

QUICK

Casper Tromp

QWERTY **U**ser Interface for **C**hemical content
Bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen
september 2005

Universiteit Twente
Philips Consumer Electronics

Kenmerk: UT/IO/2005.sem2-09-09-2005

Universiteit Twente
Faculteit der Construerende Technische Wetenschappen
Postbus 217
7500 AE Enschede
tel. (053)4 89 91 11

QUICK

Qwerty User Interface for Chemical content

Bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen

C.A. Tromp, s0046353

Universiteit Twente
Begeleider: ir. M.D.C. Stilma
2^e Begeleider: ir. M.E. Toxopeus
Hoogleraar: Prof. ir. A.O. Eger
Mobiliteitscentrum: ir. W. de Kogel-Polak

Philips Consumer Electronics
Begeleider: Dr. T.B.L. Marinelli

September 2005
Oplage: 6
Aantal pagina's (exclusief bijlagen): 46
Aantal bijlagen: 8
Aantal pagina's (inclusief bijlagen): 67
Dit rapport is geschreven in het kader van de Bacheloropdracht, Industrieel Ontwerpen.

Samenvatting

In de environmental benchmark van het Philips Consumer Electronics (PCE) Sustainability Center (SC) worden producten van Philips met de concurrentie gebenchmarkt op milieuaspecten, zodat aan de beste PCE producten de status “Green Flagship” kan worden uitgereikt en de producten op milieugebied kunnen worden geoptimaliseerd. In deze bacheloropdracht heb ik in de environmental benchmark onderzocht hoe de meting van recyclability verbeterd kan worden en daarvoor een tool ontwikkeld waarmee de verbeteringen in de benchmark geïmplementeerd kunnen worden.

De doelstelling van het project was om de mogelijkheden van de QWERTY/EE methode, een methode waarmee milieugewogen recyclingpercentages en -kosten kunnen worden berekend (J. Huisman, 2003) en mogelijke verbeteringen in de recyclability meting te evalueren door een interface voor de vernieuwde recyclability meting en een schattingsmodel voor de samenstelling van printplaten te ontwikkelen.

Deze doelstelling heb ik aangepakt door te analyseren hoe de huidige benchmarkmethode wordt uitgevoerd en hoe de samenstelling van printplaten zo goed mogelijk geschat kan worden. Dit heb ik gedaan door gesprekken te organiseren met medewerkers en experts en door het opzoeken van informatie en het opdoen van ervaring met printplaten.

Hier heb ik uit geconcludeerd dat de efficiëntie van de benchmark omhoog kan door zinnellere en uitgebreidere informatie te produceren en door de benchmarkprocedure te stroomlijnen, bijvoorbeeld door printplaatcomponenten te herkennen aan de hand van plaatjes.

De verbeteringen heb ik geïmplementeerd in een nieuw benchmark tool, **QUICK (QWERTY User Interface for Chemical content)**, waarmee nieuwe metingen op het gebied van recyclability kunnen worden gedaan, zodat betere benchmarkresultaten verkregen kunnen worden. Hoewel niet alle gewenste resultaten zijn gerealiseerd, is een groot gedeelte van het tool voltooid en te gebruiken in de huidige status.

Belangrijke aandachtspunten in de opdracht waren de chemische samenstelling van printplaatcomponenten, het benchmarken, het opdoen van ervaring met databases en user interfaces, een kennismaking met milieuwetgeving en het werken binnen Philips.

Voorwoord

Na een relatief korte maar intensive tijd binnen het Philips Consumer Electronics Sustainability Center heb ik naast de productie van dit verslag hopelijk ook een functionele bijdrage aan de benchmarkprocedure kunnen leveren in de vorm van het tool QUICK.

Naast het feit dat ik ontzettend veel geleerd heb bij Philips, zowel in persoonlijke ontwikkeling (initiatief nemen en opdrachten afbakenen om te grote werkdruk te voorkomen), als in kennisgebieden (benchmarking, recycling, printplaten, databases, interfaces) heb ik er ook een erg fijne tijd gehad in Eindhoven.

Om deze reden wil ik de mensen die veel ideeën en ondersteuning gedurende mijn opdracht hebben gegeven, Thomas, Jaco en Frouke hiervoor bedanken. Ook de rest van het Sustainability Center wil ik bedanken voor de gezelligheid en raad als ik die nodig had, evenals Bram en Pieter die mij op weg hebben geholpen in de databases met de nodige tips en literatuur.

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	8
1.1	Probleemstelling.....	8
1.2	Achtergronden	8
1.3	Doelstelling	11
1.4	Onderzoeksvragen	11
1.5	Aanpak.....	11
2	Recyclability in de environmental benchmark	13
2.1	Introductie.....	13
2.2	Huidige benchmarking van recyclability.....	13
2.3	Verbeteringen in het benchmarken van recyclability.....	14
2.4	Printplaten in de huidige recyclability benchmarking	17
2.5	Aanbevelingen voor printplaten in de recyclability benchmarking	18
2.6	Conclusie	18
3	Printplaatanalyse	20
3.1	Introductie.....	20
3.2	Functionele omschrijving.....	20
3.3	Printplaatcomponenten analyse.....	21
3.4	Concepten voor printplaat benchmarking.....	25
3.5	Conclusie	27
4	Ontwerp van QUICK	28
4.1	Introductie.....	28
4.2	Functionele omschrijving.....	28
4.3	Programma van eisen	29
4.4	Databaseontwerp	29
4.5	Ontwerp User Interface.....	32
5	Toekomst van QUICK.....	38
5.1	Introductie.....	38
5.2	Huidige stand van realisatie.....	38
5.3	Onderhoud.....	39
5.4	Efficiëntiebeschouwing	39
5.5	Conclusie en aanbevelingen voor de toekomst van QUICK.....	41
6	Conclusie en evaluatie.....	42
6.1	Introductie.....	42
6.2	Conclusies	42
6.3	Procesevaluatie.....	42
	Bronnen.....	44
	Terminologie	46
	Definities	46
	Afkortingen.....	46

Appendix.....	47
I Overzicht benchmarkproducten 2003-start 2005.....	48
II Databasestructuur QUICK.....	49
III Flowchart QUICK Benchmarking	50
IV Flowchart QUICK Maintenance.....	51
V Printplaatcomponent herkenning.....	52
VI Berekening benchmarkresultaten.....	54
VII Voorbeeld benchmarkrapport.....	55
VIII QUICK Manual.....	M-I

I Introductie

I.1 Probleemstelling

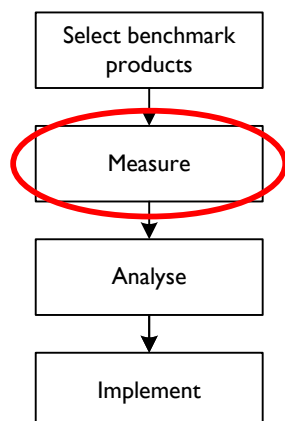
Binnen het Philips Consumer Electronics (PCE) Sustainability Center (SC) is een nieuwe methode ontwikkeld om de recyclability van producten te meten, zodat producten van PCE gebenchmarkt kunnen worden met de concurrentie.

Volgens de originele opdracht zou voor de nieuwe methode een model ontwikkeld moeten worden waarmee een schatting van de materiele samenstelling van PWB's kan worden gemaakt om de benchmarking van recyclability te verbeteren. Het probleem heeft zich echter uitgebreid naar het ontwikkelen van een interface voor de methode, waarin dit schattingsmodel gebruikt zal worden, zodat een vergelijking kan worden gemaakt met de huidige methode om de recyclability te benchmarken.

I.2 Achtergronden

I.2.1 Environmental Benchmark

In de environmental benchmark van het PCE SC worden Philips producten vergeleken met 2 of 3 concurrentenproducten via het stappenplan dat weergegeven is in Figuur 1. De scope van deze opdracht ligt in het meten van gegevens voor de benchmark.



Figuur 1: Environmental benchmarking

De benchmark wordt uitgevoerd aan de hand van 5 Green Focal Area's (GFA's), waarvan recyclability relevant is voor dit project:

- Energy consumption
- Hazardous Substances
- Packaging
- Recyclability
- Weight

Binnen iedere GFA wordt de milieubelasting van het product gekwantificeerd en vergeleken met de concurrentie. De Green Flagship status van een product wordt gegeven op het moment dat Energy consumption minimaal 10% beter is en de overige GFA's gelijk of beter zijn dan de concurrentie. Een vooraf vastgesteld aantal Green Flagships voor iedere PCE Business Group (BG) moet door het PCE SC worden behaald. (PCE SC, Van den Berg, 2005)

De gebenchmarkte producten en Green Flagships van 2003 tot begin 2005 zijn weergegeven in Appendix I.

1.2.2 Stakeholders analyse

In Figuur 2 is weergegeven welke stakeholders betrokken zijn bij de environmental benchmarks die worden uitgevoerd binnen het PCE SC. Binnen de context van deze opdracht zijn alleen de gemarkeerde stakeholders van belang, die hieronder worden beschreven.

Environmental benchmark team

Het benchmark team heeft belang bij een groot aantal Green Flagships uit de benchmarks, aangezien hier targets op staan, die behaald moeten worden door succesvolle implementatie van de benchmarkresultaten in het ontwerpproces. Er wordt gewerkt onder een hoge tijdsdruk, aangezien het aantal te behalen Green Flagships ieder jaar hoger en het budget ieder jaar kleiner wordt. (Van den Berg, 2005)

Consultants PCE SC & Universiteiten

De consultants van het PCE SC, die tevens aan de Technische Universiteit Delft verbonden zijn, geven advies vanuit hun kennis in het vakgebied. Vanuit deze positie kunnen ze vernieuwingen en ideeën stimuleren en adviseren, maar hebben ze niet de mogelijkheid deze zelf te implementeren. (Van den Berg, 2005)

Business Group (BG) consultants PCE SC

De BG consultants hebben twee hoofdfuncties. Ze communiceren met de overheid en lobbyen hierin voor gunstiger wetgeving voor Philips en communiceren de benchmarkresultaten naar de PCE BG's, waarbij financiële voordelen verbonden zijn aan positieve resultaten (GF's). Daarnaast hebben ze er belang bij dat het PCE SC blijft bestaan (er is een kans dat de benchmark wordt verplaatst naar lage lonen landen). (Van den Berg, 2005)

Philips Consumer Electronics (PCE)

PCE is een zeer winst gerichte afdeling van Philips, waarbinnen alle consumentenelektronica, zoals TV's, videorecorders en audio-sets worden ontworpen en geassembleerd. De productie wordt vrijwel altijd uitbesteed (PCE, 2005).

Overheid

De overheid creëert wetgeving om het milieu te beschermen en baseert zich hierin niet op de kosten. De informatie die wordt gebruikt om deze wetgeving op te stellen komt van veel verschillende spelers, waardoor ook bedrijven kunnen lobbyen om het proces van het tot stand komen van de wetgeving te sturen. Met de huidige milieuwetgeving (WEEE, RoHS en EuP) zijn hoge kosten gemoeid voor bedrijven (Van den Berg, 2005).

Recyclers

De recyclers zijn winstgerichte bedrijven die op een zo efficiënt mogelijke wijze producten disassembleren en scheiden in verschillende afvalstromen. Hiermee maken ze materiaal gereed voor hergebruik, winnen ze energie en beperken ze de afvalstroom. Veel recyclers doen chemische analyses en hebben interesse in kennis over de chemische samenstelling van producten om de recyclingprocessen en -opbrengsten te verbeteren. (Huisman, 2005, Sims Mirec, 2005)

TNO Industry

TNO heeft het programma EcoScan ontwikkeld, waarmee Life Cycle Perspectives (LCP's) van producten berekend kunnen worden door middel van de Eco Indicator methode. Op dit moment is niet duidelijk of TNO het programma wil doorontwikkelen, maar ondersteuning wordt nog wel gegeven. (M. Bisschop, 2005)

Philips Applied Technologies

Philips Applied Technologies onderhoudt de waarden die binnen Philips door het programma EcoScan worden gebruikt om LCP's te berekenen. (Bisschop, 2005)



Figuur 2: Stakeholders diagram voor de environmental benchmark (Van den Berg, 2005)

I.2.3 Wetgeving

De huidige en toekomstige milieuwetgeving met betrekking tot de probleemstelling is opgenomen in de RoHS en WEEE richtlijnen, die opgesteld zijn door de Europese Unie.

Waste Electronic and Electric Equipment (WEEE)

In de WEEE worden verschillende voorwaarden gesteld om de recycling van producten te verbeteren en uit te breiden. In de wetgeving is opgenomen dat producenten zelf de kosten van recycling moeten bekostigen, maar de invulling van een systeem om dit te organiseren wordt overgelaten aan de lidstaten afzonderlijk. De WEEE richtlijn is 13 augustus 2005 ingegaan en is zowel voor overheden als de industrie een belangrijk aandachtspunt, aangezien er hoge kosten mee zijn gemoeid. (Directive 2002/96/EC)

RoHS (Restriction of Hazardous Substances)

De RoHS Directive bevat richtlijnen voor het gebruik van gevaarlijke stoffen. In de richtlijn wordt het gebruik van gevaarlijke stoffen, zoals lood, kwik en cadmium, verboden in producten. Wel zijn er uitzonderingen opgesteld voor onderdelen waarin deze stoffen onmisbaar zijn, zoals het gebruik van lood in diverse printplaat- en glascomponenten (Directive 2002/95/EC).

I.3 Doelstelling

‘Het evalueren van de mogelijkheden van de QWERTY/EE methode en mogelijke verbeteringen ten opzichte van de huidige methode op het gebied van het meten van recyclability in de environmental benchmark van het PCE SC, door een user interface voor de vernieuwde recyclability benchmark en een schattingsmodel voor de samenstelling van printplaten te ontwikkelen.’

I.4 Onderzoeksvragen

Het onderzoek kan worden verdeeld in een aantal hoofd- en deelvragen. Deze kunnen als volgt worden gedefinieerd:

1. *Hoe kan het benchmarken van recyclability door het PCE SC worden verbeterd?*
 - a. *Hoe verloopt de GFA recyclability in de huidige benchmark?*
 - b. *Op welke manieren kan de GFA recyclability in de huidige benchmark verbeterd worden?*
 - c. *Hoe kan de huidige schattingsmethode voor de samenstelling van printplaten worden verbeterd?*
2. *Hoe kan een model worden ontwikkeld, waarmee een zo snel en nauwkeurig mogelijke schatting van de samenstelling van een printplaat kan worden gemaakt?*
 - a. *Wat is de samenstelling van componenten op printplaten?*
 - b. *Hoe kan zo effectief mogelijk de samenstelling van printplaten geschat worden?*
3. *Hoe kunnen de verbeteringen in het benchmarken van recyclability bedienbaar en beheersbaar worden gemaakt?*
 - a. *Hoe kan een interface ontworpen worden, zodat deze gebruikt kan worden door de benchmarkers van het PCE SC?*

Deze onderzoeksvragen zullen behandeld worden in hoofdstuk 2: Recyclability in de environmental benchmark.

4. *Hoe verhoudt de efficiëntie van de huidige en de nieuwe benchmarkmethode zich tot elkaar?*

Deze onderzoeksvraag zal behandeld worden in hoofdstuk 3: Printplaatanalyse.

I.5 Aanpak

Binnen de gehanteerde aanpak voor deze opdracht zijn met regelmaat evaluatiestappen en herformuleringen van onderzoeksvragen gedaan. Ook heeft de opdracht zich gedurende het proces toegespitst en uitgebreid. Een vereenvoudigde aanpak van het proces, zoals zal worden aangehouden in dit verslag, is weergegeven in Tabel 1.

Fase	Actie	Hoofdstuk
Analyse	Verken de context van de opdracht	1 Introductie
	Analyseer recyclability in de benchmark	2 Recyclability in de environmental benchmark
	Creeer een schattingsmodel voor de samenstelling van een printplaat	3 Printplaatanalyse
Synthese	Ontwerp een benchmarkstelsel voor recyclability	4 Ontwerp van QUICK
	Beschouw de toekomstperspectieven van het benchmarkstelsel en maak een vergelijking met de huidige methode	5 Toekomst van QUICK
Evaluatie	Evalueer het proces en de resultaten	6 Conclusie en Evaluatie

Tabel 1: Opzet verslag

2 Recyclability in de environmental benchmark

2.1 Introductie

Onderzoeksvraag I:

Hoe kan het benchmarken van recyclability door het PCE SC worden verbeterd?

In dit hoofdstuk zal de huidige benchmarking van recyclability worden beschreven en zal worden toegelicht hoe deze verbeterd kan worden. Daarnaast zal het benchmarken van printplaten specifiek worden uitgelicht, aangezien dit veel relevantie heeft voor het onderzoek.

2.2 Huidige benchmarking van recyclability

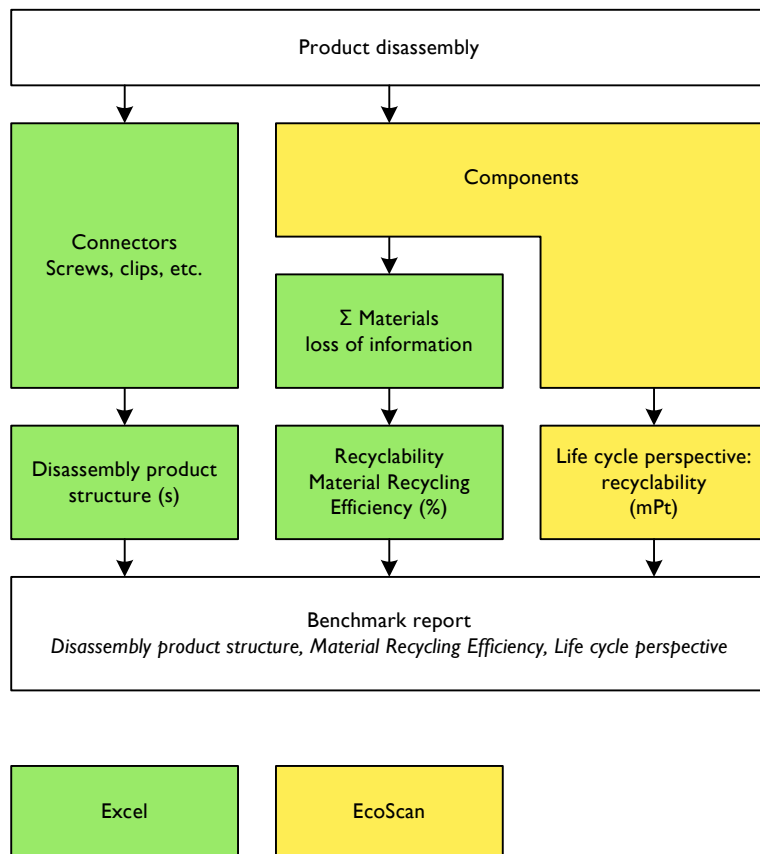
Onderzoeksvraag I.a:

Hoe verloopt de GFA recyclability in de huidige benchmark?

Binnen de huidige benchmarkmethode voor recyclability worden met behulp van de programma's EcoScan en Microsoft Excel de disassembly tijd, de Material Recycling Efficiency (MRE) en het Life Cycle Perspective (LCP) berekend.

Het LCP geeft aan hoe groot de totale milieubelasting van een product is van productie tot gebruik en verwerking en wordt berekend met de Eco Indicator 99 (EI-99) methode. De hiervoor gebruikte eenheid is mPt, die slechts comparatief kan worden gebruikt. Voor de berekening van het LCP worden de waarden afkomstig uit recyclability opgeteld bij de waarden verkregen uit de andere GFA's uit de benchmark. De waarden die verkregen worden uit de disassemblage van het product bedragen ongeveer 25% van de totale milieupact (het grootste gedeelte hiervan wordt bepaald door de energie consumptie).

Het MRE-percentage geeft aan hoeveel procent van het product kan worden gerecycled aan de hand van een tabel met zeer eenvoudige materiele samenstellingen van een korte lijst componenten en een lijst met recycling percentages per materiaal. Aangezien EcoScan geen materiele samenstellingen van componenten, maar enkel milieubelasting-waarden in mPt biedt, wordt de in EcoScan ingevoerde componentenlijst in Microsoft Excel omgezet en gebruikt om de MRE te berekenen. In deze omzetting wordt maximaal 10% van de componenten, voornamelijk printplaatcomponenten, geschrapt als deze niet in de componentlijst passen. (Weeber en Looren de Jong, 2005; PCE, Way of Working Environmental Benchmark, 2002).



Figuur 3: Huidige methode om recyclability te benchmarken

2.3 Verbeteringen in het benchmarken van recyclability

Onderzoeksvraag 1.b:

Op welke manieren kan de GFA recyclability in de huidige benchmark verbeterd worden?

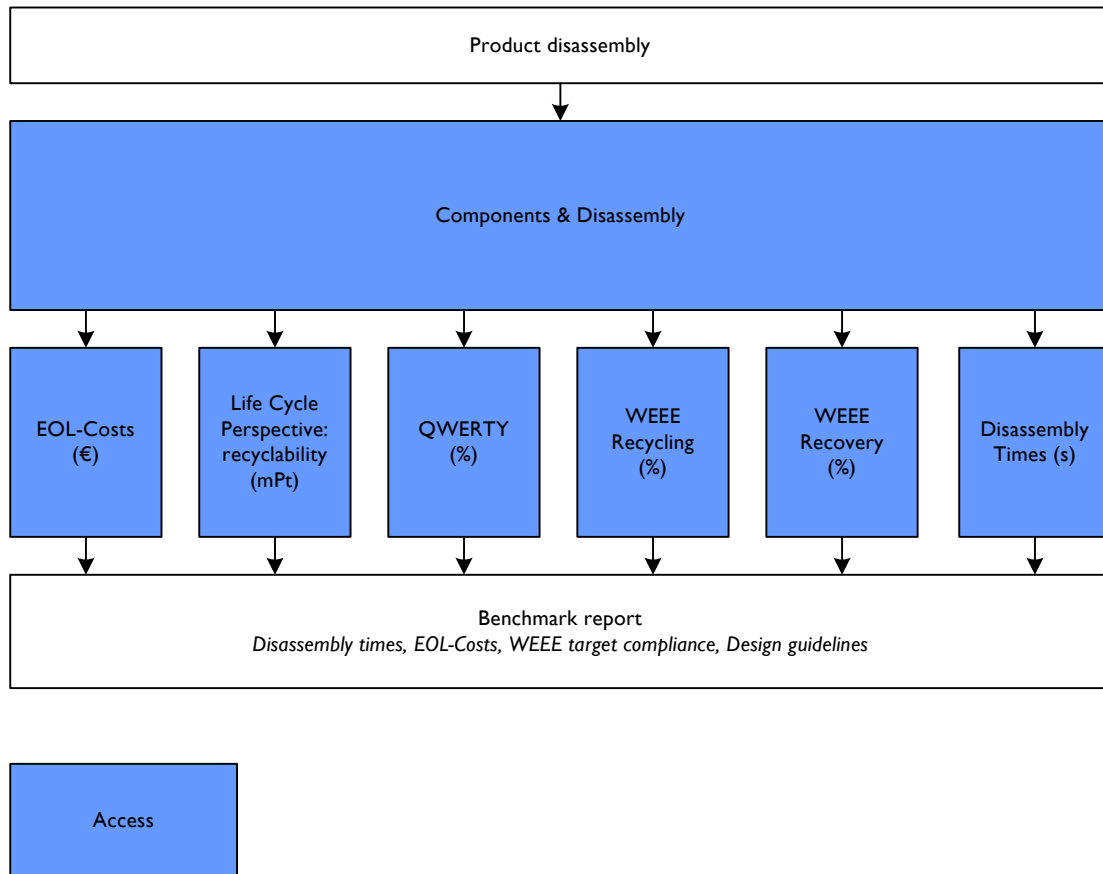
In deze paragraaf zal aan de hand van verschillende bronnen worden geanalyseerd hoe de meting van recyclability verbeterd kan worden.

2.3.1 Verbeteringen met QWERTY/EE

Vanuit zijn ontwikkeling en expertise met de QWERTY/EE methode stelt J. Huisman (consultant van het PCE SC) dat binnen de huidige benchmark van recyclability de balans tussen de benchmarktijd en de opbrengsten voor de BG's zoek is. Suggesties om de recyclability te meten heeft hij als volgt opgesteld:

- Bereken de disassemblytijden aan de hand van waarden afkomstig van metingen bij recyclingbedrijf Sims Mirec
- Koppel assemblytijd aan disassemblytijd
- Gebruik de QWERTY/EE (Quotes for environmentally WEighted RecyclabiliTY/Eco Efficiency) methode om End Of Life kosten en de WEEE-recovery en -recycling percentages te berekenen, zodat kan worden nagegaan of aan de WEEE wetgeving wordt voldaan
- Bereken de QWERTY score in plaats van de MRE om een milieugewogen recyclingpercentage te bepalen, op basis waarvan een vergelijking tussen de benchmarkproducten kan worden gemaakt

In Figuur 4 is schematisch de werking van de QWERTY/EE methode weergegeven. De verbeteringen zullen in deze paragraaf uiteengezet worden.



Figuur 4: De QWERTY/EE methode voor de meting van recyclability

Op dit moment bestaat de QWERTY/EE-methode uit een aantal spreadsheets, waarin een lijst van componenten, disassembly operations en verwerkingsbestemmingen moet worden ingevuld, op basis waarvan iemand met ervaring van de methode (J. Huisman), de waarden kan berekenen door middel van in beperkte mate geautomatiseerde spreadsheetberekeningen. Naar verwachting wordt de methode omgezet naar Microsoft Access. (Huisman, 2005)

2.3.2 Verbeteringen vanuit het PCE SC

In overleg met J. Huisman (consultant van het PCE SC) en H. Looren de Jong (hoofd benchmarking team) is overlegd welke verbeteringen in de huidige benchmarking van recyclability gewenst zijn (Looren de Jong, Huisman, 2005):

- Meet de recyclability van printplaten los van het product
- Onderzoek of EcoScan vervangen kan worden
- Maak een inschatting van de materiele samenstelling van producten
- Maak een inschatting of en hoeveel hazardous substances zich in het product bevinden
- Vervang de huidige disassembly tijden uit Saleminck en Brouwer door ervaringswaarden van recyclingbedrijf Sims Mirec

Alle aanbevelingen voor verbetering zullen in deze paragraaf toegelicht worden.

Meet de recyclability van printplaten apart van het product

Aangezien veel specifieke vragen binnenkomen over printplaten en de milieubelasting hiervan is er de wens om de recyclability apart te meten.

Onderzoek of EcoScan vervangen kan worden

De resultaten die opgeleverd worden door het programma EcoScan zijn slecht communiceerbaar, aangezien de eenheid mPt (een waarde voor milieubelasting) niet interpreteerbaar is voor mensen zonder kennis van Life Cycle Perspectives. Om deze reden wordt men gedemotiveerd om het programma EcoScan enkel hiervoor in te zetten. Een verzoek om materiele samenstellingen op te nemen is eerder afgewezen door TNO. (Looren de Jong, 2005)

Maak een inschatting van de materiele samenstelling van producten en printplaten

Vanuit klanten van Philips komen steeds meer vragen over de samenstelling van producten en printplaten, dus voor het SC is het van belang deze data te verzamelen. Daarnaast kan de inschatting een richtlijn zijn voor het al dan niet laten uitvoeren van analyses om de exacte chemische samenstelling van een product te achterhalen of om het product te controleren op gevaarlijke stoffen.

Vervang de huidige disassembly tijden uit Salemink en Brouwer door ervaringswaarden van recyclingbedrijf Sims Mirec.

Aangezien de disassembly tijden van Salemink en Brouwer een inschatting geven die de werkelijkheid slecht benadert, is er sterke behoefte aan een betere inschatting. Hiervoor kunnen door J. Huisman empirisch bepaalde waarden bij recyclingbedrijf Sims Mirec gebruikt worden.

2.3.3 Verbeteringen vanuit afstuderen F. van den Berg

In de afstudeeropdracht van F. van den Berg zijn een aantal aanbevelingen voor de environmental benchmark opgesteld, waarvan ik een aantal met betrekking op deze opdracht heb weergegeven. (Van den Berg, 2005)

- Communiceer de benchmark data eenvoudig naar de BG's en gebruik duidelijke eenheden
- Houdt de benchmark zo kort mogelijk en zorg ervoor dat nieuwe benchmarkers snel ingewerkt zijn
- Leg een database aan om de totale benchmark procedure te digitaliseren

2.3.4 Eigen aanbevelingen

Naast de aanbevelingen die ik in overleg met personen binnen het PCE SC heb opgesteld en heb overgenomen uit reeds bestaande documenten, heb ik een aantal aanbevelingen opgesteld vanuit de waarnemingen van de benchmark zelf.

- Stroomlijn de benchmark door de invoer van de metingen en het genereren van de resultaten te vereenvoudigen
- Vergroot het resultaat van de metingen voor recyclability of verklein de hoeveelheid werk
- Stroomlijn de controle van de invoer, aangezien EcoScan hierin tekort schiet

2.3.5 Output voor een vernieuwde meting van recyclability

In deze paragraaf zijn een aantal aanbevelingen over verbeteringen in de resultaten van de huidige methode gemaakt. In Tabel 2 is weergegeven welke resultaten van een nieuwe methode dit zou kunnen opleveren. Alle resultaten kunnen geleverd worden door de QWERTY/EE methode of zijn hiervan een tussenproduct, behalve de assembly tijd, het LCP en de PWB Recyclability.

	Huidig	Aanbeveling	Nieuwe methode
Disassembly tijd	Simulink en Brouwer disassembly tijden	Vervang de huidige disassembly tijden uit Salemlink en Brouwer en door ervaringswaarden van recyclingbedrijf Sims Mirec	Disassembly tijden uit ervaringswaarden van Sims Mirec
Assembly tijd	-	Koppel assemblytijd aan disassemblytijd	Assemblytijd
“End Of Life” kosten	-	Gebruik de QWERTY/EE methode om End Of Life kosten en de WEEE-recovery en -recycling percentages te berekenen	EOL-costs
Recyclingpercentages	MRE %		WEEE-Recovery %
			WEEE-Recycling %
		Bereken de QWERTY score om een milieugewogen recyclingpercentage te bepalen, op basis waarvan een vergelijking tussen de benchmarkproducten kan worden gemaakt.	QWERTY %
		Meet de recyclability van printplaten los van het product	PWB Recyclability
Life cycle perspective	LCP (mPt en CO ²)	Onderzoek of EcoScan vervangen kan worden	LCP (mPt en CO ²), Door gebruik van waarden uit EcoScan
Materiele samenstelling	-	Maak een inschatting van de materiele samenstelling van producten	Schatting van de chemische samenstelling
		Maak een inschatting of en hoeveel hazardous substances zich in het product bevinden	

Tabel 2: Overzicht benchmarking van recyclability

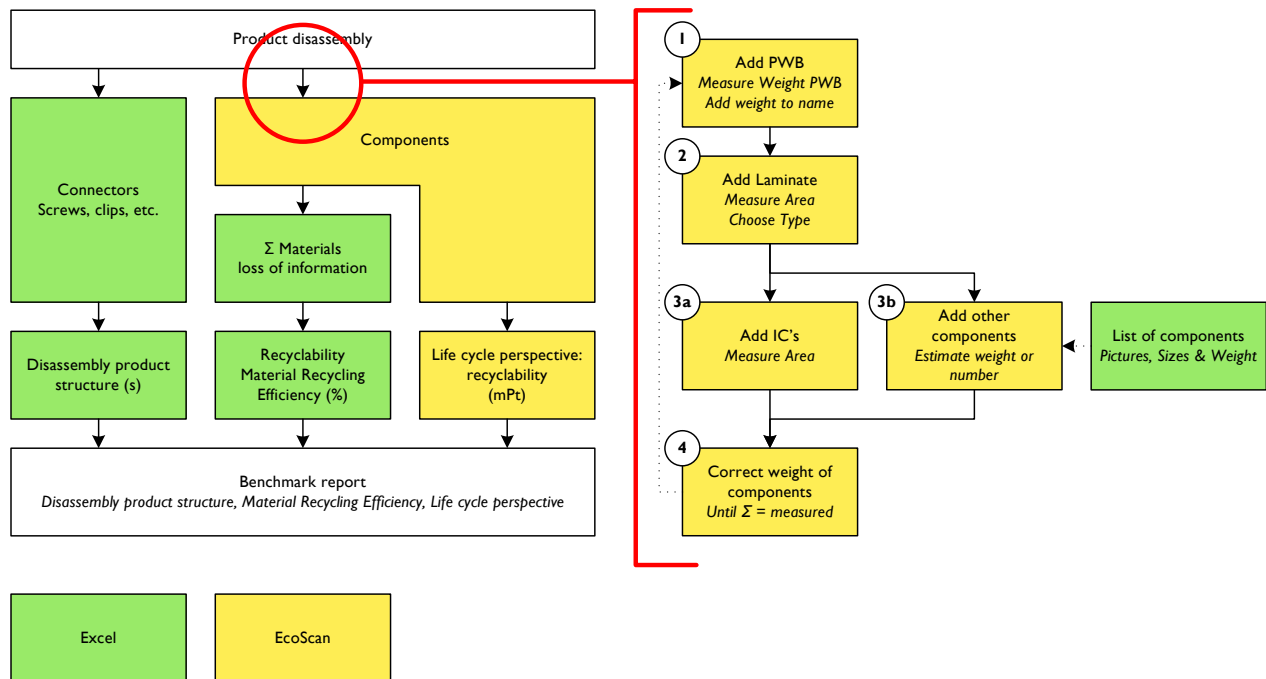
2.4 Printplaten in de huidige recyclability benchmarking

Onderzoeksvraag I.c:

Hoe kan de huidige schattingsmethode voor de samenstelling van printplaten worden verbeterd?

Gezien de relevantie voor mijn opdracht heb ik ervoor gekozen te analyseren hoe printplaten in het meten van recyclability zijn opgenomen. Dit heb ik gedaan door te observeren hoe dit in de praktijk gedaan wordt en door de Way of Working Environmental Benchmark te bestuderen.

In Figuur 5 is weergegeven via welk stappenplan iedere printplaat in een product aan EcoScan wordt toegevoegd (Weeber, 2005). Dit stappenplan is niet vastgelegd in de Way of Working die voor de benchmarkprocedure gebruikt wordt (PCE, Way of Working Environmental Benchmark, 2002).



Figuur 5: Huidige Way of Working voor het toevoegen van PWB's in EcoScan

Het resultaat van het toevoegen van de printplaten in EcoScan is gering. Voor de berekening van de MRE heeft het weinig zin, aangezien veel componenten geschrapt worden en de invloed op de LCP is gering. Het toevoegen van de printplaten aan EcoScan vergt echter veel tijd en ervaring van de gebruiker, die snel toenemen met de mate van detail waarin hij wordt uitgevoerd.

2.5 Aanbevelingen voor printplaten in de recyclability benchmarking

De volgende aanbevelingen voor printplaten in de recyclability benchmarking kunnen worden opgesteld aan de hand van de analyse in bovenstaande paragraaf.

- Leg de stappen om de samenstelling van printplaten te schatten vast
- Biedt in de programmatuur mogelijkheden om deze stappen te efficiënter te maken

Ook is er in overleg met H. Looren de Jong en J. Huisman een aanbeveling opgesteld:

- Breng verschillende niveaus aan waarop een printplaat kan worden toegevoegd, zodat tijdswinst kan worden gemaakt als het gewicht van de printplaat klein is verhouding tot de rest van het product (een printplaat heeft weinig invloed op de milieupact van een CRT-TV met 26 kg glas, maar veel invloed op de milieupact van een mobiele telefoon)

2.6 Conclusie

Op dit moment is recyclability in de benchmark een onderdeel dat te veel tijd kost voor de waarde die het voor de BG's oplevert. Het benchmarken van recyclability kan worden verbeterd aan de hand van de volgende aanbevelingen voor een vernieuwde recyclability benchmark.

Meting recyclability

- Bereken de disassemblytijden aan de hand van waarden afkomstig van metingen bij recyclingbedrijf Sims Mirec
- Koppel assemblytijd aan disassemblytijd

- Gebruik de QWERTY/EE methode om End Of Life kosten en de WEEE-recovery en -recycling percentages te berekenen
- Bereken de QWERTY score in plaats van de MRE om een milieugewogen recyclingpercentage te bepalen
- Meet de recyclability van printplaten los van het product
- Onderzoek of EcoScan vervangen kan worden
- Maak een inschatting van de materiele samenstelling van producten
- Maak een inschatting of en hoeveel hazardous substances zich in het product bevinden
- Vervang de huidige disassembly tijden uit Saleminck en Brouwer door ervaringswaarden van recyclingbedrijf Sims Mirec
- Communiceer de benchmark data eenvoudig naar de BG's en gebruik duidelijke eenheden

Stroomlijning van de benchmark

- Houdt de benchmark zo kort mogelijk en zorg ervoor dat nieuwe benchmarkers snel ingewerkt zijn
- Leg een database aan om de totale benchmark procedure te digitaliseren
- Stroomlijn de benchmark door de invoer van de metingen en het genereren van de resultaten te vereenvoudigen
- Vergroot het resultaat van de metingen voor recyclability of verklein de hoeveelheid werk
- Stroomlijn de controle van de invoer, aangezien EcoScan hierin tekort schiet

Printplaten

- Leg de stappen om de samenstelling van printplaten te schatten vast
- Biedt in de programmatuur mogelijkheden om deze stappen te efficiënter te maken
- Breng verschillende niveaus aan waarop een printplaat kan worden toegevoegd

Outputs

De volgende outputs worden aanbevolen voor een vernieuwde recyclabilitymethode:

- Disassembly tijden uit ervaringswaarden van Sims Mirec
- Assemblytijd
- QWERTY-scores
 - EOL-costs (€)
 - WEEE-Recovery %
 - WEEE-Recycling %
 - QWERTY %
- PWB Recyclability
- LCP, Door gebruik van waarden uit EcoScan
 - LCP (mPt)
 - CO² (kg)
- Schatting van de chemische samenstelling

3 Printplaatanalyse

3.1 Introductie

Onderzoeksvraag 2:

Hoe kan een model worden ontwikkeld, waarmee een zo snel en nauwkeurig mogelijke schatting van de samenstelling van een printplaat kan worden gemaakt?

Aan de hand van de aanbevelingen voortgekomen uit hoofdstuk 2 zal in dit hoofdstuk een opzet gemaakt worden voor een model waarmee printplaten in de benchmark effectiever gemeten kunnen worden dan in de huidige methode (zoals beschreven in paragraaf 2.4). De implementatie zal worden uiteengezet in hoofdstuk 4.

Achtereenvolgens zal het model functioneel worden omschreven, zal een analyse van de componenten op printplaten worden gemaakt en zullen een aantal concepten worden ontwikkeld, die met elkaar vergeleken zullen worden. Aan de hand hiervan zal een realisatieplanning opgesteld worden.

3.2 Functionele omschrijving

Met het schattingsmodel voor printplaten moet in de context van het PCE SC en de vernieuwde recyclability benchmark een inschatting van de componenten op de printplaat kunnen worden gegenereerd. In deze paragraaf zullen de randvoorwaarden voor het schattingsmodel worden omschreven, zoals de output die op basis van de schatting gegenereerd moet kunnen worden en de context waarbinnen het model moet kunnen functioneren.

3.2.1 Output

Aangezien niet alle resultaten van productbenchmarking betrekking hebben op printplaten, is in Tabel 3 weergegeven hoe groot de relevantie van de output (geformuleerd in hoofdstuk 2) voor het printplaatmodel is.

Output	Relevantie voor printplaatmodel
Disassembly tijden uit ervaringswaarden van Sims Mirec	Niet relevant, aangezien printplaten niet worden gedisassembleerd door recyclers noch geassembleerd door Philips.
Assemblytijd	
EOL-costs	De relevantie voor het model is afhankelijk van de verhouding gewicht product/gewicht printplaat. Bij een relatief groter gewicht van de printplaat neemt de relevantie toe.
WEEE-Recovery %	
WEEE-Recycling %	
QWERTY %	
LCP (mPt), Door gebruik van waarden uit EcoScan	
Schatting van chemische samenstelling	Zeer relevant, aangezien printplaatcomponenten stoffen bevatten die beperkt voorkomen in de rest van het product (J. Huisman, 2005)
PWB Recyclability	Zeer relevant

Tabel 3: Relevantie van output voor het printplaatmodel

3.2.2 Context

In deze paragraaf zal de context waarbinnen het model moet functioneren worden omschreven aan de hand van verscheidene factoren.

Benchmark team van PCE SC

Het benchmark team, zoals omschreven in paragraaf 1.2.2: Stakeholders analyse, heeft beperkte tijd en capaciteit om producten te benchmarken. Aangezien de werkduur van benchmarkers voor het PCE SC vaak kort is, is een korte inwerkperiode voor de benchmark gewenst.

Technische benchmarkmogelijkheden

De technische mogelijkheden van de benchmark zijn beperkt tot het meten van dimensies en gewichten en het doen van waarnemingen aan de printplaat. Grote componenten kunnen eventueel van de printplaat verwijderd worden om het gewicht te meten. Chemische analyses of elektronische metingen behoren niet tot de mogelijkheden, vanwege de kosten, tijd en benodigde ervaring die hiermee zijn gemoeid.

3.3 Printplaatcomponenten analyse

Nu de context van het model is geanalyseerd, zal worden onderzocht hoe printplaten (oftewel Printed Wiring Boards, PWB's of Printed Circuit Boards, PCB's) kunnen worden gebenchmarkt. In deze paragraaf zal een korte analyse worden gemaakt van de opbouw van PWB's en de samenstelling en herkenbaarheid van de componenten die zich hierop bevinden.

3.3.1 PWB laminaat

Aangezien het laminaat van een PWB een belangrijke rol speelt in de componentkeuze en de karakteristieken van de PWB, zal in deze paragraaf een korte introductie hierover worden gegeven.

Een PWB wordt in producten gebruikt om elektronische componenten te op een efficiënte manier te bevestigen en te verbinden. Een PWB-laminaat, de printplaat zonder componenten, bestaat voor het grootste gedeelte uit een substraat, waarop koper aangebracht is. Een gedeelte van dit koper wordt weggeëtsd, zodat verbindingdraden op het laminaat overblijven. Op deze wijze kunnen meerdere lagen in het laminaat aangebracht worden. Vervolgens worden er componenten op gesoldeerd.

Het solderen van deze componenten kan "Through Hole Mount" gebeuren en "Surface Mount". Bij deze technologieën behoren verschillende typen printplaten. Een categorie die hierbuiten valt zijn flexibele printplaten, die door PCE zeer beperkt worden gebruikt en daarom hier niet besproken zullen worden.

Through Hole Mount laminaten

Bij Through Hole Mount bevestiging van componenten worden de componenten door gaten in de printplaat bevestigd. Het substraat van de printplaat bestaat bij dit type bevestiging uit papier met een fenol- of epoxyhars. Bij de volgende laminaten wordt gebruik gemaakt van het "Through Hole Mount" solderen van componenten.

- FR-1 (FR = Flame Retardant)
- CEM-1 (CEM = Composite Epoxy Material)
- FR-2

Van deze laminaten wordt FR-2 laminaat veel gebruikt in producten van PCE voor de grotere en eenvoudiger PWB's. Soms wordt in plaats van FR-2 CEM-1 gebruikt, omdat dit beter tegen hitte en schokken bestand is. FR-1 wordt niet meer gebruikt. Een voorbeeld van een FR-2 PWB is weergegeven in Figuur 6.

Surface Mount laminaten

Bij Surface Mount laminaten worden de componenten op het oppervlak van de printplaat gesoldeerd. Dit maakt een grotere bezettingsgraad mogelijk, waardoor deze typen laminaat worden gebruikt voor geavanceerdere toepassingen. Het substraat bestaat bij deze laminaten uit glasvezel. De volgende typen laminaat worden gebruikt voor de "Surface Mount" technologie:

- CEM-3
- FR-4

FR-4 wordt zeer veel gebruikt binnen PCE, CEM-3 is een goedkope vervanger van FR-4 die nauwelijks wordt toegepast. Een voorbeeld van een FR-4 printplaat is weergegeven in Figuur 7. (De Lignie, 2005)

3.3.2 Printplaatcomponenten

De in producten van PCE gebruikte printplaatcomponenten worden door de industrie vaak in een algemene indeling vergelijkbaar met de indeling in Tabel 4 ingedeeld (Philips Semiconductors, 1999-2005; Agere Systems, 2005; ST Microelectronics, 2004; EPCOS, 2005; Doosan Electric Components, 2005).

Category	Components
Passive components	Capacitors
	Resistors
Semiconductors	Integrated Circuits (IC's)
	Transistors
	Diodes
Laminate	FR-2
	FR-4
Other	Connectors
	Wire wounds
	Line Output Transformers (LOT's)
	Heat sinks

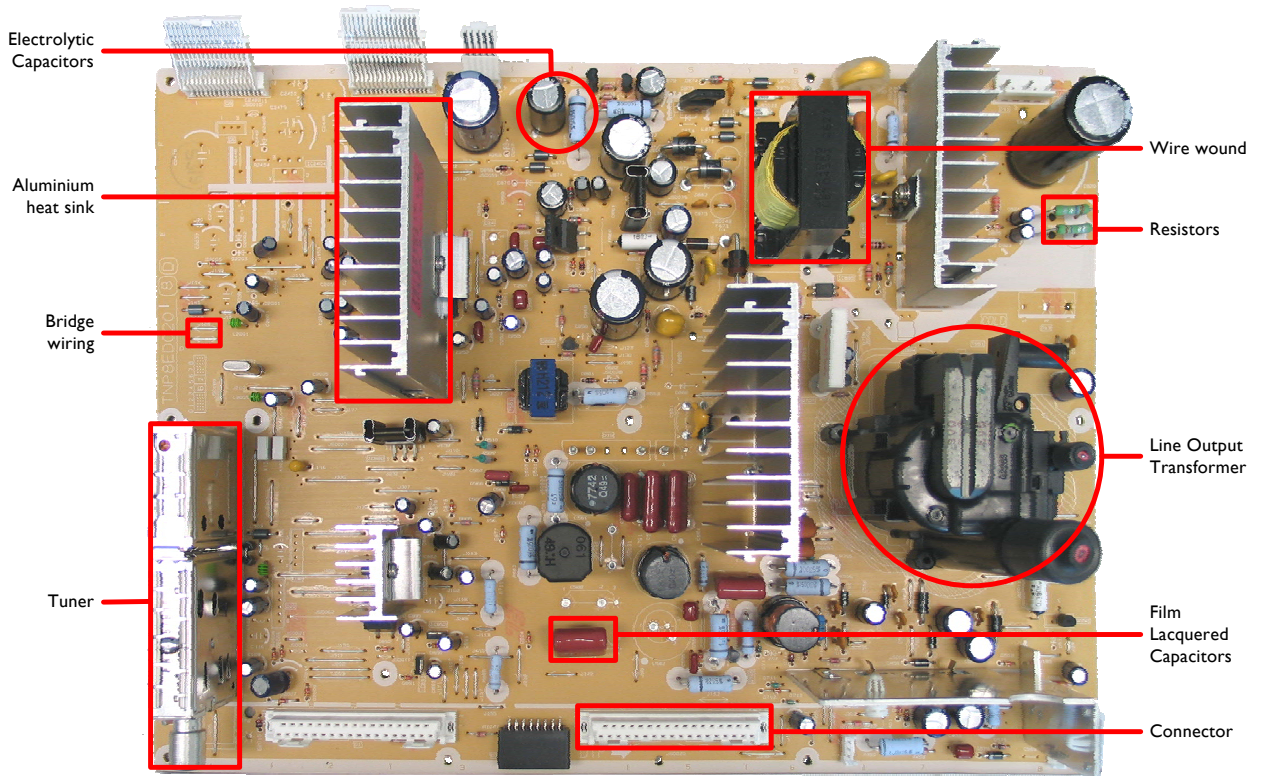
Tabel 4: Indeling componenten op PWB's

Integrated Circuits (IC's)

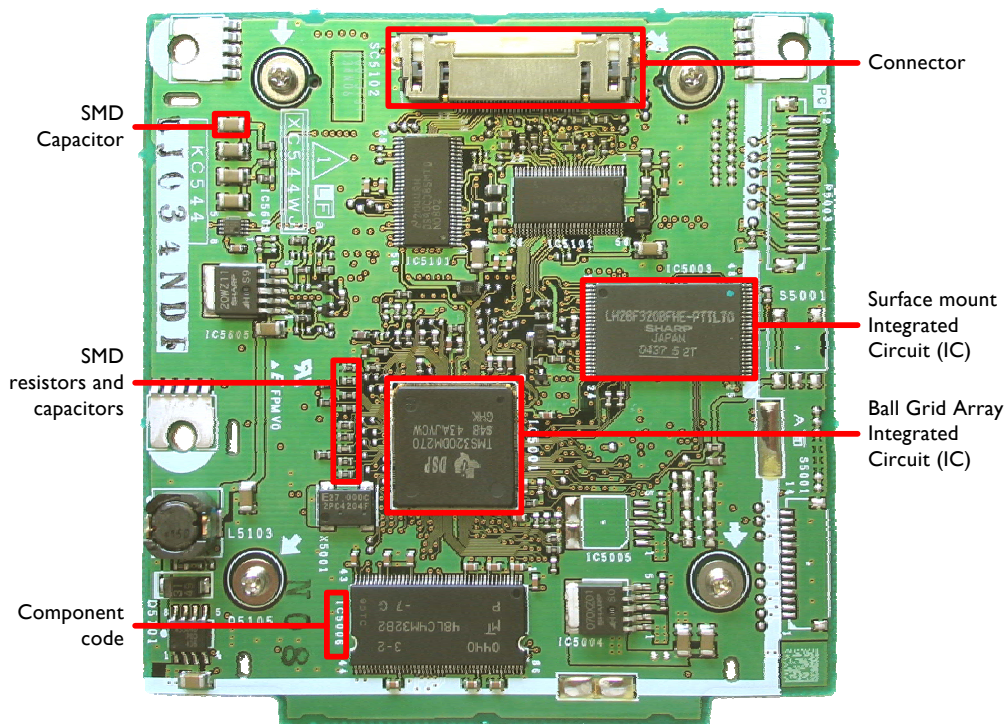
Aangezien IC's een zeer milieubelastend onderdeel zijn van de printplaat zal een korte toelichting op IC's gegeven worden. Integrated Circuits bestaan uit een kleine chip, die in verschillende packagings kan worden geïmplementeerd. Deze packagings, meestal bestaande uit vlamvertragende epoxy, maken het contact tussen de chip en de printplaat. (Looren de Jong, Mohr, 2005).

3.3.3 Identificatie

In deze paragraaf zal vanuit het oogpunt van de benchmark worden onderzocht hoe en of de componenten van elkaar te onderscheiden zijn. Om een context voor de verslaglegging te geven zijn in Figuur 6 en Figuur 7 een printplaat met FR-2 en FR-4 laminaat weergegeven, afkomstig uit environmental benchmarks van PCE.



Figuur 6: FR-2 PWB uit 28" CRT TV Panasonic TX-28PM11F ($m=1336g$; $A=810cm^2$; $LCP=2047 mPt$) (PCE, 2005)



Figuur 7: FR-4 PWB uit 37" LCD-TV Sharp KC-37GD6U ($m=62g$; $A=80cm^2$; $LCP=647mPt$) (PCE, 2005)

Op deze printplaten wordt snel duidelijk dat de componenten slechts tot op een bepaald niveau goed identificeerbaar zijn en dat dit aan de hand van plaatjes een stuk gemakkelijker gaat dan aan de hand van de naam. De grote componenten zijn goed te onderscheiden en geven voldoende informatie voor een benchmark. Essentiële componenten om te benchmarken zijn de IC's, LOT's, wire wounds, heat sinks en het laminaat (inclusief soldeer) van de PWB. (Looren de Jong, Huisman, 2005)

3.3.4 Samenstelling

Onderzoeksvraag 2.a:

Wat is de samenstelling van componenten op printplaten?

Voor een goed werkend model is betrouwbare data over de samenstelling van printplaatcomponenten benodigd. In deze paragraaf zal worden beschouwd welke bronnen hiervoor kunnen worden gebruikt.

Suppliers

Component Suppliers worden door de RoHS en WEEE wetgeving verplicht informatie over de chemische samenstelling van hun componenten beschikbaar te stellen. De huidige informatievoorziening bestaat in de meeste gevallen uit een steekproefsgewijs systeem, waarin uit componentgroepen een (waarschijnlijk) representatief model wordt geselecteerd. Door Philips Semiconductors wordt gewerkt aan een database waarin informatie over alle producten is opgenomen. Deze is op dit moment echter nog niet compleet. De gebruikte component suppliers worden hieronder weergegeven (Philips Semiconductors, 1999-2005; Agere Systems, 2005; ST Microelectronics, 2004; EPCOS, 2005; Doosan Electric Components, 2005).

- Philips Semiconductors
- Agere Systems
- ST Microelectronics
- EPCOS
- Doosan Electric Components

Branche organisaties

De Duitse brancheorganisatie voor electronicaproducten ZVEI stelt vanuit diverse aangesloten fabrikanten informatie over passieve printplaatcomponenten en laminaten beschikbaar.

Analyses

Onafhankelijke analyses zijn uitgevoerd door Delco en Sims Mirec. In de analyses van Delco zijn voor verschillende componenten samenstellingen onderzocht, maar de resultaten hiervan zijn nog niet betrouwbaar. De analyses van Sims Mirec zijn gebaseerd op gehele printplaten. (Huisman, 2005) LCP waarden van componenten zijn beschikbaar in EcoScan, dat hiervoor gebruik maakt van de SimaPro database. Uit deze database kunnen echter geen chemische samenstellingen worden achterhaald (Bisschop, 2005)

Printplaatsoldeer

Het soldeer dat op de printplaat wordt gebruikt moet ook meegenomen worden in de analyses, dus hiervoor is een schatting van de aanwezige hoeveelheid soldeer gemaakt. Hiervoor zijn de volgende gegevens benodigd (De Lignie, 2005):

- Oppervlaktebezetting $\approx 5\%$
- Massapercentage soldeer in soldeer pasta = 88 %
- Gegevens in Tabel 5

Type PWB	Soldeermethode	Nu	1 januari 2006		Dikte soldeer pasta
Through Hole Mount	Golf soldeer	Sn 59.4	SAC305	Sn 96.5	Onvoorspelbaar
		Cu 38		Ag 3	
		Bi 2.6		Cu 0.5	
Surface Mount	Reflow soldeer	Sn 62	SAC405	Sn 95.5	125 of 150 μ
		Pb 36		Ag 4	
		Ag 2		Cu 0.5	

Tabel 5: Schatting hoeveelheid soldeer

Overzicht

In Tabel 6 is een overzicht van alle databronnen weergegeven. De data zijn gerangschikt aan de hand van de in Tabel 4 weergegeven indeling.

Category	Components	Bronnen								
		Agere Systems	Philips SemiCo	ST	EPCOS	ZVEI	Doosan	PCE SC	Delco	SimaPro
Passive components	Capacitors				o	o			Nog onbetrouwbaar	Alleen LCP
	Resistors				o	o				
Semi-conductors	Integrated Circuits (IC's)	o	o	o						
	Transistors		o	o						
	Diodes		o	o						
Laminate	CEM-I						o			
	FR-2						o			
	FR-4					o	o			
Other	Connectors					o				
	Wire wounds					o		o		
	Line Output Transformers (LOT's)							o		
	Heat sinks							o		

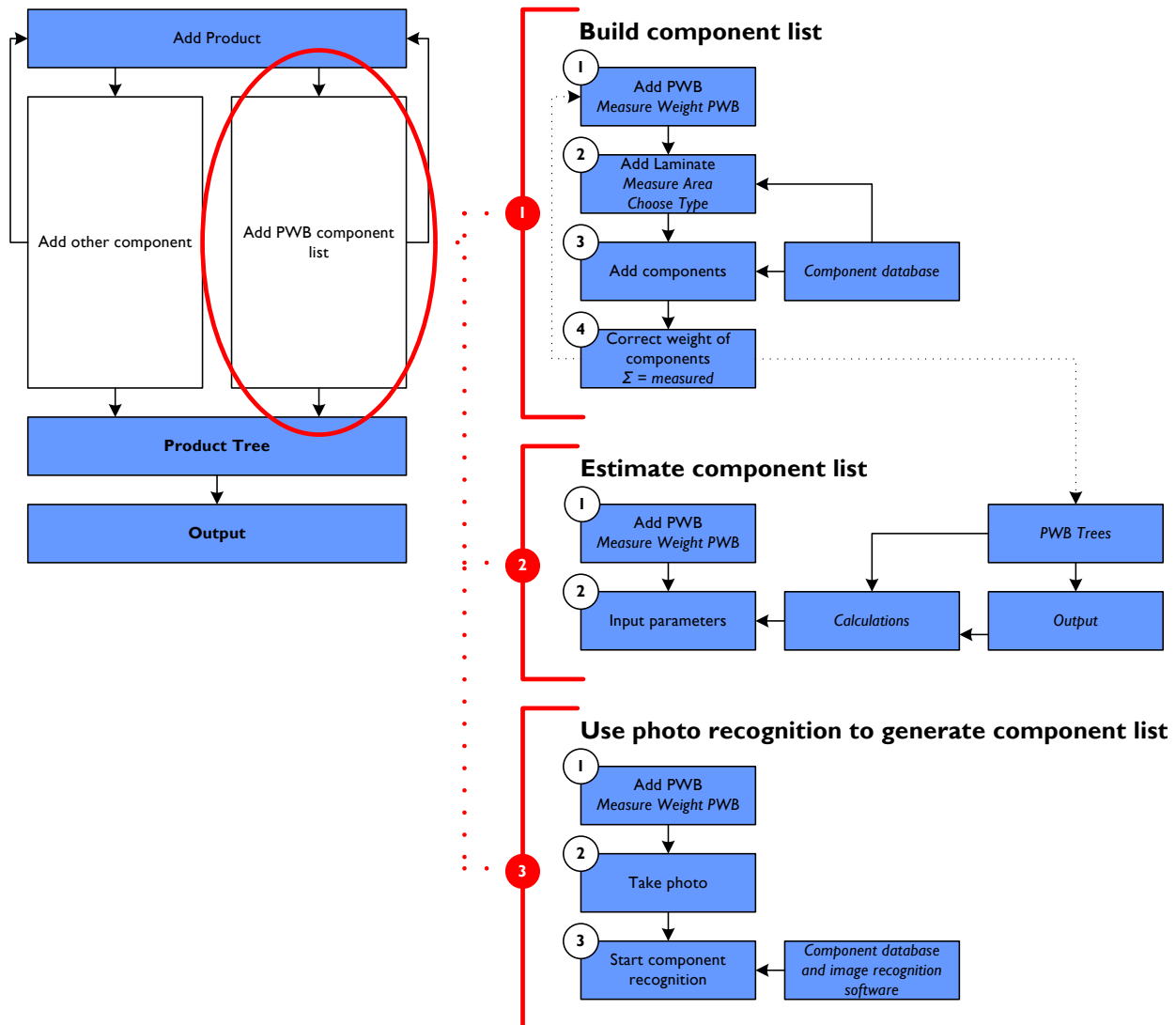
Tabel 6: Bronnen voor de samenstelling van printplaatcomponenten

3.4 Concepten voor printplaat benchmarking

Onderzoeksvraag 2.b:

Hoe kan zo effectief mogelijk de samenstelling van printplaten geschat worden?

Om te onderzoeken hoe zo efficiënt mogelijk de samenstelling van een PWB geschat kan worden heb ik een aantal concepten opgesteld, waarvan de werking is weergegeven in Figuur 8. Deze zijn geplaatst in de context van het benchmarken van het complete product. De concepten 1,2 en 3 worden hieronder beschreven.



Figuur 8: Concepten voor een schattingsmodel voor de samenstelling van printplaten

3.4.1 Concept 1: Build component list

Een voor de hand liggende methode, vergelijkbaar met de methode die nu in gebruik is, is om de samenstelling door de benchmarkers te laten inschatten door ze de componenten zelf te laten identificeren.

3.4.2 Concept 2: Estimate component list

Concept 2 maakt gebruik van de gegevens uit concept 1 om via berekeningen tot waarden te komen die de basis leggen voor een schattingsmodel. In dit model zal via een schatting berekend worden welke componenten zich op de printplaat bevinden, aan de hand van parameters die de gebruiker uit de printplaat haalt (zoals bijvoorbeeld de totale oppervlakte van de IC's).

3.4.3 Concept 3: Use photo recognition to generate component list

Een concept dat in theorie snelle en goede resultaten kan leveren zou op basis van image recognition systeem en foto's van PWB's kunnen werken. Een zeer kritiek punt is de software die hiervoor gebruikt wordt en het werk dat hiermee verbonden is.

3.4.4 Conceptkeuze

In Tabel 7 worden de drie concepten geëvalueerd, aan de hand van de verwachte benchmarksnelheid, het onderhoud en de haalbaarheid van het concept.

Concept	1 Build tree	2 Estimate tree	3 Use photo recognition
Benchmarksnelheid	Voor iedere printplaat wordt een componentenlijst ingevuld	Doordat er relatief weinig gegevens worden ingevuld, kan de snelheid omhoog	De automatisering maakt een grote snelheidswinst mogelijk
Onderhoud	De database met componenten moet worden bijgehouden	Om de schatting te optimaliseren moeten alsnog componentlijsten van printplaten worden bijgehouden	De database met componenten moet worden bijgehouden
Vereiste acties	Database met componenten aanleggen	Uitvoering concept 1	Database met componenten aanleggen
	Ontwerp User Interface	Aanleggen database met printplaatgegevens	Image recognition software ontwikkelen of aanpassen
		Analyse van printplaatgegevens	Valideren van werking systeem
		Ontwikkeling model	
		Validatie model	
Haalbaarheid	Groot, want de gegevens voor de database zijn beschikbaar	Matig, een grote hoeveelheid gegevens moet worden verzameld en het is niet zeker dat daar een goed werkend model uitkomt.	Dit concept is niet haalbaar, aangezien de image recognition niet binnen de mogelijkheden van het PCE SC ligt.

Tabel 7: Vergelijking concepten printplaatinvoer

Aanvankelijk zal gekozen worden voor concept 1, aangezien dit een zeer haalbaar concept is dat een voorwaarde voor concept 2 is om ontwikkeld te worden. Met de ontwikkeling van concept 2 kunnen de verschillende benchmark niveaus vervolgens worden geïmplementeerd, mits de uitvoering van concept 2 haalbaar is.

3.5 Conclusie

Een model om de chemische samenstelling van printplaten te schatten kan binnen het PCE SC het best worden ontwikkeld door de benchmarkers een inschatting te laten maken van de op de printplaat aanwezige componenten. Deze componenten kunnen ook in de huidige benchmark goed van elkaar onderscheiden worden, maar de functie kan nog sterk verbeterd worden door het gebruik van plaatjes van componenten in de programmatuur. Eventueel zou aan het schattingsmodel een parametrisch model kunnen worden toegevoegd, zodat de schatting verder versneld zou kunnen worden.

Over de chemische samenstelling van printplaatcomponenten en laminaten is voldoende informatie beschikbaar om op basis van het schattingsmodel de gevraagde outputs te leveren.

4 Ontwerp van Quick

4.1 Introductie

Onderzoeksvraag 3:

Hoe kunnen de verbeteringen in het benchmarken van recyclability bedienbaar en beheersbaar worden gemaakt?

In de voorgaande hoofdstukken is geanalyseerd hoe de meting van recyclability in de environmental benchmark verbeterd kon worden. In dit hoofdstuk zal het ontwerp van een tool, **QUICK (Qwerty User Interface for Chemical content)** beschreven worden, waarin deze verbeteringen zijn verwerkt.

Het ontwerpproces zal gestructureerd worden in twee fasen, het database- en het interfaceontwerp. Voorafgaand aan deze fase zullen een functionele omschrijving en een programma van eisen worden opgesteld.

4.2 Functionele omschrijving

Functioneel zal het tool de gebruiker de mogelijkheid bieden om een componentenlijst op te stellen van het product, op basis waarvan de gewenste resultaten kunnen worden gegenereerd. Ook zal het functionaliteit bieden om de achterliggende gegevens te onderhouden. In deze omschrijving zal de output van de tool en de context waarin het moet kunnen functioneren worden weergegeven.

4.2.1 Output

De output die **QUICK** moet kunnen leveren komt voort uit de analyse van hoofdstuk 2:

- Disassembly tijden uit ervaringswaarden van Sims Mirec
- Assemblytijd
- QWERTY-scores
 - EOL-costs (€)
 - WEEE-Recovery %
 - WEEE-Recycling %
 - QWERTY %
- PWB Recyclability
- LCP, Door gebruik van waarden uit EcoScan
 - LCP (mPt)
 - CO² (kg)
- Schatting van de chemische samenstelling

4.2.2 Context

De context waarbinnen **QUICK** moet functioneren wordt gevormd door de benchmark zelf, de beschikbare programmatuur op het PCE SC en de aanwezige kennis met betrekking tot het ontwikkelen van een benchmarktool.

Benchmark team van PCE SC

Het benchmark team, zoals omschreven in paragraaf 1.2.2: Stakeholders analyse, heeft beperkte tijd en capaciteit om producten te benchmarken. Aangezien de werkduur van benchmarkers voor het PCE SC vaak kort is, is een korte inwerkperiode voor **QUICK** gewenst. In Tabel 8 zijn de verschillende gebruikers en hun functies in **QUICK** weergegeven.

Gebruiker	Functionaliteit in Quick
Benchmarker	Benchmarks doen
Hoofd benchmarkteam	Benchmark controleren en stroomlijnen
	Onderhouden van de in Quick gebruikte data
University consultants PCE SC	Onderhouden van de in Quick gebruikte data
	kennis van QWERTY
BG Consultants PCE SC	Benchmarkresultaten verkrijgen

Tabel 8: Gebruikers van QUICK

Technische benchmark mogelijkheden

De technische mogelijkheden van recyclability in de benchmark zijn beperkt tot het meten van dimensies en gewichten en het doen van waarnemingen aan het product. Om te onderzoeken of een product hazardous substances bevat worden soms chemische analyses gedaan.

Beschikbare programmatuur

Binnen het PCE SC zijn de volgende programma's beschikbaar die betrekking hebben op QUICK:

- Microsoft Excel (spreadsheet programma)
- Microsoft Access (database programma)
- EcoScan (Programma om LCP's te berekenen)

Aanwezige kennis over database

De aanwezige kennis met betrekking tot databases is binnen het PCE SC beperkt, aangezien er geen mensen beschikbaar zijn uit dit vakgebied.

4.3 Programma van eisen

Het programma van eisen heb ik opgesteld aan de hand van de aanbevelingen die geformuleerd zijn in hoofdstuk 2.

Input

- QUICK moet door mensen zonder voorkennis van PCE of de benchmark te gebruiken zijn (H. Looren de Jong, 2005)
- De samenstelling van een printplaat moet op verschillende niveaus kunnen worden geschat (Wens)
- De stappen om de samenstelling van printplaten te schatten moeten in QUICK worden vastgelegd

Output

- De data en resultaten van benchmarks moeten zo worden opgeslagen dat deze achteraf niet ongewild gewijzigd kunnen worden
- QUICK moet de output, geformuleerd in paragraaf 4.2.1, kunnen leveren.

Onderhoud

- De bron van de gebruikte data dient zichtbaar te zijn voor de gebruiker
- Alle in de benchmark gebruikte data dient door de PCE SC Consultants onderhouden te kunnen worden

4.4 Databaseontwerp

Voorafgaand aan het ontwerpproces van de database is een uitgebreide verdieping in de kennis over Microsoft Access en databases in het algemeen noodzakelijk geweest. (Ullman en Widom, 2005). In deze paragraaf zullen

de gemaakte keuzes worden toegelicht en de databasestructuur uiteengezet voor de gebruikte resources en voor de benchmark data zelf. De complete databasestructuur is opgenomen in Appendix II.

4.4.1 Organisatie van de resources

De gegevens die gebruikt worden om op basis van de input een output te vervaardigen zijn kort in onderstaande lijst samengevat. In deze paragraaf zullen deze data en de aangebrachte structuren kort worden verantwoord.

- Product Categories
- Material List
- Component Data
- References
- Disassembly times
- QWERTY-data

Product Categories

De diverse productcategorieën worden gebruikt voor de indeling van de benchmarks. Mogelijkerwijs kunnen ze gebruikt worden om specifieke eigenschappen die voor productcategorieën gelden aan deze producten te koppelen.

Material List

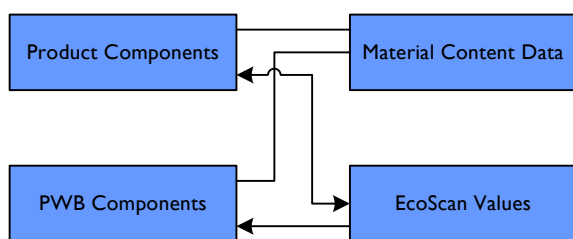
De lijst van gebruikte materialen bevat alle materialen en materiaalgroepen die gebruikt worden in de QWERTY-methode. Hieraan zijn de verwante CAS-nummers en atoommassa's toegevoegd (Huisman, 2005).

Component Data

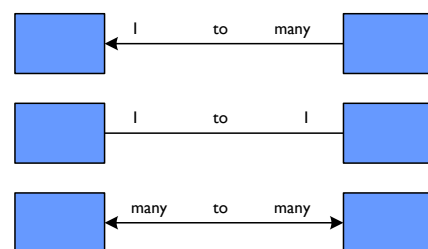
De gegevens van componenten zijn georganiseerd in meerdere datastructuren. Dit is een oplossing voor het probleem dat product- en printplaatcomponenten andere eigenschappen hebben en op een andere manier moeten worden gemeten (van printplaatcomponenten kan bijvoorbeeld niet het gewicht worden gemeten).

De Material Content Data is hieraan gekoppeld, maar gebruikt een eigen indeling, zodat informatie over andere componenten ook kan worden opgenomen en meer flexibiliteit kan worden geboden.

De EcoScan waarden zijn direct aan de printplaatcomponenten gekoppeld en zo aan de productcomponenten gekoppeld, dat deze componenten meerdere waarden uit EcoScan kunnen bevatten. (Zoals "Plastics" en "Injection Molding").



Figuur 9: Componenten en chemische samenstelling



Figuur 10: Legenda Database Model

References

Aan alle componentdata zijn bronverwijzingen toegevoegd, die georganiseerd zijn in een tabel. Op deze manier is alle data achterhaalbaar.

Disassembly times

De disassembly tijden zijn overgenomen uit de QWERTY/EE methode (Huisman, 2005).

QWERTY-data

Aangezien het opnemen van de complete QWERTY-berekening in QUICK buiten de beschikbare tijd voor de opdracht viel, is slechts een gedeelte hiervan gerealiseerd. De verwerkingsbestemmingen zijn de eerste stap voor de berekening van de QWERTY % en de EOL-kosten. Met de realisatie hiervan kan met de bestaande middelen de berekening gemaakt worden.

4.4.2 Organisatie van benchmarks

Organisatie in Business Groups, Lines en Line Clusters

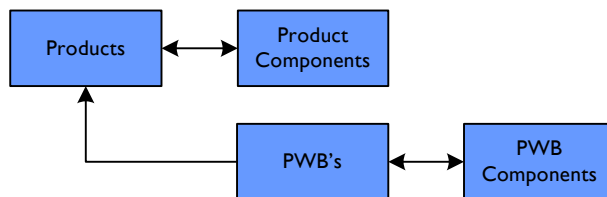
De benchmarks worden ingedeeld in de door Philips gebruikte Business Groups, Lines en Line Clusters. Door hier de datum van toevoegen en eventueel verwijderen aan te koppelen, wordt rekening gehouden met veranderingen in deze structuur (PCE, 2005).

Organisatie in Product Categories

Naast bovengenoemde indeling, wordt er ook gebruik gemaakt van een indeling in productcategorieën.

Producten

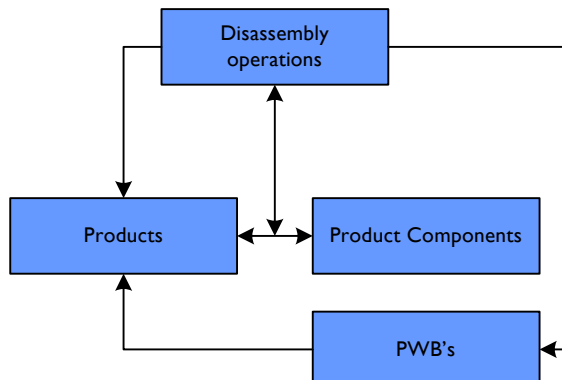
De producten die zich onder een benchmark bevinden beschikken over componenten, printplaten en componenten op deze printplaten. Deze scheiding is aangebracht, omdat printplaten in het systeem extra mogelijkheden nodig hebben. Op deze manier kan de printplaatanalyse zoals beschreven in hoofdstuk 3 zeer flexibel geïmplementeerd worden.



Figuur 11: Componenten in producten

Disassembly Operations

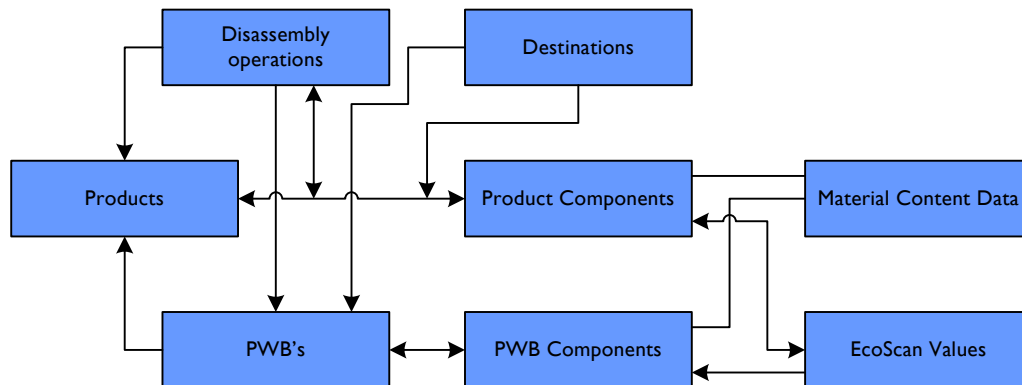
De disassembly operations worden toegevoegd aan alle niveaus van het product, aangezien dit de enige juiste manier is om deze correct op te nemen. Ook zijn er disassembly operations die automatisch toegevoegd worden, bijvoorbeeld aan het product ("place on this disassembly line") of aan schroeven in het product ("take tools"). De manier waarop de disassembly operations gekoppeld zijn aan producten is weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12: Disassembly operations

4.4.3 Overzicht van QUICK databases

Om een klein overzicht te geven van de totale database zijn in Figuur 13 de omschrijvingen van de belangrijkste structuren in kaart gebracht. In dit overzicht zijn de benchmarks niet opgenomen, omdat die vallen onder de structurering van de producten. Voor de complete database, inclusief tabel- en kolomnamen, wordt verwezen naar Appendix II. De berekening van de benchmarkresultaten is weergegeven in Appendix VI.



Figuur 13: Overzicht databasestructuur

4.4.4 Structurering van gegevens

Voor de organisatie van alle gegevens kan bij voorkeur een mapstructuur (een tabel met mappen die recursieve relaties hebben) gebruikt worden, maar binnen de programmatuur Microsoft Access geeft dit geen mogelijkheden om een bedienbare interface te ontwikkelen. Een mapstructuur geeft de mogelijkheid om informatie op verschillende niveaus onder te brengen en is dus een uiterst flexibele manier om gegevens te structureren. Aangezien een mapstructuur niet tot de mogelijkheden behoort, heb ik gekozen om de verschillende groeperingen in tabellen onder te brengen. Dit heeft als nadeel dat het aantal niveaus van de indeling altijd vast ligt en dat de database groter wordt dan noodzakelijk.

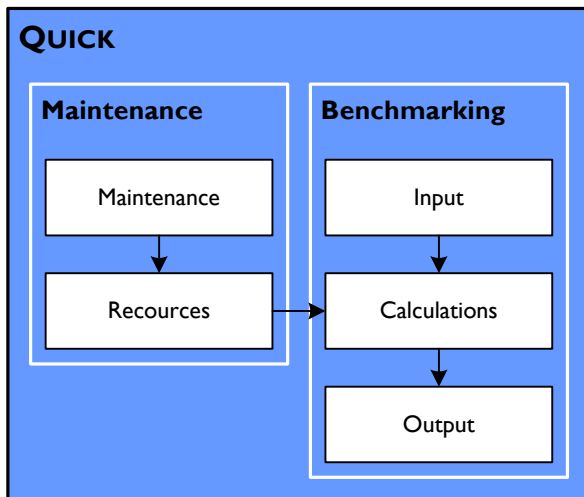
4.5 Ontwerp User Interface

In deze paragraaf zal het ontwerp van de User Interface van QUICK worden toegelicht. Aan de hand van verschillende gebruikers zal de structuur van het programma worden verantwoord en zullen verscheidene verbeteringen in de benchmark worden geïmplementeerd.

4.5.1 Structuurontwerp

Naast de functionaliteit om producten te benchmarken moet QUICK ook functionaliteit bieden om de database te onderhouden en te controleren, waarin zoveel mogelijk moet worden aangesloten op de wensen van de verschillende gebruikers (zie Tabel 8).

Deze indeling, waarin de benchmarker de meeste tijd met QUICK zal werken, vraagt om een overzichtelijke structuur in de programmatuur, waarin gebruikers zo min mogelijk geconfronteerd worden met data die goed beschermd moet worden. Om deze reden zijn de resources ondergebracht in een losse applicatie. De opzet van de QUICK applicaties (QUICK Maintenance en QUICK Benchmarking) is weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14: QUICK structuur

In de volgende paragrafen zal achtereenvolgens QUICK Benchmarking en QUICK Maintenance worden beschouwd en verantwoord aan de hand van verbeteringspunten uit de oude benchmark, nieuwe problemen en de stroomlijning van de benchmark.

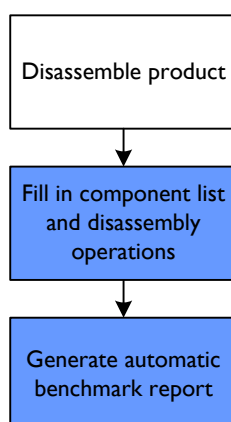
4.5.2 QUICK Benchmarking

Vanuit de analyse van de huidige recyclability benchmark (hoofdstuk 2) zijn een aantal verbeteringspunten opgesteld aan de hand waarvan de user interface voor de benchmarkers is opgesteld. Deze verbeteringen waren:

- Houdt de benchmark zo kort mogelijk en zorg ervoor dat nieuwe benchmarkers snel ingewerkt zijn
- Stroomlijn de controle van de invoer, aangezien EcoScan hierin tekort schiet
- Stroomlijn de benchmark door de invoer van de metingen en het genereren van de resultaten te vereenvoudigen
- Leg de stappen om de samenstelling van printplaten te schatten vast
- Biedt in de programmatuur mogelijkheden om deze stappen te efficiënter te maken

Stroomlijning van de benchmark

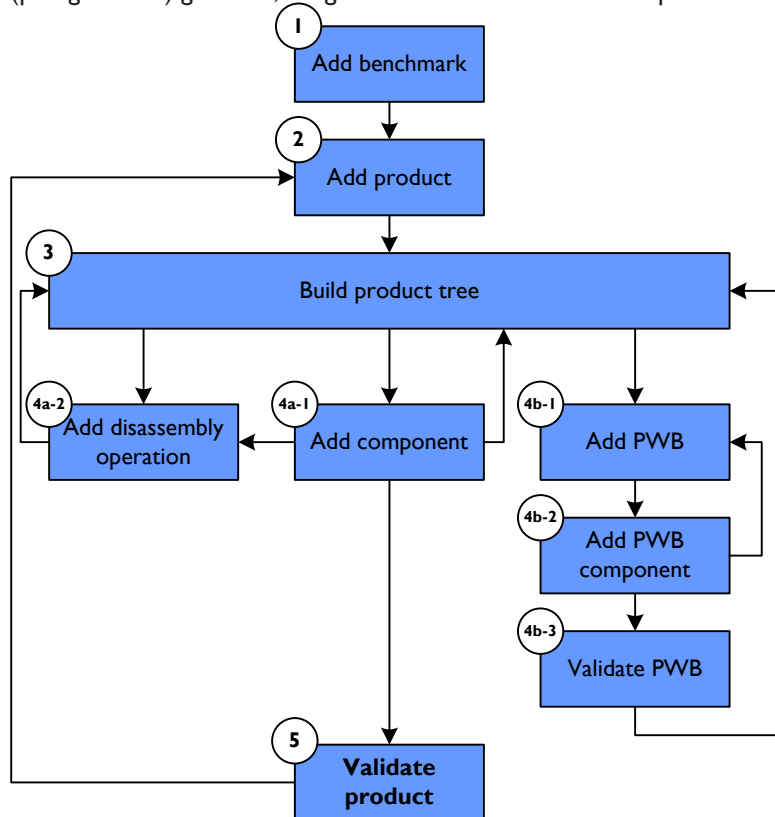
Het beoogde gestroomlijnde verloop van de benchmark is weergegeven in Figuur 15. Na het disassembleren van het product en het opstellen van een componentenlijst en disassembly operations zou een druk op de knop voldoende moeten zijn om een rapport te genereren.



Figuur 15: Stroomlijning van recyclability in de benchmark

Met het vastleggen van de Way of Working voor het schatten van printplaatsamenstellingen en het opnemen van de stappen in de programmatuur kan de benchmarkprocedure worden gestroomlijnd. De Way of Working

zoals deze is opgesteld om gebruikt te worden binnen QUICK, is weergegeven in Figuur 16. De gebruiker wordt gedwongen alle stappen te nemen en de pijlen te volgen, door de manier waarop de interface is ontworpen. Alle stappen beslaan een venster in de interface. In dit model is voor het PWB schattingsmodel uit concept 1 (paragraaf 3.4) gekozen, aangezien de realisatie van concept 2 binnen de gegeven tijd niet haalbaar is gebleken.



Figuur 16: Way of working voor het toevoegen van benchmarks

Schermontwerp

Gezien het aantal schermen in QUICK Benchmarking is het onmogelijk en oninteressant alle schermen in deze paragraaf te verantwoorden. Om deze reden zijn de schermen weergegeven in een flowchart in Appendix III. Voor het ontwerp van de schermen heb ik een aantal richtlijnen gehanteerd, waarmee nieuwe gebruikers het programma zich zo snel mogelijk eigen kunnen maken:

- Maak de schermontwerpen zo eenvoudig mogelijk
- Maak de gebruiker duidelijk wat er moet gebeuren en wat er gebeurt
- Wijk zo min mogelijk af van de gebruikte standaarden in user interface ontwerpen

Componentherkenning

Een belangrijk onderdeel van de benchmark user interface om de efficiëntie te vergroten is het stroomlijnen van de herkenning van onderdelen. Vooral op printplaten kan dit een erg lastige klus zijn, waar de huidige benchmarkers zelf expertise in op dienen te bouwen om dit efficiënt te kunnen doen. Zoals in hoofdstuk 3 is geconcludeerd, kan componentherkenning aan de hand van grafische voorbeelden van componenten nieuwe gebruikers sneller op weg helpen.

Component Input

1 Select category: IC's

2 Select group: Surface Mount Packages, Through Hole Mount Packages

Package is mount through holes on the PWB

3 Select Component:

Package	Weight	Size
0 - 10 pins	2.394 g	7x18x3 mm
10 - 20 pins	2.716 g	8x20x3 mm
20 - 40 pins	3.887 g	12x31x4 mm
40 - 80 pins	6.7 g	15x51x4 mm

4 Fill in the number of components: 5 pieces

Buttons: Cancel, OK

Figuur 17: Component Input screen voor printplaten

Het 'Component Input' scherm zoals hierboven wordt getoond (stap 4b-2 in Figuur 16), begeleid de gebruiker met het kiezen van een component met de volgende middelen:

- Een grafisch voorbeeld van het component
- Een beschrijving van het component
- Een keuze uit packages die van elkaar te onderscheiden zijn (de keuze voor pins, cm, cm² of cm³ kan worden beheerd met QUICK Maintenance)
- Een schatting op basis van aantal in plaats van gewicht, dat lastig te schatten is
- Een genummerde stappenbeschrijving

Het kiezen van componenten van het product werkt op een vergelijkbare wijze als in Figuur 17. De plaatjes van printplaatcomponenten zijn opgenomen in Appendix V.

Validatie

Het gewicht van alle componenten op de printplaat of in het product moet gelijk zijn aan het gemeten gewicht van het totaal, om fouten in de berekening van de benchmarkresultaten te voorkomen en om de schatting te optimaliseren. Met het vastleggen van de validatie van zowel printplaten als gehele producten, wordt de gebruiker gedwongen het gemeten gewicht te controleren met de ingevoerde gegevens. QUICK assisteert de gebruiker hierin, door voor kleine correcties de gebruiker de keuze te bieden het verschil automatisch te corrigeren op de gekozen componenten. Standaard corrigeert QUICK bij printplaten op het laminaat, aangezien in het gewicht hiervan de grootste onnauwkeurigheid zit. Het validatiescherm voor PWB's is weergegeven in Figuur 18.

Category	Type	Component	Number	Weight (Current) / Weight (Corrected)	% of original value
☐ IC's	Surface Mount Pack	80 - 160 pins	7	20.3 g / 20.3 g	100 %
☒ Other	Heatsink (aluminium)	Measure Weig	20	20 g / 22.1 g	110.5 %
☐ Transistors	Surface-mount power	1 - 2 cm3	3	16.3 g / 16.3 g	100 %
☐ Small (SMD)	SMD	0 - 0.1 cm3	120	8.8 g / 8.8 g	100 %
☐ Connectors	Metal casing	Measure Weig	8	8 g / 8 g	100 %
☐ Capacitors	Elco	0 - 1 cm3	15	8 g / 8 g	100 %
☒ Laminate	FR4	/cm2	15	5.1 g / 5.6 g	110.5 %
☐ Diodes	Leaded diodes	0 - 0.2 cm3	5	1 g / 1 g	100 %

Figuur 18: Validatie van een printplaat

Rapportage

De rapportage van de benchmark kan automatisch worden gegenereerd, waarna deze door de benchmarkers geïnterpreteerd en verwerkt kan worden. Een voorbeeldrapportage van een product is opgenomen in Appendix VII, de berekening van de eindresultaten in Appendix VI.

4.5.3 QUICK Maintenance

Het onderhoud van de resources van QUICK moet correct en inzichtelijk gebeuren om te garanderen dat de benchmarkresultaten kloppen en dat gebruikt wordt gemaakt van recente data. In deze paragraaf zal uiteen worden gezet op welke manier QUICK de gebruiker de mogelijkheid geeft om de resources op de juiste manier te onderhouden. Alle schermen van QUICK Maintenance zijn weergegeven in de flowchart in Appendix IV.

Beveiligingen tegen incorrecte invoer

Zowel in de database zelf als in de programmatuur zijn een aantal beveiligingen tegen het invoeren van incorrecte gegevens ingebouwd. Hoewel niet verwacht kan worden dat het programma de betekenis van getallen kan controleren, kan wel worden voorkomen dat sommatiewaarden incorrect zijn (vergelijkbaar met de validatie stap in de vorige paragraaf) of dat getallen te groot of te klein zijn. De meest omvangrijke beveiliging is de beveiliging om te garanderen dat $\Sigma(\text{massaverhoudingen van materialen in componenten}) = 1$.

Controle van invoer

In QUICK Maintenance zijn een aantal automatische rapporten en exportfuncties ingebouwd, waarmee een overzicht kan worden verkregen van de data die gebruikt wordt. In Appendix VI is een overzicht van alle gebruikte samenstellingen van componenten gegeven.

Efficiëntie

Alle resources die onderhouden moeten worden zijn toegankelijk via de interface, die op een zelfde manier is ontwikkeld als de benchmarkinterface. Bovendien zijn waar mogelijk extra opties gegeven om de invoer te versnellen (bijvoorbeeld voor het toevoegen van legeringen aan een component). Alle schermen in de applicatie zijn weergegeven in de flowchart van Appendix IV.

4.5.4 QUICK Manual

Om startende gebruikers op weg te helpen is een korte handleiding voor QUICK Benchmarking en Maintenance geschreven. Deze is opgenomen in Appendix VIII. Het doel van de handleiding is voornamelijk het wegwijs maken van startende gebruikers, inzicht geven in de werking van de applicaties, maar niet het beschrijven van het resultaat van alle handelingen van de gebruiker, aangezien er een beperkte tijd beschikbaar was om de handleiding te schrijven.

5 Toekomst van Quick

5.1 Introductie

Onderzoeksvraag 4:

Hoe verhoudt de efficiëntie van de huidige en de nieuwe benchmarkmethode zich tot elkaar?

Het ontwerp uit hoofdstuk 4 is een combinatie geweest van ontwerpen en realiseren, waarbij de realisatie en het ontwerp vaak samen zijn gegaan in het proces. In dit hoofdstuk zal worden beschouwd wat er nog moet gebeuren aan QUICK en welk onderhoud het nodig zal hebben om te kunnen beschouwen hoe de efficiëntie zich heeft ontwikkeld ten opzichte van de huidige benchmark. Ook zullen aanbevelingen voor verdere ontwikkeling van QUICK worden gedaan.

5.2 Huidige stand van realisatie

De opgeleverde versie van QUICK bestaat uit twee geheel functionerende applicaties, waarbij echter dient te worden aangetekend dat deze wegens een beperkte tijd niet uitvoerig getest zijn. In deze paragraaf zal de huidige status van de realisatie worden toegelicht en zal worden uiteengezet wat er nog aan QUICK moet gebeuren, voordat het in gebruik genomen kan worden.

5.2.1 Outputs

Een aantal outputs, zoals omschreven in de functionele omschrijving van QUICK (paragraaf 4.2.1) zijn volledig gerealiseerd, terwijl anderen gedeeltelijk of niet gerealiseerd zijn. In onderstaande tabel is weergegeven welke outputs zijn gerealiseerd.

Output	Gerealiseerd	Toelichting
Disassembly tijden uit ervaringswaarden van Sims Mirec	Ja	
Assemblytijd	Nee	Vereist ontwikkeling voordat het in QUICK opgenomen kan worden
QWERTY-scores	Gedeeltelijk	De doorgronding van QWERTY viel buiten de scope van het project. Wel is er aansluiting gerealiseerd met de bestaande methode
PWB Recyclability	Nee	Beperkte tijd
LCP, Door gebruik van waarden uit EcoScan	Gedeeltelijk	De recyclability-waarden zijn beschikbaar, maar de rest van het LCP nog niet. De realisatie hiervan kost echter relatief weinig tijd
Estimation of chemical content	Ja	

Tabel 9: Gerealiseerde outputs van QUICK

5.2.2 Gebruikte gegevens

De gebruikte gegevens voor printplaten zijn door mij gedurende dit project verzameld en ingevoerd, waarbij het mogelijk is dat er fouten of verkeerde interpretaties zijn gemaakt. Een kritische blik naar alle gebruikte gegevens kan een positieve invloed hebben op de benchmarkuitkomsten, doordat eventuele fouten geëlimineerd worden.

5.2.3 Testen

Wegens tijdgebrek zijn slechts beperkte testen met de software uitgevoerd, terwijl juist intensief gebruik de meeste fouten aan het licht zou hebben gebracht.

5.2.4 User Interface

Hoewel gebruikstesten zijn uitgevoerd (Marinelli en Van den Berg, 2005), zullen een aantal onduidelijkheden in de interface nog bestaan in de minder geteste en gebruikte onderdelen.

5.2.5 Programmatuur

Door de keuze voor de programmatuur Microsoft Access, zijn aan Quick de nodige beperkingen opgelegd, die de User Interface minder efficiënt maken. Een optie zou zijn om over te stappen op andere en krachtiger programmatuur. Dit zou echter een erg arbeidsintensieve stap betekenen en relatief weinig functionaliteit toevoegen.

5.3 Onderhoud

De hoeveelheid onderhoud die QUICK (in voltooide staat) benötigt is mede verantwoordelijk voor de efficiëntie van de benchmark die bereikt kan worden. De volgende gegevens zullen moeten worden bijgehouden:

- Material content data
- EcoScan waarden

Material content data

De material content data moet worden geüpdate of ververs als nieuwe componenten in producten worden gevonden of als de samenstelling van componenten verandert. Aangezien de samenstelling van componenten in de huidige situatie niet wordt bijgehouden, zal dit meer tijd kosten. Vooral in snel ontwikkelende producten, zoals mobiele telefoons, zullen regelmatig nieuwe onderdelen moeten worden toegevoegd.

EcoScan waarden

Aangezien de huidige ontwikkeling van EcoScan een vraagstuk is (Bisschops, 2005), zal de vraag zijn in hoeverre er onderhoud aan de EcoScan waarden zal moeten worden gepleegd. In het geval van grote veranderingen zal als voorbereiding in QUICK meer flexibiliteit met EcoScan waarden moeten worden toegevoegd, bijvoorbeeld als een nieuwe Eco Indicator methode wordt ontwikkeld.

5.4 Efficiëntiebeschouwing

Om de huidige methode en QUICK met elkaar te kunnen vergelijken zou QUICK een tijd moet worden gebruikt, geëvalueerd en misschien aangepast. Aangezien dit nog niet gebeurd is en ik ook enkel kleine testsessies heb uitgevoerd wegens beperkte tijd, zal ik de efficiëntie van QUICK beschouwen aan de hand van de tijd die de benchmark zal kosten en de kwaliteit van de data die hij zal opleveren. Hiermee zal ik een vergelijking maken met de huidige situatie, zoals beschreven in hoofdstuk 2.

5.4.1 Tijd

In de ontwikkeling van QUICK is de huidige recyclability in de benchmarkprocedure op een aantal punten geanalyseerd en waar mogelijk gestroomlijnd. Ook is de hoeveelheid informatie die met de benchmark wordt verkregen groter en nuttiger, maar hiervoor moet wel meer onderhoud worden gepleegd aan de gebruikte database. In deze tijdsbeschouwing zal de tijd die de huidige benchmarkprocedure kost worden vergeleken met die van QUICK, er van uitgaande dat de eerste kinderziekten hierin zijn verholpen.

Stroomlijning van de benchmark

De benchmarkprocedure is in QUICK op de volgende manieren gestroomlijnd:

- De stappen in de Way of Working zijn opgenomen in de programmatuur, die extra mogelijkheden biedt in de uitvoering
- De schatting van de samenstelling van printplaten is vastgelegd in een procedure
- Componenten kunnen aan de hand van plaatjes worden herkend, zodat nieuwe gebruikers sneller ingewerkt zullen zijn
- De benchmark van recyclability vindt plaats in één programma
- Aan de hand van de benchmarkresultaten kan snel worden ingeschat welke en hoeveel hazardous substances zich in het product bevinden en of hiervoor chemische analyses gedaan moeten worden

Onderhoud

Het onderhoud van QUICK zal in vergelijking met de huidige methode meer tijd kosten, aangezien er meer informatie in opgeslagen is. Uit ervaring is gebleken dat de informatie iedere twee jaar bijgewerkt moet worden (Looren de Jong, 2005). De precisie van de benchmark zal tot op zekere hoogte wel toenemen met het regelmatig toevoegen van nieuwe informatie.

Conclusie

QUICK kost meer onderhoud, maar vangt dit tijdverlies op met een efficiëntere benchmarkprocedure, die vooral bij nieuwe gebruikers tijdswinst op zal leveren. Om deze reden is het haast onmogelijk een cijfermatige indruk te geven van de tijdswinst of het verlies dat geboekt kan worden, maar mijn indruk is dat het ongeveer gelijk zal blijven. Er wordt immers efficiënter gebenchmarkt, maar er zal meer onderhoud moeten plaatsvinden.

5.4.2 Kwaliteit

De kwaliteit van de benchmark hangt af van de kwaliteit van de data die opgeleverd wordt en de vraag of deze informatie relevant is voor de benchmark. In deze kwaliteitsbeschouwing zal worden beschouwd in welke mate de kwaliteit met QUICK ten opzichte van de huidige methode is toegenomen.

De manier waarop de nieuwe resultaten zich verhouden tot de huidige is weergegeven in onderstaande tabel.

Huidige methode	QUICK	Kwaliteit
MRE	QWERTY	De MRE berekent aan de hand van een sterk versimpeld product een recyclingpercentage, QWERTY doet dit op een wetenschappelijke wijze en levert nuttiger informatie (kosten en WEEE target-waarden)
	Chemical Content	De schatting van chemical content gaat op basis van ongeveer 120 materialen op basis van een groot aantal componenten, in de MRE gebeurt dit op basis van 10 materialen en 10 componenten, waarin sommige productinformatie verloren gaat.
Disassembly tijden uit Salemink en Brouwer	Disassembly tijden uit ervaringswaarden van Sims Mirec	Binnen het PCE SC worden de disassembly tijden uit ervaringswaarden bij Sims Mirec als beter bevonden dan de huidige Salemink en Brouwer tijden.
LCP	LCP (waarden uit EcoScan)	De LCP verandert niet, want hij werkt op basis van dezelfde waarde. Wel kunnen er kleine verschillen met de huidige methode optreden door het gebruik van een ander component in de database.

Tabel 10: Kwaliteitsvergelijking tussen QUICK en de huidige methode

Een punt van kritiek is wel dat de nuttigheid van de informatie uit QWERTY, de MRE en de LCP vaak matig communiceerbaar is naar de business, aangezien dit geen concrete eenheden maar recyclingpercentages (QWERTY en MRE) en milieupunten (LCP) zijn. Ook zouden in de schatting van de chemische samenstelling marges kunnen worden aangegeven, om de resultaten beter te verantwoorden.

Conclusie

De kwaliteit van de gegevens die QUICK oplevert is een sterke verbetering van de resultaten van de huidige methode. De data is nauwkeurig en relevanter voor de benchmark, aangezien er vergeleken kan worden op relevantere aspecten en er gebruik wordt gemaakt van meer en betere informatie.

5.4.3 Conclusie efficiëntiebeschouwing

De efficiëntie van de benchmark kan met het gebruik van QUICK omhoog gaan, aangezien er in ongeveer gelijke tijd betere en meer resultaten behaald kunnen worden in de benchmark. Met de extra informatie die de benchmark oplevert is het benchmarken van de PWB's nuttiger geworden, aangezien de hieruit verkregen informatie nu een rol speelt in het benchmarkresultaat (bepaalde stoffen komen voornamelijk voor in printplaten).

5.5 Conclusie en aanbevelingen voor de toekomst van QUICK

Hoewel QUICK nog niet geheel voltooid is, is de huidige versie al bruikbaar om benchmarks uit te voeren en kan deze versie informatie opleveren die zeer relevant is voor de benchmark, zodat een hogere efficiëntie wordt behaald dan met de huidige methode.

Als aanbevelingen voor de schattingsmethode voor de materiele samenstelling voor producten dient te worden meegenomen dat het correcter is om hierin een marge toe te voegen.

Om het werk dat met QUICK gestart is goed te voltooien, zou een informaticastudent kunnen worden gevraagd het programma te voltooien en op een aantal punten misschien te verbeteren, misschien door het gebruik van andere programmatuur, zodat de beperkingen van Microsoft Access omzeilt kunnen worden.

Ook zou kunnen worden gedacht over het ontwerpen van een database voor de gehele benchmark, aangezien recyclability hierin het grootste obstakel vormt (Huisman, 2005).

6 Conclusie en evaluatie

6.1 Introductie

In het vorige hoofdstuk zijn de toekomst en mogelijk toekomstig gebruik van het benchmarktool **QUICK** beschouwd en zijn hier conclusies en aanbevelingen over gedaan. In dit hoofdstuk zal worden beschouwd in hoeverre in het project is voldaan aan de doelstelling en hoe het proces gedurende het project is verlopen.

6.2 Conclusies

De doelstelling voor deze bacheloropdracht heb ik als volgt geformuleerd:

‘Het evalueren van de mogelijkheden van de **QWERTY/EE** methode en mogelijke verbeteringen ten opzichte van de huidige methode op het gebied van het meten van recyclability in de environmental benchmark van het **PCE SC**, door een user interface voor de vernieuwde recyclability benchmark en een schattingsmodel voor de samenstelling van printplaten te ontwikkelen.’

Deze doelstelling heb ik aangepakt door te analyseren hoe de huidige benchmark verbeterd kan worden en hoe de samenstelling van printplaten efficiënt geschat kan worden. Vervolgens is een tool, **QUICK**, ontwikkeld waarin deze verbeteringen zijn gerealiseerd.

Over de huidige recyclability in de benchmark kan geconcludeerd worden dat het weinig resultaat oplevert, veel tijd kost en dat het schatten van de samenstelling van de printplaten zeer beperkt is. Om deze reden zijn de verbeteringen zowel te zoeken in het stroomlijnen van de meting van recyclability in de benchmark als in het genereren van betere benchmarkresultaten. Deze vernieuwde benchmarkresultaten kunnen goed voortkomen uit de eind- of tussenresultaten van de **QWERTY/EE** methode (Huisman, 2005).

Het schatten van de samenstelling van printplaten kan binnen het **PCE SC** het beste door de benchmarkers zelf worden gedaan, aangezien een model om dit te doen een te ingewikkelde oplossing met veel onderhoud zal zijn. De chemische samenstelling van alle typen printplaatcomponenten is uiteindelijk binnen het project verzameld, zodat het model kan functioneren binnen de gewenste eindresultaten.

In **QUICK** is zowel de benchmark gestroomlijnd als een groot deel van de beoogde resultaten gerealiseerd. Gesteld kan worden dat door het stroomlijnen en het verbeteren van de resultaten de meting van recyclability in de environmental efficiënter kan worden.

De huidige realisatiestatus van **QUICK** is dat het tool al gebruikt kan worden om benchmarks mee te doen, maar dat nog niet alle resultaten automatisch verkregen kunnen worden. Mijn belangrijkste aanbeveling hiervoor is om het werk te laten voltooien door een student of professional uit het betreffende vakgebied.

6.3 Procesevaluatie

In deze paragraaf zal ik een korte evaluatie maken van het proces om tot het eindresultaat te komen en aangeven wat ik binnen deze opdracht geleerd heb.

In de aanvang van de opdracht was binnen het **PCE SC** niet helder hoe mijn opdracht eruit zou zien en wat mijn doelstelling hierin precies zou zijn. Na een eerste overleg is de doelstelling voor de opdracht vastgelegd op het vervaardigen van een schattingsmodel voor de samenstelling van PWB's, maar dat heb ik in overleg uitgebreid met het maken van een interface voor de **QWERTY/EE** methode. In dit traject had ik de opdracht beter kunnen afbakenen, om de hoeveelheid werk die het zou gaan kosten te kunnen voorkomen. Door de gekozen opdracht

heb ik echter wel de mogelijkheid gehad mij in meerdere onderwerpen te verdiepen, wat goed is geweest voor de afwisseling van activiteiten in de loop van het project.

Gedurende het hierop volgende analysetraject heb ik veel initiatieven genomen om informatie te verkrijgen, zowel binnen het PCE SC als erbuiten. Gedurende het project heb ik een bezoek gebracht aan een recyclingbedrijf, Sims Mirec, en aan diverse personen binnen Philips met kennis over specifieke gebieden.

In de synthesefase van de opdracht heb ik me verdiept in het databaseontwerp en de realisatie, een kennisgebied waarmee ik zeer weinig ervaring had voor de aanvang van de opdracht. Hierbij heb ik kennissen met een informaticaachtergrond wanneer nodig om advies gevraagd, maar aan het eind bleek dit niet meer nodig. Aangezien de synthesefase een groot gebied besloeg, heeft deze mij ook zeer veel werkuren gekost.

Tot slot kan geconcludeerd worden dat 12 weken voor een programma als QUICK misschien een erg korte tijd is, dus ik hoop dat het project kan worden voortgezet, zodat de puntjes op de i kunnen worden gezet.

De vaardigheden die ik gedurende het traject van de bacheloropdracht geleerd heb, zijn:

- Initiatief nemen
- Afbakenen opdracht

Daarnaast heb ik veel nieuwe kennis opgedaan gedurende het traject:

- Benchmarking
- Printplaten
- Recycling
- Milieuwetgeving
- Milieu binnen een groot bedrijf
- Databases
- Programmeren
- User Interfaces

Naast deze vaardigheden en kennis is ook het werken in een groot bedrijf op zich een zeer leerzame ervaring voor mij geweest, waarbij ik de mogelijkheden binnen Philips die ik heb gekregen zeer heb gewaardeerd en benut.

Bronnen

Agere Systems, (bezocht juli 2005), IC Product Composition Guide, <http://www.agere.com/ehs/iccomp/index.html>.

Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment", 2003, <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0095:EN:HTML>.

Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE), 2003, <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0096:EN:HTML>.

Doosan Electro Materials, (bezocht juli 2005), Material Safety Data Sheet, http://www.dse.co.kr/product/ccl_msds.php?iCheck=1.

EPCOS, (bezocht juli 2005), Material Data Sheets, <http://www.epcos.com/environment>
Philips Semiconductors, (bezocht juli 2005), IMPULSE Application, <http://pww.impulse.sc.philips.com>.

Huisman, J., 2003, "The QWERTY/EE Concept", Quantifying Recyclability and Eco-Efficiency for End-of-Life Treatment of Consumer Electronic Products, Thesis Technische Universiteit Delft, Delft.

Philips Applied Technologies, juni 2005, persoonlijke communicatie met Marielle Bisschop, Eindhoven.

Philips Applied Technologies, juni 2005, SimaPro database 6.0.

Philips Consumer Electronics Sustainability Center, mei-juli 2005, persoonlijke communicatie met M. ten Houten, T. Marinelli, F. van den Berg, H. Looren de Jong, J. Huisman, M. Weeber, Eindhoven.

Philips Consumer Electronics, 2004, Environmental Benchmark 19" LCD Monitors, AR17-C04-5051-018, Eindhoven.

Philips Consumer Electronics, 2004, Environmental Benchmark 23" LCD Television, AR17-C04-5051-009, Eindhoven.

Philips Consumer Electronics, 2004, Way of Working Environmental Benchmark, "Comparison of consumer products with competitors for determination of Green Flagship products", AR17-G02-5000-004, Eindhoven.

Philips Consumer Electronics, 2005, Environmental Benchmark 28" CRT Mainstream TV, AR17-C05-5051-012, Eindhoven.

Philips Consumer Electronics, 2005, Environmental Benchmark 37" LCD TV, AR17-C05-5051-014, Eindhoven.

Philips Consumer Electronics, F. van de Berg, 2005, Optimisation of the environmental benchmark procedure, Eindhoven.

Philips Consumer Electronics, P. Mataheroe, G. Doods, 2004, Way of working environmental benchmark, "Comparison of consumer products with competitors for determination of Green Flagship products", AR17-G02-5000-004, Eindhoven.

Philips SemiConductors, 1999, Integrated Circuit Packages, "Data Handbook SC18", Eindhoven.

Philips SemiConductors, 2000, Integrated Circuit Packages, "Data Handbook IC26", Eindhoven.

Philips Semiconductors, 2003, Chemical Content of Semiconductor Devices, Eindhoven.

Philips SemiConductors, juni 2005, persoonlijke communicatie met Jacques Mohr, Eindhoven.

Royal Philips Electronics, (bezocht mei 2005), <http://www.philips.com>.

Sims Mirec, (bezocht mei 2005), <http://www.mirec.nl>.

ST Microelectronics, 2004, Chemical Content of Semiconductor Packaging, 3th edition, <http://www.st.com/stonline/company/envirom/report03/envi03.pdf>

Ullman, J.D., Widom, J., 1997, A First Course In Database Systems, Prentice-Hall Inc. New Jersey, United States of America.

ZVEI, (bezocht juli 2005), Material Contents Data, <http://www.zvei.org/index.php?id=1155>

Terminologie

Definities

Disassembly

Disassemblage van een product binnen een recyclingbedrijf tot verschillende verwerkingsfracties.

Eco-efficiency

De verhouding tussen EOL kosten/opbrengsten en de milieubelasting (mPt).

EcoScan

Software om LCP's te berekenen op basis van de EI-99 methode, ontwikkeld door TNO Industry.

Environmental benchmark

Een benchmark op milieuaspecten, waarin PCE producten worden vergeleken met naaste concurrenten.

Green Flagship

Status van een product dat als milieuvriendelijkst uit de environmental benchmark komt.

Green Focal Area

Onderzoeksgebied binnen de 'Environmental Benchmark'.

Recyclability

Mate waarin het onderzochte product kan worden gerecycled.

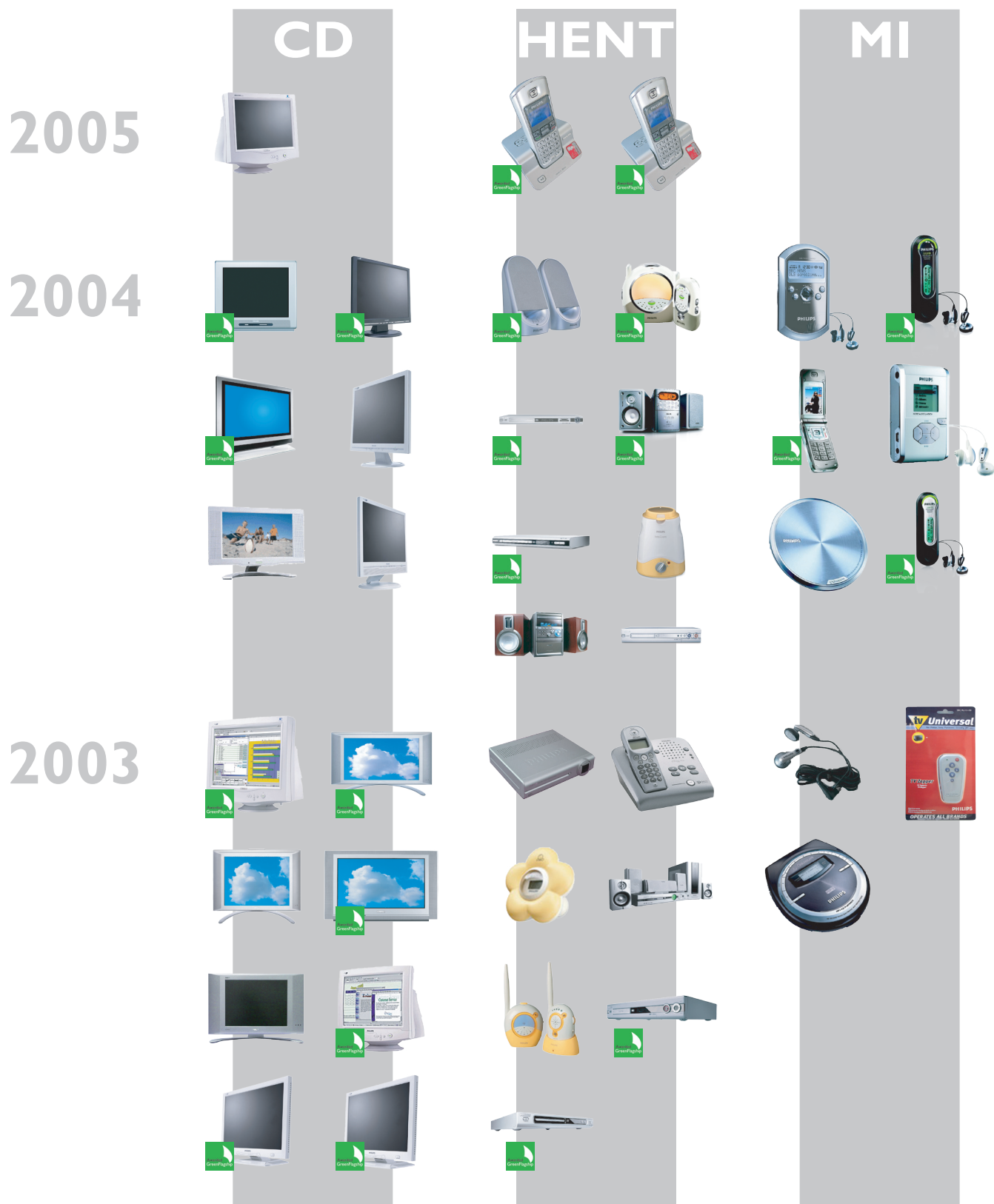
Afkortingen

BG	Business Group
CD	Connected Displays
EI-99	Eco-Indicator 99 (LCA methode)
EOL	End-of-life
EuP	Energy-using Products
GFA	Green Focal Area
HENT	Home Entertainment Networks
IC	Integrated Circuit
LCA	Life Cycle Assessment
LCP	Life Cycle Perspective
MI	Mobile Infotainment
MRE	Material Recycling Efficiency
PCB	Printed Circuit Board (PWB, printplaat)
PCE	Philips Consumer Electronics
PWB	Printed Wiring Board (Printplaat)
QUICK	QWERTY User Interface for Chemical content
QWERTY/EE	Quotes for environmentally WEighted Recyclability/Eco Efficiency
REACH	Registration, Evaluation and Authorisation of CHemicals
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
SC	Sustainability Center
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment

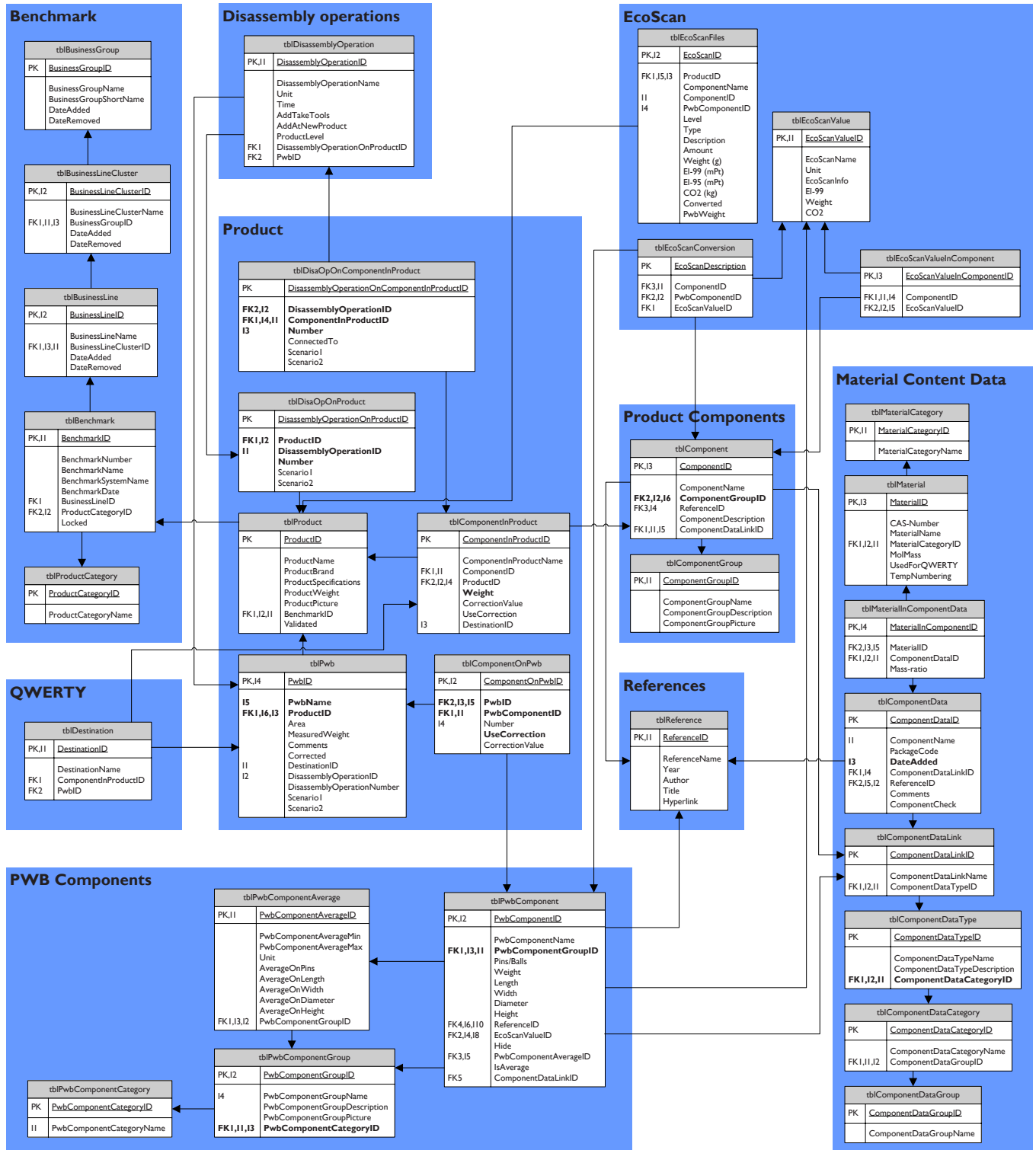
Appendix

I	Overzicht benchmarkproducten 2003-start 2005.....	48
II	Databasestructuur QUICK.....	49
III	Flowchart QUICK Benchmarking	50
IV	Flowchart QUICK Maintenance	51
V	Printplaatcomponent herkenning.....	52
VI	Berekening benchmarkresultaten.....	54
VII	Voorbeeld benchmarkrapport.....	55
VIII	QUICK Manual	M-I

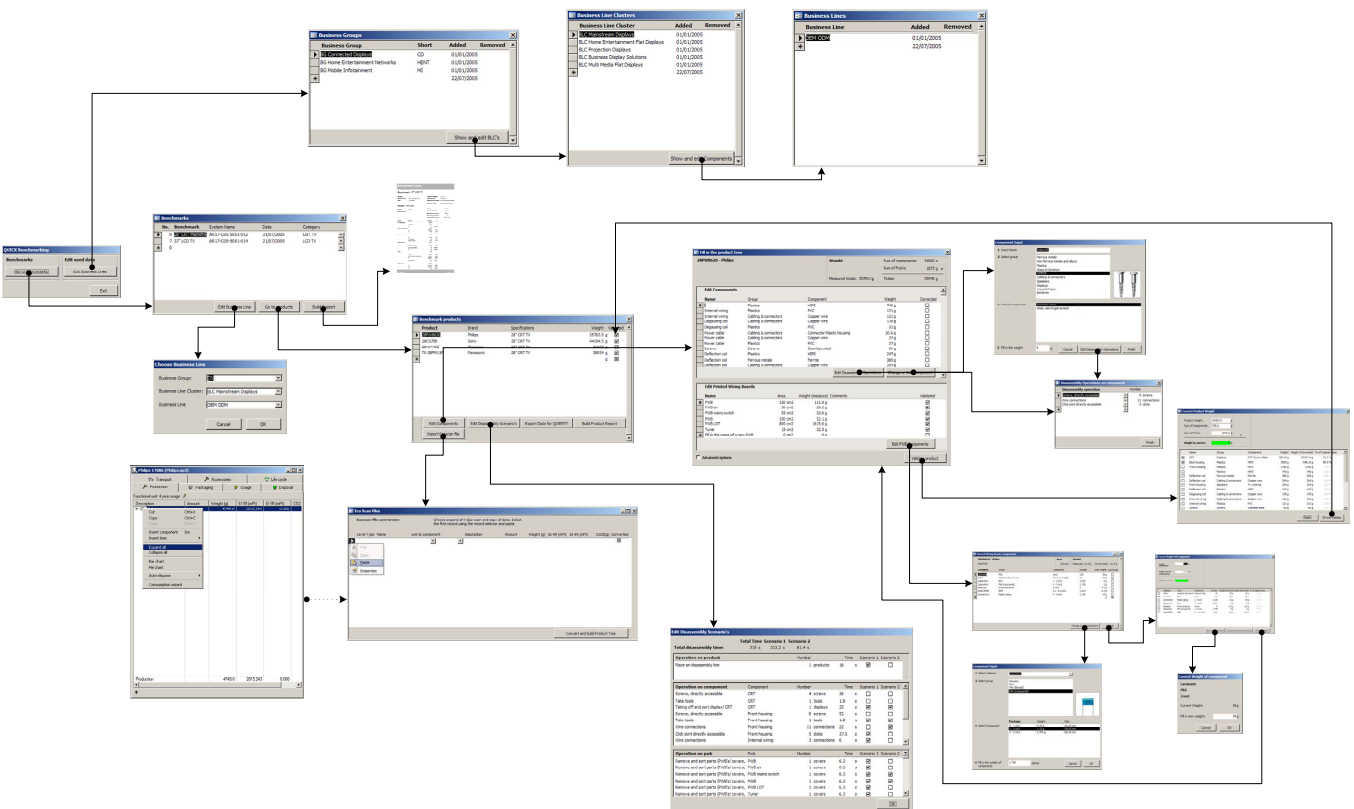
I Overzicht benchmarkproducten 2003-start 2005



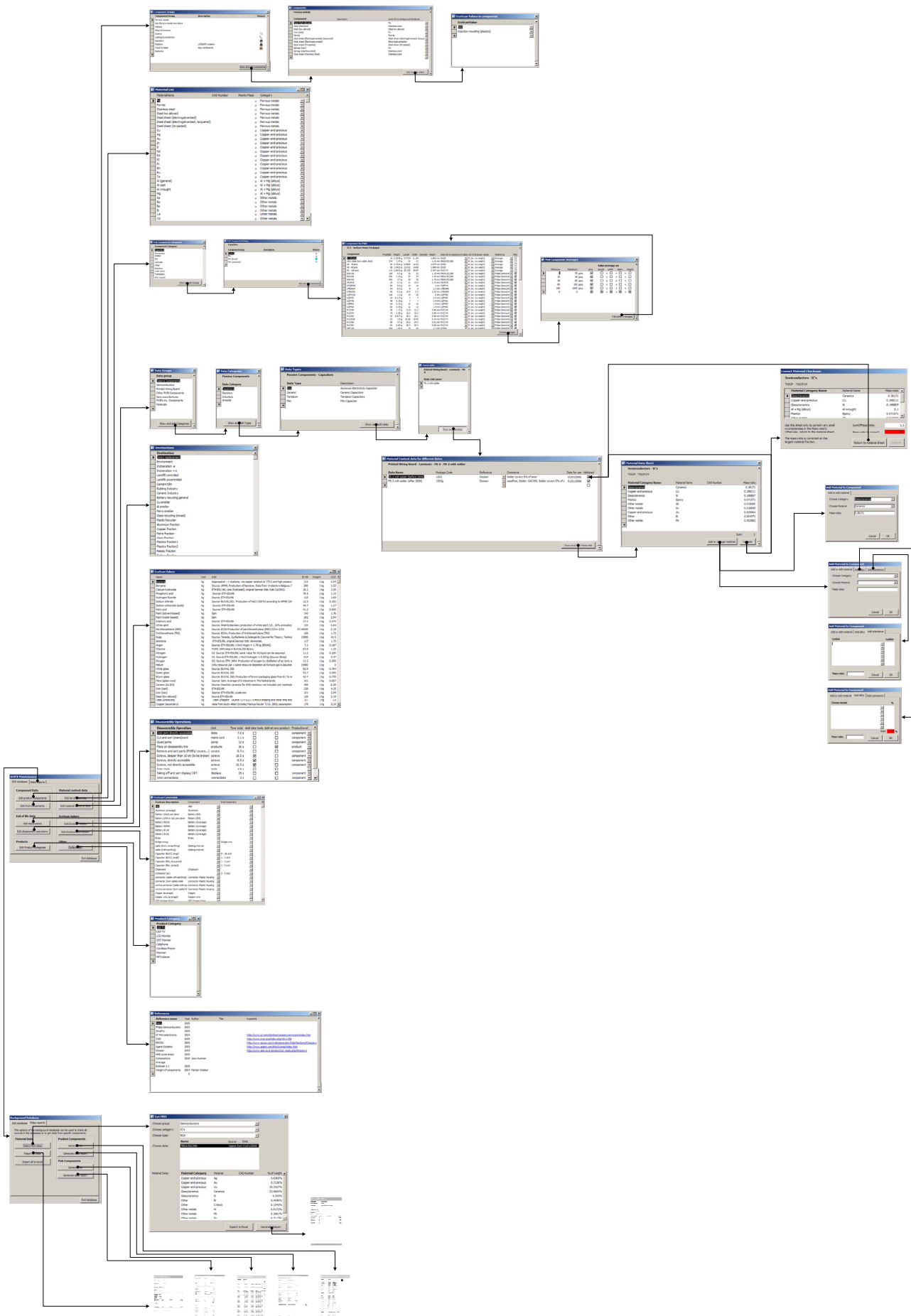
II Databasestructuur QUICK



III Flowchart QUICK Benchmarking



IV Flowchart Quick Maintenance



V Printplaatcomponent herkenning

PWB Component pictures

	Picture	Description
Capacitors		
Film (Boxed)		
Elco		
Ceramic		
Film (Lacquered)		
Connectors		
Plastic casing		
Metal casing		
Diodes		
Leaded diodes		
Glass-bead rectifiers and stacks		
IC's		
Surface Mount Packages		Package is mount on the surface of the PWB
Through Hole Mount Packages		Package is mount through holes on the PWB
Laminate		
FR4		Colour: Green
FR2		Colour: Light brown
Other		
Heatsink (aluminium)		

	Picture	Description
Steel sheet, Tin plated		
Silicon gel		
Relais		
Bridge wiring		
Resistors		
R-Conventional		
Small (SMD)		
SMD		
Glass diode/rectifiers, SMD		
Transistors in plastic package, SMD		
Transistors		
Surface-mount power transistors in plastic package		
Power transistors/diodes in plastic package		
Magnetic Sensor Packages		
Small Signal transistors and sensors in plastic p.		
Ceramic transistors		
Wire wound		
Line output transformer		
Wirewound		

VI Berekening benchmarkresultaten

In deze Appendix zal worden weergegeven hoe de resultaten in de benchmarkrapporten (voorbeeld in Appendix VII) worden berekend.

	Naam	Toelichting
CO^2	CO^2	CO^2 -productie
cv	Correction Value	Correctiewaarde voor automatische gewichtscorrectie
n	Number	Aantal printplaatcomponenten
m_{ES}	Weight EcoScan Component	gewicht van het component in EcoScan, op basis waarvan de Environmental Impact waarden gegeven zijn
m_{Frac}	Weight Material Fraction	Gewicht van een specifiek materiaal in het product
m_{PWB}	Weight PWB comp.	gewicht van een PWB component (opgeslagen in de database)
m_{Prod}	Weight Product comp.	Gewicht van een product component (gemeten door de gebruiker)
m_{Pt}	Environmental Impact	Milieubelasting in mPt
mr	Mass ratio	Massaverhouding van een materiaal ten opzichte van het component waarin het zich bevindt
s	Disassembly Time	tijd voor disassemblage bij recyclers

Tabel II: Variabelen voor berekening eindwaarden

De totaalgewichten van alle materialen in het product worden als volgt berekend:

$$m_{Frac} = \sum (n \cdot m_{PWB} \cdot cv \cdot mr) + \sum (m_{Prod} \cdot cv \cdot mr)$$

Vergelijking 1: Material Fractions

De EcoScan waarden worden met behulp van de volgende vergelijking berekend:

$$\sum mPt = \sum \left(n \cdot m_{PWB} \cdot cv \cdot \frac{mPt}{m_{ES}} \right) + \sum \left(m_{Prod} \cdot cv \cdot \frac{mPt}{m_{ES}} \right)$$

$$\sum CO^2 = \sum \left(n \cdot m_{PWB} \cdot cv \cdot \frac{CO^2}{m_{ES}} \right) + \sum \left(m_{Prod} \cdot cv \cdot \frac{CO^2}{m_{ES}} \right)$$

Vergelijking 2: EcoScan waarden

VII Voorbeeld benchmarkrapport

Benchmark Data

Benchmark 32" LCD Flat TV

Number	10	Product Category	LCD TV
System name	AR17-C04-5051-013	Business Line	Upmarket Flat Displays Br
Date	02/08/2005	Business Line Cluster	BLC Home Entertainment
		Business Group	BG Connected Displays

Product 32PF9956

Brand	Philips	Weight	27834.4 g
Specifications	32" LCD Flat TV	Disassembly time:	77 s
		EcoScan Production:	8669.6 mPt
		EcoScan CO2:	115.4 kg

Category	Material	Weight (g)
Al + Mg (alloys)		1511.9
	Al (general)	1511
	Mg	0.889
Copper-and-precious		442
	Au	0.071
	Cu	441
	Ta	0.895
Ferrous metals		4070
	Fe	3908
	Steel low alloyed	162
Glass/ceramics		6275.4
	Ceramics	2.39
	CRT-glass complete	3542
	Glass (white, R=60%)	2731
Other		38.1
	Br	11
	C-black	0.024
	O	0.051
	Other average	27
Other metals		5704
	Bi	0.002
	Cd	0.002
	Cr	0.802
	Ni	0.69
	Pb	0.221
	Sb	0.012
	Ti	0.26
	Zn	5702

Plastics	8750
ABS	4145
other plastics	4.52
PA (polyamide)	28
PBT (polybutadiene)	74
PC (polycarbonate)	2.36
PET	1.086
Plastics general	4243
PVC	252

VIII Quick Manual

QUICK

Qwerty User Interface for Chemical content

benchmarking and maintenance manual

version 2

Casper Tromp
05-08-2005

Contents

I	Getting started	M-2
1.1	Screen guide example	M-2
2	Quick Benchmarking.....	M-3
2.1	Way of working.....	M-3
3	Quick Maintenance	M-9
3.1	Database structure.....	M-9
3.2	Screen guide.....	M-9
4	Screen flow diagrams	
5	Database diagram.....	

In this manual the screen flow and database diagrams have not been included, because they are already shown in Appendices II, III and IV.

I Getting started

QUICK is a benchmarking tool for determining QWERTY scores, chemical content and disassembly times for benchmark products. The tool consists of an application for maintenance of the data and an application for adding and looking up the benchmark products (see Figure I.1). In this short manual the most essential screens and data structures will be explained for QUICK.

In chapter 2: QUICK Benchmarking the way of working for adding new products and the most essential screens of the QUICK benchmarking application will be explained. Chapter 3: QUICK Maintenance will cover the QUICK Maintenance application. All screens from both tools have been included in the screen flow diagrams (Chapter 4) in which it's possible to see which buttons have to be pressed to get the right screen. The complete database diagram has been included in chapter 4, to get an overview of all tables and structures used in the database. In this short chapter, the standard interface elements of both applications will be explained.

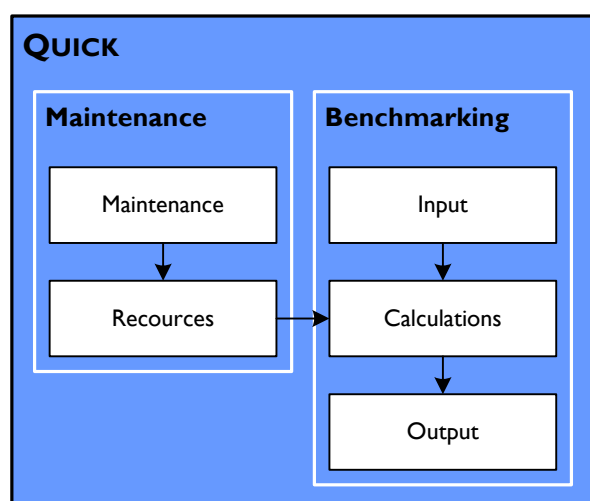


Figure I.1: QUICK structure

I.1 Screen guide example

Figure I.2 shows an example screen using the interface elements that will appear on most input screens. Use the record selectors to select and delete records. Use the input field of the last record to add a new row to the table. On some screens a specific button has to be pressed to add new records.

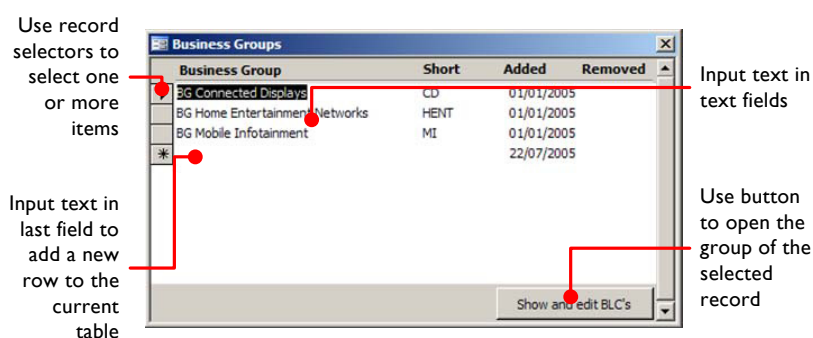


Figure I.2: EXAMPLE screen for standard interface elements

2 Quick Benchmarking

This chapter contains the way of working for adding products in the QUICK Benchmarking tool.

2.1 Way of working

In this paragraph an overview will be given of two ways to add new products to QUICK Benchmarking. The first way is to add all components in a product, the second way is to import an EcoScan file.

2.1.1 Adding new products

The way of working to add new products is based on first adding components and PWB's and validating the weight of these components with the total weight of the product (or PWB) later. Add disassembly operations to the components if necessary. The way of working is shown in Figure 2.1.

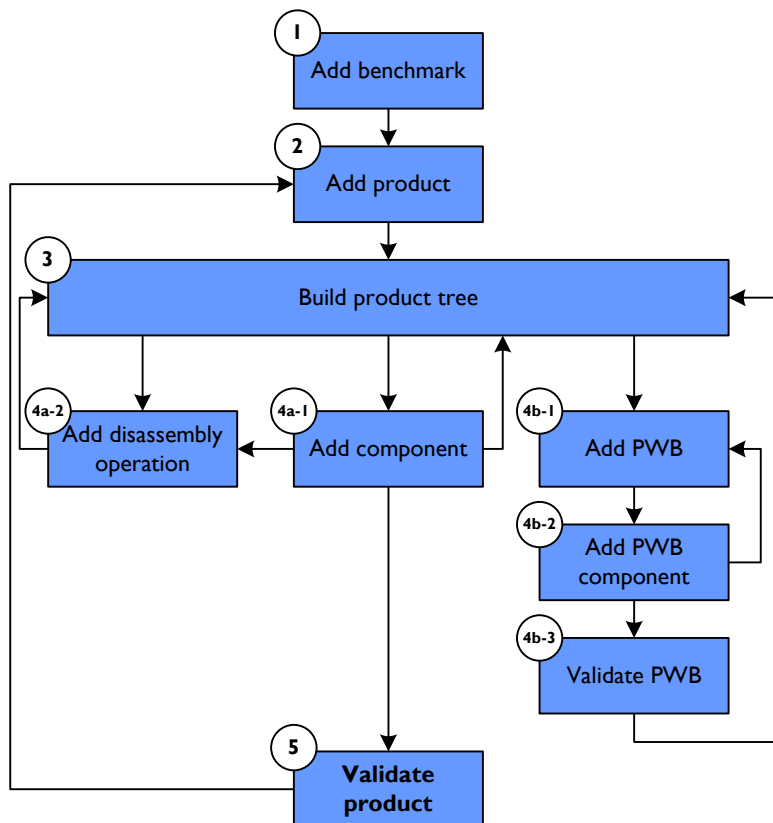
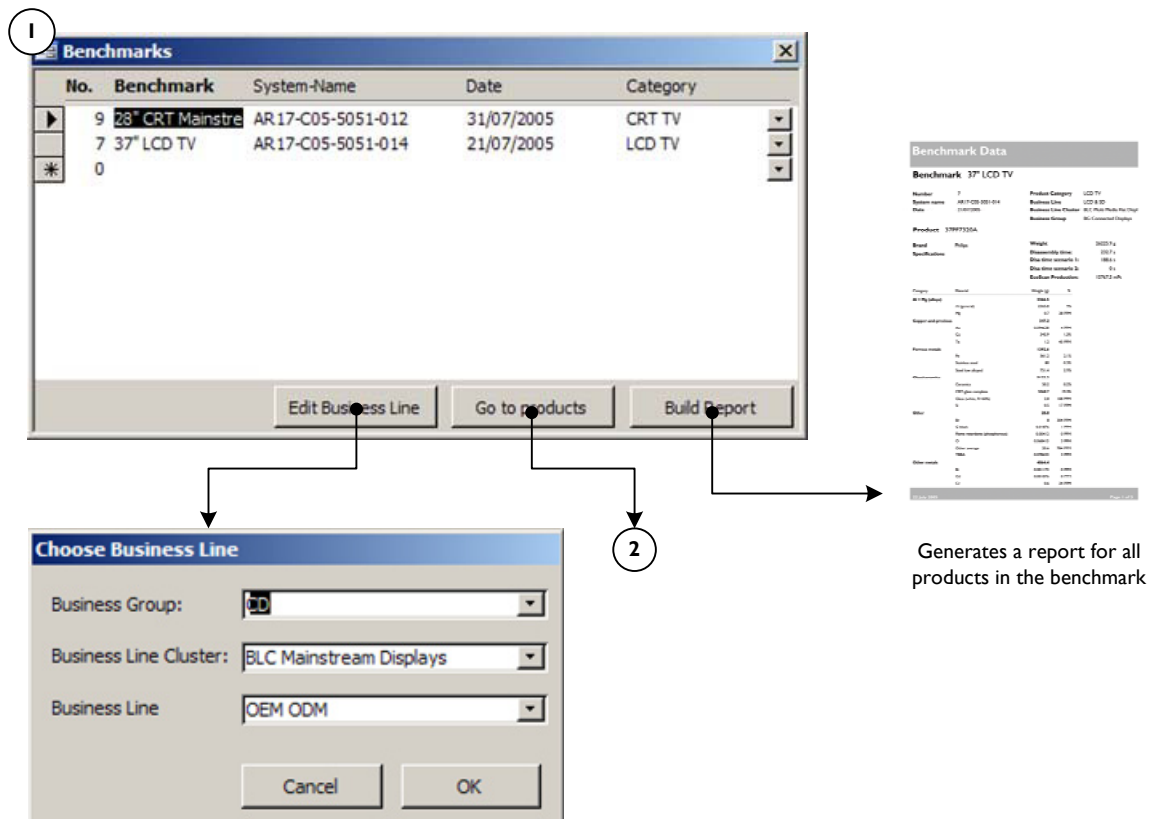


Figure 2.1: Way of working to add a product

In the next figures, all screens for the steps 1 to 5 will be described.



Edit the business line for the selected benchmark. This screen will also pop up after a new benchmark has been added.

Figure 2.2: Add benchmark (I)

In step 1, add a new benchmark to the benchmark table by filling in the last field in the table. After the benchmark has been added, a screen to choose the business line will pop up. Selected the business line the benchmark product belongs to and click OK. Click “Go to products” to go to the next step.

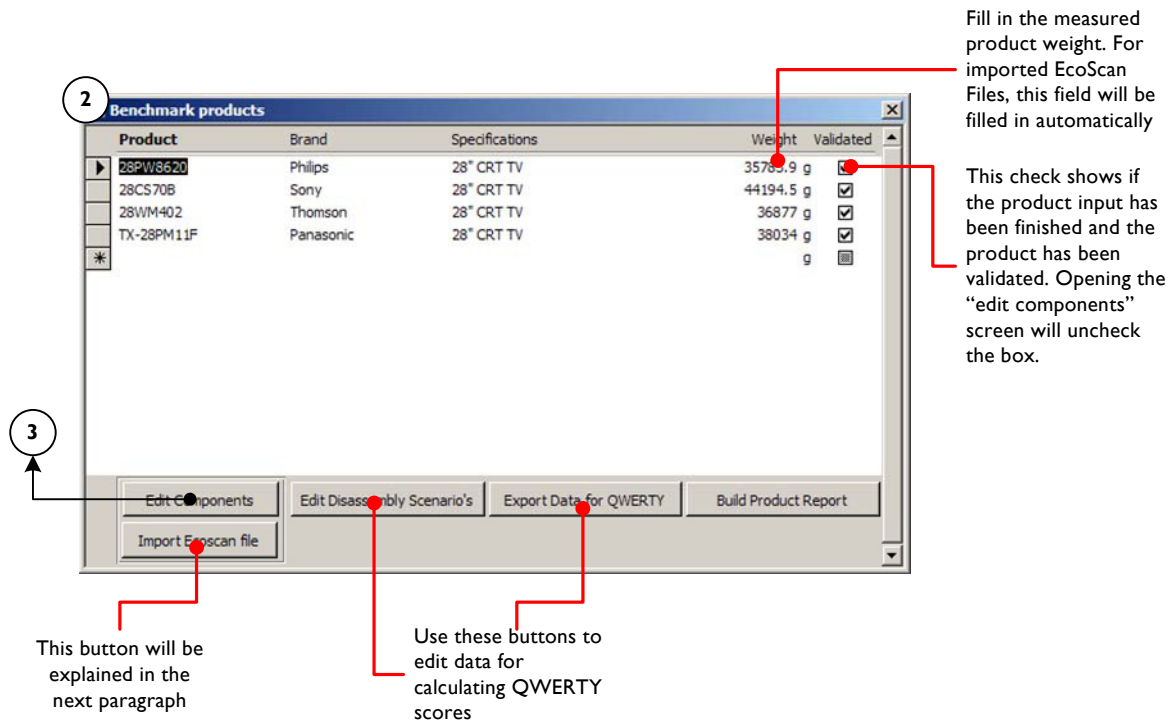


Figure 2.3: Add Product (2)

Fill in the benchmark products in the same way the benchmark has been filled in. Click "Edit components" to go to Step (3).

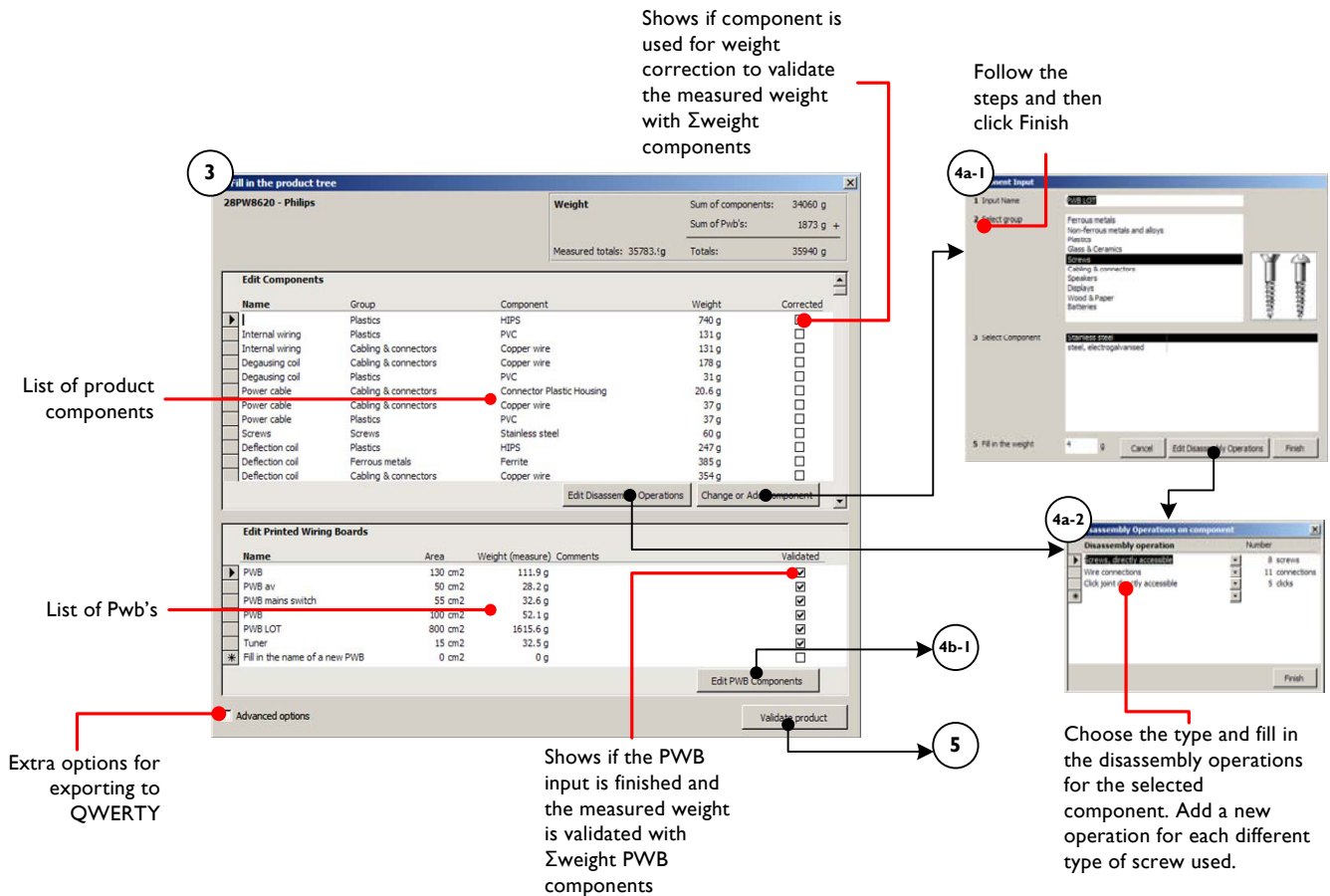


Figure 2.4: Edit Product Components (3 and 4a)

Use the “Change or Add component” button to change the selected component. If the last component is selected it will add a new component. Add all components except the PWB’s to this list. Add PWB’s to the other list. This list works the same way as the lists in steps (1) and (2).

Disassembly operations are added to specific components. To add a disassembly operation to a component, select the component, click “Edit disassembly operations” and choose the right operations.

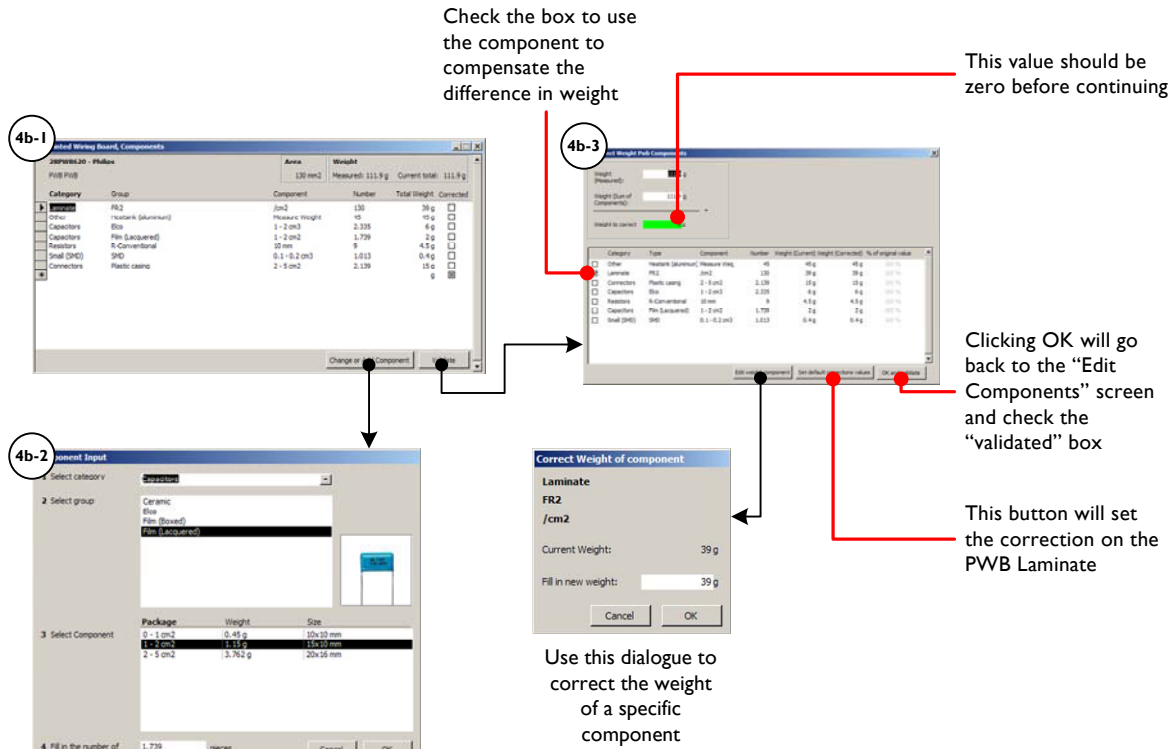


Figure 2.5: Edit PWB Components (4b)

The "Edit PWB Components" screens work nearly the same way as the edit component screens, but they contain other components. Follow the steps to complete the PWB.

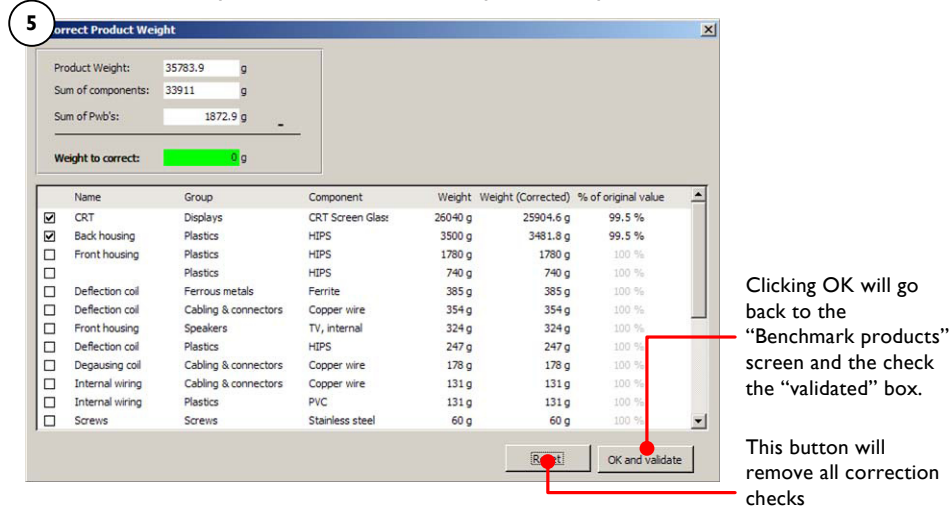
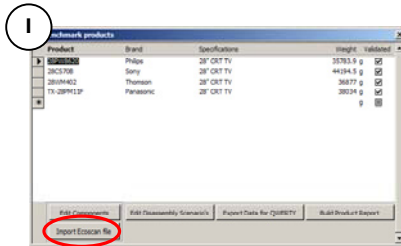


Figure 2.6: Validate product weight (5)

The last step, validating the product weight, works nearly the same as step (4b-3). After the weight has been validated, the product is finished.

2.1.2 Importing EcoScan files

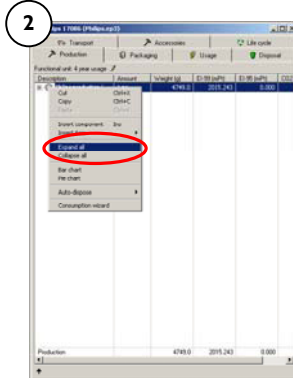
To add an EcoScan file to the database, create a new product using the steps (1) and (2) in paragraph 2.1.1 and follow the instructions listed in Figure 2.7.



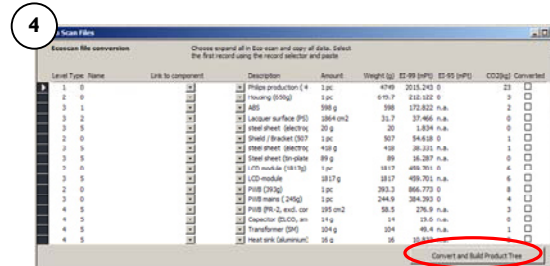
Name a new product and press "Import EcoScan File"



Right-click the record selector of the first record and paste.



Start EcoScan and open the EcoScan File, expand the product tree and copy



Press "Convert and build product tree". After the conversion, the window will close

Figure 2.7: EcoScan import guide

If wanted, disassembly operations can be added to the product tree after the conversion (see step (4a-2) in paragraph 2.1.1).

2.1.3 Reporting data

For data reports, use the data report functions on the benchmarks screen. Use the "build report" button to generate a report. Right-click on the report to save the data into Microsoft Word (as .rtf) or into Excel.

3 QUICK Maintenance

The maintenance of QUICK is made possible through the QUICK Maintenance application. This application uses different screens in which data groups and elements can be added, removed or altered. It also contains functionality to produce an overview of the used data. The way the screens work is explained in Figure 1.2. Some screens that need explanation will be shown in paragraph 3.2, all screens are shown in Figure 4.2: .

3.1 Database structure

A simplified version of the complete database structure (Figure 5.1) is shown in Figure 3.1 and can be used to understand the way the data is organized. Components for products and PWB's are stored in separate tables and data structures and contain links to the material content data structure.

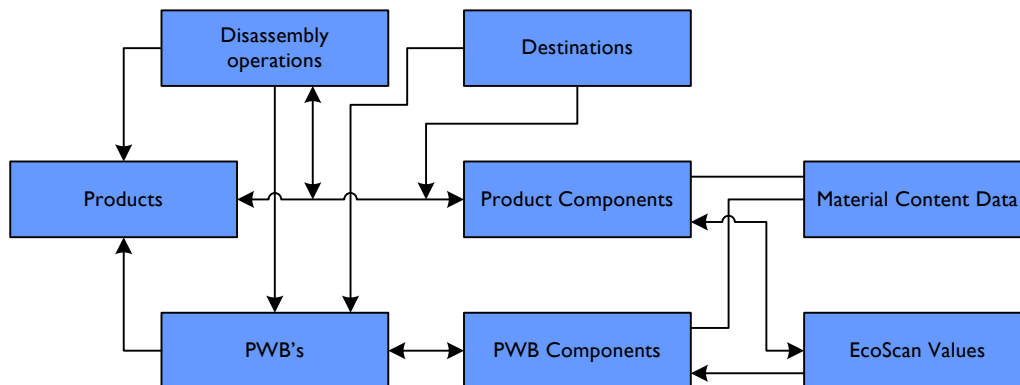


Figure 3.1: Simplified QUICK database structure

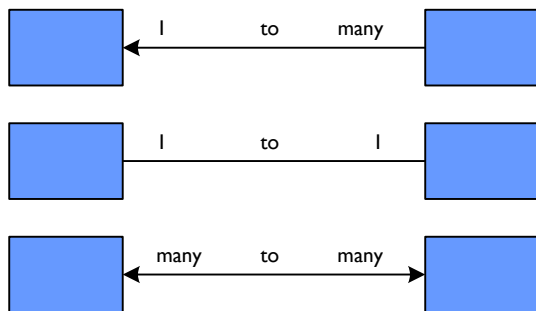


Figure 3.2: Database relationships

3.2 Screen guide

The screens which need some explanation will be displayed in the figures below. For all screens, see Figure 4.2: .

Material Category Name	Material name	CAS-number	Mass-ratio
Plastic/ceramics	Ceramics		0.391
Copper-and-precious	Cu		0.298211
Glass/ceramics	Si		0.198807
Plastics	Epoxy		0.071571
Other metals	Sb		0.019088
Other metals	Sn		0.016899
Copper-and-precious	Au		0.005964
Other	Br		0.004771
Other metals	Pb		0.002982

Mass-ratio's are stored as part of the total mass of the component

Since $\sum \text{mass-ratio} = 1$, all material content has to be validated

Figure 3.3: Mass-ratio's in Material Data Sheets

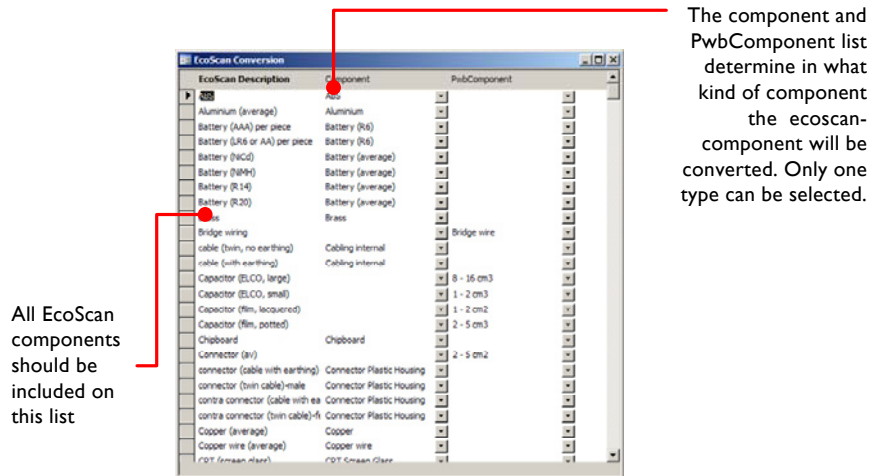


Figure 3.4: EcoScan conversion

For the conversion from EcoScan to QUICK Benchmarking a table is used in which all EcoScan names of components contain a link to either a product or PWB-component. Use the screen shown in Figure 3.4 to edit the conversion settings.

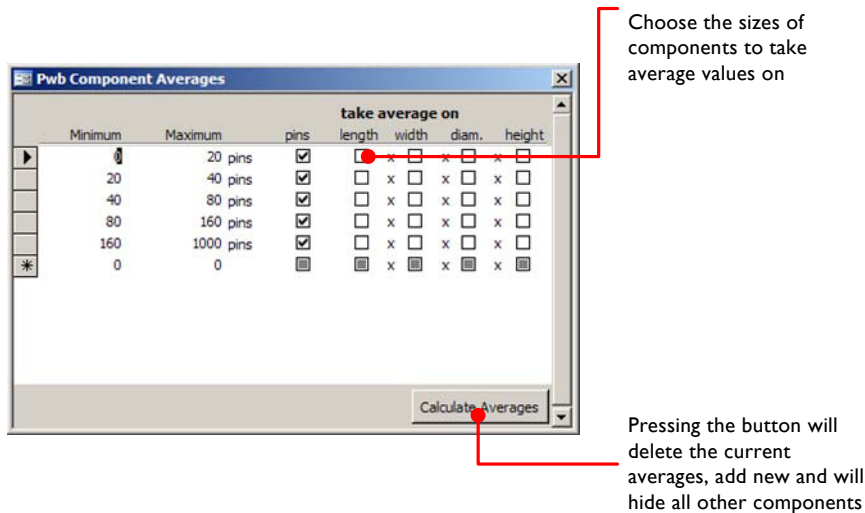
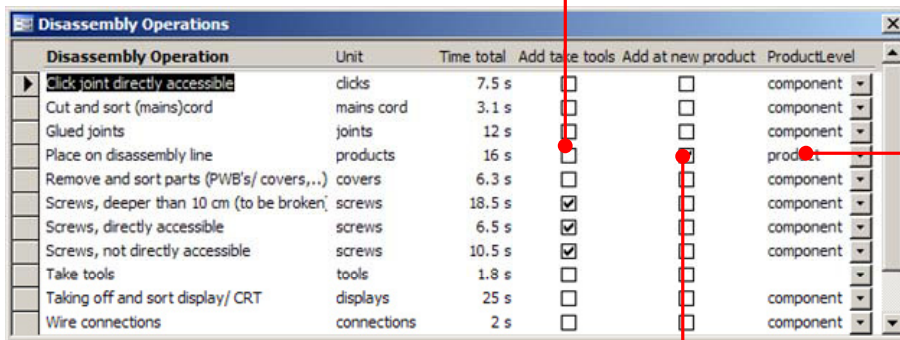


Figure 3.5: Make PWB Averages

Since the lists of PWB components are too long to be usable in QUICK Benchmarking an option is provided to make averages of components for these long lists to optimise the benchmarking process. The screen to choose which averages need to be used is shown in Figure 3.5.



Disassembly Operation	Unit	Time total	Add take tools	Add at new product	ProductLevel
Click joint directly accessible	clicks	7.5 s	☐	☐	component
Cut and sort (mains)cord	mains cord	3.1 s	☐	☐	component
Glued joints	joints	12 s	☐	☐	component
Place on disassembly line	products	16 s	☐	☒	product
Remove and sort parts (PWB's/ covers,...)	covers	6.3 s	☐	☐	component
Screws, deeper than 10 cm (to be broken)	screws	18.5 s	☒	☐	component
Screws, directly accessible	screws	6.5 s	☒	☐	component
Screws, not directly accessible	screws	10.5 s	☒	☐	component
Take tools	tools	1.8 s	☐	☐	
Taking off and sort display/ CRT	displays	25 s	☐	☐	component
Wire connections	connections	2 s	☐	☐	component

Checking this box will also add "take tools" to the disassembly tree if this operation is added

Operations on product level will be shown on product level, operations on component level will be shown for components

This checkbox determines whether this operation is added when a new product is defined

Figure 3.6: Disassembly operations