

Cursusmateriaal UNIX 3

EEN AFSTUDEERPROJECT AAN HET
Instituut voor Innovatie, Industrie en Informatica
Hogeschool van Utrecht

BEGELEIDER: **Dhr. drs. L.J.M. van Moergestel**

VOOR DE OPLEIDING
Hogere Informatica
Hogeschool van Utrecht
DOCENT: **Dhr. H. Karssenberg**

Martijn P. Rijkeboer
STUDENTNUMMER: 1121064

mei 2004

Voorwoord

Deze scriptie is geschreven als afronding van mijn afstudeerproject voor de opleiding Hogere Informatica aan de Hogeschool van Utrecht, Faculteit Natuur en Techniek. De opdracht van dit afstudeerproject is het ontwikkelen van cursusmateriaal voor het vak “UNIX 3” (Unix/Linux toepassingen) van de duale opleiding Systembeheer van de studierichting Informatica aan dezelfde faculteit.

Deze scriptie bevat hoofdzakelijk informatie over de projectmatige gang van zaken gedurende het afstudeerproject. In dit document zullen naast de projectmatige onderdelen ook de belangrijkste keuzes worden verantwoord.

Lezers die vooral geïnteresseerd zijn in de daadwerkelijke inhoud van het cursusmateriaal worden verwezen naar het cursusmateriaal voor de studenten en het docentenmateriaal dat als losse bijlagen bij dit document wordt geleverd. Verder wordt het Plan van Aanpak ook als een bijlage meegeleverd.

De auteur is veel dank verschuldigd aan Dhr. H. Karssenberg docent aan de Hogeschool van Utrecht en Dhr. drs. L.J.M. van Moergestel eveneens docent aan de Hogeschool van Utrecht voor hun adviezen en begeleiding tijdens dit afstudeerproject. Tenslotte is de auteur dank verschuldigd aan zijn beide ouders en zijn verloofde voor de morele steun tijdens het afstudeerproject.

Martijn P. Rijkeboer
Utrecht, mei 2004

Samenvatting

Deze scriptie bevat een beschrijving van het afstudeerproject “Cursusmateriaal UNIX 3”, dat is uitgevoerd in opdracht van de Hogeschool van Utrecht, Faculteit Natuur en Techniek opleiding Systeembeheer. Dit project dient ter afronding van de opleiding Hogere Informatica van de Hogeschool van Utrecht.

Het onderwerp van dit project is het ontwikkelen van cursusmateriaal voor het vak “UNIX 3”, dat Unix/Linux toepassingen moet gaan behandelen. In dit verslag worden de opgeleverde producten en de gemaakte keuzes tijdens het project uiteengezet.

Het vak “UNIX 3” gaat gegeven worden aan derdejaars studenten van de duale opleiding Systeembeheer en bestaat uit zeven lessen van vier uur, hetgeen de student bij voldoende afronding 4 ECTS punten oplevert. Dit vak valt binnen het thema Operating systems en is het vervolg op “UNIX 1” en “UNIX 2”. Daarnaast heeft het vak raakvlakken met vakken uit de thema’s Netwerkinfrastructuren en Beheer en beveiliging.

Het cursusmateriaal voor dit vak is zodanig opgezet dat het een zogenaamde “hands-on” cursus is. Hier is voor gekozen, aangezien het de bedoeling is dat de studenten Unix/Linux ervaring op doen, die gebruikt kan worden in de toekomstige werkomgeving.

Om Unix/Linux ervaring op te doen is het belangrijk dat de studenten werken met een dergelijk besturingssysteem. Binnen deze cursus is er voor gekozen om de besturingssystemen NetBSD en OpenBSD te gebruiken. Deze besturingssystemen worden gebruikt om de volgende onderwerpen te behandelen: de Unix besturingssystemen, onderhoud, extra applicaties, webservices, fileservices, beveiliging en nog een aantal overige onderwerpen.

Het ontwikkelde cursusmateriaal wordt, voor de studenten, beschikbaar gesteld in de vorm van een dictaat. Dit dictaat bevat het lesmateriaal en de practicumopdrachten. Voor de docenten is er een CD-rom met daarop het docentemateriaal. Dit docentemateriaal bestaat uit een verslag met tips en opmerkingen, uitgewerkte configuraties en systeemdokumentatie.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Uitgangssituatie	1
1.2	Aanleiding	1
1.3	Projectorganisatie	2
1.4	Definities	2
2	Doelstelling	3
2.1	Probleemstelling	3
2.2	Doelstelling	3
3	Analyse	4
3.1	Vooronderzoek	4
3.1.1	Vorkennis studenten	4
3.1.2	Beschikbare tijd	5
3.1.3	Interessante onderwerpen	6
3.2	Relaties	6
3.3	Stand van zaken	7
3.4	Onderwijsmodel	9
3.5	Doelstelling	9
3.6	Afbakening	9
4	Ontwikkeling	11
4.1	Gekozen onderwerpen	11
4.1.1	De Unix besturingssystemen	11
4.1.2	Unix onderhouden	12
4.1.3	Extra applicaties	12
4.1.4	Webservices	12
4.1.5	Fileservices	14
4.1.6	Beveiliging	14
4.1.7	Overige onderwerpen	16
4.2	Gekozen technologieën	17
4.2.1	OpenBSD	17
4.2.2	NetBSD	18
4.2.3	NetBSD's pkgsrc	18
4.2.4	Apache	19
4.2.5	PHP	19
4.2.6	BIND 9	19

4.2.7	NetBSD's FTPD	20
4.2.8	SAMBA	20
4.2.9	OpenBSD's PF	20
4.2.10	Sudo	20
4.2.11	Systrace	21
4.3	Opbouw lesstof	21
4.4	Opgeleverde producten	22
4.4.1	Plan van Aanpak	22
4.4.2	Cursusmateriaal	22
4.4.3	Docentenmateriaal	22
4.4.4	Gastles over Linux	23
4.4.5	Scriptie	23
4.4.6	Presentatie	23
5	Inzetbaarheid	24
5.1	Implementatieplan	24
5.2	Kwaliteitscontrole	25
5.3	Onderhoudbaarheid	25
5.4	Toetsing	26
5.5	Vervolg mogelijkheden	27
5.5.1	Email	27
5.5.2	Netwerkbeheer	27
5.5.3	Databases	28
5.5.4	Redundantie	28
5.5.5	RAID	28
5.5.6	Versleutelde netwerkverbindingen	28
5.5.7	Gedistribueerde applicaties	29
6	Tijdsverantwoording	30
6.1	Opstartfase	30
6.2	Hoofdfase	30
6.3	Afsluitende fase	31
7	Conclusie	33
7.1	Evaluatie	33
7.2	Aanbevelingen	33
A	Versies	35
	Bibliografie	36

Hoofdstuk 1

Inleiding

1.1 Uitgangssituatie

Veel bedrijven en instellingen maken tegenwoordig gebruik van Unix/Linux besturingssystemen op hun servers en firewalls om diensten aan hun medewerkers en klanten te bieden. Het aantal van deze systemen neemt op dit moment hand over hand toe en het is daarom van belang dat er genoeg systeem- en netwerkbeheerders zijn met kennis van deze systemen.

Wanneer bedrijven deze besturingssystemen gaan inzetten zonder personeel met afdoende kennis kan dit erg gevaarlijk zijn, aangezien er mogelijk ingebroken kan worden en er vitale gegevens op straat kunnen komen te liggen.

Om te zorgen dat bedrijven ook in de toekomst over personeel met kennis van Unix/Linux kunnen beschikken is het van belang dat de systeem- en netwerkbeheerders in sp e bekend zijn met deze besturingssystemen. Hier ligt een taak voor het onderwijs.

1.2 Aanleiding

In augustus 2003 is er aan de Hogeschool van Utrecht, Faculteit Natuur en Techniek een nieuwe studierichting van start gegaan. Deze studierichting heeft als doelgebied systeembeheer.

Een aandachtsgebied van deze cursus zijn de Unix/Linux besturingssystemen. Dit aandachtsgebied wordt ingevuld door drie vakken van ieder  e n blok. De eerste twee vakken, “Unix/Linux Installatie en Gebruik” en “Unix/Linux Gevorderd”, zijn inmiddels gegeven.

Het eerste vak is gegeven door Dhr. J. Kaldeway in blok  e n van het eerste jaar. Het tweede vak is gegeven door Dhr. L.J.M. van Moergestel in blok twee van het eerste jaar. Het derde vak moet gegeven gaan worden in blok twee van het derde jaar en is nog niet ontwikkeld. Dit laatste vak moet een vervolg zijn op de vorige twee vakken en moet als onderwerp Unix/Linux toepassingen hebben. Het doel van dit afstudeerproject was het ontwikkelen van dit derde vak.

1.3 Projectorganisatie

De opdrachtgever van dit project was Dhr. L.J.M. van Moergestel. Hij is als docent en curriculumcoördinator, voor de richting Technisch Informatica, verbonden aan de Hogeschool van Utrecht, Faculteit Natuur en Techniek.

De schoolbegeleider van dit project was Dhr. H. Karssenbergh. Hij is als docent en studieadviseur, voor de richting Hogere Informatica, verbonden aan de Hogeschool van Utrecht, Faculteit Natuur en Techniek.

De uitvoering van dit afstudeerproject is door mijzelf gedaan en ik was daardoor als enige verantwoordelijk voor de uiteindelijke uitkomst. De twee hierboven genoemde personen hebben alleen een adviserende rol gehad binnen dit project.

1.4 Definities

4.4BSD Lite De versie van de “Berkeley Software Distribution” die vrij beschikbaar is.

BSD License [17] Een open source licentie die oorspronkelijk afkomstig is van de University of California, Berkeley.

GPL License [18] Een open source licentie die ontwikkeld is door het GNU Project [6]. Deze licentie is een virale licentie, hetgeen er voor zorgt dat code onder deze licentie alleen gebruikt kan worden voor code waarvan de uiteindelijke source ook wordt vrijgegeven.

Linux Een vrij beschikbaar Unix-achtig besturingssysteem dat oorspronkelijk door Linus Torvalds met hulp van programmeurs overal in de wereld is ontwikkeld.

NetBSD Een vrij beschikbaar Unix-achtig besturingssysteem dat gebaseerd is op 4.4BSD Lite. Het hoofddoel van het NetBSD project is een extreem portable besturingssysteem te maken.

OpenBSD Een vrij beschikbaar Unix-achtig besturingssysteem dat gebaseerd is op 4.4BSD Lite. De zwaartepunten van het OpenBSD project zijn standarisatie, correctheid, proactieve beveiliging en geïntegreerde cryptografie.

Portable De mogelijkheid van een programma of besturingssysteem om met weinig tot geen aanpassingen op een ander hardwareplatform, dan waar het voor is ontwikkeld, te werken.

Unix De originele versie van Unix is ontwikkeld door AT&T’s Bell Laboratories in het begin van de jaren 70. De source code van dit systeem was vrij beschikbaar en al snel ontstonden er verschillende versies.

Unix/Linux De verzameling van Unix afgeleide besturingssystemen ook wel aangeduid als Unices. In de rest van dit document zal met de term “Unix” deze groep worden bedoeld.

Hoofdstuk 2

Doelstelling

2.1 Probleemstelling

Hoe moet het vak “Unix 3” opgezet worden om zo’n groot mogelijke bijdrage te leveren aan de inzetbare Unix/Linux kennis van de studenten?

2.2 Doelstelling

De doelstelling van dit project was het ontwikkelen van een zogenaamde “hands-on” cursus met als onderwerp “Unix/Linux toepassingen”. Deze cursus is geschreven om te worden gegeven in het derde jaar van de opleiding Systembeheer aan de Hogeschool van Utrecht. Om deze cursus te kunnen volgen zijn de vakken “Unix 1” en “Unix 2” als voorkennis nodig.

Hoofdstuk 3

Analyse

In deze fase van het afstudeerproject heeft de nadruk vooral gelegen op het onderzoeken van de mogelijkheden en eisen die aan het cursusmateriaal gesteld werden.

3.1 Vooronderzoek

Het vooronderzoek van dit project bestond uit een aantal punten waar duidelijkheid in moet worden verkregen, voordat er verder kan worden gegaan met het project. Het vooronderzoek heeft hoofdzakelijk bestaan uit de hieronder beschreven punten.

3.1.1 Voorkennis studenten

De voorkennis van de studenten is een zeer belangrijk gegeven, aangezien dit het instapniveau van de studenten, bij aanvang van de cursus, bepaalt. Aan de hand van de voorkennis kan bepaald worden op welk niveau de cursus moet beginnen. Voor het schrijven van het cursusmateriaal is er hoofdzakelijk gekeken naar de kennis die is opgedaan in de voorgaande twee Unix/Linux vakken.

Het eerste Unix/Linux vak, dat uitgevoerd dient te worden binnen het bedrijf waar de student werkzaam is, loopt tijdens het eerste blok van het eerste semester. Het doel van dit vak is de student kennis laten maken met de installatie en het gebruik van Linux.

Bij deze opdracht is het de bedoeling dat de student een installatie van Linux naast een bestaande Windows installatie maakt. Wanneer de installatie van Linux klaar is, dient de student een aantal opdrachten met behulp van Linux uit te voeren. De bevindingen van de installatie en de uitgevoerde opdrachten moeten uiteen worden gezet in een tutorial.

Deze tutorial moet zodanig worden geschreven dat, mensen zonder ervaring met Linux, zich toch met Linux kunnen redden. De beoordeling van dit vak gebeurt aan de hand van een afrondend gesprek over de inhoud van de tutorial.

Het tweede Unix/Linux vak, dat gevolgd dient te worden op school, wordt gegeven in het tweede blok van het eerste semester. Het doel van dit vak is de student, aan de hand van een aantal thema's, wegwijs te maken in het besturingssysteem Linux.

Dit vak gaat dieper in op de werking van Linux en de achterliggende ideeën die ten grondslag liggen aan Unix en dus ook Linux. Thema's die in dit vak aan bod komen zijn:

- Linux is Unix (uitgebreide inleiding en achtergrond informatie);
- Gelukkig is er X (de grafische omgeving van Unix);
- Processen en text-tools (verschillende handige utilities);
- Het netwerk is de computer (TCP/IP netwerken);
- Scripting en programmeren (programmeer mogelijkheden);
- Nieuwe software (extra software installeren);
- Bitjes vlooien voor de hackers (achtergrond informatie).

Dit vak wordt uiteindelijk afgesloten met een tentamen waarbij de student boeken, aantekeningen en andere documenten als referentie mag gebruiken.

Aangezien het van “Unix/Linux toepassingen” in het tweede blok van het derde jaar gegeven wordt heeft de student, naast de twee Unix/Linux vakken, inmiddels ook kennis opgedaan over besturingssystemen in de andere vakken binnen het thema “Operating systems”.

Naast de kennis over besturingssystemen is de kennis over netwerken, die wordt opgedaan in de vakken binnen het thema “Netwerkinfrastructuren”, erg belangrijk. Deze kennis is nodig, aangezien er voor een aantal practicumopdrachten gebruik moet worden gemaakt van de netwerkmogelijkheden van de gekozen besturingssystemen.

Ten slotte is de kennis die de student heeft opgedaan binnen het thema “Beheer en beveiliging” handig, aangezien de student op deze manier de context van het beheer en beveiligen van de besturingssystemen beter kan overzien.

3.1.2 Beschikbare tijd

De hoeveelheid beschikbare tijd voor het vak is een van de belangrijkste gegevens voor het bedenken en schrijven van het cursusmateriaal. De combinatie tussen het beginniveau, de leersnelheid en de beschikbare tijd bepalen namelijk wat de mogelijkheden zijn voor de cursus.

Voor dit vak is gedurende één blok (7 weken) vier lessen per week beschikbaar. Binnen deze tijd dienen zowel de lessen als de practicumopdrachten gegeven te worden. Totaal levert het vak 4 ECTS punten op, hetgeen inhoudt dat de student de vak gemiddeld moet kunnen doen in 112 uur. Deze tijd is inclusief voorbereiding voor de lessen en het leren voor tentamens of het schrijven van verslagen.

3.1.3 Interessante onderwerpen

Aangezien het vak bedoeld is voor systeembeheerders in sp e, is het van belang dat er technieken en oplossingen worden behandeld die daadwerkelijk gebruikt worden in deze branche.

Om het vak interessant te houden is er voor gekozen om de opdrachten zodanig te maken dat deze, zoveel mogelijk, overeenkomen met de opdrachten die in het bedrijfsleven worden uitgevoerd. Natuurlijk zijn er een aantal beperkingen, in verband met de tijd en apparatuur, maar dit neemt niet weg dat de opgedane kennis daadwerkelijk inzetbaar zal zijn.

3.2 Relaties

Zoals in het onderdeel over de voorkennis al werd gezegd, heeft dit vak relaties met een aantal andere verschillende thema's. Deze thema's zijn:

- Operating systems;
- Netwerkinfrastructuren;
- Beheer en beveiliging.

Deze thema's worden weer onderverdeeld in een aantal vakken. Hieronder zullen, per thema, de vakken worden weergegeven.

Operating systems:

- Operating systems 1 - Computersystemen;
- Operating systems 2 - Unix/Linux installatie en gebruik;
- Operating systems 3 - Unix/Linux gevorderd;
- Operating systems 4 - Windows XP Pro en 200X Server;
- Operating systems 5 - Windows XP Pro en 200X Server;
- Operating systems 6 - Windows XP Pro en 200X Server;
- Operating systems 7 - Operating systems;
- Operating systems 8 - Windows 200X Directory;
- Operating systems 9 - Unix/Linux toepassingen.

Netwerkinfrastructuren:

- Netwerkinfrastructuren 1 - Cisco Network Devices;
- Netwerkinfrastructuren 2 - Cisco Network Devices;

- Netwerkinfrastructuren 3 - Cisco Network Professional;
- Netwerkinfrastructuren 4 - Cisco Network Professional;
- Netwerkinfrastructuren 5 - Cisco Network Professional;
- Netwerkinfrastructuren 6 - Cisco Network Professional;
- Netwerkinfrastructuren 7 - Windows 200X Network Infrastructure;
- Netwerkinfrastructuren 8 - Systeemintegratie;
- Netwerkinfrastructuren 9 - Windows 200X Network Infrastructure.

Beheer en beveiliging:

- Beheer en beveiliging 1 - Systeem en netwerkbeheer;
- Beheer en beveiliging 2 - ITIL Practitioner;
- Beheer en beveiliging 3 - ITIL Manager;
- Beheer en beveiliging 4 - Encryptie en Public-Key Infrastructuur;
- Beheer en beveiliging 5 - Beveiliging.

3.3 Stand van zaken

Zoals in de inleiding al gemeld werd, zijn er tegenwoordig veel bedrijven en instellingen die gebruik maken van Unix/Linux oplossingen. Deze oplossingen moeten echter ook worden beheerd en hiervoor zijn systeembeheerders met kennis van deze systemen nodig.

Het groeien van de markt voor Unix/Linux oplossingen wordt veroorzaakt door een aantal zaken, namelijk:

1. De frequente uitbraken van virussen en wormen die het vooral op de platformen van Microsoft hebben gemunt. Deze virussen en wormen hebben bedrijven, die gebruik maken van deze platformen, veel tijd en geld gekost. Hierdoor is het vertrouwen in de kwaliteit en beveiliging van deze platformen afgenomen.
2. Een aantal commerciële leveranciers, waaronder Microsoft, hebben hun licentievoorwaarden aangepast, waardoor het legale gebruik van hun producten verder aan banden wordt gelegd. Hierdoor krijgen veel bedrijven het gevoel dat ze te afhankelijk worden van deze leveranciers. Aangezien veel bedrijven graag zelf de controle in handen willen houden gaan veel bedrijven zoeken naar andere oplossingen waarbij ze de controle wel behouden.

3. Een aantal leveranciers hebben hun productondersteuningsduur drastisch verkort. Dit zorgt ervoor dat, wil een bedrijf ondersteuning van de leverancier blijven krijgen, er geregeld geupgraded moet worden naar nieuwe versies van de producten. Veel bedrijven hebben hier echter het geld en de menskrachten niet voor, waardoor ze gedwongen worden om af te zien van ondersteuningscontracten. Deze ondersteuningscontracten zijn echter vaak de reden, voor bedrijven, om voor een commerciële product te kiezen.
4. De prijzen, van een aantal commerciële producten, zijn dermate drastisch gestegen dat de kosten om dergelijke producten in te zetten te hoog zijn geworden. Hier komt nog eens bij dat, in veel gevallen, dezelfde functionaliteit voor veel minder geld beschikbaar is wanneer er gebruik wordt gemaakt van de vrij beschikbare Unix/Linux oplossingen. Dit maakt het rechtvaardigen van de hoge kosten vaak erg moeilijk.
5. Doordat de populariteit en het gebruik van Unix/Linux oplossingen aan het toenemen is, worden er ook meer producten voor deze besturingssystemen ontwikkeld. Op dit moment zijn voor de meeste gangbare programma's wel Unix/Linux tegenhangers beschikbaar. In veel gevallen kosten deze programma's een fractie van het originele programma, waardoor het aantrekkelijker wordt, voor bedrijven, om over te stappen.
6. De laatste jaren is er bij de ontwikkeling van Unix/Linux producten veel aandacht besteed aan het gebruiksvriendelijker maken van de software. Hierdoor is het gebruiksgemak zeker vooruit gegaan, hetgeen het makkelijker maakt op de software in te zetten. Natuurlijk valt er nog veel te verbeteren, maar er is al enorme vooruitgang geboekt.
7. Door de publiciteit op het gebied van Unix/Linux systemen, in de media de laatste tijd, ontdekken meer mensen het bestaan van deze systemen. Onder deze mensen zitten ook managers en beleidsmakers, waardoor het makkelijker wordt voor een bedrijf om te kijken naar de mogelijkheden van een overstap.
8. Doordat een aantal grote bedrijven, waaronder IBM en Novell, zich achter Linux hebben geschaard, is het inmiddels ook mogelijk om voor deze systemen een ondersteuningscontract af te sluiten. Voor veel managers is dit een prettige gedachte, waardoor het makkelijker wordt om deze systemen in te zetten in een productieomgeving. Naast deze grote bedrijven bieden een aantal Linux distributies ook ondersteuning op hun producten. Voorbeeld van deze distributies zijn SUSE Linux [23] en Red Hat [20].

Al met al blijkt dat de Unix/Linux systemen zich, in de afgelopen jaren, hebben ontwikkeld tot een goed alternatief voor veel bestaande producten. Daar komt nog bij dat het einde van deze ontwikkelingen nog lang niet in zicht is.

Op dit moment draait een groot aantal van de webservers op het internet op Unix/Linux systemen. Voorbeelden van grote bedrijven die Unix/Linux gebruiken zijn Google [8] (Linux) en Yahoo! [24] (FreeBSD).

3.4 Onderwijsmodel

Om de studenten kennis bij te brengen, die ze in hun toekomstige beroep kunnen toepassen, is er voor gekozen om het vak op te zetten als een zogenaamde “hands-on” cursus. Dit houdt in dat de studenten zoveel mogelijk zelf achter de machine moeten zitten.

Volgens de auteur is het zelfs zo dat, alleen het daadwerkelijk bezig zijn met een besturingssysteem, de enige manier is om met een besturingssysteem te leren werken. Natuurlijk is het wel belangrijk dat de student voldoende achtergrond informatie over het systeem bezit, maar de echte ervaring wordt alleen opgedaan wanneer men daadwerkelijk bezig is met het systeem.

Om de student zo veel mogelijk bezig te laten zijn met de besturingssystemen is het cursusmateriaal zodanig opgesteld dat de student eerst een inleiding krijgt over de te behandelen onderwerpen en daarna volgen direct de practicumopdrachten die moet worden uitgevoerd.

Naast de hierboven genoemde informatiebronnen is natuurlijk de basiskennis, die is opgedaan in de vorige twee Unix/Linux vakken, van belang om de opdrachten te kunnen maken en de systeemdocumentatie te kunnen begrijpen.

3.5 Doelstelling

De doelstelling van dit vak is, de student voldoende kennis van de Unix/Linux besturingssystemen te geven zodat, deze in staat is het werk van een systeembeheerder in een Unix/Linux omgeving zelfstandig aan te leren. Om dit te bereiken zal er aandacht worden besteed aan veel gebruikte programmatuur en aan het lezen van documentatie.

Daarnaast is de inhoud van dit vak zodanig vormgegeven, dat het valt binnen de competenties 7,8 en 10 voor de informaticus van het profielenrapport voor HBO-I [22].

3.6 Afbakening

Om het project binnen de gestelde tijd succesvol te kunnen afronden zijn er, in het Plan van Aanpak, de volgende grenzen gedefiniëerd aan de projectopdracht.

Wat valt binnen de projectgrenzen:

- Het ontwikkelen van de lesstof voor het vak “Unix/Linux toepassingen”;
- het ontwikkelen van de practica voor het vak “Unix/Linux toepassingen”;
- het ontwikkelen van docentmateriaal ten behoeve van de practica;
- het geven van gastlessen over Linux in het kader van het vak “COSY” dat gegeven wordt in blok 4 van het collegejaar 2003-2004.

Wat valt er buiten:

- Het opleiden van docenten om het vak “Unix/Linux toepassingen” te geven;
- het ontwikkelen van tentamens voor het vak “Unix/Linux toepassingen”;

Deze grenzen hebben er aan bijgedragen dat het project binnen de gestelde tijd is afgerond.

Hoofdstuk 4

Ontwikkeling

4.1 Gekozen onderwerpen

De onderwerpen, die in dit vak worden behandeld, zijn zodanig gekozen dat ze zoveel mogelijk aansluiten bij de werkzaamheden die de studenten in hun latere beroep zullen tegenkomen. Natuurlijk zullen een aantal minder relevante onderwerpen ook moeten worden behandeld om de relevante opdrachten te kunnen begrijpen. Hieronder zal van ieder onderwerp een beschrijving worden gegeven.

4.1.1 De Unix besturingssystemen

In dit onderwerp wordt eerst algemene informatie gegeven over de Unix/Linux besturingssystemen en wat, in grote lijnen, de verschillen zijn tussen de systemen. Dit heeft als doel de student inzicht te geven over de plaats die de gekozen besturingssystemen innemen binnen de Unix/Linux wereld.

Vervolgens wordt het installatieproces van één van de besturingssystemen stap voor stap uitgelegd, zodat de student begrijpt wat er allemaal moet gebeuren om een werkend systeem te krijgen. Aangezien de installatie procedures van de gekozen besturingssystemen erg veel op elkaar lijken is deze informatie maar een keer weergegeven.

Hierna wordt, aan de hand van de inhoud van voorbeeldbestanden en verwijzingen naar de relevante onderdelen van de manpages van de besturingssystemen [5], [11] en [15], uitgelegd hoe het netwerk van de beide besturingssystemen statisch kan worden geconfigureerd.

De hierboven genoemde onderwerpen worden tenslotte afgesloten met een drietal practicumopdrachten. De eerste twee opdrachten bestaan uit het installeren van beide besturingssystemen. De derde opdracht bestaat uit het configureren van het netwerk van één van deze besturingssystemen.

De kennis die de student, in deze practicumopdrachten, opdoet is nodig om de andere practicumopdrachten te kunnen maken.

4.1.2 Unix onderhouden

Binnen dit onderwerp wordt eerst uitgelegd wat het belang is voor het bijhouden van de software op de machines. Hiermee wordt geprobeerd de student de noodzaak, van het goed ‘up to date’ houden van de machines waar deze het beheer over heeft, bij te brengen.

Vervolgens wordt er uitgelegd welke vormen van patches er zijn en wat de voor- en nadelen van deze methodes zijn. Hierbij wordt per methode een aantal besturingssystemen genoemd die gebruik maken van deze methode.

Tenslotte worden de hierboven genoemde onderwerpen afgesloten met een drietal practicumopdrachten. In de eerste opdracht moet de student zelf de sourcecode van één van de gekozen besturingssysteem patchen. In de tweede opdracht gaat de student, met behulp van het programma cvs [2], de volledige sourcecode van hetzelfde besturingssysteem up to date maken. In de derde opdracht leert de student hoe deze zelf een aangepaste kernel kan maken.

De vaardigheden, die de student door middel van de bovenstaande practicumopdrachten opdoet, zijn zeer belangrijk om een productiesysteem te kunnen opzetten en beheren.

4.1.3 Extra applicaties

In dit onderwerp wordt besproken welke verschillende manieren er zijn om, op een makkelijk te beheren manier, extra applicaties te installeren op het gekozen besturingssysteem.

Tevens wordt er besproken wat de voor- en nadelen van de verschillende manieren zijn en worden er, per methode, een aantal besturingssystemen genoemd die van deze methode gebruik maken.

Aangezien ieder besturingssysteem toch gedeeltelijk afwijkt van de grote lijnen bevat het cursusmateriaal verschillende verwijzingen naar de relevante onderdelen van de documentatie.

Tenslotte gaat de student aan de hand van de practicumopdracht en de aangegeven documentatie zelfstandig een aantal van de manieren uitproberen. De zo opgedane vaardigheden zijn nodig voor practicumopdrachten verderop in de cursus.

4.1.4 Webservices

Binnen dit onderwerp wordt één implementatie van ieder van de twee belangrijkste protocollen uit de groep webservices behandeld. Deze twee protocollen zijn het “HyperText Transfer Protocol” (HTTP) en het “Domain Name System” (DNS).

HTTP servers

De cursus begint met een aantal adviezen hoe de configuratie van de gekozen webserver, op een simpele manier, beter beveiligd kan worden. Om de studenten een beter beeld te kunnen geven zijn deze adviezen voorzien van een omschrijving en een voorbeeld.

Hierna wordt er besproken hoe de functionaliteit van de webserver uitgebreid kan worden door gebruik te maken van modules. Helaas brengen een aantal modules wel extra beveiligingsrisico's met zich mee, waardoor er goed moet worden uitgekeken met modules.

Vervolgens wordt het onderdeel "Virtual hosts" besproken. Deze functionaliteit wordt erg veel toegepast door bedrijven, aangezien het op deze manier mogelijk wordt om meerdere domeinen op dezelfde fysieke machine te hosten.

Daarna wordt er besproken hoe er, door middel van het programma PHP [19], dynamische contents aangeboden kan worden via het HTTP protocol. Aangezien het beveiligen van dynamische contents een tamelijk ingewikkeld proces is zal hier, gezien de tijd, helaas geen aandacht aan kunnen worden besteed.

De informatie over het HTTP protocol wordt tenslotte afgerond door het "Secure HyperText Transfer Protocol" (HTTPS). Deze extensie op het HTTP protocol zorgt ervoor dat het mogelijk wordt om de data, van de client naar de server en vice versa, te versleutelen. Dit versleutelen van de data maakt het mogelijk dat er gegevens kunnen worden verstuurd zonder dat deze te lezen zijn door derden. Daarnaast biedt het ook een vorm van vertrouwelijkheid.

Dit onderdeel laat, aan de hand van voorbeelden, zien hoe de HTTPS functionaliteit kan worden toegevoegd aan een bestaande configuratie. Daarnaast wordt er ook getoond hoe er met virtuele host gebruik kan worden gemaakt van deze functionaliteit.

DNS servers

Na de verhandeling over het HTTP protocol wordt er omschreven wat het nut van een DNS server is binnen de webservices. Ook wordt er beschreven in welke verschillende gedaanten een DNS server kan voorkomen en wat de functie in die gedaante dan is.

Hierna wordt er beschreven waarop gelet moet worden om een DNS server goed te beveiligen. Ten slotte wordt er aan de hand van voorbeelden getoond hoe een "DNS zone" en een "Reverse DNS zone", voor een domein, kan worden geconfigureerd.

Practicumopdrachten

De opgedane kennis van de student moet tenslotte worden gebruikt om een tweetal practicumopdrachten te maken. In de eerste practicumopdracht moet de student een Authoritative DNS server opzetten voor een niet bestaand domein.

In de tweede opdracht moet de student een webservice configuratie maken die gebruik maakt van PHP, Virtual hosts en HTTPS. Om deze opdracht goed te kunnen doen moet ook de DNS server configuratie uit de vorige practicumopdracht gedeeltelijk aangepast worden.

4.1.5 Fileservices

Binnen dit onderwerp zal er aandacht worden besteed aan een aantal oplossingen die bedoeld zijn voor het leveren van “fileservices”. De oplossingen die aan bod komen zijn Anonieme FTP, Unix filesharing (NFS) en MS Windows filesharing.

Het hoofdstuk begint met informatie over wat Anonieme FTP inhoudt en wat het nut van deze oplossing is. Hierna wordt er aandacht besteed aan de twee verschillende manieren, active mode en passive mode, waarop Anonieme FTP gebruikt kan worden. Tenslotte wordt er besproken waarop gelet moet worden om Anonieme FTP op een veilige manier aan te kunnen bieden.

Hierna volgt er een onderdeel over hoe Unix filesharing in elkaar zit en op welke onderliggende technologie het bedacht is. Dit onderdeel is tamelijk kort aangezien Unix filesharing een simpele oplossing is.

Vervolgens wordt er aandacht besteed aan hoe bestanden op een Unix systeem beschikbaar kunnen worden gesteld aan gebruikers op MS Windows Systemen. Aangezien de configuratie van de software die hiervoor gebruikt kan worden, door de grote hoeveelheid aan mogelijkheden, redelijk complex is, is er een voorbeeldconfiguratie in het cursusmateriaal opgenomen.

Tenslotte wordt de hierboven opgedane kennis in de praktijk gebracht in een drietal practicumopdrachten. In de eerste practicumopdracht moet de student een Anonieme FTP server opzetten. Om dit te kunnen doen wordt er, in het cursusmateriaal, verwezen naar een aantal documenten met achtergrondinformatie.

In de tweede practicumopdracht moet de student de “home” directories, op het systeem, beschikbaar stellen aan een aantal andere Unix machines. In de derde practicumopdracht moet de student deze “home” directories ook beschikbaar stellen aan MS Windows clients. Daarnaast moet de student een publieke directory maken die beschikbaar is vanaf MS Windows clients. Voor de MS Windows clients kan gebruik worden gemaakt van MS Windows 2000 of MS Windows XP.

4.1.6 Beveiliging

In dit gedeelte wordt aandacht besteed aan een aantal belangrijke onderwerpen op het gebied van beveiliging. Als eerste wordt het fenomeen firewall besproken, vervolgens wordt het onderdeel “host hardening” besproken en tenslotte komt het onderwerp “policies” aan bod.

Firewall

In dit eerste onderdeel wordt uitgelegd wat een firewall is. Vervolgens wordt er ingegaan op de verschillende functionaliteiten die een aantal firewalls bieden. Als eerste functionaliteit wordt het onderdeel “Packet Filtering” besproken. Dit Packet Filtering behoort tot de meest basale functionaliteit van een firewall. Hierbij worden netwerkpakketten op basis van regels wel of niet op het systeem toegelaten.

De configuratie van deze functionaliteit is echter vaak zeer ingewikkeld, hetgeen de controle op het goed functioneren, moeilijker maakt. Deze functionaliteit is dan ook door veel firewallsystemen uitgebreid tot een systeem dat niet alleen naar losse pakketten kijkt, maar ook naar de netwerkstromen waarbij deze pakketten horen. Dit wordt ook wel “Stateful Packet Filtering” genoemd. Deze functionaliteit is ook beschikbaar in de firewall waar de studenten mee gaan werken.

Naast deze standaard functie bieden veel firewalls de mogelijkheid om “Network Address Translation” toe te passen. Deze functionaliteit maakt het mogelijk om met één extern ipadres een netwerk, dat alleen beschikt over interne ipadressen, te voorzien van internet toegang. Dit is vooral handig voor bedrijfs- en thuisomgevingen waar men maar beschikking heeft over één ipadres.

Het gebruik van Network Address Translation levert echter problemen op wanneer er services aan de buitenwereld dienen te worden aangeboden die draaien op een machine die achter de firewall staat. Deze machine is namelijk niet rechtstreeks bereikbaar doordat deze geen extern ipadres heeft. Om dit probleem te verhelpen bezitten veel firewalls de mogelijkheid om “Port Forwarding” te doen.

Tenslotte wordt het onderdeel “Packet Normalization” besproken. Deze functionaliteit maakt het mogelijk om eerst alle pakketten te controleren en eventueel te repareren, voordat deze worden gecontroleerd aan de hand van de firewall-configuratie.

Host hardening

In dit onderdeel wordt besproken hoe een systeem zodanig kan worden ingericht dat deze beter bestand is tegen aanvallen. De aandachtspunten uit dit onderdeel zijn in principe op ieder systeem van toepassing. Alleen het onderdeel over de kernel aanpassen is niet altijd mogelijk.

Policies

In dit onderdeel wordt de student erop gewezen dat de beveiliging van een systeem veel meer inhoudt dan alleen het installeren en beheren van de software en hardware. Het is ook heel erg belangrijk dat er bepaalde gedragsregels worden opgesteld. Dat deze gedragsregels soms de hulp van software nodig hebben om goed te kunnen functioneren wordt in het onderdeel over het root account besproken.

Practicumopdracht

De practicumopdracht van deze les bestaat uit het beveiligen van één van de gekozen besturingssystemen. Hierbij moeten de hierboven besproken onderwerpen in de praktijk worden uitgevoerd.

4.1.7 Overige onderwerpen

In dit hoofdstuk worden een tweetal onderwerpen besproken die niet in de andere hoofdstukken thuis horen, maar wel belangrijk zijn voor de beheerder in spé. Deze onderwerpen zijn backups en systrace.

Backups

In dit onderdeel wordt de student aangeleerd hoe deze, met behulp van een aantal standaard Unix utilities, zelf een backupscript kan schrijven. Om dit makkelijker te maken wordt de werking van een aantal van de meest gebruikte utilities besproken. Voor uitgebreide informatie wordt de student echter doorgevoerd naar de documentatie van de utilities zelf.

De volgende standaard Unix utilities worden besproken:

- bzip2: Een compressie utility voor bestanden.
- date: Een utility om de datum op te vragen.
- dump: Een utility om filesystem dumps te maken.
- restore: Een utility om filesystem dumps terug te zetten.
- find: Een utility om het bestandssysteem te doorzoeken.
- gpg: Een utility waar bestanden mee kunnen worden versleuteld.
- gzip: Een compressie utility voor bestanden.
- md5: Een utility om MD5 hashes van bestanden te maken.
- pax: Een utility om archieven van bestanden en directories te maken.
- scp: Een utility om bestanden over het netwerk te kopiëren.
- tar: Een utility om archieven van bestanden en directories te maken.
- touch: Een utility om de datum van een bestand of directory aan te passen.

Om de student een idee te geven hoe een backupscript opgebouwd kan worden is er een simpel voorbeeld backupscript in het cursusmateriaal opgenomen. Tenslotte wordt het onderwerp afgerond met een opsomming van een aantal mogelijke backupmedia.

Systrace

In dit onderdeel wordt de student bekend gemaakt met de mogelijkheden van systrace. Systrace is een utility dat op systemcall niveau beperkingen kan opleggen aan programma's. Hierdoor is het een ontzettend krachtige en handige utility die vooral geschikt is voor security toepassingen. Aangezien de studenten opgeleid worden tot systeembeheerder en niet tot securityexpert zal er alleen over te toepassingen worden gesproken en niet over de configuratie van systrace.

Practicumopdrachten

In de eerste practicumopdracht moet de student een backupscript maken dat incrementele versleutelde backups maakt. Deze backups moeten vervolgens via scp naar een andere machine worden verstuurd.

In de tweede practicumopdracht moet de student een systraced sftp shell installeren. De configuratie files van deze systrace sftp shell zijn kant en klaar beschikbaar voor de studenten.

4.2 Gekozen technologieën

Aangezien het cursusmateriaal voor een Unix/Linux vak gemaakt wordt, zal er gebruik moeten worden gemaakt van een Unix/Linux variant. In de voorgaande Unix/Linux vakken is er telkens gebruik gemaakt van Linux en ook de meeste studenten hebben alleen ervaring met Linux. Om te laten zien dat Unix/Linux meer is dan alleen Linux is ervoor gekozen om, voor dit vak, gebruik te maken van een “ander” Unix besturingssysteem.

Onder de “andere” Unix besturingssystemen vallen ook de verschillende BSD's. In deze cursus is er voor gekozen om de besturingssystemen NetBSD [10] en OpenBSD [14] te gebruiken. Deze twee besturingssystemen zijn afgeleiden van het oorspronkelijke Unix.

4.2.1 OpenBSD

Het eerste gekozen besturingssysteem is OpenBSD. Er is voor OpenBSD gekozen, omdat het één van de meest veilige Unix besturingssystemen van dit moment is. Daarnaast is de documentatie van OpenBSD uitzonderlijk duidelijk en compleet. Ook heeft het OpenBSD team een behoorlijk terughoudende manier van werken met betrekking tot het toevoegen van nieuwe, niet goed geteste, functies. Deze houding komt de stabiliteit van het besturingssysteem zeker ten goede.

Een ander voordeel van OpenBSD is dat het een tamelijk compact en consistent systeem is. Hierdoor is het systeem beter te doorgronden, waardoor het makkelijker aan te leren is voor de studenten. Daarnaast zorgt dit er ook voor dat het beheer makkelijker en sneller wordt.

Tenslotte is OpenBSD vrij beschikbaar voor iedereen (onder de BSD License), zodat de student het besturingssysteem zonder kosten thuis en op het werk kan gebruiken. Al deze eigenschappen tesamen maken het een prima besturingssysteem voor zowel onderwijsdoeleinden als productieomgevingen.

Een nadeel van OpenBSD is, dat het grafische gedeelte niet zo snel is als van verschillende andere besturingssystemen. Dit is echter geen probleem in server omgevingen, aangezien servers meestal via de console worden bediend.

4.2.2 NetBSD

Een belangrijk doel van deze cursus is de student algemene Unix/Linux kennis aanleren. Het is dus niet de bedoeling dat de student één besturingssysteem leert, maar dat de student algemene kennis opdoet, zodat deze zich met elke Unix/Linux versie kan redden. Om dit te stimuleren is er gekozen om een tweede Unix besturingssysteem te gebruiken voor een aantal practicumopdrachten.

Als tweede besturingssysteem is er voor NetBSD gekozen. Deze keuze is gemaakt, omdat ook dit besturingssysteem erg veel aan beveiliging doet. Daarnaast is de documentatie van NetBSD bijna net zo goed en compleet als de documentatie van OpenBSD. Ook heeft het NetBSD team als doel, het meest portable besturingssysteem ter wereld te maken. Hierdoor draait NetBSD op bijna elk modern hardwareplatform.

Een ander voordeel van NetBSD, net als OpenBSD, is dat het een tamelijk compact en consistent systeem is. Hierdoor is het systeem beter te doorgronden, waardoor het makkelijker aan te leren is voor de studenten. Daarnaast zorgt dit er ook voor dat het beheer makkelijker en sneller wordt.

Ten slotte is NetBSD vrij beschikbaar voor iedereen (onder de BSD License), zodat de student het systeem zonder kosten thuis en op het werk kan gebruiken. Al deze eigenschappen maken het een prima besturingssysteem voor onderwijsdoeleinden en productieomgevingen.

Een nadeel van NetBSD is, net als van OpenBSD, dat het grafische gedeelte niet zo snel is als van verschillende andere besturingssystemen. Dit is echter geen probleem in server omgevingen, aangezien servers meestal via de console worden bediend.

Naast deze twee besturingssystemen zijn er ook nog een aantal applicaties waarvoor gekozen is, binnen deze cursus. Hieronder zal worden aangegeven waarom er voor deze applicaties/technologieën gekozen is.

4.2.3 NetBSD's pkgsrc

Voor de les over het installeren van extra applicaties op Unix/Linux besturingssystemen is er voor NetBSD's pkgsrc [12] gekozen. NetBSD's pkgsrc is een framework dat het installeren van extra applicatie makkelijker maakt. Dit framework is oorspronkelijk afkomstig van FreeBSD [4] en zodanig aangepast

dat het op NetBSD werkt. Inmiddels werkt dit framework ook op de meeste andere Unix/Linux besturingssystemen en op MS Windows.

Er is gekozen voor NetBSD's pkgsrc, omdat dit een geavanceerd systeem is dat goed laat zien hoe het installeren van applicaties vanaf source werkt. Daarnaast is dit systeem beschikbaar voor veel Unix/Linux besturingssystemen en is er veel goede documentatie beschikbaar.

4.2.4 Apache

Voor de implementatie van het HTTP protocol, in de les over webservices, is er gekozen voor de Apache HTTP Server [1]. De Apache HTTP Server is een webserver voor het aanbieden van statische contents. Deze server kan echter, door middel van modules, worden uitgebreid met extra functionaliteiten. Een voorbeeld hiervan is het dynamisch genereren van contents met behulp van het programma PHP.

Er is voor de Apache HTTP Server gekozen, aangezien het een webserver is die voor veel verschillende platformen beschikbaar is, goed te beveiligen is en er veel modules beschikbaar voor zijn. Daarnaast is het ook de meest gebruikte webserver op dit moment [13]. In deze cursus zal gebruik worden gemaakt van de 1.3 versie, aangezien deze standaard bij OpenBSD wordt geleverd.

4.2.5 PHP

Voor het mogelijk maken van dynamische contents binnen de Apache HTTP Server wordt gebruik gemaakt van PHP [19]. PHP is een software pakket dat het mogelijk maakt om de functionaliteit van een webserver uit te breiden met dynamische webpagina's.

Er is gekozen voor PHP aangezien het programma voor veel verschillende web-servers beschikbaar is en er veel open-source webapplicaties gebaseerd zijn op PHP. Daarnaast is PHP zelf een open-source programma, hetgeen de student instaat stelt het zonder licentiekosten te gebruiken.

4.2.6 BIND 9

Voor de implementatie van het DNS protocol, in de les over webservices, is er gekozen voor de Berkeley Internet Name Domain (BIND) server [9] van het Internet Systems Consortium. Deze server zorgt voor het vertalen van domeinnamen naar ipadressen en vice versa.

Er is gekozen voor BIND, aangezien het de meest gebruikte DNS server op dit moment is. Binnen het practicum wordt gebruik gemaakt van de versie 9, aangezien deze versie standaard bij OpenBSD wordt geleverd en dit de best beveiligde versie is.

4.2.7 NetBSD's FTPD

Voor de practicumopdracht over Anonieme FTP is er gekozen voor de FTP Server implementatie van NetBSD. Deze implementatie kent drie soorten gebruikers, namelijk guest users (anonieme), chrooted users en real users. In deze cursus zal er alleen aandacht worden besteed aan de guest users. Hiervoor is gekozen, aangezien de andere twee soorten gebruikers de veiligheid van het systeem in gevaar kunnen brengen.

Er is gekozen voor de NetBSD implementatie van het FTP protocol, aangezien deze versie behoorlijk veilig is opgezet, veel mogelijkheden biedt en erg flexibel is met betrekking tot de configuratie. Daarnaast ondersteunt deze server zowel active als passive verbindingen.

4.2.8 SAMBA

Voor de practicumopdracht over het beschikbaar stellen van directories op een Unix/Linux besturingssysteem aan MS Windows clients is er gekozen voor de Common Internet File System (CIFS) implementatie van het SAMBA Team [21].

Er is gekozen voor de implementatie van het SAMBA Team, aangezien dit één van de weinige goedwerkende implementaties is voor Unix/Linux. Daarnaast is SAMBA vrij beschikbaar voor iedereen (GPL License). Het enige nadeel van SAMBA is, dat het dermate uitgebreid is, dat het soms onoverzichtelijk kan worden.

4.2.9 OpenBSD's PF

Voor het onderdeel over firewalls, van de practicumopdracht over beveiliging, is er gekozen voor OpenBSD's PF (Packet Filter) [16]. Deze firewall is sinds OpenBSD 3.0 de standaard firewall van dit besturingssysteem. Inmiddels is deze firewall ook beschikbaar in FreeBSD en wordt deze aangepast voor gebruik in NetBSD.

Er is gekozen voor OpenBSD's PF, aangezien het een firewall is met veel mogelijkheden en opties, maar met een tamelijk eenvoudige configuratie. Deze tamelijk eenvoudige configuratie maakt het mogelijk dat studenten snel een interessante configuratie kunnen maken.

4.2.10 Sudo

In het onderdeel over policies, van de practicumopdracht over beveiliging, wordt een voorbeeld gegeven hoe het probleem van een gemeenschappelijk root account kan worden opgelost. Deze oplossing maakt gebruik van de applicatie sudo. Sudo is een applicatie, die het mogelijk maakt om opdrachten met root privileges uit te voeren zonder dat er ingelogd hoeft te worden met het root account.

Er is gekozen voor de applicatie sudo, aangezien deze applicatie een flexibele en doeltreffende oplossing is voor het probleem van een gemeenschappelijk root account. Daarnaast wordt deze applicatie standaard bij veel Unix/Linux besturingssystemen geleverd. Sudo is beschikbaar onder een open-source licentie.

4.2.11 Systrace

Binnen het laatste hoofdstuk worden twee overige onderwerpen besproken. Een van deze onderwerpen is systrace. Systrace is een applicatie die aan de hand van een configuratiebestand bepaalt welke systemcalls een bepaalde applicatie mag maken. Door hier controle op uit te oefenen kan de beveiliging van het besturingssysteem sterk worden verhoogd. Deze applicatie is echter zeer uitgebreid en complex, waardoor de student alleen een globaal idee krijgt van de mogelijkheden.

Er is gekozen voor systrace, omdat dit een redelijk nieuwe applicatie is waar, op het gebied van beveiliging, nog veel van te verwachten valt. Zoals in de vorige paragraaf al gemeld is, is het een complexe applicatie, maar voor de enthousiaste student biedt deze applicatie zeker interessante mogelijkheden om zich te onderscheiden van de rest.

4.3 Opbouw lesstof

Zoals in het hoofdstuk over het onderwijsmodel al is gezegd, is het de lesmateriaal opgezet als een zogenaamde “hands-on” cursus. Dit houdt in dat de nadruk van alle lessen ligt op het zelf opdoen van kennis en ervaring.

Aangezien er zeven lessen beschikbaar zijn, bestaat het cursusmateriaal uit zeven afzonderlijke lessen met ieder een eigen thema. Deze thema's zijn wel zodanig gerangschikt dat een deel van de benodigde voorkennis in de vorige lessen is opgedaan.

Zo is het voor alle lessen nodig om in staat te zijn de gebruikte besturingssystemen te installeren. Deze kennis wordt derhalve in de eerste les behandeld. Daarnaast is het installeren van extra applicaties nodig om de practicumopdrachten met betrekking tot webservices en fileservices te kunnen doen.

De zeven behandelde thema in deze cursus zijn:

1. De Unix besturingssystemen;
2. Onderhoud;
3. Extra applicaties;
4. Webservices;
5. Fileservices;
6. Beveiliging;

7. Overige onderwerpen.

De zeven lessen bestaan ieder uit twee delen. Het eerste deel bevat een inleiding en informatie over het onderwerp. Het tweede deel bevat de practicumopdrachten die door de studenten in tweetallen dienen te worden uitgevoerd.

De practicumopdrachten zijn eventueel voorzien van verwijzingen naar interessante documentatie. Deze documentatie kan de student helpen om de opdrachten te doen. Er is voor gekozen om veel verwijzingen naar systeemdokumentatie te maken, zodat de student leert om deze documentatie goed te gebruiken. Het kunnen lezen van deze documentatie is namelijk een erg belangrijke eigenschap, aangezien dit in de praktijk meestal de enige informatiebron zal zijn.

4.4 Opgeleverde producten

In dit onderdeel zal ik alle, door mij, opgeleverde en op te leveren producten bespreken. Het gaat hier dus niet alleen om de producten die verband houden met het cursusmateriaal.

4.4.1 Plan van Aanpak

Om aan een afstudeerproject te mogen beginnen moest de opdracht eerst worden goedgekeurd door de Afstudeercommissie Informatica. De goedkeuring voor dit afstudeerproject is verkregen op basis het Plan van Aanpak dat in de bijlagen wordt meegeleverd.

Na goedkeuring van het Plan van Aanpak is het project daadwerkelijk begonnen. Binnen dit afstudeerproject neemt het Plan van Aanpak een erg belangrijk plaats in, aangezien dit tevens het document is waar uiteindelijk het afstudeerproject aan getoetst zal worden.

4.4.2 Cursusmateriaal

De hoofdopdracht van dit afstudeerproject bestond uit het ontwikkelen van cursusmateriaal voor het vak “UNIX 3” dat als onderwerp “Unix/Linux toepassingen” heeft. Dit vak moet gegeven gaan worden aan de duale opleiding Systeembeheer van de Hogeschool van Utrecht.

Het opgeleverde cursusmateriaal bestaat uit zeven lessen over het genoemde onderwerp. Deze zeven lessen bestaan ieder uit twee delen namelijk het lesmateriaal en de practicumopdrachten. De door de opdrachtgever goedgekeurde versie van het cursusmateriaal vindt u in de bijlagen.

4.4.3 Docentenmateriaal

Ter ondersteuning van het cursusmateriaal is er docentenmateriaal voor dit vak ontwikkeld. Dit docentenmateriaal bestaat uit drie delen, namelijk een verslag

met opmerkingen en tips over de practicumopdrachten, werkende voorbeeldconfiguraties voor een aantal van de practicumopdrachten en het merendeel van de gebruikte documentatie en manpages in HTML formaat.

Het docentenmateriaal wordt in de vorm van een CD-rom aan de docent ter beschikking gesteld. De goedgekeurde versie van het verslag vindt u in de bijlagen. De CD-rom is op verzoek verkrijgbaar bij de auteur.

4.4.4 Gastlessen over Linux

De belangrijkste reden waarom ik voor deze afstudeeropdracht heb gekozen is mijn voornemen om het onderwijs in te gaan. Door deze afstudeeropdracht kreeg ik de kans om naast alle technische kennis, van de afgelopen jaren, ook de nodige didactische kennis en ervaring op te doen.

Om deze didactische ervaring te vergroten is er de mogelijkheid gecreëerd om een drietal gastlessen over het onderwerp Linux te verzorgen. Deze gastlessen zullen worden gegeven aan studenten van het eerste jaar Informatica en Technische Informatica. De lessen zullen bestaan uit één deel theorie en één deel practicum. Aangezien deze lessen na de uiterste inleverdatum van de scriptie zullen vallen kan er over de uitkomst van deze lessen nog weinig worden geschreven.

4.4.5 Scriptie

Het afstudeerproject is uiteindelijk uitgemond in een scriptie (dit document). In deze scriptie wordt besproken hoe het afstudeerproject is verlopen, wat de uitkomsten zijn, welke beslissingen er zijn genomen en waarom deze zijn genomen.

4.4.6 Presentatie

Als afronding van het afstudeerproject moet er uiteindelijk een presentatie worden gegeven. In deze presentatie moet mondeling een toelichting worden gegeven op de inhoud en het verloop van het afstudeerproject. Ook zullen in deze presentatie de genomen keuzes moeten worden verdedigd.

De presentatie zal gehouden worden op een, door de school geplande, dag in juni 2004. Aangezien de presentatie pas gemaakt gaat worden na de inleverdatum van de scriptie zijn er nog geen handouts beschikbaar.

Hoofdstuk 5

Inzetbaarheid

5.1 Implementatieplan

Het vak UNIX 3, “Unix/Linux toepassingen” moet gegeven gaan worden in het tweede blok van het derde jaar aan studenten van de opleiding Systeembeheer aan de Hogeschool van Utrecht. Om dit vak op een goede manier te kunnen geven zullen een aantal voorzieningen in orde moeten zijn of gemaakt moeten worden. Deze voorzieningen zijn:

1. **Cursusmateriaal:** De stof van dit vak moet omschreven staan in het cursusmateriaal. Dit cursusmateriaal is inmiddels klaar en bestaat uit een dictaat voor de studenten. Van dit dictaat zullen echter wel voldoende kopiën beschikbaar moeten zijn voor alle studenten. Dit drukken kan geregeld worden via de receptie.
2. **Docenten:** Aangezien het om een begeleid vak gaat, is het nodig dat er een docent beschikbaar is die het vak gaat geven. Deze docent moet echter wel over afdoende Unix/Linux kennis en ervaring beschikken. Het inroosteren van een geschikte docent zal gedaan worden door de administratie.
3. **Docentenmateriaal:** Om de verschillende practicumopdrachten te kunnen begeleiden en controleren moet de docent de beschikking hebben over docentenmateriaal. In dit docentenmateriaal zal achtergrond informatie over en uitwerking van de practicumopdrachten aanwezig zijn. Dit docentenmateriaal is inmiddels klaar en wordt beschikbaar gesteld, aan de docent, in de vorm van een CD-rom.
4. **Computers:** Aangezien dit vak is opgebouwd als een “hands-on” cursus moet de student veel opdrachten op computers uitvoeren. Om dit te kunnen doen moeten er uiteraard voldoende computers beschikbaar zijn. Een lokaal dat beschikt over voldoende computer faciliteiten is het computerlokaal op de derde verdieping van Oudenoord 340.
5. **Besturingssystemen:** In deze cursus wordt er gebruik gemaakt van de besturingssystemen NetBSD en OpenBSD. Om de practicumopdrachten

te kunnen uitvoeren is het uiteraard nodig dat de studenten de beschikking hebben over deze besturingssystemen. In de cursus wordt er vanuit gegaan dat de besturingssystemen iedere les, door de student, vanaf de installatie CD-roms wordt geïnstalleerd. Er zullen voor aanvang van de les dus voldoende kopieën van de installatie CD-roms beschikbaar moeten zijn.

6. Internetverbinding: Voor een aantal van de practicumopdrachten is het nodig dat de studenten software vanaf het internet kunnen downloaden. Om dit makkelijk te kunnen doen is het van belang dat er een “open” internet verbinding beschikbaar is, aangezien Unix/Linux niet goed met proxies en dergelijke om kan gaan. Ook deze faciliteiten zijn aanwezig in het computerlokaal op de derde verdieping van Oudenoord 340.

Naast deze minimale voorzieningen, die nodig zijn voor het goed kunnen geven van de cursus, kan het ook handig zijn dat er een lokale mirror van de gebruikte software wordt opgezet. Dit is echter niet noodzakelijk en brengt wel extra onderhoud met zich mee.

5.2 Kwaliteitscontrole

Om een cursus op voldoende niveau te kunnen geven moet de inhoud en het gebruikte materiaal voldoen aan een aantal voorwaarden. Ten eerste moeten de gekozen onderwerpen interessant zijn voor de studenten. Ten tweede moeten de opdrachten een voldoende hoog niveau hebben. Tenslotte moet het materiaal ook didactisch goed in elkaar zitten.

Door veel overleg met de opdrachtgever en veel tussentijdse versies op te leveren is ervoor gezorgd dat mogelijke problemen met betrekking tot de kwaliteit of de inhoud snel gedetecteerd en verholpen konden worden.

Daarnaast zijn een aantal van de practicumopdrachten ook beschikbaar gesteld aan studenten die in een vergelijkbare categorie als de uiteindelijke studenten vallen. De opmerkingen van deze studenten zijn vervolgens verwerkt in het cursusmateriaal.

5.3 Onderhoudbaarheid

Aangezien dit cursusmateriaal is geschreven in het kader van een afstudeerproject is het belangrijk dat er zo min mogelijk onderhoud nodig is om het bijgewerkt te houden. Dit is nodig, omdat de oorspronkelijke auteur niet meer beschikbaar is op het moment dat het vak gegeven gaat worden.

Om dit te bereiken is ervoor gekozen om zo min mogelijk versie en implementatie afhankelijke informatie in het cursusmateriaal op te nemen. Wanneer deze informatie toch nodig is wordt er, indien mogelijk, verwezen naar de documentatie van het besturingssysteem of de applicatie zelf. Het voordeel van

deze verwijzingen is dat deze documentatie door de ontwikkelaars zelf wordt bijgehouden.

Hierdoor zal het onderhoud van dit vak, voor het grootste deel, bestaan uit het maken van nieuwe versies van de installatie CD-roms wanneer er een nieuwe versie van de gebruikte besturingssystemen uitkomen.

Helaas gaat dit niet op voor het docentenmateriaal, aangezien dit voor een groot deel bestaat uit documentatie en manpages. Deze documenten worden op internet natuurlijk wel bijgewerkt maar op de CD-rom niet. Hierdoor zal dit onderdeel redelijk snel verouderen.

Dit statisch zijn van deze documentatie kan echter ook erg handig zijn, wanneer er gebruik gemaakt gaat worden van de oorspronkelijke versies van de besturingssystemen. In dat geval kan het namelijk zijn dat, de documentatie op internet inmiddels niet meer overeenkomt met de “oude” versies van de besturingssystemen.

5.4 Toetsing

Om de opgedane kennis van de studenten te toetsen zijn er een aantal mogelijkheden. Ten eerste kan er een tentamen worden gemaakt waarin theoretisch vragen over de stof worden gesteld. Het voordeel van deze methode is dat het een tamelijk makkelijke manier van toetsen is. Het nadeel van deze methode is dat de student alleen op boekenkennis wordt getest, terwijl de cursus juist op het opdoen van ervaring gericht is.

Ten tweede kan er een “open boek” tentamen worden gemaakt, waarin inhoudelijke vragen worden gesteld. Het voordeel van deze methode is dat de opgedane kennis van de student zo makkelijker te toetsen is. Het nadeel is echter dat iedere student bij deze methode over een computer met internet toegang moet beschikken, aangezien de meest documentatie online staat. Dit maakt het tegengaan van fraude een stuk moeilijker.

Ten derde kan de toetsing bestaan uit het maken van een eind practicumopdracht. Het voordeel van deze methode is dat de student hierbij op kennis en ervaring wordt getoetst. Het nadeel van deze methode is dat het moeilijk nakijken is en er veel faciliteiten voor nodig zijn.

Ten vierde kan de toetsing bestaan uit het schrijven van een verslag over de opgedane kennis. Het voordeel hiervan is dat de student alle beschikbare documentatie kan nakijken veel tijd kost en het makkelijker is om fraude te plegen.

Ten slotte kan de toetsing bestaan uit het, per uitgevoerde practicumopdracht, schrijven van een klein verslagje waarin de bevindingen uiteen worden gezet. Het voordeel hiervan is dat gelijk blijkt of de student het begrepen heeft. Het nadeel van deze methode is dat het nakijken veel tijd kan kosten.

5.5 Vervolg mogelijkheden

Binnen deze cursus zijn een aantal onderwerpen aan de orde geweest die voor de systeembeheerder in spé interessant zijn om kennis van te bezitten. Natuurlijk zijn, gezien de tijd, niet alle mogelijke onderwerpen aanbod gekomen. Hieronder zullen derhalve een aantal onderwerpen worden besproken die interessant kunnen zijn voor een eventueel vervolg vak.

5.5.1 Email

Een van de zeer veel gebruikte faciliteiten van het internet is “electronicmail” (email). Deze functie wordt door bijna ieder bedrijf aan de medewerkers aangeboden, hierdoor zal de systeembeheerder bijna zeker met deze services in contact komen. Het goed opzetten van een emailoplossing is echter behoorlijk complex en is gezien de beschikbare tijd buiten beschouwing van de cursus gelaten.

Mogelijke onderwerpen voor een les over email zijn:

- Sntp server opzetten;
- imap/pop3 server opzetten;
- webmail opzetten;
- bestrijding van SPAM.

5.5.2 Netwerkbeheer

Een ander zeer interessant onderwerp binnen het systeembeheer is het beheren en monitoren van een netwerk. Dit onderwerp is echter buiten beschouwing gelaten, aangezien er voor een goede diepgang meer voorkennis nodig is dan er kan worden opgedaan in de zeven lessen.

In een vervolgvak zou kunnen worden gedacht aan de volgende onderwerpen:

- Snmp: Het Simple Network Management Protocol en de beveiliging hiervan;
- Traffic accounting: Het bijhouden van hoeveelheden netwerkverkeer;
- Intrusion detection: Het monitoren van het netwerk en de systemen om inbraken te detecteren.

5.5.3 Databases

Binnen bedrijven worden er vaak databases gebruikt om allerlei gegevens op te slaan, dit kan uiteen lopen van de inhoud van de website tot de facturen van klanten. Voor de systeembeheerder is het vooral interessant om te weten hoe gegevens, zoals usernames en groups, handig kunnen worden opgeslagen. Een database die veel gebruikt wordt voor dit soort gegevens is LDAP. Het voordeel van het gebruik van een database is dat de gegevens zo op één centrale plaats worden bewaard en dus makkelijker te beheren zijn.

5.5.4 Redundantie

Doordat bedrijven steeds meer afhankelijk worden van de informatie die beschikbaar wordt gesteld door de ICT afdeling, wordt het steeds belangrijker dat deze informatie continu toegankelijk is. Om dit te bereiken worden steeds meer gebruik gemaakt van redundante systemen. Dit is een zeer interessant onderwerp alleen helaas ook tamelijk complex, hierdoor is het niet haalbaar om in één les te behandelen.

5.5.5 RAID

Om redundantie, op hardeschijfniveau, te krijgen wordt er in servers vaak gebruik gemaakt van “Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks” (RAID). In productieomgevingen worden deze RAID systemen nagenoeg altijd in hardware uitgevoerd. Helaas is deze hardware vaak duur en dus niet beschikbaar in schoolomgevingen. Dit hoeft echter geen probleem te zijn, aangezien de gekozen besturingssystemen RAID in software kunnen emuleren. Op deze manier kunnen de studenten toch ervaring opdoen met RAID configuratie en gebruik.

5.5.6 Versleutelde netwerkverbindingen

Doordat bedrijven meer en meer gebruik gaan maken van diensten op het internet is het belangrijk dat deze diensten betrouwbaar en veilig zijn. Om de betrouwbaarheid en veiligheid te verhogen kan gebruik worden gemaakt van veilige protocollen. Een voorbeeld van een dergelijk protocol is IPsec. Dit protocol is een uitbreiding op het standaard IP protocol en biedt versleuteling van de inhoud aan.

Daarnaast hebben veel bedrijven meerder locaties verspreid over de hele wereld, die verbonden moeten worden alsof ze naast elkaar staan. Om dit te bereiken wordt vaak gebruik gemaakt van een “Virtual Private LAN” (VPN). Deze oplossing is zeker interessant voor een vervolg les. Dit onderwerp zou nog kunnen worden uitgebreid met het opzetten van redundante VPN's.

5.5.7 Gedistribueerde applicaties

Op dit moment wordt er veel aandacht besteed aan Distributed Computing. Hierbij wordt een applicatie op verschillende computers tegelijkertijd uitgevoerd om de taak sneller klaar te hebben. Dit onderwerp is echter zo uitgebreid dat er bijna een compleet vak aan kan worden besteed.

Hoofdstuk 6

Tijdsverantwoording

In dit hoofdstuk zal er verantwoording over de bestede tijd worden afgelegd. Deze verantwoording wordt gedaan op basis van de planning uit het Plan van Aanpak van dit afstudeerproject. In deze planning is het project globaal in drie fasen onderverdeeld.

6.1 Opstartfase

De opstartfase bestond uit een aantal verschillende activiteiten. Iedere activiteit wordt weergegeven met de gebruikte tijd versus de geplande tijd (gebruikt/gepland).

- Werkplek inrichten (2/2);
- Verdiepen in het onderwijsmodel (1/1);
- Verdiepen in de voorkennis (2/2);
- Bedenken inhoud vak (2/3);
- Toetsen inhoud vak (1/2);
- Schrijven Plan van Aanpak (10/5);
- Uitloop opstart fase (0/5).

Totaal:

Gepland: 20 dagen.

Besteed: 18 dagen.

6.2 Hoofdfase

De hoofdfase bestond uit een aantal verschillende activiteiten. Iedere activiteit wordt weergegeven met de gebruikte tijd versus de geplande tijd (gebruikt/gepland).

- Opzetten les materiaal (2/2);
- Schrijven lesstof + practica (25/29):
 - Les 1 (4/3);
 - Les 2 (3/4);
 - Les 3 (4/4);
 - Les 4 (5/4);
 - Les 5 (3/5);
 - Les 6 (3/4);
 - Les 7 (3/5);
- Samenvoegen onderdelen (2/1);
- Eerste versie lesstof (1/1);
- Toetsen lesstof (2/1);
- Aanpassen lesstof (2/3);
- Uitloop (0/4);
- Definitieve versie lesstof (1/1).

Totaal:

Gepland: 42 dagen.

Besteed: 37 dagen.

Het lijkt nu alsof er oorsponkelijk teveel tijd is gepland. Dit is echter niet correct, aangezien er in de planning geen rekening is gehouden met een drietal lessen en practica die nog gegeven moeten gaan worden. Het voorbereiden en het geven van deze lessen zal ongeveer acht dagen kosten. Met deze dagen erbij komt de bestede tijd op 45 dagen. Dit is 3 dagen meer dan gepland, maar dit zal geen problemen opleveren, aangezien er tijd kan worden gebruikt die beschikbaar is voor extra practicumopdrachten.

6.3 Afsluitende fase

De afsluitende fase bestaat uit een aantal verschillende activiteiten. Iedere activiteit wordt weergegeven met de gebruikte tijd versus de geplande tijd (gebruikt/gepland). Aangezien deze fase nog niet volledig voorbij is, kan niet overal de gebruikte tijd worden ingevuld. De waardes die nog onbekend zijn worden aangegeven met een ‘?’.

- Schrijven scriptie (13/14);
- Inleveren scriptie (?/1);

- Maken presentatie (?/8);
- Eventueel extra practica (?/10);
- Afstudeerzitting (?/1).

Totaal:

Gepland: 24 dagen.

Besteed: ?? dagen.

Hoofdstuk 7

Conclusie

7.1 Evaluatie

Het afstudeerproject “Cursusmateriaal UNIX 3” was een interessant project, waarbij de uitdaging vooral op het didactisch vlak lag. Dat was dan ook vanaf het beginaf aan de bedoeling. De keuze voor een dergelijk afstudeerproject is ontstaan uit mijn voornemen om het onderwijs in te gaan. Dit afstudeerproject maakte het mogelijk om naast alle technische kennis, binnen de opleiding Hogere Informatica, ook ervaring en kennis op te doen met didactiek.

Het verloop van het project is behoorlijk voorspoedig gegaan. In het begin kostte het didactisch denken en schrijven van het cursusmateriaal redelijk veel moeite, maar naarmate het project vorderde ging dit steeds beter. Hierbij hebben de adviezen van de bedrijfsbegeleider zeker een positieve rol gespeeld.

Naast het ontwikkelen van cursusmateriaal bood dit project ook de mogelijkheid om een drietal lessen te verzorgen over Linux. Deze lessen zullen echter pas gegeven gaan worden na de inleverdatum van de scriptie, waardoor hierover op dit moment nog weinig te evalueren valt. De lessen zijn bedoeld om te toetsen of het voornemen om het onderwijs in te gaan een goede keuze is.

7.2 Aanbevelingen

Het vak “UNIX 3” bestaat op dit moment uit zeven lessen van ieder vier uur. Binnen deze lessen wordt een groot deel van de, voor systeembeheerders, belangrijke technologieën behandeld. Er zijn echter, terwille van de beschikbare tijd, een aantal onderwerpen buiten beschouwing gelaten. Deze onderwerpen zijn echter wel van belang voor de systeembeheerders in spé.

Een aanbeveling voor dit project is dan ook om het vak met nogmaals zeven lessen van vier uur uit te breiden. Binnen deze uitbreiding zullen een aantal van de overige belangrijke onderwerpen behandeld kunnen worden.

De auteur raadt aan om tenminste de volgende onderwerpen in deze mogelijke uitbreiding op te nemen:

- Email (SMTP, IMAP, POP);
- Centraal accountbeheer (LDAP);
- Redundantie;
- IPsec en VPN;

Bijlage A

Versies

Dit docentenmateriaal is geschreven in de opmaaktaal \LaTeX . Het document is opgebouwd uit een aantal bronbestanden waarvan hieronder de versies zijn aangegeven.

Bestand	Versie	Laatste wijziging
scriptie.tex	1.8	2004-05-19 10:02
voorwoord.tex	1.8	2004-05-19 10:02
samenvatting.tex	1.6	2004-05-12 08:45
inleiding.tex	1.9	2004-05-12 09:06
doelstelling.tex	1.6	2004-05-12 09:06
analyse.tex	1.14	2004-05-19 10:02
ontwikkeling.tex	1.21	2004-05-19 10:02
inzetbaarheid.tex	1.10	2004-05-12 09:06
planning.tex	1.6	2004-05-12 09:06
conclusie.tex	1.10	2004-05-19 10:02
bronnen.tex	1.12	2004-05-11 12:51

Bibliografie

- [1] Apache Project, *The Apache HTTP Server Project*, maart 2004.
<http://httpd.apache.org/>
- [2] CVS Project, *Current Version System website*, april 2004.
<http://www.cvshome.org/>
- [3] R. Elling, B. Andeweg, J. de Jong en C. Swankhuisen, *Rapportage techniek*, Wolters Noordhoff, 2000.
- [4] FreeBSD Project, *The FreeBSD website*, april 2004.
<http://www.freebsd.org/>
- [5] FreeBSD Project, *Hypertext Man Pages*, april 2004.
<http://www.freebsd.org/cgi/man.cgi>
- [6] GNU Project, *The GNU website*, mei 2004
<http://www.gnu.org/>
- [7] GNU Project, *The GNU Privacy Guard website*, maart 2004.
<http://www.gnupg.org/>
- [8] Google, *Google website*, mei 2004.
<http://www.google.com/>
- [9] Internet Systems Consortium, *BIND website*, april 2004.
<http://www.isc.org/index.pl?/sw/bind/>
- [10] NetBSD Project, *The NetBSD website*, april 2004.
<http://www.netbsd.org/>
- [11] NetBSD Project, *NetBSD Manual Pages*, april 2004.
<http://netbsd.gw.com/cgi-bin/man-cgi>
- [12] NetBSD Project, *pkgsrc: The NetBSD Packages Collection*, april 2004.
<http://www.pkgsrc.org/>
- [13] Netcraft, *Web Server Survey*, maart 2004.
http://news.netcraft.com/archives/web_server_survey.html
- [14] OpenBSD Project, *The OpenBSD website*, april 2004.
<http://www.openbsd.org/>

- [15] OpenBSD Project, *OpenBSD Manual Pages*, april 2004.
<http://www.openbsd.org/cgi-bin/man.cgi>
- [16] OpenBSD Project, *PF: The OpenBSD Packet Filter*, april 2004.
<http://www.openbsd.org/faq/pf/>
- [17] Open Source Initiative, *The BSD License*, mei 2004.
<http://www.opensource.org/licenses/bsd-license.php>
- [18] Open Source Initiative, *The GNU General Public License (GPL)*, mei 2004.
<http://www.opensource.org/licenses/gpl-license.php>
- [19] PHP Project, *PHP website*, april 2004.
<http://www.php.net/>
- [20] Red Hat Inc., *Red Hat website*, mei 2004.
<http://www.redhat.com/>
- [21] SAMBA Project, *Samba website*, maart 2004.
<http://www.samba.org/>
- [22] P.A. Santema en A.E.N. Hacquebard, *Beroepsprofiel en Opleidingsprofiel HBO-I*, mei 2004.
<http://www.hbo-i.nl/algemeen/publicaties/profielenrapport.pdf>
- [23] SUSE Linux AG, *SUSE Linux website*, mei 2004.
<http://www.suse.com/>
- [24] Yahoo! Inc., *Yahoo! website*, mei 2004.
<http://www.yahoo.com/>