

Triafol: acetobutyrate film

BUM/PMP project 'Technieken voor schadeonderzoek in best uelot'

TNO-rapport

MI-96-00495/SCE/SCE

SO 96-3441

TNO Metaal Instituut

Laan van Westenenk 501
Postbus 541
7300 AM Apeldoorn

Telefoon 055 5493 493
Fax 055 5419 837

Opdrachtgever

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

**SCHADE-ONDERZOEK EN
SCHADEPREVENTIE**

Eindrapportage van deelproject 2: 'Diagnose en
beslissen over te gebruiken methoden en
middelen'

Datum
08 maart 1996

Auteur(s)
ing. E.W. Schuring (TNO-MI)
m.m.v.:
ir. W.H.M. Welman (FDO-Mastec)
H. van Stiphout (MTS-Matcon)
ir. L.H. Brantsma (Schielab V.O.F.)
J.H.L.M. Lelieveld (Gerechtelijke laboratoria)
J. Godschalk (MPS-DSM)
ing. S.J.W. Baas (Fokker Aircraft BV.)

PMP
Postbus 541
7300 AM Apeldoorn

Opdrachtnummer: 01550171
Uw referentienummer: --
Oplaat: 25



SAMENVATTING

Dit eindrapport beschrijft de resultaten van deelproject 2 van het project 'TECHNIEKEN VOOR SCHADE-ONDERZOEK "IN HET VELD"'. Binnen dit deelproject zijn de volgende doelstellingen nagestreefd:

- Het opstellen van middelen en methoden voor registreren, herkennen en klasseren van schadebeelden aan de hand van macroscopische breukkenmerken.
- Het beoordelen van apparatuur voor het prepareren van oppervlakken en hardheidsmetingen.
- Het onderzoeken van de mogelijkheden van replica's voor bewerkte en onbewerkte oppervlakken, waarmee samenhangend de invloed van de wijze van prepareren.
- Het herkennen van risico's.

Deze doelstellingen zijn uitgewerkt in een zevental taken.

Het deelproject heeft geresulteerd in:

- procedures voor;

- het vastleggen van schadebeelden in het veld.
- het opstellen en gebruiken van een atlas met schadebeelden, waarbij de toegevoegde waarde ligt in de aanbevelingen die gedaan worden in de schadebeeldbladen ten aanzien van (vervolg) onderzoek in het veld of het laboratorium. Dit heeft geresulteerd in een 28-tal bruikbare schadebeeldbladen.
- het prepareren van oppervlakken van metalen in het veld, zowel mechanisch als elektrolytisch. De procedures zijn gedeeltelijk samengevat in tabellen.
- het maken van replica's van zowel geprepareerde oppervlakken als breukvlakken.

Daarbij is gebleken dat met gietbare siliconenrubbers in combinatie met het gieten van positief daarvan, zeer goede replica's van zeer ruwe breukvlakken te maken zijn. Voor het maken van afdrucken van ruwe oppervlakken boven het hoofd zijn kneedbare siliconenrubbers geschikt.

Met behulp van replica-folies kunnen goede replica's van zowel geprepareerde oppervlakken als van breukvlakken in kunststoffen gemaakt worden. Bij de toepassing op kunststoffen geldt dan wel de restrictie dat de breukkenmerken niet te teer mogen zijn. De mogelijkheden en beperkingen van de verschillende replica-materialen zijn samengevat in tabellen.

- het controleren op risico's tijdens het veldwerk.

✓ - overzicht van

- methoden voor het identificeren van polymeren in het veld ^{de hand} aan van tabellen met eigenschappen van de verschillende polymeren.
- beschikbare draagbare hardheidsmeters.

Met hun mogelijkheden en beperkingen. Hardheidsmeters die werken volgens het Eqoutip principe of de Ultrasonic Contact Impedance (UCI) techniek zijn het meest geschikt voor hardheidsmetingen in het veld.

Tot slot worden aanbevelingen gegeven voor middelen en apparatuur van een velduitrusting.

Inhoud	pagina
SAMENVATTING	i
1 INLEIDING	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Doelstellingen	3
2 BEPALEN VAN DE RANDVOORWAARDEN	5
2.1 Doelstelling	5
2.2 Uitvoering en resultaat	5
3 VASTSTELLEN VAN DE MIDDELEN VOOR REGISTRATIE VAN SCHADEBEELD OP LOKATIE	7
3.1 Doelstelling	7
3.2 Principe	7
3.3 Apparatuur en hulpmiddelen	8
3.4 Procedure/handleiding	8
4 HERKENNEN EN KLASSEREN VAN SCHADEBEELDEN	11
4.1 Doelstelling	11
4.2 Uitvoering	11
4.3 Middelen	12
4.3.1 Schadebeeldbladen	12
4.3.2 Schadebeeldbladen codering en indeling	15
4.2.3 Schadebeeldbladen index	17
4.3.4 Schadebeeldbladen invul-velden	17
4.4 Database	20
4.5 Technieken voor identificatie van polymeren in het veld	28
5 PREPAREREN VAN OPPERVLAKKEN VOOR ONDERZOEK	38
5.1 Doelstelling	38
5.2 Uitvoering	38
5.2.1 Polijstprocedures	39
5.3 Resultaten	40
5.3.1 Mechanisch polijsten	40
5.3.2 Ultrasoon polijsten	43
5.3.3 Elektrolytisch polijsten	44

5.3.3.1	Polijstprocedure	44
6	EVALUATIE VAN DRAAGBARE HARDHEIDSMETERS	54
6.1	Doelstelling	54
6.2	Hardheidsmeters	54
6.2.1	Klassificatie	55
6.3	Oppervlaktegesteldheid	56
6.3.1	Minimale wanddikte	56
6.3.2	Werkstukvoorbereiding	56
6.3.3	Werkstukcondities	57
6.3.4	Meetpositie/standen	57
6.3.5	In-situ gebruik	57
6.4	Kalibreren en ijken van de diverse methodes	57
6.4.1	Kalibratie	57
6.4.2	IJking	58
7	REPLICA-TECHNIEKEN VOOR BEWERKTE EN ONBEWERKTE OPPERVLAKKEN	63
7.1	Doelstelling	63
7.2	Uitvoering	63
7.2.1	Fase 1: Inventarisatie	64
7.2.2	Fase 2: Literatuurstudie	64
7.2.3	Fase 3: Praktijkonderzoek	64
7.2.4	Mechanisch vs elektrolytisch polijsten	65
7.3	Resultaten	65
7.3.1	Inventarisatie, literatuur en praktijkonderzoek	65
7.3.2	Mechanisch vs elektrolytisch polijsten	67
8	IDENTIFICATIE VAN RISICO'S	88
8.1	Doelstelling	88
8.2	Totstandkoming van de veiligheids-checklist	89
8.3	Veiligheidsovereenkomst voor schadeonderzoek in het veld	91
9	CONCLUSIES	92
9.1	Vaststellen van de middelen voor registratie van schadebeeld op lokatie	92
9.2	Herkennen en klasseren van schadebeelden	92
9.3	Prepareren van oppervlakken voor onderzoek	92
9.4	Evaluatie van draagbare hardheidsmeters	93
9.5	Replica-technieken voor bewerkte en onbewerkte	94

9.6	Identificatie van risico's	96
10	AANBEVELINGEN INHOUD ONDERZOEKSKOFFER	97
	LITERATUUR	99
BIJLAGE I	Voorbeeld schadebeeldblad	
BIJLAGE II	Veiligheids-checklist	
BIJLAGE III	Veiligheids-overeenkomst	
BIJLAGE IV	Overzicht van uitgegeven deelrapporten	

1 INLEIDING

1.1 Algemeen

Wanneer een onderzoeker in het veld met een schade wordt geconfronteerd dan zal na een eerste algemene beoordeling en het bespreken van de situatie en achtergronden met belanghebbenden moeten worden overgegaan tot actie. Voordat onderzoek ter plekke kan worden gestart of proefstukken voor verder onderzoek in het laboratorium kunnen worden uitgenomen moet een redelijk beeld zijn gevormd van de schade-omstandigheden en de mogelijke schade-oorzaken. Het spreekt voor zich dat breukvlakken hierbij een belangrijke bron van informatie zijn. In het veld geeft het interpreteren van breukvlakken vaak problemen, vooral als het kunststoffen betreft. Door bijvoorbeeld slechte lichtomstandigheden is het zeer wel mogelijk voor het onderzoek essentiële informatie te missen. De onderzoeker heeft daarom behoefte aan referentiemateriaal dat hem op locatie helpt de lokale omstandigheden te optimaliseren en ten minste te herkennen in welke omvang interpretatiefouten door niet-optimale condities kunnen optreden.

Belangrijke informatiebronnen zijn de omgeving en de toestand van het schade-object. Wat het laatste betreft zijn afwijkingen als aantastingen, scheuren, breuken en vervormingen belangrijk. Deze vormen met de historie van gebruik en schade de basis voor het onderzoek ter plekke en in het laboratorium. Dit project richt zich op het zoveel mogelijk ter plekke uitvoeren van onderzoek, waarvoor het noodzakelijk is de beperkingen van "onderzoek-in-het-veld" te kennen. Wordt beslist het onderzoek in het laboratorium voort te zetten, dan moet worden beslist over het al of niet beschermen van breukvlakken, reinigen en monsternamen. Het verwijderen van monsters is niet zonder risico. Een foute beslissing over de omvang en locatie van de monsternamen kan later vaak niet worden teruggedraaid omdat het schade-object weer in bedrijf is genomen. Gemakshalve wordt daarom vaak besloten "de hele zaak" maar naar het laboratorium te brengen. Dit hindert een snelle afwikkeling. Immers omvangrijke stukken vragen nu eenmaal tijd om het transport te regelen en vaak zijn extra tijdrovende maatregelen noodzakelijk om het geheel goed beschermd in te pakken. De onderzoeker heeft dus behoefte aan middelen en/of richtlijnen die niet alleen een juiste monsternamen garanderen, maar ook de monsteromvang beperken en liefst zodanig dat ze direct kunnen worden meegenomen en onderzocht. Niet-destructieve technieken voor het lokaliseren van fouten kunnen hierbij behulpzaam zijn.

De snelheid waarmee een schade kan worden afgehandeld hangt nauw samen met de omvang en de diepgang waarmee het onderzoek dat ter plekken kan worden uitgevoerd. Het is hiervoor belangrijk de beperkingen van de draagbare en vaak minder krachtige apparatuur voor oppervlaktebewerking en onderzoek te kennen. Dit geldt met name voor slijp- en polijstapparatuur en hardheidsmeters, waarvoor een zeer groot aanbod van diverse leveranciers beschikbaar is. Bovendien is de geschiktheid voor kunststoffen van vrijwel geen van deze apparaten bekend. De onderzoeker heeft behoefte aan handzame apparaten die voor een breed toepassingsgebied betrouwbare resultaten geven.

Een tussenweg wordt in het schade-onderzoek soms gevonden door het gebruiken van replica's, kunststof afdrukken die van het beschadigde oppervlak worden gemaakt. Replica's kunnen, afhankelijk van hun kwaliteit informatie bevatten over microstructuur, beschadigingsmechanismen, scheurverloop en breukoorzaak. Replica's worden ook gebruikt om de resultaten van onderzoek ter plekke in het laboratorium te verifiëren zonder dat hiervoor monsters hoeven worden uitgenomen. Van replica's is bekend dat fijne structuurdetails kunnen worden overgebracht, zodat bij sterke vergrotingen beoordelingen van microstructuur en beschadigingsmechanismen mogelijk zijn. Dit is echter alleen aangetoond voor metalen. Replica's zouden echter voor kunststoffen en met name voor kunststofcomposieten dezelfde voordelen kunnen bieden. Daarom is dit een belangrijk onderdeel van dit onderzoeksproject. Onderzoek aan breukvlakken is met de bekende replica-technieken slechts beperkt mogelijk, namelijk alleen daar waar de breukvlakken relatief glad zijn, zoals vaak bij vermoeiing. Er zijn mogelijk alternatieve materialen beschikbaar, waaronder siliconenrubbers die zich echter als replica-materiaal nog niet hebben bewezen. Geschiktheid voor de ruwere breukvlakken zou de snelheid van het schadeonderzoek en de hierop volgende reparatie zeer ten goede komen, omdat de breukoppervlakken niet meer behoeven te worden beschadigd.

Het is ook mogelijk met replica's de ontwikkeling van beschadigingen in de microstructuur in de tijd te volgen, zoals wordt gedaan bij kruiponderzoek. Hier spelen met name de reproduceerbaarheid van de replica-techniek en het reproduceerbaar voorbereiden van het monsteroppervlak een grote rol. Voor het nemen van beslissingen is het nodig te weten welke invloed de snelheid van prepareren heeft op het behaalde eindresultaat in relatie tot het beoogde doel.

Om ter plekke goed en betrouwbaar te kunnen werken moet de onderzoeker zich vrij kunnen bewegen. Het noodzakelijk gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen

kan dit bemoeilijken en daarmee van invloed zijn op de kwaliteit van veldonderzoek. Om onnodig uitstel van het onderzoek te voorkomen is het voor de onderzoeker dus belangrijk te weten hoe gevaarlijk de lokale situatie is. Vaak zijn beschermende maatregelen bij bedrijven van kracht die zijn gebaseerd op langdurige expositie. Voor een kortere periode is het risico dan vaak aanvaardbaar. Daar staat tegenover dat het risico onaanvaardbaar kan toenemen als uit normaal ongevaarlijke materialen monsters moeten worden gezaagd of oppervlakken worden geslepen en geschuurd. Denk hierbij bijvoorbeeld aan asbesthoudende materialen. De onderzoeker moet dus weten hoe hij zijn risico moet inschatten en wie hem daarbij behulpzaam kunnen zijn.

1.2 Doelstellingen

Bovenstaande overwegingen leiden tot de volgende doelstellingen voor het deelproject:

- Het opstellen van middelen en methoden voor registreren, herkennen en klasseren van schadebeelden aan de hand van macroscopische breukkenmerken.
- Het beoordelen van apparatuur voor het prepareren van oppervlakken en hardheidsmetingen.
- Het onderzoeken van de mogelijkheden van replica's voor bewerkte en onbewerkte oppervlakken, waarmee samenhangend de invloed van de wijze van prepareren.
- Het herkennen van risico's.

De middelen en methoden moeten geschikt zijn voor meerdere (groepen) materialen en veilig zijn te gebruiken.

Om deze doelstellingen te bereiken zijn de volgende taken gedefinieerd:

- A- Bepalen van de randvoorwaarden
- B- Vaststellen van de middelen voor registratie van schadebeelden op lokatie
- C- Herkennen en klasseren van schadebeelden
- D- Prepareren van oppervlakken voor onderzoek
- E- Evaluatie van draagbare hardheidsmeters
- F- Replica-technieken voor bewerkte en onbewerkte oppervlakken
- G- Identificatie van risico's
- H- Eindrapportage

Dit eindrapport beschrijft de resultaten van deelproject 2: "*Diagnose en beslissen over te gebruiken methoden en middelen*". Het rapport is samengesteld uit samenvattingen van de resultaten beschreven in de deel-eindrapporten van de taken A t/m G en is als een losstaand rapport leesbaar.

2 BEPALEN VAN DE RANDVOORWAARDEN

2.1 Doelstelling

Aan de hand van randvoorwaarden zullen de te onderzoeken onderzoeksmiddelen en -methoden worden getoetst op hun toepasbaarheid binnen dit project.

2.2 Uitvoering en resultaat

De randvoorwaarden waaraan de onderzoeksmiddelen en -methoden moeten voldoen zijn in een bijeenkomst van de werkgroep van deelproject 2 als volgt vastgesteld:

Primaire criteria

- middelen en apparatuur moeten redelijk snel verkrijgbaar zijn in Nederland. Onder 'redelijk snel' wordt hier verstaan dat aanvulling van apparatuur voor een gegeven schade binnen een periode van 24-48uur mogelijk moet zijn door koop, huur, lenen enz.
- veilig in gebruik, eventueel op 42Volt.
 - In het veld kunnen zich omstandigheden voordoen die het werken zodanig bemoeilijken dat de veiligheid van het uitvoerend personeel in gevaar kan komen. Voor deze randvoorwaarde geldt daarom in het bijzonder:
 - apparatuur moet van een keurmerk zijn voorzien
 - apparatuur moet met de voor het type werk gebruikelijke handschoenen kunnen worden bediend
 - apparatuur moet handelbaar zijn op hoogte qua volume, afmetingen en gewicht.
- er moet informatie beschikbaar zijn over de middelen/methoden (b.v. in de vorm van gebruiksaanwijzingen
- alleen direct bij werkgroepleden of binnen een van te voren te stellen tijd direct via de contactgroep fractografie beschikbare apparatuur, middelen en informatie
- apparatuur en/of middelen moeten voor meerdere groepen materialen te gebruiken zijn.
- apparatuur bij voorkeur draagbaar.

Secundaire criteria

Deze staan onder andere genoemd in de hoofdstukken die de onderdelen van dit project behandelen. Daarnaast zijn nog de volgende algemene secundaire criteria van toepassing:

- geschiktheid voor meer dan één van de volgende materiaalgroepen:

- Kunststoffen

- Thermoplasten

- Thermoharders

- Elastomeren

- Metalen

- Ongelegeerd en laaggelegeerd staal

- Roestvaste stalen

- Nikkelbasis-legeringen

- Aluminium en aluminiumlegeringen

- Koper en koperlegeringen

- relatief ongevoelig voor stoten.
- moeilijkheidsgraad:
 - geen ervaring vereist
 - onder leiding snel aan te leren
 - opleiding/training nodig
- beschikbaarheid gebruiksaanwijzing
- vervoerbaarheid:
 - geen beperkingen
 - met speciale maatregelen

3 VASTSTELLEN VAN DE MIDDELEN VOOR REGISTRATIE VAN SCHADEBEELD OP LOKATIE

3.1 Doelstelling

Binnen dit onderdeel van deelproject 2 is een handleiding in de vorm van een procedure opgesteld die de werkwijze beschrijft waarop schades aan constructies, die worden aangetroffen bij onderzoeken ter plaatse, worden vastgelegd.

3.2 Principe

Het schadeonderzoek omvat het geheel van werkzaamheden dat moet worden uitgevoerd om de oorzaak van het falen van een constructie of onderdelen daarvan te achterhalen.

De inspectie ter plaatse vormt een belangrijke bron van informatie. Het betreft zowel de inspectie van het beschadigde onderdeel van de constructie, als van de omgeving.

Het vastleggen van de situatie vormt de basis van het schadeonderzoek. Het is van groot belang hierbij aandacht te besteden aan de heersende condities voor, tijdens en na de schade. In veel gevallen zijn door de opdrachtgever ook foto's gemaakt. Vraag hierom en leg vast wanneer deze zijn gemaakt. Ze kunnen laten zien of de toestand is gewijzigd.

Naast een schriftelijk verslag van de situatie ter plaatse (met de tijdens en na de schade heersende temperaturen, belastingen, enz, zie figuur 3.1), is het zeer belangrijk om de situatie visueel vast te leggen. Vastleggen van visuele beelden wordt gerealiseerd door middel van (digitale) fotografie en/of videobeelden, situatieschetsen, overzichten van monsterlokaties.

3.3 Apparatuur en hulpmiddelen

De hieronder gegeven opsomming is een advies voor te gebruiken apparatuur en hulpmiddelen:

- Tekengerei
- (Digitale) fotocamera
- Stereo-fotocamera
- Video-apparatuur
- Referentiemeetlat, meetlint
- Verlichting (In veel gevallen is flitslicht goed bruikbaar, voor grote overzichten moet men vertrouwen op het aanwezige omgevingslicht. Kunstlicht -vooral TL-licht- kan kleurveranderingen veroorzaken)
- Markeringshulpmiddelen

De opname-apparatuur moet bij voorkeur de volgende eigenschappen hebben:

- automatische scherpstelling (deze moet ook uit te schakelen zijn).
- automatische belichting (integrale/spotmeting; flitser moet uit te schakelen zijn).
- "macrolens"
- voldoende beeldresolutie

3.4 Procedure/handleiding

Een gedetailleerde procedure kan voor de visuele vastlegging niet gegeven worden omdat iedere situatie anders is en een andere benaderingswijze behoeft. Er kunnen wel een aantal aandachtspunten worden opgesomd waaraan men tijdens het vastleggen van de situatie moet denken:

- Welk 'verhaal' moet verteld worden, wat moet er duidelijk gemaakt worden.
- Welke informatie moet verkregen worden.
- Samenhang van het onderdeel met omgeving en plaats (maken van overzichtsfoto's en/of schetsen).

- * Het is handig hiervoor een vast in de uitrusting aanwezig 'beeldregistratie logboek' te gebruiken, waarin per opname/schets e.d. wordt vastgelegd;
 - wat met de opname wordt beoogd (gebruik trefwoorden),
 - onder welke condities werd gewerkt,
 - de relatie met ander opnamen, enz.

- Vraag naar eventuele door de opdrachtgever gemaakte foto's en leg vast wanneer deze zijn gemaakt. Denk daarbij aan mogelijke wijzigingen in de toestand na het optreden van de schade.
- Plaats en verdeling van eventuele brokstukken i.v.m. een reconstructie.
Vraag vooral om informatie over eventuele beredderingsakties (schoonmaken, verwijderen van in de weg zittende delen, vastzetten van losgeraakte delen enz.) en eventueel door andere belanghebbenden opgestelde overzichten/rapporten.
- Vastleggen van de gevolgen van de schade.
- Wat is de gevolgschade.
- Schadekenmerken aan het schade-objekt, zoals: vervorming, beschadiging, corrosie, enz., aanwezig op onderdeel of in de omgeving (maken van detailfoto's).
- Vastleggen of en waarvan monsters uit de omgeving worden verwijderd (corrosieproducten, splinters enz.).
- Leg vast of naar eigen inzicht de registratie volledig kon zijn. Noteer vooral welke gegevens mogelijk ontbreken en of deze later nog kunnen worden verkregen.

Voor het vastleggen van de situatie is het aan te bevelen om onduidelijke kenmerken met behulp van markeringen duidelijker aan te geven (zonder daarbij de kenmerken zelf te veranderen!!). Verder kan het belangrijk zijn om een referentiemeetlat tijdens het vastleggen mee te fotograferen.

Bij het gebruik van de apparatuur en hulpmiddelen dient men de veiligheidsaspecten in acht te nemen (zie hoofdstuk 8). Het gebruik van bijvoorbeeld flitsers moet worden vermeden wanneer er explosiegevaar dreigt.

Bedienend personeel beschikt vaak over veel meer informatie dan hun superieuren aannemen. Als het wordt toegestaan met hen te praten levert dit vaak verrassende aanvullende informatie over de aangetroffen situatie, vooral ten aanzien van het beschrijven van de brokstukken.

systeem	<ul style="list-style-type: none"> • functie • constructie/positie onderdeel • gebruiker • registratienummer • type
onderdeel	<ul style="list-style-type: none"> • ontwerp • produkt <ul style="list-style-type: none"> • belastingen <ul style="list-style-type: none"> • mechanisch • thermisch • chemisch • constructie • materiaal • fabricage <ul style="list-style-type: none"> • bewerkingen • assemblage • warmtebehandeling • oppervlaktebehandeling • onderhoud <ul style="list-style-type: none"> • gebruiksuren • schadeverleden • reparaties • modificaties
schade	<ul style="list-style-type: none"> • tijd en plaats van optreden/constateren • getuigenverklaringen • geschiedenis vanaf het optreden van de schade • gevolgschade
literatuur	<ul style="list-style-type: none"> • materiaaleigenschappen • schade bij vergelijkbare onderdelen • vergelijkbare schadekenmerken

Figuur 3.1: Overzicht aandachtspunten met betrekking tot het vastleggen van de situatie (overgenomen uit: Procedures voor schade-onderzoek, rapport contactgroep Fractografie, oktober 1991, FME-publicatie: VM104 [1])

4 HERKENNEN EN KLASSEREN VAN SCHADEBEELDEN

4.1 Doelstelling

De doelstelling van dit onderdeel van deelproject 2 is drieledig, namelijk:

- 1- de herkenning van schadebeelden aan de hand van macroscopische schadekenmerken met als doel een gefundeerd oordeel te geven over mogelijke schadeoorzaken, en op grond daarvan een traject uit te zetten voor vervolgonderzoek (veld- en lab-onderzoek, monsteruitname enz.)
- 2- het opstellen van een procedure voor het vervaardigen van schadebeeldbladen door gebruikers daarvan, zodanig dat deze ook voor derden bruikbaar zijn in het kader van kennisoverdracht en -opbouw.
- 3- het opstellen van een procedure voor het identificeren van kunststoffen in het veld.

4.2 Uitvoering

Om de doelstellingen te bereiken zijn binnen dit deelproject zogenaamde schadebeeldbladen en een procedure voor het opstellen van deze schadebeeldbladen ontwikkeld die de schadeonderzoeker en/of de eigenaar van de betreffende installatie ondersteuning geven bij het vaststellen van de schadeoorzaak. Het is dus uitdrukkelijk niet de bedoeling om een schadeatlas te ontwikkelen. Hiervan bestaan er reeds velen en deze kunnen uiteraard geraadpleegd worden (zie literatuurlijst). De layout van de schadebeeldbladen wordt zodanig gekozen dat deze in een later stadium ingevoerd kan worden in een database en/of door een gebruiker zelf kan worden uitgebreid.

Daarnaast zal een overzicht worden gemaakt van bij de deelnemers en vanuit de literatuur bekende methoden voor het identificeren van kunststoffen aan de hand van simpele in het veld uit te voeren proefjes.

4.3 Middelen

Voor het geven van een gefundeerd oordeel (in het veld) kan de schadeonderzoeker beschikken over onder andere:

- expertise en kennis van schadekenmerken
- oppervlakte/structuurreplica's (zie ook de hoofdstukken 5 en 7)
- hardheidsmetingen, micro en macro (zie hoofdstuk 6)
- materiaalanalyses (van metalen en kunststoffen)
- informatie over de gebruikskondities en eventuele afwijkingen daarin
- geschiedenis
- doorsneden voor lichtmicroscopisch en/of scanning elektronenmicroscopisch (SEM) onderzoek
- schadebeelden voor schadeonderzoek, macroscopisch, microscopisch (SEM) aan de hand van de schades zelf of aan de hand van replica's (zie hoofdstuk 7)
- diverse metingen bijvoorbeeld:
 - ferrietmetingen (draagbaar en lab. apparatuur)
 - NDO onderzoek

Een aantal van deze middelen staan ook in het veld de onderzoeker ter beschikking.

Een aantal andere zijn echter alleen geschikt voor laboratoriumonderzoek.

Om de schadeonderzoeker en de eigenaar van het object in kwestie behulpzaam te zijn, worden schadebeeldbladen en een procedure daarvoor ontwikkeld. In deze bladen zal het gebruik van bovenstaande middelen tot uitdrukking komen.

4.3.1 Schadebeeldbladen

Voor de ontwikkelde schadebeeldbladen wordt gebruik gemaakt van bestaande cases. De schadeoorzaken uit deze cases worden overgenomen en er worden suggesties gedaan voor methoden/middelen voor onderzoek in het veld om in gevallen waarbij het schadebeeld vergelijkbaar is, de faaloorzaak vast te kunnen stellen. Daarbij wordt uitgegaan van ervaringen uit de betreffende cases. Tevens zullen de schadebeeldbladen goed toegankelijk moeten zijn. Dit betekent dat het mogelijk moet zijn om relatief snel schadebeeldbladen met bepaalde schadebeelden en of schadeoorzaken op te zoeken.

Een en ander leidt tot de volgende eisen waaraan het schadebeeldblad moet voldoen:

a: Met betrekking tot de toegankelijkheid;

- goede index
- indeling naar;
 - schadebeeld en/of
 - materiaal(soort) en/of
 - toepassingsgebied.
- eenduidige en gestructureerde indeling (standaardopzet), ook in verband met een latere invoering in bv. een database;

Een eenduidige en gestructureerde indeling maakt eventueel door een gebruiker zelf opgestelde schadebeeldbladen ook toegankelijk voor derden, zodat deze op grotere schaal kunnen worden verspreid. Nieuwe schadebeeldbladen kunnen dan aan een centraal punt worden geleverd en van daaruit verspreid.
- losbladig systeem, zodat aanvulling eenvoudig is; één A4 (enkel- of dubbelzijdig)

Door de grootte van de schadebeeldbladen te beperken tot een maximaal dubbelzijdig bedrukt A4 worden de volgende punten nagestreefd:

 - de informatie in een geconcentreerde vorm beschikbaar maken en alleen de essentiële informatie opnemen,
 - de bladen zullen makkelijk geraadpleegd worden.

b: Met betrekking tot de gegeven informatie;

- macro-opname(n) van schadebeelden
- micro-opnamen van b.v. structuurreplica's
- schematische tekening(en) van het schadebeeld
- informatie over toedracht, bedrijfscondities enz.
- materiaalgegevens; materiaal
 microstructuur
 hardheid
 warmtebehandeling
 vervaardigingsmethode
 toegankelijkheid voor NDO
- beschrijving van het schadebeeld
- aanbevelingen voor; veldonderzoek
 laboratoriumonderzoek
- literatuurverwijzingen
- conclusie(s)

Na zorgvuldig afwegen is uit deze eisen een standaardformulier tot stand gekomen. Dit formulier is in een verkleinde vorm weergegeven in figuur 4.1. In bijlage I is een voorbeeld van een ingevuld schadebeeldformulier opgenomen. Door de opzet, waarbij gevraagd wordt om de invoer van bepaalde gegevens, zal weinig essentiële informatie vergeten worden.

Schadebeeld:	X1-Y1
Materiaal:	X2-Y2
Toepassingsgebied:	X3-Y3
Datum:	Bladnummer

SCHADEBEELDEN

Figuur 1: Verg.: **Figuur 2:** Verg.:

Bedrijfscondities:
Materiaalgegevens; soort: microstructuur: hardheid: warmtebehandeling: vervaardigingsmethode: toegankelijkheid NDO:

BLADZIJD 1

Schadeverloop:
Aanbevelingen onderzoek in het veld:
Aanbevelingen onderzoek in het lab.:
Literatuur:
Conclusie:

BLADZIJD 2

Figuur 4.1: Verkleinde weergave van het schadebeeldblad. (zie ook bijlage I)

4.3.2 Schadebeeldbladen codering en indeling

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de eerste drie rijen op bladzijde 1 van de schadebeeldbladen, figuur 4.1; SCHADEBEELD, MATERIAAL en TOEPASSINGSGEBIED. De indeling dient tevens als ingang tot de schadebeeldbladen.

Door de schadebeeldbladen in een losbladig systeem uit te geven met drie mogelijke hoofdingelingen, t.w. SCHADEBEELD, MATERIAAL en TOEPASSINGSGEBIED, kan een ieder de volgorde van de bladen voor zichzelf bepalen.

Als hoofdingeling kan bijvoorbeeld gekozen worden voor 'SCHADEBEELD', als eerste subindeling 'MATERIAAL' en als tweede subindeling 'TOEPASSINGSGEBIED'. Bij deze keuze wordt dus in eerste instantie gezocht op het schadebeeld, vervolgens op het materiaal en tenslotte op het toepassingsgebied.

Een andere indeling cq volgorde van de schadebeeldbladen is natuurlijk mogelijk, terwijl deze toch toegankelijk blijft voor derden. Om eenvoudig een volgorde aan te kunnen houden, zijn de verschillende ingangen (SCHADEBEELD, MATERIAAL en TOEPASSINGSGEBIED) elk onderverdeeld in klassen en voorzien van een nummer-codering. Op de schadebeeldbladen zelf wordt dan een nadere omschrijving van de ingangen/klassen gegeven. De indeling in klassen van de verschillende ingangen zijn opgenomen in de TABELLEN 4-I, 4-II en 4-III (blz 21-25) aan het einde van dit hoofdstuk.

Bij de totstandkoming van de klassen is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

- *Schadebeelden*; eerste rij, bladzijde 1 schadebeeldblad (zie figuur 4.1).

Rapport literatuurstudie fase I van deelproject V "Breukvlakken en breuk-mechanismen van Metalen' van het project 'ONDERBOUWING SCHADEONDERZOEK, Technieken voor schadeanalyse en fractografie, dd 21 oktober 1991 rapport nr 91M/014418/SCE/SCE. (figuur 4.2).

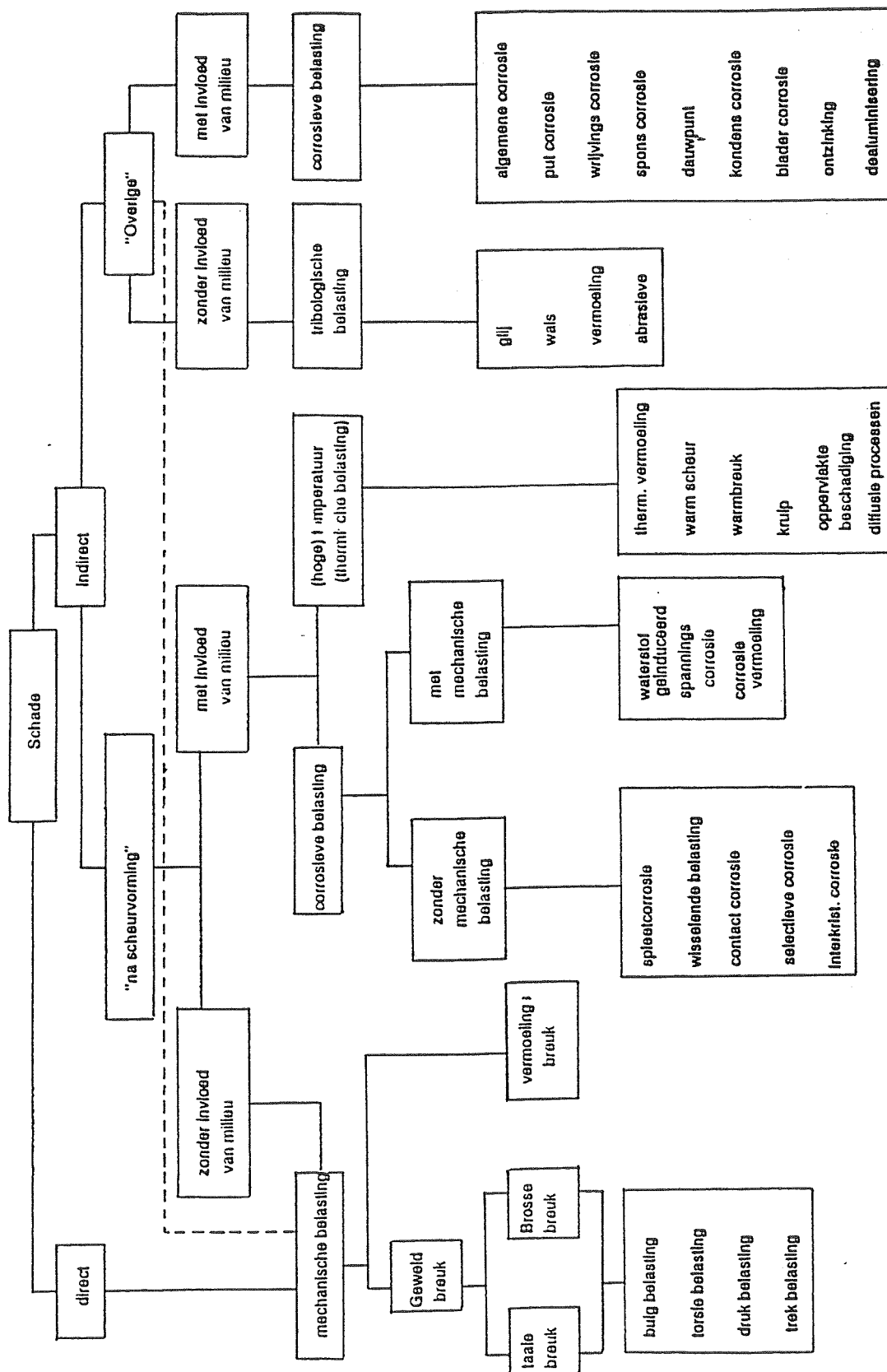
In eerste instantie zal hier een grove indeling van het schadebeeld worden gegeven in termen van:

- | | |
|--------------|-----------------|
| * scheur(en) | * breuk |
| * corrosie | * lekkage |
| * slijtage | * vervormd enz. |

Aangevuld met het faalmechanisme; brosse breuk; taaie breuk; vermoeiing; interkristallijn, pitting, abrasief enz.

Indien er sprake is van een gecombineerde belasting, kan deze worden aangegeven door de betreffende codes hiervoor op te geven of een 'x' te plaatsen.

Een en ander wordt aangegeven met een beschrijving en een twee nummerige code (X1-Y1) achter de beschrijving, tabel 4-I.



Figuur 4.2: Indeling schadebeelden overgenomen uit rapport literatuurstudie fase I van het deelproject V 'Breukvlakken en breukmechanismen van metalen' van het project 'ONDERBOUWING SCHADEONDERZOEK'

- *Materialen*; tweede rij, bladzijde 1 van het schadebeeldblad (zie figuur 4.1).
Gebruikelijke indelingen in de literatuur;
Dit wordt aangegeven met een beschrijving en een twee nummerige code (X2-Y2) achter de beschrijving, tabel 4-II.
- *Toepassingsgebied*; derde rij, bladzijde 1 van het schadebeeldblad (zie figuur 4.1)
Handbook of case histories in failure analysis, ASM [2];
Dit wordt aangegeven met een beschrijving en een twee nummerige code (X3-Y3) achter de beschrijving, tabel 4-III.

Uiteraard kunnen de klassen naar gelang de behoefte verder worden uitgebreid. Dit zal echter centraal moeten gebeuren om de eenduidigheid en toegankelijkheid van het systeem te kunnen garanderen.

4.2.3 Schadebeeldbladen index

Een andere toegang tot het systeem is de index. In de index worden trefwoorden uit de indeling opgenomen, zodat gezocht kan worden naar bepaalde materialen, schadebeelden, toepassingen. Daartoe worden de schadebeeldbladen die centraal worden verspreid voorzien van een volgnummer (het bladnummer). In de index worden dan achter het trefwoord achtereenvolgens opgenomen;

- bladnummer
- klasse codering

De index wordt los bij de schadebeeldbladen aangevuld/geleverd.

Van de tijdens dit deelproject opgestelde (voorbeeld) schadebladen is in tabel 4-IV een overzicht opgenomen (zie het einde van dit hoofdstuk). Deze index kan tijdens de gehele loop van het project worden aangevuld met nieuwe schadebeeldbladen.

4.3.4 Schadebeeldbladen invul-velden

In deze paragraaf worden de andere velden van de schadebeeldbladen besproken, tw:

- Schadebeelden, foto's en/of tekeningen
- Bedrijfscondities
- Materiaalgegevens
- Schadeverloop
- Aanbevelingen voor onderzoek in het veld
- Aanbevelingen voor onderzoek in het lab.
- Literatuur

- Conclusie

Schadebeelden/fractografische opnamen:

De fotografische opnamen die in de schadebeeldbladen zijn opgenomen, moeten direct bruikbaar zijn in het veld. Dus er zullen normaal gesproken geen opnamen van schadebeelden bij vergrotingen hoger dan ca 50x worden opgenomen. Vergelijken met maximaal een loep of binoculair (stereomicroscop) moet mogelijk zijn. De schadebeelden van kunststoffen kunnen hierop een uitzondering vormen omdat deze schadebeelden doorgaans zulke fijne details bevatten dat onderzoek in de scanning elektronenmicroscop noodzakelijk is. In voorkomende gevallen zullen daarom bij kunststoffen SEM opnamen bij lage vergrotingen worden opgenomen.

Schadebeelden/microstructuur opnamen:

Wat betreft microstructuuropnamen, kunnen opnamen tot een vergroting van ca 500x worden opgenomen. Met veldmicroscopen zijn deze vergrotingen haalbaar en kan structuuronderzoek worden uitgevoerd op in het veld geprepareerde oppervlakken (zie de hoofdstukken 5 en 7 van dit eindrapport). Een beperking daarbij is uiteraard dat in het veld alleen de structuur aan het oppervlak onderzocht kan worden. Deze kan afwijken van de structuur in de kern. Alvorens dus in het veld een diepgaand structuuronderzoek uit te voeren, is het nodig na te gaan of de structuur aan het oppervlak informatie geeft over het faalmechanisme of de oorzaak van het falen. In voorkomende gevallen zal dit dus vermeld worden in het schadebeeldblad en nader worden uitgewerkt onder 'aanbevelingen'.

Bedrijfkondities

Hier kunnen zowel de normale als de afwijkende bedrijfskondities worden opgenomen. Dit om later bijvoorbeeld na te kunnen gaan of en hoe afwijkingen van de normale bedrijfskondities het schadebeeld hebben doen ontstaan of beïnvloeden. Onder bedrijfskondities vallen aspecten als; temperatuur, belasting, toerental, milieu, aantal starts en stops, tijdsduur tot falen, waarnemingen (als warmlopen, vreemde geluiden, vervormingen (voor falen), geuren, rook enz.).

Materiaalgegevens

Bij de 'materiaalgegevens' worden nadere gegevens omtrent het materiaal van het betreffende schadebeeldblad opgenomen. Dit zijn:

- de nadere specificatie voor de materiaalsoort,
- de microstructuur,

Met betrekking tot het vaststellen van het faalmechanisme is onderzoek van de microstructuur in het geval van **kunststoffen** niet zinvol.

- de hardheid,