnen en hoe je dat denkt op te lossen. Kortom enige theoretische kennis over het proces van systeem-ontwerpen is onontbeerlijk.

Voordat ik kom tot een uiteenzetting van de verschillende aspecten van het systeemontwerp-proces, wil ik de begrippen: Architectuur, Interface, Uitrusting en Realisatie (of implementatie) toelichten. Zonder deze begrippen, althans gelijke gedachten over deze begrippen, bestaat er een grote kans dat er misverstanden ontstaan.

3. Enkele Begrippen

Een van de toonaangevende leermeesters op het gebied van het begrip architectuur is de inmiddels gepensioneerd Prof. Dr. G.A. Blaauw. Hij demonstreerde dat aan de hand van de klok [Blaauw 1973].

Ik kan me zijn colleges nog levendig herinneren. Hij liet zien dat het begrip *architectuur* een algemeen begrip is en dat, als bepaalde zaken niet uit elkaar worden gehouden, er van allerlei 'ongelukken' gebeuren.

Ik zal dat verhaal niet proberen te reproduceren maar de klok is een zo algemeen bekend verschijnsel dat ik toch een aantal van zijn voorbeelden zal gebruiken.

3.1 Architectuur

Blaauw definieert architectuur als:

De functionele verschijning van het systeem zoals die door de gebruiker ervaren wordt.

Als voorbeeld geeft hij:

Wanneer een kind op de klok leert kijken leert het in feite de architectuur van de klok.

Het weet dat er twee wijzers zijn, een grote voor minuten en een kleine voor de uren en dat hun stand samen de tijd aangeeft.

Kan het kind eenmaal deze architectuur onderscheiden van de vormgeving, dan kan het even gemakkelijk een polshorloge als de kerkklok gebruiken om te weten hoe laat het is.

Architectuur bepaalt dus **wat** het systeem doet, niet **hoe** het gemaakt is. Het **hoe** wordt bepaald door de *uitrusting*, zoals Blaauw dat noemt. Glenford Myers definieert architectuur later [Myers 1978] als:

Architecture is the distribution of functions across a proposed level or boundary within a system, and the precise definition of the boundary.

Het begrip architectuur krijgt, gezien allerlei geschriften, steeds meer de betekenis van een beschrijving van de diverse 'grenzen' in een systeem met een beschrijving van de functies tussen die interfaces, wat overigens niet in tegenspraak is met Blaauws verhaal als je maar in de gaten houdt wie 'de gebruiker' is in een bepaalde situatie. Daar zit bijna altijd een hiërarchie in. Maar laten we niet op de zaak vooruitlopen.

Blaauws begrip architectuur komt overeen met het begrip *user interface*, zijnde de grens tussen de mens en het systeem in kwestie. Wil een architectuur door de mens als 'gebruikersvriendelijk' ervaren worden dan blijkt de architectuur aan de volgende eisen te moeten voldoen:

3.1.1 Eisen aan de Architectuur

"Natural mapping"

Voldoen aan geijkte patronen.

Een radio-ontvanger ontvangt de met de afstemknop gekozen frequentie, ook na uitschakelen en weer in bedrijf stellen.

Een voorbeeld dat niet aan deze eis voldoet is de key pad op een druktoets telefoon. Het toetsenbord op de (veel oudere mechanische) telmachine en het numerieke eiland op een toetsenbord van een computer staat net andersom in verticale richting.

Consistentie

Met een gedeeltelijke kennis van het systeem moet de rest voorspelbaar zijn.

Als je een keer weet dat het volume van een audio-installatie toeneemt bij het rechtsom draaien van de volumeregelaar dan is het voorspelbaar dat er meer hoge tonen komen bij het rechtsom draaien van de hogetonenregelaar evenals er meer lage tonen worden gereproduceerd bij het rechtsom draaien van de lagetonenregelaar.

Orthogonaliteit

Onafhankelijke functies worden gescheiden gehouden.

Sommige fabrikanten maken een tooncorrectie op de volumeregelaar van een radio of versterker, zodat er meer lage tonen komen bij lage volumes, zogenaamd 'om het oor te corrigeren'. Dat is dus typisch niet orthogonaal.

Bij het inschakelen van het inkepingfilter op de Timewave DSP-9 laagfrequent-processor wordt tevens het volume automatisch geregeld [PA0SU 1995]. Dat verwacht je niet.
De functie van de drukknopjes aan een digitaal horloge hangen af van de volgorde van bedienen.

Correctheid, geschiktheid

De eisen die men logisch aan een systeem stelt behoren tot de functies van het systeem.

Een radio-ontvanger wil je kunnen verstemen, het volume van het uitgangssignaal moet instelbaar zijn en dat volume mag nauwelijks beïnvloed worden door de sterkte van de ontvangen zender.

Een radio is voorzien van een afstemknop, een volumeregelaar en een AVC-schakeling. Deze organen vervullen de gewenste functies.

Soberheid

Functies die niet tot het systeem behoren zitten er ook niet in (economisch). Dit volgt trouwens uit de correctheid.

Goede ontvangers hebben geen 'hoogfrequent-volumeregeling' noch een schakelbare hf-voorversterker, laat staan 'een drukknopje om het regelgebied van de frequentie-vergrendeling-schakeling te corrigeren' [Spaar-3 '96].

Schakelen en koppelen is niet eigen aan autorijden. Een auto zonder koppelingspedaal en versnellingshandel heeft dus een betere architectuur.

Op veel audio-versterkers zit een 'presence'-knop. Bij indrukken worden er meer lage tonen geproduceerd. Dit lijkt me overbodig bij de aanwezigheid van een toonregeling.

Compleet

Als alle functies in een bepaalde klasse zijn voorzien in de architectuur, heet die architectuur compleet.

Transparant

De functies kennen elkaars aanwezigheid uitsluitend functioneel. Ze kennen elkaars implementatie niet.

Een met behulp van een tekstverwerkings-pakket geproduceerd document moet hetzelfde resultaat opleveren wanneer het met dezelfde tekstverwerker op een andere computer met een ander type afdrukeenheid wordt afgedrukt.

WordPerfect voldoet daar zelden aan.

Generalisatie

Functies zijn algemeen bruikbaar.

De gebruiker kan wel eens creatiever zijn dan de maker. De gebruiker moet niet gehinderd worden door beperkingen van de uitrusting (niet alleen voor een speciaal doel).

Het gebruik van een elektrische boormachine met een regelbaar toerental als schroevendraaier is door een timmerman bedacht. Hij keek dat af van zijn vader (ook timmerman) die zijn omslagboor als schroevendraaier gebruikte.

Open-ended

Niet afgesloten voor een bepaalde duur; open voor toekomstige ontwikkelingen.

Een lineaire eindtrap in een zender is voor alle modulatiesoorten geschikt.

3.2 Uitrusting

Blaauw noemt de uitrusting de *logische structuur die de architectuur waarmaakt*¹. Bij de keuze van de uitrusting kunnen van allerlei zaken mis gaan. Denken we aan de pendule op de schoorsteen 'van thuis' dan herinneren we ons dat die niet 'teruggedraaid' mocht worden. Deden we dat toch, dan werd bij sommige standen van de wijzers het slagwerk beschadigd. De klok raakte in ieder geval 'van slag'. Dat heeft niets te maken met het klokkijken (de architectuur) doch alleen met hoe de klok gemaakt is, met de uitrusting. Dat is vervelend. "Het heeft geen voordeel voor de gebruiker", zegt Blaauw. Er is destijds voor de pendule een verkeerde uitrusting gekozen: een pallenwiel dat het moment van slaan en het aantal slagen bepaalt.

¹ Dat 'waar maken' zullen we later nog nader beschouwen. Het woord 'afbeelding' valt dan.

Volgens de architectuur is de stand van de grote- en de kleine wijzer ten opzichte van elkaar niet willekeurig. Bij de pendule kon je beide wijzers verdraaien na het glazen deurtje geopend te hebben. Ook dat is dus een verkeerde uitrusting voor de architectonische eis dat een klok gecorrigeerd moet kunnen worden. Het is veel beter om het verdraaien van de wijzers alleen toe te staan via een overbrenging op de grote wijzer, zoals bij (mechanische) horloges of bij wekkers. De juiste stand van de wijzers ten opzichte van elkaar is dan gewaarborgd.

Eerder sprak ik van 'ongelukken' die met deze vreemde toestanden kunnen gebeuren. Vraag maar eens aan vader of moeder, eventueel grootvader of grootmoeder, of je de (moderne) klok in je eigen kamer mag terugdraaien wanneer de zomertijd overgaat in de wintertijd. Steevast dat ze zeggen dat dat niet mag! Zij weten niet beter, het is hen zo geleerd. Het niet mogen terugdraaien van een klok *wordt door hen tot de architectuur van de klok gerekend terwijl het een kwestie van uitrusting is*. Zoiets beperkt het denken en handelen. Ik heb een oude baas nog eens zijn elektrische klok 11 uur vooruit zien draaien aan het einde van de zomer! Trouwens, wat te denken van een moderne klok (met wijzers) gesynchroniseerd en wel op de Duitse tijd-zender DCS-77, die aan het einde van de zomer elf uur vooruit draait? Ik heb het gezien! Kennelijk kan het motortje maar een kant opdraaien.

Nog een voorbeeld: De versnellingsbak en koppeling in de auto. De koppeling verraadt dat de verbrandingsmotor (uitrusting) geen vermogen kan leveren bij zeer lage toerentallen. De versnellingsbak verraadt dat de zgn. koppel-toeren-kromme van de motor beperkt is aan de hoge kant.

Koppelen en schakelen is niet eigen aan autorijden. Dat veel stoere mannen automatisch geschakelde auto's maar oudewijvenauto's vinden, geeft aan dat schakelen door hen wel bij het autorijden gerekend wordt. Dat 'oudewijvenauto' gold zeker voor de DAF-jes van weleer, die dus een betere architectuur hadden dan auto's met een versnellingspook.

Een paar voorbeelden uit de radio-praktijk:

Buizen of halfgeleiders. Of een radio nu *uitgerust* wordt met buizen of halfgeleiders zal weinig invloed op de architectuur hebben. Ook de resultaten zullen bij de juiste keuze van de componenten (= realisatie) weinig verschillen laten zien. De enige architectonische verschillen zullen zijn: de opwarmtijd van de buizen, het grotere vermogen dat het buizen-apparaat verlangt, de grotere afmetingen en daardoor ook het grotere gewicht. Als een van deze verschillen van belang is voor de gebruiker, moet daar zeker rekening mee worden gehouden. De architectuur van een buizenradio kan zeer goed voldoen in een stationaire opstelling.

De keuze van (de eerste) middenfrequentie [PA0SU 1989]. Je had van mij niet anders verwacht dan dat ik dit onderwerp zou aanstippen. De keuze van de eerste middenfrequentie in relatie tot de ontvangst- (en zend-) frequentie is cruciaal voor de prestatie van de ontvanger. De valse mengproducten uit de eerste mengtrap mogen niet in, of vlak bij de middenfrequentie uitkomen. Ik heb daarvoor, een uitgebreid computerprogramma geschreven om die keuze te kunnen bepalen. Kort gezegd blijkt er geen harmonische-relatie tussen middenfrequentie en ontvang- (zend-) frequentie te mogen bestaan tot de vijfde orde.

Zonder alles te verklaren noem ik een paar oplossingen: een zeer hoge eerste middenfrequentie met als nadeel een noodzakelijke hoge oscillatorfrequentie die daardoor meer zijbandruis heeft dan een oscillator op een lagere frequentie: elke verdubbeling van de frequentie geeft 6 dB meer ruis [PA0SU '90-2].

Als een ontvanger over een breed gebied moet kunnen ontvangen (of op veel banden die niet zo ver uit elkaar liggen) dan is het raadzaam om hem met *twee verschillende eerste middenfrequenties* uit te rusten, zodanig dat een van de twee op elke (amateur) band een goed resultaat geeft.

De oscillator. Wanneer een radio is uitgerust met een oscillator met fase-vergrendeling, dan heeft dat vaak invloed op de prestatie van de ontvanger. Zonder daar verder op in te gaan noem ik het

fenomeen 'wederkerige menging' (reciprocal mixing). Dit uit zich *niet direct* in de architectuur (de user interface) maar in de prestatie (performance) van de ontvanger als je kleine signalen tussen grote wilt ontvangen. Dat is een gebruikersaangelegenheid dus hoort het in dit model tot de architectuur.

Een houten wand kun je (architectonisch) ook niet van een betonnen wand onderscheiden als zij met hetzelfde behang beplakt zijn, totdat je een schilderij gaat ophangen

Als de PLL bovendien wordt afgestemd met zo'n gaatjeswiel of andere digitale afstemming, is die afstemming niet echt continu. Vaak wordt dat 'verholpen' door het aantal kiloherz per omwenteling instelbaar te maken waardoor de stapgrootte wordt aangepast met behulp van een extra knopje dat de architectuur dus *minder sober* maakt.

Onze ontvangers voor telegrafie en SSB voldoen uitstekend bij een continue afstemming van 15 tot 20 kiloherz per omwenteling. Alles wat anders is, is architectonisch gezien onzin.

Voor *een goede architectuur* is een vrijlopende oscillator met een afstemcondensator en de juiste overbrenging de mooiste *uitrusting*. Natuurlijk, natuurlijk, dat verlangt bij de keuze van de elektronische onderdelen en de mechanische constructie de nodige inspanning omwille van de stabiliteit. Met het kiezen van materialen en het bedenken van constructies zijn we nog een stapje verder van de architectuur afgekomen. We zijn aangeland op het niveau van de *realisatie*.

3.3 Realisatie

De realisatie is de samenstelling van constructies van gekozen materialen die de uitrusting 'gestalte geven'².

De keuze van de onderdelen voor het middenfrequent-deel van de ontvanger hoort hier bijvoorbeeld onder. Wordt het (bij de uitrusting gekozen) 9 MHz-filter een kristalfilter of een mechanisch filter? Welk type van welk merk voldoet het beste? Voeren we de versterker uit in discrete componenten (en welke?) of kiezen we een geïntegreerde schakeling? Welke dan?

Voeren we de kast uit in aluminium, staal of trespas [PAoKLS '94] en hoe *realiseren* we de verbindingen tussen de verschillende modules? Doen we dat met pluggen en kabels (B&C?) of solderen we het gewoon aan elkaar?

Wat er onder realisatie wordt verstaan, is meestal wel duidelijk. Dat is alles wat van het apparaat tastbaar wordt.

3.4 Resumerend:

Architectuur: Een auto is voorzien van een laagspanningsnet dat op peil wordt gehouden door de auto te gebruiken.

Uitrusting: Het laden van de 12 volt herlaadbare batterij (accu) met een capaciteit van 55 Ah, gebeurt met een 'dynamo' die door de motor aangedreven wordt. Een spanningsregelaar beveiligd de batterij tegen overladen.

Realisatie: De dynamo is een wisselstroomgenerator van het type P38 met een halfgeleider gelijkrichter type BYY 82 erin. Deze combinatie geeft een spanning af van 14 volt bij een belasting van 6 A. De spanningsregelaar van het type A36X132 zorgt er voor dat de accu nooit verder opgeladen wordt dan 13,8 volt en dat er geen stroom terug kan vloeien van de accu naar de dynamo wanneer de motor langzaam draait of stil staat. De motor drijft de dynamo aan met een V-snaar bij een overbrenging van 1,5 op 1.

Architectuur: De ontvanger is bestemd voor de ontvangst van telegrafie- en SSB-signalen in de 80, 40, 20, 15 en 10 meter amateurbanden. De continue afstemming moet geschieden met een goed in de hand liggende grote afstemknop. De verstemming moet

² Dat 'gestalte geven' zullen we later nog algemener behandelen. Het woord 'afbeelding' valt dan.

ongeveer 17 Khz per omwenteling bedragen.

De gevoeligheid moet van dien aard zijn dat de atmosferische ruis van een halve-golf-dipool de ingangsruijs te allen tijde voldoende overstemt.

De ontvanger bevat intern geen luidspreker. Deze wordt aangesloten op het front met behulp van een jack-plug. Het volume van deze luidspreker kan met een continue regelaar worden ingesteld.

De geluidsterkte mag niet meer dan 6 dB variëren als een ontvangen station in sterkte varieert tussen S4 en 60 dB over S9.

En zo voort, en zo voort, de specificatie dus, met eventueel een schets voor de indeling van de frontplaat [Osterman 87].

Uitrusting:

De ontvanger wordt uitgerust met preselectiekringen. Elke band krijgt een vast afgestemd bandfilter. Dat filter onderdrukt minstens 90 dB per octaaf in de stopband met een maximum van 110 dB.

De middenfrequentie is 9 MHz. Daar zijn voor SSB en CW uitstekende filters voor beschikbaar zodat geen tweede middenfrequentie wordt gebruikt.

De oscillatorfrequentie wordt opgewekt met een PLL-schakeling. Er wordt steeds bovenmenging toegepast. De VFO-frequentie loopt van 1,28 tot 1,78 Mhz. Dit VFO wordt afgestemd met een afstemcondensator waarop de grote afstemknop is bevestigd.

Het ruisgetal van de ontvanger is 10 dB.

De AVCenz. De middenfrequentieversterker heeft als grootste versterking 95 dB, etc. etc.

Er is een uitgebreid *blokschema* waarin alle keuzen (frequenties, verzwakkingen, versterkingen, omschakelingen) de interfaces en de functies per module vastliggen.

Realisatie:

De preselectie-filters zijn ...(schema). De spoelen worden op poederijzer ringkernen gewikkeld van het type T 15-8 van Amidon. Het mf-filter voor SSB is een KVG XF9B voor SSB en een TF9B voor telegrafie. De afstemcondensator van het VFO komt uit een BC221, enz. Kortom er is een compleet schema van de ontvanger met alle onderdelen tot in detail.

Het lijken allemaal open deuren die worden ingetrapd. Ervaren ontwerpers, vooral als het 'hardware' betreft, zijn dit soort onderscheid instinctief gaan maken. Alleen als 'het moeilijk wordt' gaan zij soms in de fout. Laten we nog even teruggaan naar de theorie:

Tussen uitrusting en realisatie wordt de koppeling weergegeven door een 'abstractiefunctie'. De representatie-invariant is dan de inperking van alle mogelijkheden die realisaties bieden [Amstel 1985].

Met aluminium plaat, zelftappers, M3 schroeven en moeren, een set boren, een boormachine en een zetbank kan een kast voor een ontvanger gemaakt worden. Met dezelfde spullen kan ook een abstract kunstwerk gerealiseerd worden. Of het nu werkelijk de kast voor onze ontvanger wordt, hangt af van de 'werktekening'. Dat is dus de representatie-invariant die samen met deze materialen (een sub set van de realisatieverzameling) garandeert dat er een ontvangerkast ontstaat. Met de genoemde materialen en gereedschappen kunnen we de gewenste uitrusting maken. *We kunnen met deze realisatie-verzameling de uitrusting afbeelden*, zoals dat heet. De afbeelding zelf wordt bepaald door de abstractiefunctie.

Als onze sub set van de realisatieverzameling kleiner is dan nodig om een uitrusting volledig afgebeeld te krijgen, moet er water bij de wijn! Veel zendamateurs zullen niet over een zetbank beschikken. Vaak kun je dit oplossen door gebruik te maken van hoekstaal. Soms moeten andere constructies bedacht worden. Hoe dan ook de abstractiefunctie zal een andere zijn. In de uitrusting wordt zichtbaar dat er geen gebruik is gemaakt van een zetbank. Dit kan zelfs *ongewenst* zichtbaar worden zodat de kast minder geschikt is voor ons doel! In dat geval kunnen we de realisatie niet volledig afgebeeld krijgen met de bij ons aanwezige sub set van de realisatieverzameling. Wat doen

we? We kijken uit naar de realisatieverzameling van ons QRL bijvoorbeeld.

Evenzo geldt dat de uitrusting wordt afgebeeld op de architectuur. Een architectuur is een afbeelding van de sub set van de uitrustingsverzameling. Als deze verzameling uitrustingsmogelijkheden kleiner is dan nodig om een architectuur volledig af te beelden, zou de gebruikersspecificatie aangepast moeten worden. Doet men dat niet dan wordt de uitrusting zichtbaar in de architectuur. We hebben daar reeds een paar voorbeelden van gezien.

3.5 Interfaces, Raakvlakken

Het ontwerpen van architecturen is nog een verhaal apart. Daar zijn zelfs speciale onderzoeksinstellingen voor zoals het IPO (Instituut voor Perceptie Onderzoek) en bewegingstechnologen die verstand hebben van het menselijk bewegingsapparaat. Hoe dan ook, als we een goede architectuur te pakken hebben *dan kunnen we soms geen uitrusting vinden die de architectuur rechtstreeks waarmaakt*. In dat geval is de uitrustingsverzameling te klein. We moeten dan een overgang bedenken die de structuur van de uitrusting verdoezelt.

Het toepassen van een automatische versnellingsbak-en-koppeling kan de eigenschappen van de verbrandingsmotor wegstoppen voor de gebruiker zodat die onzichtbaar wordt in de architectuur. Zo'n overgang wordt *ten onrechte* vaak *interface* genoemd. Ik vind dat zo'n versnellingsbak simpelweg de uitrustingsverzameling uitbreidt.

Dat het een kostbare en langdurige zaak kan zijn om die uitbreiding te vinden en te realiseren, blijkt wel uit de geschiedenis van Van Doorne's VCT. Het bevestigt dat een juiste keuze van een uitrusting bij een bestaande architectuur veel tijd en geld kan besparen. Het kan dus efficiënt zijn om daar veel in te investeren!

Letterlijk betekent 'interface': raakvlak.

Een interface-beschrijving is dus niets anders dan een beschrijving van de architectuur op het betreffende niveau.

Het begrip 'interface' wordt gebruikt voor de scheidingsvlakken tussen verschillende systemen op een zelfde niveau. Een elektrisch scheerapparaat heeft ook een interface naar het lichtnet: de steker en de wandcontactdoos. Niet alleen de dikte van de pennetjes klopt maar ook de afstand daartussen, zelfs in Frankrijk. Wel even kijken of er ook 220 V op staat... Je ziet zo'n interface heeft nog heel wat haken en ogen, vooral als er ingewikkelder zaken over de interface moeten dan een beetje stroom om je te scheren.

Wanneer we modulair werken, dus wanneer we het systeem (met zijn architectuur) indelen in deel-functies (modules) *tijdens de uitwerking van de uitrusting*, dan zullen die modules met elkaar verbonden zijn. Die verbindingen vormen de interface van de modules. Van elke module kunnen we 'zijn architectuur' bepalen. Daarvoor gelden dezelfde regels als voor het begrip architectuur (user interface) aan het begin van dit verhaal. Elke module kan dus gespecificeerd worden.

We kunnen als vaste regel aannemen dat de beste module-indeling ontstaat als de interfaces *minimaal* zijn: weinig touwtjes tussen de modules dus. Er is dan weinig *cohesie* [Meil 1980] tussen de modules. Dan blijkt ook dat de functies van de modules een afgerond geheel vormen. Verbindingen met frequenties die niet elders in het apparaat mogen zwerven blijven dan binnen de betreffende module die natuurlijk 'tochtvrij' is dichtgemaakt. Neem ook de moeite om de interfaces via mooie (meervoudige) pluggen te laten verlopen. Bij het voortschrijden der techniek kan een module *met dezelfde functie* doch met een betere performance eenvoudig een oude vervangen. Dat houdt je van de straat; de techniek raast wel voort.

Het zal duidelijk zijn dat de interfaces na een implementatie niet eenvoudig kunnen veranderen! De module-indeling, de uitrusting, moet dus zorgvuldig ontworpen worden!

3.6 Overbelasting

Hoe goed een architectuur ook wordt en hoe passend de uitrusting ook gekozen is, er komt een moment dat de uitrusting, en soms zelfs de realisatie, zichtbaar wordt. Dat is het geval bij overbe-

lating. Ik wil dat demonstreren aan de hand van de telefoon: Het lijkt alsof alle toestellen in de wereld direct verbonden zijn aan je eigen toestel: door toetsen in te drukken of aan de kiesschijf te draaien kun je een van de verbindingen kiezen om een gesprek te voeren. Dat is de architectuur. Bij 'oud en nieuw' merk je opeens dat de uitrusting toch anders in elkaar zit. Het blijkt vrijwel onmogelijk om een verbinding te maken. Het systeem is *overbelast*. Je krijgt het vermoeden dat toch niet alle toestellen rechtstreeks aan je eigen toestel verbonden zijn. Er komt in het ergste geval zelfs geen kiestoon meer. De uitrusting, de telefooncentrale, is daar niet op berekend. De hoeveelheid apparatuur in de centrale is berekend op een gemiddelde belasting. Daar liggen wachttijdtheorieën aan ten grondslag: bij het kiezen van de uitrusting en de realisatie spelen kosten en tijd een belangrijke rol.

Wanneer een ontvanger grote ingangssignalen krijgt toegevoerd, is er een kans dat die ontvanger schijnbaar meer stations ontvangt dan er worden aangeboden. Door de intermodulatieproducten in de eerste trappen van de ontvanger vormen harde signalen valse ontvangsfrequenties. Het feit dat er over het 'dynamisch bereik' van een systeem wordt gesproken, geeft al aan dat het systeem overbelastbaar is.

Het slippen van een auto is ook een vorm van overbelasting. De auto gaat zich opeens totaal anders gedragen.

4. Wat hebben we aan deze Kennis?

Door je bewust te zijn van deze drie niveaus en de beperkingen die zich op deze niveaus voordoen, kun je tot een beter resultaat komen. Ik noem het nog maar eens als voorbeeld: We stellen in de specificatie (architectuur) van een ontvanger dat 'de spurious onderdrukking' te allen tijde beter moet zijn dan 100 dB. Als we bij de uitrusting een verkeerde middenfrequentie kiezen (door te vergeten dat de representatie-invariant voorschrijft dat er geen harmonische-relatie mag bestaan tussen de ontvangsfrequentie en de middenfrequentie) kan de realisatie met de allerbeste mengtrap ons niet meer redden. Bij de juiste keuze van de middenfrequentie zal een goedkopere realisatie (met een eenvoudige mengtrap) de specificatie op dit punt op zijn sloffen halen [PA0SU 1989]. Een goed gekozen uitrusting staat een veel eenvoudiger realisatie toe. De abstractie-functie wordt simpeler. Kortom we kunnen met deze theoretische kennis sneller de consequenties overzien wanneer onze realisatieverzameling te klein is. Bovendien kunnen we verschillende uitrustingen vergelijken om onze architectuur waar te maken. De verhalen die ik in de afgelopen jaren heb gepubliceerd over 'ontvanger-concepten' [PA0SU 1978] [PA0SU 1982] [PA0SU '90-2] gingen over de uitrusting. We zoeken dan naar de uitrusting die het beste de gewenste architectuur afbeeldt en bovendien realiseerbaar is met onze realisatieverzameling.

Je kunt dat natuurlijk heel intuïtief doen zoals Klaas Spaargaren, PAoKSB. Hij bedenkt vaak schitterende amateurschakelingen met zeer goede prestaties die bovendien goed realiseerbaar zijn *als je begrijpt hoe het werkt* [Spaar-3 '96]. Hij realiseert zich bovendien dat hij, zonder het woord te noemen, de architectuur vaak geweld aan doet. Dat neemt hij voor lief.

5. Ontwikkelingen in de Tijd

Een van de zaken die opvalt, is dat vernieuwingen meestal het eerst te vinden zijn in de realisatie. Later beïnvloeden ze de uitrusting en pas op het laatst de architectuur.

Gardner schreef in 1979 uitgebreid over Phase Locked Loop systemen [Gard 1979]. Het verlangt een gedegen wiskundige kennis om zijn boek te kunnen volgen en zeker om er systemen mee te ontwerpen. Dat soort systemen wordt de laatste twaalf jaar pas uitgebreid toegepast in radio ontvangers en TV-apparaten omdat de huidige technologie dat toelaat. Die realisatietechniek heeft aangespoord om nieuwe fasedetectoren (sample and hold) te ontwerpen (= uitrusting!) waarmee

het ontwerpen van PLL-systemen veel minder theoretische kennis verlangt omdat er meer vrijheidsgraden zijn [PA0SU '90-1]. De architectuur van radio's en TV's is uiteindelijk veranderd: er zitten nu geheugenknoppen op waarmee zenders gekozen kunnen worden al of niet met een afstandsbediening. Afstemschalen vind je nauwelijks meer.

Twintig jaar geleden zou een apparaat met de functies en de kwaliteit van een Compact Disc speler zo groot geweest zijn als een flink bureau en meer dan een ton gekost hebben. De gedachte om muziek digitaal op te slaan op een plaatje en om die informatie optisch te lezen, is helemaal niet zo nieuw. Men bedacht echter geen uitrusting, laat staan een architectuur, om daar een produkt mee te maken. Het feit dat we nu CD-spelers kunnen kopen voor een paar honderd gulden is omdat de technologie zover is ontwikkeld dat dit te realiseren is. De bijdrage van Philips is geweest om op het juiste moment een uitrusting aan te bieden die tot het produkt CD-speler (met zijn architectuur) leidde.

Een bewijs dat de architectuur achteraan komt hollen is dat de bediening van een CD-speler in de loop der tijd drastisch is gewijzigd.

Nieuwe technologieën worden snel in nieuwe apparaten gestopt. Dat levert vaak modieuze toestanden op waar we eigenlijk niet op zitten te wachten. *Veel belangrijker is om nieuwe architecturen en uitrustingen te bedenken, die nu misschien nog niet maakbaar zijn, om zodoende richting te geven aan de ontwikkelingen in de techniek, zodat de prioriteiten in de technologie gestuurd kunnen worden.* 'Top down' [Somm 1985] dus.

De aloude stoommachine heeft een groot koppel bij stilstand. Bovendien blijft dat aanwezig bij hoge toerentallen. De stoomlocomotief had geen koppeling en geen versnellingsbak. Hetzelfde geldt voor elektrische tractie. Een stoommachine en een elektromotor zijn dus betere uitrustingen voor de auto dan de huidige verbrandingsmotor als we de architectuur van de auto beschouwen. In een auto wil je eigenlijk niets anders dan versnellen, vertragen (remmen) en van richting veranderen. Dat versnellen en vertragen kunnen we inderdaad met voetpedalen doen en het van richting veranderen met een stuurwiel (architectuur). Dat moet ook nooit meer gewijzigd worden anders moet je bij elk ander merk auto opnieuw leren rijden (natural mapping). Dat derde pedaal (de koppeling) en dat rare pookje (de versnellingshandel) *steken letterlijk door de bodem van de architectuur heen*. De uitrustingsverzameling van de verbrandingsmotor is dus te klein voor het afbeelden van de architectuur 'auto'.

Blaauw noemt de uitrusting *de logische structuur die de architectuur waarmaakt*³. Voor de auto is de logische structuur van de stoommachine dus passender dan die van de verbrandingsmotor⁴. Dat je nu geen stoomauto meer verkocht zou krijgen, heeft met een heleboel andere voorwaarden te maken die inmiddels uitgebreid alom aanwezig zijn voor de verbrandingsmotor (infrastructuur). Dat doet aan het betoog niets af. Het kan hooguit aangeven dat we indertijd verkeerd gekozen hebben. Het demonstreert in ieder geval dat een keuze van een uitrusting enorme gevolgen kan hebben voor de toekomst! Veel mensen hebben nog steeds moeite met schakelen.

Voor de klok kan de energie voor het draaien van de wijzers geleverd worden door water, veren, gewichten, atmosferische druk, elektriciteit of lichaamsbeweging. De precisie van de beweging van de wijzers kan verkregen worden met een balans, slinger, kristal, 'stenvork' of de frequentie van het elektriciteitsnet. Blaauw: **Het vaststaan van de architectuur is dus geen beperking voor de ontwerper van de uitrusting**. Mijn dochter heeft een schat van een horloge: de wijzerplaat is uitgevoerd in LCD. De wijzers worden daar keurig op afgebeeld. Het ding loopt zeer precies (er zit een stenvorkje in) en heeft de oude vertrouwde architectuur, gewoon met wijzers. Jarenlang is ons de ongewenste architectuur van 'het digitale polshorloge' opgedrongen: zo'n ding met cijferuitlezing. Dat kwam voort uit de uitrusting die toen voorhanden was met de nieuwe technologie (lees: realisa-

³ anders gezegd: de afbeelding die gevormd wordt door de abstractiefunctie van de uitrustingsverzameling.

⁴ de uitrustingsverzameling van de stoommachine is groter dan die van de verbrandingsmotor.

tiemogelijkheden).

Als ik wil weten of ik al naar huis moet, is een klok met wijzers veruit te prefereren boven zo'n cijferding. In één oogopslag zie je dat het al haast half zes is. 17.28.42 zegt me dan niet zo veel. Alleen als je regelmatig de tijd moet noteren (bij het maken van QSO's bijvoorbeeld) is een numerieke klok handig, maar dat is heel iets anders dan willen weten hoe laat het is.

6. Hardnekkigheid van Uitrustingen

Hoe hardnekkig een eenmaal gekozen uitrusting kan zijn, wil ik demonstreren aan de hand van de grammofoon. Charles Cross ontdekte in 1877 hoe geluid vastgelegd en gereproduceerd kon worden. (Cross miste het patent daarop door een traag Frans octrooi-bureau.) Edison maakte de 'fonograaf' een instrument waarmee geluid kon worden vastgelegd en gereproduceerd. Hij ging uit van een rol met tinfoelie waarin in een om de rol *spiraalsgewijs verlopende groef* (schroeflijn) het geluid werd vastgelegd. Dat realiseerde hij door de geluidssnelheid om te zetten in geluidsdruk met behulp van een hoorn. Die geluidsdruk dreef een naald aan via een membraan. De naald schreef in een wasrol (Edison deed dat aanvankelijk in tinfoelie. Bell verving de tinfoelie door was waardoor de gevoeligheid veel groter werd) een *in diepte variërende spiraalsgewijs verlopende groef* (verticaal dus). Als de was hard geworden was kon het geluid reciproque gereproduceerd worden met dezelfde naald, membraan en hoorn.

Later verving Emile Berliner de wasrol door een schellak plaat waarop de groef spiraalsgewijs in een vlak werd geschreven. Dit opende perspectieven voor een grotere verspreiding. De vastlegging in de groef bleef dezelfde. Die plaat draaide rond met 78 toeren per minuut.

In de dertiger jaren van deze eeuw werd de hoorntoestand bij de opname vervangen door een elektrisch aangedreven beitel die "horizontaal slingerende" groeven sneed. De uitwijking kon daarmee vergroot worden wat een gunstige invloed had op de dynamiek. Die beitel werd aangedreven door een elektro-magnetisch systeem dat gestuurd werd door een versterker waarop een microfoon was aangesloten. De reproductie van het geluid vond plaats via een naald die de bewegingen van de groef (in de bakkelieten plaat) volgde en bevestigd was aan een magneetje. Die bewegende magneet wekte een inductiespanning op in een spoel die aangesloten werd op een versterker waaraan dan een luidspreker bevestigd werd.

In de veertiger jaren werd het 'grammofoon-element' uitgerust met een piezo-elektrisch kristal en een lichtgewicht naald zodat de levensduur van de platen werd vergroot. Even later werden de naalden saffiertjes met een grotere levensduur.

Het toerental van de plaat was nog steeds 78 omw/min.

In het begin van de vijftiger jaren kwamen de langspeelplaten die van onbreekbaar polyvinyl waren gemaakt en een 'microgroef' hadden. Het toerental ging omlaag naar 33 1/3 omw/min. Er werden daarmee hoge eisen gesteld aan de regelmaat van het toerental. De 'spoed' van de spiraal werd afhankelijk van de grootte van de uitwijking zodat er nog meer muziek op de plaat kon worden vastgelegd. De groef slingerde nog steeds horizontaal op de audiofrequenties.

Eind vijftiger jaren kwamen de stereo platen: de groefwanden kwamen onder een hoek van 90° te staan en de ene wand legde het linker- en de andere wand het rechter kanaal vast.

De groef kreeg zodoende een horizontale- en een verticale component, weliswaar is dan de horizontale component 'links plus rechts' en de verticale component 'links min rechts' maar het principe van de mechanische vastlegging in een groef bleef! De saffieren werden diamantjes met een nog grotere levensduur.

De ontwikkelingen daarna waren uitsluitend gericht op de verbetering van de kwaliteit. De diamantnaalden werden in plaats van kegelvormig, elliptisch geslepen zodat ze minder last hadden van het 'pinch-effect' en dus de groef nauwkeuriger konden volgen. Intussen waren er van allerlei standaardisaties ingevoerd omtrent vastlegging en reproductie: de RIIA-correctie, de snijhoek van de beitel en bijgevolg de negatieve afspeelhoek van de elliptische naald, de afrondingsstralen van de naald,

enz.

Magneto-dynamische elementen, moving coil elementen (tot ruim 700 gulden per stuk) met naald-drukken kleiner dan een gram (om de levensduur van de platen te vergroten) die een steeds grotere compliantie en steeds betere tracking-eigenschappen kregen.

Alles wat opgenoemd is, zijn verbeteringen in de realisatie.

De kwaliteit van het gereproduceerde geluid was en is uiteindelijk zeer goed als je de platen met zorg behandelt. Er mag geen beschadiging optreden van ... juist, *de groeven die spiraalsgewijs op de plaat zijn gesneden waarin mechanisch het geluid is vastgelegd op de audiofrequenties*⁵. Ook ontstonden hele culturen; voor- en tegenstanders van 'nat afspelen' bijvoorbeeld. De mechanische beschadigingen, eventueel door vuil, worden natuurlijk ook gereproduceerd bij dit mechanische vastleggings-principe.

Dit lange verhaal schetst slechts een klein deel van alle beslommeringen rond het mechanisch in een groef vastleggen van geluid. Het is uitsluitend bedoeld om de hardnekkigheid van dit fenomeen te demonstreren. Dit principe is een eeuw geleden ontstaan, het heeft de hele industriële revolutie en technologische vooruitgang getrotseerd en is onlangs pas ten grave gedragen met de komst van de Compact Disc. (In 1992 werden er [in Nederland] geen LP's meer geproduceerd ...)

De CD kan dus als een revolutie beschouwd worden! Mechanische beschadigingen zijn veel minder relevant en de precisie van het toerental is nauwelijks belangrijk (geen zware plateaus meer met peperdure aandrijfmechanismen die wow, flutter en rumble moeten voorkomen). De dynamiek is met tientallen dB's vergroot en de frequentiekaracteristiek is haast onbegrensd.

Ik zeg niet dat ik op enig tijdstip in dit verhaal een alternatief kan aandragen. Alleen het fenomeen wordt gedemonstreerd. Een eenmaal gekozen uitrusting blijkt een lang leven beschoren. Soms begrijp je niet dat een uitrusting het zo lang uithoudt. Er zijn kennelijk andere factoren medebepalend die in het sociologische en psychologische vlak liggen. Het is heus niet alleen een kwestie van prijs-performance, wat vaak ten onrechte wordt aangevoerd. Het is dus belangrijk om geruime tijd stil te staan bij de keuze van de uitrusting voor een (nieuwe) architectuur.

7. Ontwerpen

Bij **het ontwerpen van een systeem** moeten dus de architectuur, de uitrusting en de realisatie uit elkaar gehouden worden. De vraag is nu hoe je simpel aan kunt geven waar die scheidingen zitten. Kort gezegd komt het hier op neer: de vragen over de architectuur beginnen altijd met **wat** en **wie**. Wat moet er gemaakt worden en voor wie. Met die wat-vragen komen ontwerpers in het begin steeds terug bij de opdrachtgever om zo nauwkeurig mogelijk de architectuur vastgelegd te krijgen.

De vragen over de uitrusting beginnen met **hoe**. Hoe moeten we dat uitrusten. Dit soort vragen komen niet bij de opdrachtgever terecht doch deze vragen stellen de ontwerpers zichzelf en elkaar.

De vragen over de realisatie beginnen met **waarmee** of **waarvan**.

8. Ontwikkelen in Fasen

In het vorige hoofdstuk wordt duidelijk dat er bij het ontwerpen van systemen ook een *volgorde* zal moeten zijn in de werkzaamheden. Je kunt niet beginnen met de uitrusting, laat staan met de realisatie, voordat je weet **wat** je moet maken.

⁵ Andere systemen zoals band, al of niet verpakt in een cassette, laat ik buiten beschouwing omdat die niet op een willekeurige plaats 'accessbaar' zijn. Op een grammofoonplaat kun je willekeurig kiezen waar je wilt beginnen met afspelen. Andere systemen kennen dit architectonische voordeel niet.

Het menselijk brein werkt chaotisch als het om creativiteit gaat. Als je dat zijn gang laat gaan, komen er heus leuke dingen voor den dag. De vraag is echter of die beantwoorden aan de opdracht en of die binnen een redelijke tijd klaar zijn.

In het bedrijfsleven is men er al vele jaren van overtuigd dat creativiteit geleid moet worden. In de opeenvolgende werkzaamheden wordt structuur gebracht zonder de creativiteit te doden. We moeten overigens de creatieve geest niet overwaarderen: een nieuw produkt ontwerpen is voor 99% transpiratie en voor 1% inspiratie.

Structuur stimuleert de inspiratie. Dat wordt door kunstenaars niet altijd onderschreven. Bij Philips Research, en vele andere bedrijven van betekenis, is men daar echter van overtuigd. In die bedrijven wordt er met inspiratie geld verdiend dus wordt er dagelijks aan gewerkt om het ontwikkelproces te optimaliseren.

8.1 Het Ontwikkelproces-model

Er is de laatste decennia een aantal modellen ontwikkeld voor het ontwikkelproces. Vooral door het toenemen van de complexiteit van elektronische hardware- en software systemen is het noodzakelijk om het ontwikkelproces te beschrijven en je er tijdens ontwikkelingen ook aan te houden, wil er überhaupt nog een produkt te voorschijn komen! Zo ver is het al.

Een ontwikkeling wordt uitgevoerd door een *projectteam*. Zo'n projectteam heeft een projectleider die het project technisch maar vooral organisatorisch op gang houdt. Hij is verantwoordelijk voor de planningen en de toelevering van goederen en gereedschappen die nodig zijn voor het ontwikkelen van het beoogde systeem. Hij is ook degene die (tijdelijk) expertise binnensleept als die voor een bepaald onderwerp binnen het projectteam niet aanwezig mocht zijn. Hij wijst ook de verschillende taken toe aan de teamleden. De projectleider hoeft niet de hiërarchische baas te zijn van de teamleden. Heel vaak is dat niet het geval.

Wij zendamateurs werken in een 'eenmansproject'. Onze produkten zijn niet al te complex, zodat we met een eenvoudig ontwikkelproces-model, het watervalmodel [Somm 1985], uit de voeten kunnen.

8.2 Het watervalmodel

De naam 'waterval-model' geeft al aan dat de onderscheiden fasen van boven naar beneden doorlopen worden. Het geeft ook aan dat een weg terug moeilijk is. Toch kan het goed toegepast worden bij relatief kleine overzichtelijke projecten. Het watervalmodel bestaat in de uitgebreide vorm uit de volgende fasen:

- analysisation (initiation)
- definition
- global design
- detailed design
- realisation
- integration and testing
- evaluation
- operation and maintenance

Tijdens de *analysisation fase* worden de requirements (eisen) die de klant in zijn opdracht stelt, geanalyseerd. Zijn de eisen aan de architectuur wel volgens de eisen die aan een architectuur gesteld moeten worden zoals we reeds eerder zagen?

Het produkt van deze fase is een *Requirement Analysis Report (RAR)* dat onderdeel is van het projectplan.

Tijdens de *definition fase* worden de requirements precies vastgelegd in de *System Requirements Specification (SRS)*. De SRS beschrijft de **architectuur** van het systeem, dus **wat** het systeem moet doen. De klant moet daar zijn fiat aan geven. De SRS geldt als contract. Daarin staan ook de eerste planningen en de prijs voor het te ontwikkelen produkt.

Tijdens de *global design fase* wordt het globale ontwerp gemaakt. Het produkt van deze fase is de *System Design Specification (SDS)*. De SDS is in feite een beschrijving van de **uitrusting** van het systeem, dus **hoe** het systeem opgebouwd wordt.

Tijdens de *detailed design fase* wordt de **realisatie** beschreven en vastgelegd in de *System Design Definition (SDD)*. De SDD bestaat uit de materiaalkeuzen, voorschriften en tekeningen voor de werkplaats. Als het een software produkt betreft, bestaat de SDD uit de specificaties van de modules (in pre- en post condities of in een formele specificatietaal).

Tijdens de *realisation fase* worden de onderdelen en subsamenstellingen geproduceerd. In deze fase wordt ook vaak de gebruikersdocumentatie geschreven. Als het een software project betreft, wordt hier de code geschreven in een programmeertaal.

Tijdens de *integration and testing fase* worden de componenten en subsamenstellingen samengebouwd tot het bedoelde systeem. Tijdens dit samenbouwen worden tests uitgevoerd op subsamenstellingen van het systeem en uiteindelijk op het gehele systeem. In de *test reports* worden de requirements uit de SRS vergeleken met de gemeten resultaten.

Hiermee is het werk van het ontwikkelteam gedaan. De volgende fasen worden meestal door speciale teams uitgevoerd.

Tijdens de *evaluation fase* wordt het hele systeem nog eens aan de tand gevoeld door een speciaal test team. Het eindproduct van deze fase is het *System Evaluation Report (SER)*.

Tijdens de *maintenance fase* wordt het systeem bij de klant(en) onderhouden door een maintenance team. Zo'n team is ook beschikbaar voor gebruikersvragen van de klant(en) over het systeem (User Assistance Group (UAG)).

De steeds genoemde rapporten, RAR, SRS, SDS, SDD etc, heten de *base line documents*. Deze documentatie vormt samen de *project documentatie*. Deze documentatie dient om een beëindigde fase vast te leggen zodat daar in de volgende fase aan gerefereerd kan worden. Zaken in de hoofden van de ontwikkelaars zijn onbetrouwbaar: ze geven allemaal een ander antwoord als je met een vraag over de vorige ontwikkelfase komt. Zulke ongewenste situaties worden met 'het opschrijven' uit de weg geruimd. Teamleden kunnen de projectdocumentatie te allen tijde inzien.

De projectdocumentatie dient om de gedachten te bundelen op het onderwerp dat aan de orde is in de lopende fase. Keuzes worden vastgelegd en in een volgende fase niet meer gewijzigd als er tenminste geen calamiteiten optreden.

De menselijke geest kun je natuurlijk niet dwingen om bepaalde ideeën *niet* te krijgen. Tijdens de analyse fase kan het natuurlijk voorkomen dat er al bepaalde oplossingen opborrelen. Het is in zo'n geval natuurlijk niet verboden om al vast een hoofdstukje te schrijven voor de SDS anders ben je die mooie brain wave weer kwijt tegen de tijd dat het zo ver is. Daar wordt dan een aantekening van gemaakt in de zgn. *project file*, een ordner waar de dagelijkse gang van zaken in wordt bewaard: afspraken, telefoonnummers, probleempjes etc.

De hierboven summier beschreven gang van zaken betreft grote projecten van ettelijke manjaren ontwikkel effort.

NB. Het watervalmodel voldoet niet echt bij grote projecten omdat de evaluatie aan het eind van het project ligt. Wat moet je nog als dat slecht uitpakt? Opnieuw beginnen kan niet meer. Het voert hier te ver om allerlei andere project life cycles te behandelen, te meer daar kleine projecten, zoals de onze, uitstekend met het watervalmodel uitgevoerd kunnen worden zoals hieronder blijkt.

8.3 Wat hebben wij er als zelfbouwers aan?

In het bedrijf kennen we ook kleine projecten. Meestal zijn dat 'turn key' projecten, eenmalige projecten waar geen onderhoud op wordt gepleegd. Zulke projecten zijn niet groter dan enkele manweken tot enkele man maanden. In zulke gevallen wordt in principe het bovenstaande model gevolgd. Dan worden natuurlijk niet alle hoofdstukken van de bovengenoemde rapporten geschreven.

In overleg met de klant wordt bepaald welke hoofdstukken van welke rapporten worden ingevuld. De manier van werken, het volgen van de fasen, wordt echter niet verlaten omdat gebleken is dat zo'n structuur duidelijkheid schept, de creativiteit vergroot en vooral veel efficiënter is gebleken, zelfs voor eenmans-projecten van enkele weken! Ik ben daarvan zó overtuigd geraakt dat ik deze werkwijze ook in mijn hobby volg! Dat is precies de reden dat ik me nu zo druk maak om dit te schrijven.

Om goed te kunnen ontwerpen met dit soort methodes moet je dus goed weten wat tot de architectuur, de uitrusting en de realisatie behoort.

8.4 Een watervalmodel voor 'zelfbouwers'

Ik wil een poging wagen om een watervalmodel op te zetten dat we als zendamateurs thuis kunnen toepassen:

analyse fase	==> produkt:	Vooronderzoekrapport
definitie fase	==> produkt:	Specificatie (WAT, architectuur)
globaal ontwerp	==> produkt:	Blokschema's met de nodige keuzes van frequenties, signaalniveaus (gain distribution) en andere berekeningen, en een tekstuele verklaring van de werking en de argumenten voor de gemaakte keuzes. (HOE, uitrusting)
detail ontwerp	==> produkt:	schema's en schetsen van de mechanische uitwerkingen, materiaalkeuze (WAARVAN, realisatie)
evaluatie	==> produkt:	Metingen aan het prototype en ervaringen in de praktijk.

8.5 Prototyping

Opeens verschijnt de kreet 'prototype'. Er wordt kennelijk tijdens de ontwikkelingsfasen ook nog wat gemaakt! Daar ging het ons om natuurlijk. In een bedrijf gaat dat anders. Daar is een project klaar als de hele **papierwinkel** klaar is. Vraag dat maar eens aan Cor Hartman, PAoCHN of Jan Ottens, PAoSSB. De bouwdozen die zij van hun transceiver afleveren, bestaat in hoofdzaak uit papier. Daarmee kun je het ding bouwen. Dat zij zo vriendelijk zijn om ook nog de printen en de onderdelen, al of niet gedeeltelijk samengesteld, te leveren is een toevoeging voor de reproduceerbaarheid! Laten we nog even terugkeren naar de professionele praktijk. Daar kom je twee soorten prototyping tegen:

1. het prototype dat tijdens de fasen: detailed design, realisation en integration ontstaat om te kunnen zien hoe het een en ander wordt als er risico's aan het project verbonden zijn, en
2. het prototype om de specificatie boven water te krijgen. Dit wordt **early prototyping** genoemd. Als de klant noch de ontwikkelaar weet *wat* hij *precies* wil hebben omdat het te maken systeem geheel nieuw is, of omdat het gewoon moeilijk is, wordt tijdens de analyse fase op een snelle zo simpel mogelijke manier (een deel van) het systeem gemaakt of (op een computer) gesimuleerd om samen de eisen boven tafel te krijgen. De ontwikkelaar maakt iets en laat dat de klant zien met: "Is dit wat je bedoelt?" Hij begint zich een voorstelling te maken van de architectuur. Na enige tijd weten ze samen **wat** het moet worden. De specificatie kan vervolgens opgesteld worden.

Early prototyping kan natuurlijk ook op module-niveau. Mijn computerprogramma waarmee nagegaan kan worden welke middenfrequenties beslist niet gebruikt moeten worden bij de bouw van een transceiver [PA0SU 1989], is in feite een prototype. Het simuleert de eerste mengtrap in een ontvanger en de laatste in een zender welks frequentie reciproque aan die van de ontvanger wordt opgewekt. Een prototype mag best een simulatie zijn.

Ik denk dat Klaas Spaargaren vaak met 'early prototyping' bezig is [Spaar-1 '96] [Spaar-2 '96]. Ook ik waag me wel eens op dat vlak [PA0SU 1981] [PA0SU '90-3] [PA0SU 1992] [PA0SU 1993]

[PA0SU 1996].

Over het algemeen weet de zelfbouwende zendamateurlid verduiveld goed wat hij wil maken. Daar heeft hij inmiddels ervaring genoeg voor.

Er is één groot verschil tussen het doel van een project binnen een bedrijf en dat van de hobbyist: **Wij maken er maar één!** Het prototype is ons eindproduct. Onze situatie lijkt nog het meest op een 'turn key' project.

9. Onze Praktijk

Wat doen we in de *analyse fase*? We gaan veel lezen (oa. [Osterman 87] [PA0SU 1987]) en vooral **'Reflecties door PAoSE'** in Electron van de afgelopen decennia! We gaan veel aan verschillende ontvangers draaien en meten (als dat kan) om te bepalen wat we willen gaan maken. Wat moet onze ontvanger kunnen en hoe goed moet hij dat kunnen? Al dat leesvoer stoppen we in een ordner met tab-bladen, samen met duidelijke aantekeningen van onze bevindingen. Die map vormt ons *Vooronderzoeksrapport*.

Voor de rest van de papierwinkel schaffen we ons een 'waarnemingsboek' aan. Een groot schrift met harde kaft en minstens 200 bladzijden op A4-formaat, of liever folio. De bladzijden zijn van 5 millimeter ruitjespapier, en zijn *genummerd*. Bovenaan elke bladzijde staat een kop met:

'Onderwerp' en 'datum'.

Neem voor de specificatie een bladzijde of vijf. Werk met potlood, dan kun je nog eens iets veranderen.

Voor 'globaal ontwerp' kan natuurlijk eerst wat op klad worden uitgewerkt. Ik raad echter aan om toch snel in het waarnemingsboek te beginnen. Je kunt dan later, ook als het allemaal 'fout' is wat je opschreef, nog eens nagaan wat de gedachtengang is geweest. Het is mij vaak overkomen dat ik een 'oude brain wave' kreeg met de wetenschap dat die al eerder was langsgeweest en afgekeurd. Alleen de argumentatie van de afkeuring wilde me maar niet te binnenschieten zodat ik bijna weer opnieuw wilde beginnen met onderzoeken. Na dagen piekeren wist ik het weer. Als ik het opgeschreven heb, weet ik het weer binnen een uur.

De module-indeling, de interface-beschrijvingen compleet met de niveaus van de signalen, de motivatie, hoe de modules afzonderlijk getest moeten worden, kortom de hele ratteplan worden netjes opgeschreven met verwijzingen naar relevante bladzijden. Schieten er toch wat implementatie-gedachten door het hoofd, of heb je gewoon zin om al vast iets te maken wat al uitgewerkt is in het globale ontwerp, dan noteer je dat netjes in hetzelfde boek.

Het is heel zinvol om het globale ontwerp **aan anderen voor te leggen**. Twee weten meer dan een. Als je een grote populatie wilt bereiken, stuur je het in als artikel voor Electron. 'Op de band' er over praten, is natuurlijk ook een goeie. Een fax-apparaat is daarbij onontbeerlijk. Je gaat het ontwerp 'reviewen' zoals dat in mooi Nederlands heet.

Je moet leren om anderen in je 'geheimen' te laten kijken. In het bedrijfsleven was dat ook even wennen. Ik garandeer je dat de kwaliteit van het ontwerp met sprongen vooruit gaat als je het anderen voorlegt. Daar moet je niet te eigenwijs voor zijn. Al heb je nog zo veel ervaring, een klein foutje dat later nauwelijks meer te herstellen is zonder de helft opnieuw te moeten doen, is gauw gemaakt.

Het grootste deel van het boek zal in beslag genomen worden door het 'detail ontwerp'. Dat zal duidelijk zijn.

Het sluitstuk zijn natuurlijk de metingen en de ervaringen. Schrijf die ook op! Het is mij opgevallen hoe selectief ik soms dingen onthoud als het om zelfgemaakte spullen gaat! Je zit jezelf soms ongewild aardig voor te liegen.

Litteratuur

- [Amstel 1985] *Voortgezet Programmeren, het ontwerpen van datastructuren en algoritmen*, Jan van Amstel en Jan Poirters. blz 149
ISBN 90-6233-236-6
- [Blaauw 1973] *Architectuur, uitrusting en realisatie*, Prof. Dr. G.A. Blaauw. Informatie jaargang 15, nr. 7/8 juni/aug 1973 blz 398 ev.
- [Gard 1979] *Phaseock Techniques*, Gardener. 1979, Wiley.
- [Meil 1980] *The practical guide to structured system design*, Meiler Page-Jones. H7 blz 117.
ISBN 0-917072-17-0
- [Myers 1978] *Advances in Computer Architecture*, Glenford Myers
ISBN 0-471-07878-6
- [Osterman 87] *Shortwave Receivers, past and present*, Fred J. Osterman
ISBN 0-882123-05-0
- [PAoKLS '94] *Trespa als constructiemateriaal*, Klaas Robers. Electron 1994, augustus blz 433
- [PA0SU 1978] *Een vijfbanden-transceiver*, Herbert Rutgers. Electron 1978, september blz 539 (deel 1) en oktober blz 602 (deel 2)
- [PA0SU 1981] *De N6RY-versterker en zijn mogelijkheden; een nieuw front-end*, Herbert Rutgers. Electron 1981, augustus blz 444
- [PA0SU 1982] *Gain Distribution of 'Versterkingsverdeling' in ontvangers*, Herbert Rutgers. Electron 1982, augustus blz 412
- [PA0SU 1995] *Digitale laagfrequent processoren*, Herbert Rutgers. Electron 1995, februari blz 53
- [PA0SU 1987] *De Philips D2999 en D2935; alleen maar goede radio's ?* Herbert Rutgers. Electron 1987, augustus blz 104
- [PA0SU 1989] *Het kiezen van frequenties bij de bouw van een transceiver*, Herbert Rutgers. Electron 1989, februari blz 72
- [PA0SU '90-1] *Synthesizer met HEF 4750*, Herbert Rutgers. Electron 1990, februari blz 74 en maart blz 132
- [PA0SU '90-2] *Enkele Frontend Concepten*, Herbert Rutgers. Electron 1990, september blz 475
- [PA0SU '90-3] *Zijbandruis van LC-oscillatoren*, Herbert Rutgers. Electron 1990, december blz 661
- [PA0SU 1992] *Versterker tussen DBM en Xtal-filter*, Herbert Rutgers, Anton Tombeur. Electron 1992, mei blz 251
- [PA0SU 1993] *LC-oscillatoren, VCO's en Faseruis*, Herbert Rutgers. Electron 1993, november blz 573
- [PA0SU 1996] *Een betere Buizenmengtrap*, Herbert Rutgers. Electron 1996, mei blz 193

- [Spaar-1 '96] *Faseruis van MOSFET-oscillator*, Klaas Spaargaren. Electron 1996, mei blz 197 en juni blz 238
- [Spaar-2 '96] *Capaciteitsdiodes, faseruis en diodebegrenzing van een VCO*, Klaas Spaargaren. Electron 1996, juli blz 285
- [Spaar-3 '96] *Driftcorrectie van LC-oscillatoren*, Klaas Spaargaren. Electron 1996, december blz 517
- [Somm 1985] *Software Engineering*. I. Sommerville. H4 blz 79
ISBN 0-201-14229-5