

**Bescherming van atmosferisch blootgestelde
metaaloppervlakken – alternatieven voor het
thermisch verzinken**

Referentienummer 93-198
Dossiernummer 112322-24345
Datum juni 1993
NP

Auteurs
W.G.J.M. van Tongeren

M.m.v.
G.J. Annokkée
A.J. Bosch
P.J.J. Ramaekers

Trefwoorden
– oppervlaktebescherming
– corrosie
– verzinken
– schone technologie

Bestemd voor
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling RIZA
Postbus 17
8200 AA Lelystad

Samenvatting

Een studie is uitgevoerd naar alternatieven voor het thermisch verzinken van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken. De studie valt binnen het kader van het ontwikkelingsprogramma SPA van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA. In dit programma zijn de activiteiten van RIZA op het gebied van Schone Technologie, Preventie en Afvalwaterbehandeling (SPA) gebundeld. Het onderhavige project is het eerste project binnen het programmadeel Schone Technologie (voorbereidende fase) en is derhalve (ook) een test-case.

De algemene doelstelling van het Schone-Technologieproject van RIZA is:

'Het bevorderen van de ontwikkeling en de implementatie van nieuwe kennis die door middel van wijziging in produktontwerp, grondstoffengebruik en/of procesvoering leidt tot een aanzienlijke vermindering van de milieubelasting.

Er is hierbij bewust gekozen voor beperking tot deze drie milieumaatregelen omdat andere maatregelen in de sfeer van schone technologie in andere projecten aan de orde komen of buiten de invloedssfeer van RIZA vallen.

Atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken zijn belangrijke diffuse emissiebronnen van zware metalen naar het oppervlaktewater, voornamelijk tengevolge van corrosie van de oppervlaktelaag. Uit een inventarisatie van de atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken, die in het begin van het onderzoek is uitgevoerd, is gebleken dat de emissie van zink uit verzinkte metaaloppervlakken hiervan de grootste bron is. Het project is beperkt tot thermisch verzinkte metaaloppervlakken.

De twee belangrijkste onderdelen van het project zijn het inventariseren en het beoordelen/selecteren van 'schone' alternatieven voor het thermisch verzinken van metaaloppervlakken.

Bij de toegepaste methode speelde het inschakelen van deskundigen en het houden van een tweetal workshops een belangrijke rol.

In de beginfase van het project hebben de deskundigen met name een bijdrage geleverd bij het aanleveren van informatie en het nader invullen van de te volgen werkwijze. In het vervolg hebben de deskundigen een belangrijke rol gespeeld bij het opstellen van de criteria en het beoordelen van de alternatieven.

De gevolgde werkwijze is een geschikte methode gebleken voor het inventariseren en beoordelen van alternatieven, zeker wanneer er sprake is van een beperkte hoeveelheid, voornamelijk kwalitatieve informatie.

Bij het inventariseren en beoordelen van alternatieven voor thermisch verzinken van metaaloppervlakken is het belangrijk om te weten welke concrete toepassingen het betreft. Uit de vooraf uitgevoerde inventarisatie van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken is gebleken dat het vooral gaat om skeletten, tuinbouwkassen, loodsen, vangrails, puin en gevels. Deze omvatten samen meer dan 80% van het (kaal) verzinkte staal.

De inventarisatie van alternatieve oppervlaktebewerkingssystemen en de daaropvolgende grove selectie leverde nog een dermate groot aantal alternatieven op, dat het niet mogelijk was al deze alternatieven afzonderlijk te beoordelen en zo een fijnere selectie uit te voeren. Daarom is gekozen voor een werkwijze waarbij in eerste instantie alleen een aantal voorbeeldsystemen is uitgewerkt en beoordeeld, waarna de overige alternatieven, naar analogie met één van de voorbeeldsystemen, zijn bekeken. Door-

dat het aantal voorbeeldsystemen een aantal malen is uitgebreid, bleken deze tenslotte meer dan 80% van de kansrijke alternatieven te omvatten. Het aantal overige alternatieven is hierdoor beperkt.

Het beoordelen van de alternatieven is gebeurd aan de hand van de criteria Functionaliteit, Kosten, Uitvoerbaarheid (FKU) en Milieubezwaar.

Het eindresultaat van de beoordeling is samengevat in een overzicht waarbij een grove prioriteitsvolgorde is aangegeven.

Voor een nadere selectie zijn alle alternatieven die slechter scoorden dan thermisch zink op het totaal van de criteria Functionaliteit, Kosten en Uitvoerbaarheid, weggelaten. Dit leverde tenslotte het volgende resultaat:

Geselecteerde systemen voor de behandeling van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken	
Galvalume (dompelen) Aluminium (dompelen) Duplexsystemen (spuiten) Email (emaileren) Al-legeringen (thermisch spuiten/dompelen)	
Zinklegeringen (galvanisch) ¹⁾ Galfan (dompelen)	

¹⁾ Deze alternatieven scoren wel beter dan thermisch verzinken, echter de milieuverdiens te ten opzichte van de overige alternatieven is minder groot.

De uiteindelijk geselecteerde alternatieven zijn allemaal min of meer bestaande systemen, die nu voor andere toepassingen worden gebruikt. Voor het toepassen van deze systemen op grote schaal bestaan naar verwachting niet al te grote technologische belemmeringen. Uit het gegeven dat een aantal van de geselecteerde systemen met betrekking tot het totaal van functionaliteit, kosten en uitvoerbaarheid beter scoren dan thermisch verzinken mag worden afgeleid dat er in een aantal gevallen niet-technologische belemmeringen bestaan, die de implementatie van de alternatieven in de weg staan.

Bij het vaststellen van de kansrijkheid van een systeem speelt de toepassing een belangrijke rol.

De niet geselecteerde alternatieven moeten niet bij voorbaat worden uitgesloten; met name voor alternatieven die met betrekking tot milieuverdiens te goed scoren, zoals anorganische deklagen, lijkt aanvullend onderzoek zinvol.

Tenslotte dient bij het toepassen van de resultaten van dit onderzoek, bijvoorbeeld voor het opzetten van een onderzoeksprogramma en implementatieplan, rekening te worden gehouden met autonome ontwikkelingen en trends. Vooral in de kassenbouw en bij hoogspanningsmasten neemt het gebruik van thermisch verzinkt staal sterk af.

Summary

A study has been made of alternatives for hot-dip zinc coatings of metal surfaces exposed to the atmosphere. The study falls within the framework of the SPA development programme set up by RIZA, the Netherlands' Institute for Inland Water Management and Wastewater Treatment. This programme coordinates RIZA's activities in the field of Clean Technology, Prevention, and Wastewater Treatment (SPA). The present programme is the first project within the programme area of Clean Technology (preparatory phase) and is therefore (also) a test case.

The general aim of the Clean Technology project is 'to promote the development and implementation of new knowledge which, through modifications in product design, raw material use and/or process control, leads to a considerable reduction in damage to the environment'. RIZA specifically chose to limit themselves to these three environmental measures, since other measures in the area of clean technology will be dealt with in other projects or fall outside their sphere of influence.

Atmospherically exposed metal surfaces are the most significant diffuse emission sources of heavy metals to the surface water, mainly as a result of corrosion of the surface layer. An inventory of atmospherically exposed metal surfaces, conducted early in the investigation, showed that the emission of zinc is the largest source. For this reason, the project was restricted to metal surfaces with hot-dip zinc coatings.

The two most significant parts of the project were 1) the drawing up of an inventory and 2) the assessment/selection of 'clean' alternatives for hot-dip zinc coatings of steel surfaces.

The utilization of experts and the organization of two workshops played an important role in the method applied.

In the initial phase of the project, the experts contributed specifically by providing information and helping to work out the details of the method to be followed. In the subsequent phase, the experts played an important role in drawing up the criteria and assessing the alternatives.

In general, the method followed seems to be a suitable one for drawing up an inventory of alternatives and assessing them, certainly when a limited quantity of primarily qualitative information is under discussion.

In drawing up the inventory of alternatives and assessing these alternatives for hot-dip zinc coatings of steel surfaces, it is important to know which concrete applications are involved. The previously conducted inventory of atmospherically exposed metal surfaces showed that it mainly concerns skeletons, horticultural greenhouses, sheds, crash barriers, lower fronts, and building fronts. Together these comprise more than 80 % of (bare) zinc-coated steel.

The inventory of alternative surface-treatment systems and the subsequent rough selection on the basis of environmental merit and actuality still provided such a large number of alternatives that it was not possible to assess all these alternatives individually and then make a finer selection. Therefore, a method was chosen in which, in the first instance, only a number of trial systems were carried out and assessed, after which the remaining alternatives were considered, analogous to one of the trial systems. Because the number of sample systems was extended several times, it turned out in the end that these comprised more than 80 % of the suitable alternatives. The amount of remaining alternatives was thus restricted.

The alternatives were assessed on the basis of the criteria Functionality, Costs, Feasibility (FCF), and Environmental Merit. The result of the assessment for the first three alternatives was combined. The final result of the assessment was summarized in a survey in which a rough order of priority is stated.

For a further selection, all alternatives that scored worse on the criteria Functionality, Costs and Feasibility than hot-dip zinc coatings were excluded, which finally led to the following result:

Selected systems for the treatment of atmospherically exposed metal surfaces	
Galvalume (hot-dip) Aluminium (hot-dip) Duplexsystemen (spraying) Email (enamelling) Al-legeringen (metal spraying)	
Zinklegeringen (electroplating) ¹⁾ Galfan (hot-dip) ¹⁾	

¹⁾ The last alternatives scored better than hot-dip zinc coatings, but their environmental merit is small compared to the remaining alternatives

The finally selected alternatives are all more or less existing systems which are currently being used for other applications. It is assumed that the technological difficulties for applying these systems on a large scale are not too unmanageable. From the fact that a number of the selected systems have scored better with respect to the total of Functionality, Costs and Feasibility than hot-dip zinc coatings, it may be deduced that in a number of cases there are non-technological difficulties that hinder the implementation of the alternatives. The type of application plays an important role in the potential selection of a system.

The non-selected alternatives should not be excluded in advance; additional investigation seems sensible particularly as far as alternatives are concerned that score very high as to environmental merit (such as inorganic coatings).

Finally it should be remarked that independent developments and trends should be taken into account when applying the results of this investigation in setting up research programmes and implementation plans. The use of zinc-coated steel is diminishing greatly, particularly in the construction of greenhouses and high-tension wires.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Summary.....	4
1	Inleiding	8
1.1	Het RIZA-project ‘Schone Technologie’	8
1.2	Case ‘Bescherming van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken.....	11
1.3	Organisatie en aanpak	11
2	Aanpak/uitvoering van het project	14
2.1	Algemeen.....	14
2.2	Oorspronkelijk onderzoekplan.....	14
2.3	Aanvullingen en wijzigingen in de projectopzet	16
2.3.1	Nadere afbakening van het onderwerp (produkt/proces)	16
2.3.2	Inventarisatie van alternatieven voor verzinkt staal	16
2.3.3	Beoordelen en selecteren van schone alternatieven	17
2.4	Workshops.....	18
3	Inventarisatie atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken.....	19
4	Inventariseren van alternatieven voor thermisch verzinkt staal	23
4.1	Werkwijze	23
4.2	Inperking en grove selectie.....	23
5	Beoordeling van oppervlaktebewerkingssystemen	26
5.1	Algemene werkwijze	26
5.2	Resultaat uitwerking van de voorbeeldsystemen	27
5.3	Opstellen beoordelingscriteria	29
5.4	Beoordeling en selectie van de alternatieven	31
5.4.1	Uitvoering	31
5.4.2	Bespreking van de resultaten	34
5.5	Bespreking overige alternatieven naar analogie van de voorbeeldsystemen	36
5.6	Selectie van de alternatieven	38
6	Evaluatie en discussie	40
7	Referenties	43
8	Verantwoording	44

Bescherming van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken – alternatieven voor het thermisch verzinken

- Bijlage 1 Inventarisatie van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken en de (diffuse) emissie*
- Bijlage 2 Berekeningsgrondslag 'milieubezwaar' via corrosie/uitloging van metalen*
- Bijlage 3 Deklagen voor atmosferisch blootgestelde staaloppervlakken*
- Bijlage 4 Uitwerking voorbeeldsystemen in werkbladen*
- Bijlage 5 Enige belangrijke kenmerken van aanbrengtechnieken voor deklagen*
- Bijlage 6 Beoordelingsformulier 2e workshop*
- Bijlage 7 Resultaten beoordeling systemen voor behandeling metaaloppervlakken tegen atmosferische corrosie*
Subtotaal functionaliteit + kosten + uitvoerbaarheid
- Bijlage 8 Resultaten beoordeling systemen voor behandeling metaaloppervlakken tegen atmosferische corrosie*
Totaal milieubezwaar
- Bijlage 9 Beoordeling milieubezwaar van systemen voor behandeling metaaloppervlakken tegen atmosferische corrosie*
(Resultaat beoordeling projectuitvoerders)

1 Inleiding

1.1 Het RIZA-project 'Schone Technologie'

De kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren is de afgelopen jaren sterk verbeterd. Na de inwerkingtreding van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO) in 1970 zijn veel industriële lozingen gesaneerd, waarbij in de meeste gevallen gekozen is voor toepassing van eindzuivering. Daarnaast wordt de laatste jaren steeds meer de nadruk gelegd op preventieve maatregelen, waarbij in beperkte mate ook aandacht wordt besteed aan schonere productieprocessen. Mede onder invloed van de sanering van de industriële lozingen is het probleem van de diffuse bronnen steeds meer op de voorgrond getreden. Deze vorm van verontreiniging kan in de meeste gevallen alleen bestreden worden door middel van maatregelen aan de bron.

Bij Rijkswaterstaat en met name bij RIZA, als verantwoordelijke dienst voor de kwaliteit van het oppervlaktewater, houdt men zich al jaren bezig met de verschillende vormen van bestrijding van vervuiling van het oppervlaktewater. Om tot een bundeling van de verschillende activiteiten op dit gebied te komen is het ontwikkelingsprogramma SPA (Schone Technologie, Preventie en Afval-waterbehandeling) opgezet. Doelstelling van dit programma is het aandragen van kennis en inzicht om het mogelijk te maken alle vormen van waterverontreiniging bij de bron te bestrijden. Hierbij komen niet alleen technische, maar ook andere relevante aspecten aan de orde komen.

Het uitgangspunt van het programma is de bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater, echter in de uitwerking en realisatie van projecten zal voor een integrale milieubenadering moeten worden gekozen, omdat vermindering van de milieubelasting van het watercompartiment niet mag leiden tot een vergelijkbare of grotere belasting van de andere milieucompartimenten.

Het ontwikkelingsprogramma SPA kent een aantal afzonderlijke programmadelen. Het onderhavige project wordt uitgevoerd in het kader van het onderdeel Schone Technologie.

De term 'schone technologie' wordt vaak gebruikt voor alle maatregelen die voorkomen dat stoffen in de afvalstroom terecht komen, dus voor alle vormen van preventieve maatregelen.

In de achtergrondnotitie Schone Technologie [1] worden de volgende milieumaatregelen onderscheiden:

- a. maatregelen die ingrijpen op het gebruik van produkten;
- b. gewijzigd produktontwerp;
- c. wijzigingen in de grondstoffen;
- d. proces-wijzigingen;
- e. procesoptimalisatie;
- f. toepassing deelstroomzuivering en terugwinning;
- g. toepassing van eindzuivering.

Met uitzondering van maatregel g. vallen andere maatregelen onder de term 'schone technologie'.

De doelstelling van het project Schone Technologie is:

Het bevorderen van de ontwikkeling en de implementatie van nieuwe kennis die door middel van wijziging in produktontwerp, grondstoffengebruik en/of procesvoering leidt tot een aanzienlijke vermindering van de milieubelasting.

Het project beperkt zich dus tot een drietal van de eerder genoemde milieu-maatregelen. Hiervoor is gekozen omdat de overige maatregelen niet binnen de invloedssfeer van RIZA vallen (a) dan wel in andere projecten uitvoerig aan de orde komen (e, f, g).

Er zijn voor RIZA twee belangrijke redenen om een actieve sturende rol te spelen bij de ontwikkeling van nieuwe kennis. Op de eerste plaats kan RIZA door haar rol in de vergunningverlening en beleidsvoorbereiding ten aanzien van het compartiment water de inzet van de kennis stimuleren, onder andere bij het actualiseren van de best uitvoerbare (but) en de best-bestaande technieken (bbt).

Op de tweede plaats kunnen ontwikkelingen door de overheid het beste worden gestuurd, wanneer deze ook goed op de hoogte is van de mogelijkheden en beperkingen van de alternatieve maatregelen en technieken.

Het project is in hoge mate strategisch van aard. Het onderzoek moet, naast het ontwikkelen van kennis, ook gericht zijn op het gebruik van deze kennis en de verworven inzichten.

Het effect van het project zal drieledig moeten zijn:

- **aanvullend**, omdat het technologische ontwikkelingen wil oppakken, die nu om bijvoorbeeld economische redenen buiten de boot vallen, maar ook om in lopend onderzoek het criterium 'milieu' meer aandacht te geven;
- **versnellend**, om onderzoek dat in een te laag tempo plaats vindt te bevorderen;
- **vernieuwend**, omdat het uitdaagt tot onderzoek dat verder af ligt van de doelstellingen van onderzoeksinstituten.

Het project richt zich op een implementatiehorizon tussen 5 en 20 jaar, omdat ervan uit wordt gegaan dat een termijn van 20 jaar een goede waarborg biedt voor het verrichten van strategisch onderzoek en dat maatregelen die op korte termijn geïmplementeerd kunnen worden door de autonome ontwikkelingen tot stand zullen worden gebracht.

Het RIZA-project Schone Technologie heeft een looptijd van 5 jaar en valt uiteen in drie fasen:

- *Vorbereidende fase*

In deze fase vindt een nadere uitwerking/inventarisatie plaats van de alternatieven binnen het kader 'schone technologie'; een technologieverkenning. Deze inventarisatie vindt per doelgroep/bedrijfstak plaats en duurt ca. een half jaar.

- *Onderzoeksfase*

In deze fase vindt de daadwerkelijke ontwikkeling van de schone technologieën plaats, waarbij het onderzoek niet alleen gericht zal zijn op de technische mogelijkheden, maar ook op andere factoren, die de implementatie van de technologie bevorderen. Er wordt uitgegaan van een onderzoeksduur van 4 jaar.

- Beoordelingsfase

De beoordeling van de resultaten zal op verschillende niveaus plaats moeten vinden (overheid, doelgroepen). De resultaten kunnen worden gebruikt om maatregelen die in het kader van doelgroepenoverleg zijn overeengekomen ten uitvoer te brengen of kunnen worden opgenomen in de advisering ten behoeve van de vergunningverlening. In deze fase zal ook veel aandacht aan kennisoverdracht moeten worden besteed.

Dit project, waarvan de resultaten in dit rapport zijn beschreven, valt binnen de voorbereidende fase van het RIZA-project 'Schone Technologie'. In deze voorbereidingsfase worden vijf stappen onderscheiden:

A. Selectie van probleemvelden/aandachtsgebieden
Uit diverse inventarisaties kan een min of meer volledige dekking worden verkregen van de problematiek van de waterverontreiniging, ingedeeld naar bronnen, stoffen en routes.
B. Selectie van onderwerpen (produkten/processen)
Binnen de geselecteerde aandachtstvelden zal een nadere selectie plaats vinden van produkten en processen, om zo tot een inperking van alternatieven te komen.
C. Genereren en inventariseren van mogelijke vormen van schone technologie
Dit kan worden uitgevoerd via literatuuronderzoek, gesprekken met deskundigen, brainstormsessies enz. Het is belangrijk de resultaten te bespreken in een voldoende breed gezelschap.
D. Beoordeling van de mogelijke vormen van schone technologie
De verschillende mogelijkheden van schone technologie worden beoordeeld op een aantal vooraf vastgestelde criteria. Ook bij dit scoren van de alternatieven is de rol van een brede groep van deskundigen belangrijk. Het is hierbij mogelijk gebruik te maken van een multicriteria-analyse.
E. Keuze van schone technologieën die nadere uitwerking behoeven in de onderzoeksfase
Op basis van de resultaten van stap D en rekening houden met de lopende (autonome) ontwikkelingen zal een keuze worden gemaakt welke schone technologieën verdere ondersteuning behoeven in onderzoeksfase van dit project.

Er wordt in het algemeen van uitgegaan dat de stappen A, B en E door het RIZA worden uitgevoerd.

1.2 Case 'Bescherming van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken'

Als eerste onderwerp voor een project in het kader van het RIZA-project Schone Technologie (voorbereidingsfase) is door RIZA gekozen voor 'atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken'. De belangrijkste argumenten voor deze keuze waren:

- De atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken zijn één van de grootste diffuse bronnen van zware metalen.
- Er is redelijk veel bekend over het onderwerp.
- De productieprocessen en de produkten zijn naar verwachting in het algemeen weinig complex en derhalve goed te beschrijven.

De laatste twee argumenten spelen met name een rol bij de aanvullende doelstelling van dit project: Naast de algemene doelstelling van het Schone Technologie-project, de bevordering van de ontwikkeling en implementatie van kennis op het gebied van de bescherming van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken, heeft het project een voorbeeldfunctie (test-case). Naast een inhoudelijke evaluatie van de resultaten van het onderzoek dient ook de gevolgde werkwijze te worden geëvalueerd, waarbij is nagegaan of de gevolgde aanpak heeft geleid tot het gewenste resultaat, welke verbeteringen mogelijk zijn en in hoeverre de gevolgde werkwijze – na eventuele aanpassing – toepasbaar is voor andere onderwerpen.

Het oorspronkelijke doel van het project was het genereren/inventariseren en beoordelen van schone technologieën bij de metaaloppervlaktebewerking. Dit zijn de onderdelen C en D van de voorbereidingsfase van het Schone Technologie, een en ander zoals omschreven in paragraaf 1.1. en in de eerdergenoemde achtergrondnotitie van RIZA [1].

In de beginfase van het project bleek dat een bijstelling in de uitvoering van het project noodzakelijk was.

Op de eerste plaats bleek het gekozen onderwerp te breed. Een nadere selectie van de in beschouwing te nemen processen/produkten bleek noodzakelijk, hetgeen betekende dat ook onderdeel B. uit de voorbereidingsfase (zie paragraaf 1.1) voor een groot deel is uitgevoerd.

Uit deze nadere selectie bleek dat de emissies van zink, veruit de belangrijkste diffuse bron vormde, hetgeen leidde tot een bijstelling van het project, namelijk de beperking tot het onderwerp 'thermisch verzinkte metaaloppervlakken'. In hoofdstuk 2, waarin de gevolgde werkwijze is beschreven, wordt nader op deze en andere aanpassingen ingegaan.

1.3 Organisatie en aanpak

Voor het onderzoek is door RIZA, afdeling Milieutechnologie een opdracht verleend aan IMET/TNO, afdeling Milieutechnologie. De projectleiding alsmede een belangrijk deel van het onderzoek, met name wat betreft de opzet en aanpak van het onderzoek, de organisatie van workshops en andere bijeenkomsten, de verwerking van de resultaten en de rapportage zijn voornamelijk door deze afdeling uitgevoerd. Voor de inhoudelijke kennis is ondersteuning verkregen van deskundigen van binnen en buiten TNO. Deze deskundigen kunnen in twee groepen worden verdeeld:

1. deskundigen die zijn geconsulteerd ten behoeve van de informatieverzameling;
2. deelnemers aan de georganiseerde workshops.

ad. 1

Deze deskundigen hebben een deel van de werkzaamheden uitgevoerd, zoals het verzamelen en verwerken van informatie en het regelmatig bediscussiëren van de aanpak en voortgang van het project. De belangrijkste instellingen en personen waren:

- Em. Prof. P.J. Gellings (Universiteit Twente);
- Instituut voor Produktie en Logistiek (IPL-TNO), afdeling Materiaalkunde (Boose, Bosch, Huis in 't Veld, Ramaekers);
- Technologisch Fysische Dienst (TPD-TNO) - TU-Delft, afdeling Keramiek Eindhoven (Gerretsen);
- TNO Centrum TNO Coatings (Hoeflaak, Ferrari, Zwaag);
- Vereniging voor Oppervlaktetechnieken van Materialen (VOM) Bilthoven (Du Mortier, v. Hoolwerff, Nonhof);
- Stichting Doelmatig Verzinken (SDV) (Kraak);
- IMET-TNO afdeling Industriële Veiligheid (IV) (Wagenaar)

Daarnaast hebben nog diverse personen binnen en buiten TNO informatie aangedragen.

ad. 2

De meeste van de deskundigen die betrokken zijn bij de directe uitvoering van het project hebben in de meeste gevallen ook deelgenomen aan één of beide workshops. De overige deelnemers aan de workshop hebben voornamelijk gefungeerd als klankbordgroep voor dit project. Naast deelname aan de workshops zijn de verschillende rapportages aan hen toegezonden ter beoordeling. Daarnaast is van een aantal van hen aanvullende informatie ontvangen in de vorm van literatuur, rapportages of interne mondelinge en schriftelijke informatie.

De volgende personen waren aanwezig bij één of beide workshop(s):

A. J. Bosch	IPL-TNO Apeldoorn ²⁾
J.W. du Mortier	VOM Bilthoven ¹⁾
W.P. van Duyn	Philips Eindhoven ¹⁾
P.J. Gellings	UT Enschede (em.)
J. Gerretsen	TNO TPD TU-Delft Eindhoven ²⁾
M. Hoeflaak	TNO-Coatings Delft ²⁾
H. van Hoolwerff	VMB Bilthoven
P.J. Meyer	RIVM Bilthoven
J.L. Poldervaart	SDV/Zincoat Nieuw-Amsterdam
P.J.J. Ramaekers	IPL-TNO Apeldoorn
H. Senhorst	RIZA Lelystad
H. Pols	RIZA Lelystad ¹⁾
G. Annokkée	IMET-TNO Apeldoorn
W.G.J.M. van Tongeren	IMET-TNO Apeldoorn

¹⁾ en ²⁾ respectievelijk alleen bij de eerste of alleen bij de tweede workshop aanwezig

De laatste vier personen waren bij de workshops aanwezig als opdrachtgever (RIZA) respectievelijk uitvoerders/leiders/organisatoren (IMET-TNO).

De opdrachtgever heeft bij de uitvoering van het project een belangrijke rol gespeeld. Hierover zijn mede vanwege de aard van het project (eerste project in dit kader, voorbeeldfunctie) voor aanvang van het project afspraken gemaakt. RIZA is nauw betrokken geweest bij de verschillende activiteiten en aanpassingen die tijdens het project zijn uitgevoerd. In voorkomende gevallen heeft zij een sturende werking gehad.

2 Aanpak/uitvoering van het project

2.1 Algemeen

Bij de formulering van de werkzaamheden voor de uitvoering van het project 'Atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken' is in eerste instantie uitgegaan van de algemene hoofdlijnen van het Schone Technologie-project van RIZA, zoals in de inleiding beschreven.

Later zijn enige onderdelen aan het project toegevoegd. In het navolgende schema is dit nader uitgewerkt.

Figuur 2.1 Overzicht onderzoekplan

Fase	Uitvoerder		Paragraaf
A	RIZA	selectie probleemveld	
B	RIZA/TNO	selectie onderzoeksonderwerp inperking onderwerp	Hoofdstuk 3
C	RIZA/TNO	inventariseren mogelijkheden ST inperking tot deklagen ¹⁾ grove selectie op basis van 'realiteit' ¹⁾	4.1 } 4.2
D	RIZA/TNO	keuze voorbeeldssystemen ¹⁾ opstellen beoordelingscriteria selectie meest kansrijke alternatieven beoordeling voorbeeldsystemen beoordeling niet-voorbeeldssystemen ¹⁾	5.2 5.3 } 5.4 5.5
E	RIZA	keuze + nadere uitwerking	

¹⁾ dit onderdeel is tijdens het project toegevoegd

2.2 Oorspronkelijk onderzoekplan

De voorgestelde werkzaamheden, zoals ze in het oorspronkelijk projectvoorstel zijn geformuleerd, zijn in twee fasen opgedeeld en zijn hierna kort samengevat:

a. Inventariseren en genereren van schone technologieën bij metaaloppervlaktebewerking

De benodigde informatie zal worden verzameld via literatuuronderzoek, binnen en buitenlandse onderzoekinstellingen en programmabureaus en via deskundigen uit de onderzoekswereld, het bedrijfsleven en de overheid.

Daarnaast zal in een adviesgroep van deskundigen via één of twee sessies informatie worden verzameld en nieuwe ideeën worden gegenereerd.

Bij deze activiteiten zijn vooraf enkele beperkingen gemaakt:

- Er zal alleen gekeken worden naar de drie milieumaatregelen:
 - wijziging in het produktontwerp,
 - wijziging in grondstof en
 - fundamentele wijziging in het productieproces.
- Het aantal mogelijke processen zal beperkt zijn. Een nadere keuze volgt.

b. Beoordelen en selecteren van ‘schone’ alternatieven

De in a. gegenereerde/geïnterpreteerde alternatieven zullen op basis van een aantal criteria worden beoordeeld, waarna een selectie volgt van de alternatieven die in het vervolg van het project Schone Technologie nader uitgewerkt zullen moeten worden tot mogelijke onderzoekprojecten.

De drie belangrijkste stappen zijn:

b1. Opstellen van beoordelingscriteria

Als voorbeelden zijn genoemd milieuverdiensite, haalbaarheid, relatie met autonome ontwikkelingen en economie. Bij het opstellen van de criteria speelt de adviesgroep een rol.

b2. Beoordeling van de schone alternatieven aan de hand van de opgestelde criteria

De beoordeling vindt plaats in sessies met de adviesgroep. De matrix schone alternatieven versus beoordelingscriteria wordt ingevuld.

b3. Multicriteria-analyse

Door middel van een multicriteria-analyse wordt op basis van de score op de gehanteerde criteria een rangorde aangebracht.

Ook bij dit onderdeel is vooraf een duidelijke afbakening aangebracht, die vooral betrekking heeft op de criteria:

- Milieuverdiensite
Het beoordelen van de milieuverdiensite is zeer complex, zeker wanneer de grenzen van de beschouwde systemen erg breed worden genomen, zoals bij milieubalansen en levenscyclusanalyses (lca). In dit kader zal het criterium naar inzicht van RIZA en IMET/TNO op een praktisch hanteerbare wijze moeten worden ingevuld. Er zal zeker niet voor uitgebreide lca's worden gekozen.
- Autonome technische ontwikkelingen
Indien autonome ontwikkelingen hiertoe aanleiding geven, kan worden overwogen een verdere beschouwing van het alternatief achterwege te laten, bijvoorbeeld indien invoering van het betreffende proces wordt belemmerd door niet-technologische factoren of omdat een produkt in de toekomst niet meer zal worden toegepast.

Met betrekking tot de multicriteria-analyse zal de noodzaak hiertoe alsmede de wijze waarop afhangen van de complexiteit van het geheel.

2.3 Aanvullingen en wijzigingen in de projectopzet

Gedurende de uitvoering van het project zijn er verschillende wijzigingen aangebracht zowel met betrekking tot inhoud en opzet als met betrekking tot de wijze van uitvoering.

Met name in de aanvangsfase van het project is veel tijd besteed aan discussie over wat het uiteindelijke resultaat zal moeten zijn en hoe dit dient te worden bereikt.

2.3.1 Nadere afbakening van het onderwerp (produkt/proces)

De eerste stap bij het inventariseren en genereren van schone technologieën bij metaaloppervlaktebewerking was een inventarisatie van de huidige stand van zaken, waarbij de volgende vragen zijn gesteld:

- Wat zijn momenteel de belangrijkste atmosferisch blootgestelde metalen?
- Wat zijn de belangrijkste toepassingen?
- Wat is het milieubezwaar in deze toepassingen?

Deze informatie is voor de deskundigen noodzakelijk voor het geven van een goede beoordeling.

Al snel bleek dat het onderwerp ‘Atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken’ te breed was, waardoor een nadere selectie noodzakelijk was.

Om dit te bereiken diende een inventarisatie uitgevoerd te worden om vast te stellen welke de belangrijkste atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken zijn uit oogpunt van (diffuse) emissie van zware metalen.

De resultaten van deze inventarisatie zijn in hoofdstuk 3 weergegeven.

Op basis van deze inventarisatie is er voor gekozen het project te beperken tot het onderwerp atmosferisch blootgestelde verzinkte staaloppervlakken. Factoren die bij deze keuze een rol hebben gespeeld, zijn de omvang van de toepassing en de emissievracht.

Een nadere onderbouwing van deze keuze volgt in hoofdstuk 3.

2.3.2 Inventarisatie van alternatieven voor verzinkt staal

Bij het inventariseren van de alternatieven is de vraag gesteld welke alternatieven mee moeten worden genomen.

Belangrijke discussiepunten hierbij zijn:

– **Moeten andere materialen (andere substraten in plaats van het staal) ook mee worden beschouwd?**

Er is afgesproken de alternatieven te beperken tot alternatieve deklagen, onder meer omdat bij alternatieve materialen voor de verschillende toepassingen aanvullende criteria gelden zoals andere mechanische eigenschappen. Bovendien komen de materialen vaak als deklaag toch wel aan de orde, zodat in een later stadium nog een keus kan worden gemaakt tot een volledig ander materiaal.

– **Welke mate van detaillering moet worden toegepast?**

In principe bestaan er in de alternatieve metaallagen, mengsels en legeringen oneindig veel varianten. Wanneer er daarbij ook nog van uit wordt gegaan dat voor een bepaalde laag een groot aantal verschillende aanbrengtechnieken mogelijk zijn, wordt hiermee het aantal alternatieven nog groter.

De keuze is gemaakt om bij het inventariseren en genereren van alternatieven de aanbrengtechniek aanvankelijk zo veel mogelijk buiten beschouwing te laten en dus alleen maar naar alternatieve deklagen te kijken. Enkele argumenten voor deze keuze zijn:

- Er wordt in eerste instantie gezocht naar alternatieven voor een bepaalde deklaag, de wijze van aanbrengen is hierbij voor als nog ondergeschikt.
- Bij een bepaalde deklaag zal in een later stadium de meest aantrekkelijke techniek worden gekozen
- Voor een aantal deklagen geldt dat deze min of meer gekoppeld zijn aan één of enkele technieken.

Om het aantal alternatieven te beperken is er voor gekozen eerst een grove selectie toe te passen, waarbij alternatieven zo veel mogelijk zouden worden geclusterd. In een later stadium kan een verdergaande selectie plaats vinden.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat door het toepassen van een eerste selectie er al een beoordeling plaats vindt op één of enkele criteria, hetgeen een overlap betekent met de volgende stap in het project.

In hoofdstuk 4 is nader ingegaan op de resultaten van de inventarisatie van de alternatieven c.q. het resultaat van de eerste grove selectie.

2.3.3 Beoordelen en selecteren van schone alternatieven

Het aantal alternatieven dat resteerde na de inventarisatie en de grove selectie bleek nog zo groot dat het niet mogelijk leek met dit aantal de volgende stap op de voorgestelde wijze uit te voeren. Daarom is voorgesteld in eerste instantie een aantal voorbeeldcases uit te werken en aan de hand van deze voorbeeldcases de overige alternatieven naar analogie te beoordelen.

De voorbeeldcases zijn gebruikt voor het opstellen van de beoordelingscriteria.

De resultaten van de uitwerking van deze zogenaamde voorbeeldcases worden in hoofdstuk 4 nader toegelicht.

De voorbeeldcases zijn in een workshop door een groep deskundigen beoordeeld op een aantal vooraf opgestelde criteria.

De uitvoering en resultaten van deze workshop zijn in hoofdstuk 5 beschreven.

2.4 Workshops

Voor het oplossen van keuzevraagstukken is een aantal benaderingen mogelijk [2]. Welke benadering wordt gekozen hangt onder meer af van het type keuzevraagstuk en de beschikbare informatie. Omdat het bij dit project in het algemeen gaat om een subjectieve beoordeling van kwalitatieve criteria is veel gebruik gemaakt van deskundigen.

Het toepassen van workshops is bij de gehanteerde methode een essentieel onderdeel. Het primaire doel van de workshops was het inwinnen, beoordelen en valideren van informatie door deskundigen. Daarnaast zijn de workshops gebruikt om de toe te passen werkwijze nader in te vullen en de beoordelingscriteria vast te stellen.

Ten opzichte van een individuele benadering van de deskundigen heeft een workshop het voordeel dat er een interactieve werking van uitgaat en dat discussie tussen deskundigen mogelijk is. Bovendien ontstaat er bij de juiste keuze van samenstelling van de groep deskundigen een breed draagvlak.

De belangrijkste activiteiten tijdens de twee workshops waren:

Workshop 1

- Toelichting op het doel en de achtergronden van het project.
- Discussie over de aanpak.
- Bespreking nadere inperking van het onderwerp.
- Eerste selectie van de alternatieven.

Workshop 2

- Bespreking van de resultaten van de eerste workshop.
- Bespreking aanpak na de eerste workshop.
- Bespreking van de criteria.
- Bespreking van de uitgewerkte voorbeeldsystemen.
- Bespreking overige alternatieven.
- ‘Scoren’/beoordelen van de alternatieven. Dit is de feitelijke invulling van de matrix alternatieven $\times$ criteria.
- Discussie over het resultaat en aangeven van een ‘ranking’.

Het beoordelen van de alternatieven in de tweede workshop is uitgevoerd met een kwalitatieve multi-criteria-analyse, waarbij de weging impliciet door de deskundigen is uitgevoerd. De score wordt toegekend door middel van ‘**educated guess**’.

Deze benadering houdt in dat direct gewichten toegekend worden aan de beoordelingscriteria. De deskundigen rangschikken de alternatieven volgens hun inzichten. De betrokken personen worden verwacht ‘educated’ te zijn, dat wil zeggen kennis van zaken te hebben. De voor- en nadelen van de alternatieven worden in de hoofden van de deskundigen (impliciet) tegen elkaar afgewogen.

Het eindresultaat is gezamenlijk bepaald door de deskundigen. In het algemeen is het gemiddelde genomen, maar bij grote onderlinge verschillen of individuele afwijkingen is hierover eerst gediscussieerd, waarna het eindresultaat is vastgesteld.

3 Inventarisatie atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken

Motivering en doelstelling

Zoals in hoofdstuk 2 aangegeven was het noodzakelijk ten behoeve van de selectie van belangrijke atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken vanuit het oogpunt van (diffuse) emissie van metalen als gevolg van corrosie/erosie een inventarisatie uit te voeren.

Deze inventarisatie was vooral bedoeld om een overzicht te geven van:

- Atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken in Nederland; verdeeld naar metaal en/of deklaag
- Jaarlijkse (diffuse) emissie van metalen van deze oppervlakken.

Op basis van deze inventarisatie diende een nadere keuze te worden gemaakt van de onderwerpen (produkten/processen) voor deze studie, een en ander zoals omschreven in de achtergrondnotitie van RIZA betreffende het onderzoeksproject Schone Technologie [1].

Werkwijze

De inventarisatie is uitgevoerd via een literatuuronderzoek, ondersteund door interviews met deskundigen. Het resultaat is ook aan de in de inleiding genoemde deelnemers aan de 1e workshop voorgelegd en naar aanleiding van discussie in deze workshop enigszins aangepast.

Resultaat

De inventarisatie heeft geleid tot een groot aantal overzichten met de onderliggende toelichtende informatie. Deze zijn weergegeven in bijlage 1.

Hierna zijn in een tweetal overzichtstabellen de belangrijkste resultaten samengevat weergegeven.

Bescherming van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken – alternatieven voor het thermisch verzinken

Tabel 3.1 Atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken in Nederland en de emissie tengevolge van corrosie/erosie

Metaal	Bescherming	Oppervlak (afgerond) m ² x 10 ⁶	% van totaal	Metaal- emissie (ton/jr.)	
Staal	geen	n.b.	-	n.b.	
	kaal verzinkt	50	19	1750	Zn
				0,5	Cd ²⁾
	Duplex (Zn + coat.)	24	9	nihil	
	verf	23	9	„	
		91 ¹⁾	34	„	
Zink	verchroomd	4	1	n.b.	
	geen	26	10	858	Zn
RVS				0,3	Cd ²⁾
	geen	35	13	50	Cr
Koper	geen	0,1	<1	22	Ni
Lood	geen	10	4	50+1	Cu ³⁾
Aluminium				140	Pb
	geen	n.b.	-	n.b.	
	geanodiseerd	4	1	„	
	verf/coating	3	1	„	
Totaal		270	100		

n.b. = niet bekend; niet in de totaaltelling opgenomen

¹⁾ Betreft oppervlak van mobiele objecten (auto's, treinen, etc.)

²⁾ Zink bevat Cd als verontreiniging. In het verleden was het Cd-gehalte 0,03%; hiermee is in de tabel gerekend (immers geplateet zink is nog voor een groot deel uit het verleden). Tegenwoordig bevat zink aanmerkelijk minder Cd; namelijk enkele ppm's.

³⁾ 50 ton/jaar = slijtage

1 ton/jaar = corrosie

Selectie

Op basis van het voorgaande overzicht is thermisch verzinkt staal – zijnde de grootste emitter – geselecteerd voor verder onderzoek.

De andere niet-onaanzienlijke bron van Zn-emissie, te weten zink (als bladzink, voornamelijk zinken dakgoten) is niet verder in beschouwing genomen, omdat alternatieven hiervoor voor handen zijn (kunststof, bouwkundige alternatieven, bijvoorbeeld dakgoot integreren in dakconstructie). RIZA zal binnenkort alternatieven van zinken dakgoten en bladlood beoordelen.

De verdeling naar toepassing van (het geselecteerde) verzinkt staal is gegeven in tabel 3.2.

Bescherming van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken – alternatieven voor het thermisch verzinken

Tabel 3.2 Atmosferisch opgestelde oppervlakken van **verzinkt staal**

Bescherming/Toepassing	aantal m ² x 10 ⁶	% van subtotaal oppervlak	% van het totaal oppervlak
<i>Verzinkt (kaal):</i>			
Skeletten (util. + ind. + tanks)	13,0	26,0	17,7
Tuinbouwkassen ¹⁾	12,0	24,0	16,3
Loodsen	8,9	17,8	12,1
Vangrails	4,8	9,6	6,5
Puien, gevels	3,5	7,0	4,8
Lantaarnpalen ²⁾	3,3	6,6	4,5
Spoorwegconstructies	1,9	3,8	2,6
Balkonhekken	1,1	2,2	1,6
Grote deuren	0,7	1,4	1,0
Verkeerspalen ²⁾	0,5	1,0	0,7
Hekwerken	0,3	0,6	0,4
Subtotaal	49,9	100	68,2
<i>Verzinkt + geverfd:</i>			
Hoogsp.masten	5,5	26,1	7,5
Ramen, kozijnen	3,8	18,0	5,2
Skeletten	3,8	18,0	5,2
Lantaarnpalen ²⁾	3,4	16,1	4,6
Balkonhekken	3,3	15,6	4,5
Hekwerken	0,8	3,8	1,1
Verkeerspalen ²⁾	0,5	2,4	0,7
Subtotaal	21,1	100	28,8
<i>Duplex:</i>			
Loodsen	1,7	68,0	2,3
Puien, gevels	0,7	28,0	1,0
Grote deuren	0,1	4,0	0,1
Subtotaal	2,5	100	3,4
Totaal	73,5		100

¹⁾ Ook oppervlak binnen de kassen; hier vindt eveneens corrosie plaats (vochtig milieu)

²⁾ Oppervlak gelijkelijk verdeeld over verzinkt en verzinkt + geverfd

Met betrekking tot de emissies van zink spelen voornamelijk de kale verzinkte staaloppervlakken een rol. Uit de tabel blijkt dat de eerste vijf genoemde toepassingen meer dan 90% van de oppervlakte omvatten.

Bij de beoordeling van deze tabellen moet er rekening mee worden gehouden dat de weergegeven waarden de op dit moment opgestelde metaaloppervlakken betreffen.

Voor een aantal van deze toepassingen geldt dat ze na een periode van een aantal jaren worden overgeleverd.

Ook moet rekening worden gehouden met lopende ontwikkelingen waarbij in het geval van nieuwbouw of vervanging er geen kaal verzinkt staal meer wordt toegepast maar alternatieve systemen. Steeds meer verzinkt materiaal wordt meteen geleverd (= duplex-systeem). Een ander voorbeeld van de invloed van lopende ontwikkelingen zijn de tuinbouwkassen, waarbij steeds meer aluminium wordt toegepast.

Een derde voorbeeld zijn de vangrails, waarbij ook naar alternatieve materialen wordt gekeken.

Tabel 2.2 kan desalniettemin als representatief verondersteld worden.

De studie is vooral gericht op de 5 belangrijkste toepassingsvormen:

- skeletten;
- tuinbouwkassen;
- loodsen;
- vangrails;
- puien, gevels.

4 Inventariseren van alternatieven voor thermisch verzinkt staal

4.1 Werkwijze

In hoofdstuk 2 is een algemene beschrijving gegeven van de aanpak en uitvoering van de inventarisatie, de wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke opzet en de onderbouwing hiervan. Hierna volgt een nadere beschrijving van de toegepaste werkwijze.

Aan de hand van een literatuuronderzoek is een overzicht opgesteld van alle mogelijke alternatieven voor het thermisch verzinken van staal, uitgaande van de in hoofdstuk 2 genoemde beperkingen:

- Geen volledig andere materialen als substraat (in plaats van staal).
- Voorlopig uitsluitend alternatieve deklagen beschouwen, los van de aanbrengtechnieken.

Bij de uitwerking van de alternatieven zijn de volgende criteria gehanteerd:

- Het milieubezwaar tijdens gebruik moet minder zijn dan dat van thermisch verzinkt staal.
Er wordt hierbij in eerste instantie alleen uitgegaan van emissie tengevolge van corrosie.
- Volstrekt niet realistische alternatieven worden buiten beschouwing gelaten.

De verzamelde informatie is in een kleine groep van deskundigen van TNO en VOM besproken, waarna een eerste overzicht is opgesteld. Dit overzicht, dat in bijlage 3 is weergegeven, was bedoeld als eerste discussiestuk en is zeker niet volledig. Dit discussiestuk is tijdens de 1e workshop aan de orde gesteld, waarna een meer complete nieuwe indeling volgde.

4.2 Inperking en grove selectie

Bij de discussie tijdens de 1e workshop over de inventarisatie van alternatieven bleek al snel dat het aantal alternatieven erg groot was. Daarom is na enige discussie gekozen voor een indeling met een algemener karakter. De volgende indeling is tijdens de workshop gemaakt:

Alternatieven voor thermisch verzinkt staal

- A. Oppervlaktemodificatie:
1. Andere deklaag
 - a. metallisch deklagen en legeringen
 - b. anorganische verbindingen
 - c. organische deklagen
 2. Transformatie (wijzigen samenstelling van het oppervlak)

- B. Andere substraten:
- Ander staalsoort
 - Weathering steel
 - RVS
 - aluminium
 - kunststof

Aan de categorie andere substraten is beperkt aandacht besteed.
De in aanmerking komende materialen zijn alleen als deklaag meebeschoofd.

Binnen de categorie oppervlaktemodificatie zijn de volgende alternatieven geselecteerd:

1. Deklagen

1.a Metallische deklagen en hun legeringen

Kathodische bescherming	Anodisch bescherming
Zn	Cu
Ti	Ni
Al	Sn
Zr	Co
Cr	Pb

1.b Anorganische deklagen

- oxiden
 - nitriden
 - carbiden
 - boriden
 - siliciden
- van een groot aantal metalen

1.c Organische deklagen

- verven
- poedercoatings
- kunststoflaminaten

2. Transformatie

- nitreren
- carboneren
- boreren
- siliceren
- chromeren

Deze selectie is uitgevoerd op basis van 'realiteitswaarde' met betrekking tot een aantal aspecten. Hierna volgt een aantal van deze aspecten en enkele beschouwde deklagen die op basis hiervan zijn afgevalen.

- Geen of slechts beperkte bescherming tegen atmosferische corrosie:
Mg, Mn, V, Y, chromaten, oxalaten, fosfaten.

- Zeldzaam/duur:
Au, Pt, Hf, Nb, Re, Ta.
- Toxiciteit:
Cd.

De metalen die niet zijn genoemd in het overzicht kunnen wel in een legering of verbinding voorkomen, maar zijn hierin niet het hoofdelement.

De criteria die zijn gebruikt voor selectie van 'realistische' deklagen zijn vaak gebaseerd op ervaringen die men nu heeft uit bestaande technieken en systemen. Dezelfde materialen zouden in andere systemen wel goed kunnen functioneren. Dit zal de praktijk moeten uitwijzen.

5 Beoordeling van oppervlaktebewerkingssystemen

5.1 Algemene werkwijze

Bij de beoordeling van alternatieve oppervlakesystemen zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Uitwerking voorbeeldsystemen

Aan het einde van de 1e workshop is geconcludeerd dat het aantal alternatieven dat resteert na deze ‘grove’ selectie nog te groot is om de fijne selectie mee uit te kunnen voeren en dat met behulp van de toegepaste grove selectiecriteria niet tot een verdere beperking kan worden gekomen. Daarom is voorgesteld eerst een beperkt aantal alternatieven als voorbeeldsysteem uit te werken.

Het verzamelen van de informatie die nodig was voor het invullen van de voorbeeldsystemen, is voor het grootste deel door IPL-TNO uitgevoerd.

De informatie is verkregen via:

- Beschikbare bronnen binnen TNO (TNO-TPD-TU-Delft, IPL, TNO-Coatings).
- Branche-instituten en onderzoekinstellingen.
- Literatuuronderzoek.
- Gesprekken met deskundigen uit binnen- en buitenland.

Nadat de informatie in conceptvorm beschikbaar was, is deze in een kleine groep van deskundigen uit de klankbordgroep besproken en van aanvullend commentaar voorzien. Het resultaat is tijdens de tweede workshop voorgelegd aan alle deelnemers van de workshop, waarna nog enkele aanvullende opmerkingen zijn gemaakt.

2. Opstellen beoordelingscriteria

Een voorstel voor de toe te passen beoordelingscriteria is opgesteld aan de hand van de kenmerken die zijn gebruikt bij het uitwerken van de voorbeeldsystemen. De criteria zijn aan de deskundigen voorgelegd.

3. Beoordeling van de voorbeeldsystemen

De voorbeeldsystemen zijn beoordeeld in de 2e workshop door de groep van deskundigen, waarbij een kwalitatieve milieucriteria-analyse is toegepast. Door middel van ‘educated guess’ hebben de betrokkenen de score voor de alternatieven gegeven (zie 2.4). Het resultaat van de individuele scores is tijdens de workshop aan de deelnemers voorgelegd. Hierna is een eindscore bepaald.

4. Beoordeling overige alternatieven

Aan de hand van de voorbeeldsystemen zijn de overige alternatieven naar analogie beoordeeld. Het resultaat van deze beoordeling is eveneens aan de deelnemers van de workshop voorgelegd.

Het gevolg hiervan was dat het aantal alternatieven dat naar analogie beoordeeld zou moeten worden nog maar beperkt was.

5.2 Resultaat uitwerking van de voorbeeldsystemen

Na uitwerking van de voorbeeldsystemen bleek dat deze naar verwachting meer dan 80% van de kansrijke alternatieven omvatten. Dit had de volgende oorzaken:

- Bij de selectie van de voorbeeldsystemen is uit elke categorie van alternatieven, uit het schema van hoofdstuk 4 minimaal één alternatief gekozen. In het algemeen is hiervoor het meest aantrekkelijke alternatief genomen.
- In enkele gevallen zijn een aantal alternatieven geclusterd.
- Tijdens de uitwerking van de voorbeeldsystemen bleek het enkele malen zinvol het aantal uit te werken systemen verder uit te breiden.

De voorbeeldsystemen zijn uitgewerkt in een aantal werkbladen. Deze zijn in bijlage 4 weergegeven.

Het betreft de volgende 13 systemen (deklagen/aanbrengtechnieken):

1. Zink/Thermisch dompelen.
2. Galvalume (55% Al, 43% Zn en Si)/Thermisch dompelen.
3. Galfan (5% Al, 95% Zn, La en Ce)/Thermisch dompelen.
4. Aluminium/Thermisch dompelen.
5. (Verzinken) + Verfsysteem (duplex).
6. Staal geoxinitreerd of gecarbonitreerd.
7. Aluminium (leg.)/coëxtrusie/walsen/cladden/platteren.
8. Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , cermet/thermisch spuiten.
9. Email/Emailleren.
10. Al (FeAl)/Thermisch spuiten.
11. Anorganische oxide coatings/natchemische processing.
12. Al, Ti/opdampen (PVD,CVD).
13. Zn-legeringen/Elektroplating.

In bijlage 5 zijn de belangrijkste kenmerken van de technieken kort samengevat.

Met betrekking tot de voorbeeldsystemen zijn door de deskundigen een aantal aanvullende opmerkingen gemaakt die niet allemaal zijn verwerkt in de werkbladen. Deze worden hierna besproken:

ad. 1 Zink/Thermisch dompelen

De laagdikte is niet willekeurig. Dikke werkstukken moeten langer in het bad blijven (opwarmen) en krijgen daardoor een dikkere laag. In de praktijk zal in de meeste gevallen de optimale laagdikte worden toegepast.

Ontzinken van het staal is nodig voordat het in het afvalstadium bij de Hoogovens kan worden verwerkt.

De corrosiesnelheid is sterk afhankelijk van de locatie: Het verschil tussen een industrieel zeeklimaat en een landelijke omgeving kan meer dan een factor 5 bedragen.

ad. 2 Galvalume

Momenteel wordt in Nederland een batch-installatie op praktijkschaal opgestart. In het buitenland vindt toepassing van Galvalume met name in de bouwwereld al op grote schaal plaats. (onder andere in Duitsland, België, Luxemburg).

ad. 4, 7 en 10 en 12 Aluminium (legeringen)

Er zijn voor aluminium een groot aantal applicatietechnieken mogelijk. Vele zijn vergelijkbaar met die voor zink, alleen de verwerkingstemperatuur is bij Al hoger. Per toepassing zal de meest aantrekkelijke worden gekozen.

De corrosie-snelheid is aanzienlijk hoger bij hogere chloride-concentraties.

Er zijn al een aantal buitentoepassingen van aluminiumcoatings op staal, onder andere in kantoorgebouwen en kassen.

In een aantal gevallen kan volledige vervanging van staal door aluminium aantrekkelijker zijn.

ad. 5 Verzinken + Verven (Duplex)

Met betrekking tot het aanbrengen moet uitgegaan worden van industriële applicatie, waardoor de emissies, net als bij de meeste overige systemen, als puntbron kunnen worden beschouwd. Verf biedt echter het voordeel dat het ook op locatie kan worden aangebracht, echter in dat geval moet rekening gehouden worden met andere milieu-aspecten (oplosmiddelen, straalgrit).

De kosten voor het aanbrengen van een verfsysteem zijn sterk afhankelijk van het gebruikte verfsysteem en de toepassing.

Voor kasgoten wordt voor poedercoaten (niet verzinken) f 10,- tot f 12,- gerekend, voor een duplexsysteem f 18,- per m².

De kosten voor het aanbrengen op locatie worden vooral bepaald door de arbeidskosten (onder andere stralen, preventieve maatregelen, aanbrengen). Deze kunnen oplopen tot meer dan f 50,- per m² (zie ook 5.3).

ad. 9 Email

Continu emailleren is aanzienlijk goedkoper dan batchgewijs. Aanbrengen kan dan via spuiten plaatsvinden.

Er is een groot aanbod aan kleuren.

In Duitsland loopt onderzoek naar het toepassen van geëmailleerde vangrails.

Ook is hier aandacht besteed aan recycling van geëmailleerde materialen via omsmelten.

ad. 11 Anorganische coatings

De porositeit speelt bij deze coatings een belangrijke rol (zie ook 5.4).

Op basis van sol-gel en epoxysealing kan deze problematiek worden verminderd.

In vergelijking met emailleren kan bij veel lagere temperatuur worden gewerkt.

ad. 13 Zinklegeringen

Er is onder andere bij IPL-TNO veel onderzoek uitgevoerd naar galvanisch aangebrachte zinklegeringen en met name zink-cobalt en zink-ijzer. Problemen bestaan nog bij de passivering, de inwendige bescherming van buizen en profielen en de opschaling van het galvaniseerproces.

5.3 Opstellen beoordelingscriteria

Doel van het uitwerken van de voorbeeldsystemen is het zodanig weergeven van de meest kenmerkende gegevens van het systeem dat een beoordeling van het alternatief en eventuele overeenkomstige alternatieven (in een workshop) goed mogelijk is. Voor het beoordelen van de alternatieven is daartoe een aantal criteria opgesteld, welke tijdens de tweede workshop aan de deelnemers zijn voorgelegd. De kenmerken die bij het uitwerken van de voorbeeldsystemen worden gebruikt zijn afgeleid van deze criteria. Hierna volgt een korte algemene toelichting.

Functionaliteit

- levensduur;
- beschadigingsgevoeligheid.

Met levensduur wordt bedoeld de periode tot een volledige nieuwe deklaag moet worden aangebracht. Er wordt hierbij van uitgegaan dat het noodzakelijke onderhoud aan een laag wordt uitgevoerd. Een levensduur van meer dan 50 jaar is niet nader uitgewerkt, omdat de gebruiksduur van het substraat in de meeste gevallen korter is. De beschadigingsgevoeligheid heeft met name betrekking op mechanische beschadiging bijvoorbeeld tengevolge van gebruik, erosie en bij het aanbrengen. Bij een aantal deklagen speelt kathodische bescherming hierbij een belangrijke rol.

Factoren die van invloed zijn op de functionaliteit zijn de laagdikte, het soort toepassing en de omstandigheden.

Met betrekking tot de laagdikte is uitgegaan van de meest gangbare laagdikte voor de betreffende techniek.

Wat betreft de toepassingen is voornamelijk gekeken naar de belangrijkste toepassingen uit tabel 3.2, skeletten, tuinbouwkassen, loodsen, vangrails, puien, gevels en lantaarnpalen.

Met betrekking tot de omstandigheden is, tenzij anders vermeld, uitgegaan van de voor corrosie slechtste omstandigheden, zeeklimaat met industrie.

Kosten

- bij aanbrengen;
- van onderhoud.

Er bleek weinig gedetailleerde informatie beschikbaar over de kosten van de verschillende alternatieven. De getallen in tabel 5.1 zijn derhalve schattingen. Oorzaken zijn onder andere het ontbreken van praktijkinformatie over de toepassing van de meeste alternatieven en de grote spreiding in de beschikbare gegevens. Dit laatste hangt samen met de grote verschillen in toepassingen. In de meeste gevallen zijn schattingen gemaakt naar analogie met vergelijkbare systemen.

De kosten van een deklaag zijn onder meer afhankelijk van de grondstofkosten, de

toegepaste techniek, de wijze van aanbrengen (batch of continu, industrieel of op locatie) en de toepassing.

De kosten moeten eigenlijk gerelateerd worden aan de levensduur, echter een lineaire omrekening is niet zonder meer mogelijk. Er moet dan ook rekening worden gehouden met andere aspecten, zoals levensduur van het substraat, kapitaalslasten en verschillende vormen van onderhoud. Een dergelijke detaillering wordt in dit stadium als te ver gaand beschouwd.

Bij het uitwerken van de voorbeeldsystemen is ook aandacht besteed aan de kosten bij onderhoud. Met dit onderhoud wordt eigenlijk de vervanging van de deklaag bedoeld.

Voor onderhoud bestaat er een beperkt aantal mogelijkheden:

1. Onderhoud ter plekke is mogelijk. Dit geldt slechts voor een beperkt aantal systemen.
2. Onderhoud is niet van toepassing, omdat de levensduur lang genoeg is.
3. Het systeem is niet ter plekke te onderhouden. Er zijn dan twee mogelijkheden: een ander systeem (verven of spuiten) of demontage en onderhoud in de fabriek. In het laatste geval zijn de kosten in het algemeen vergelijkbaar met de kosten van aanbrengen en komen de kosten van de demontage, montage en transport erbij. Demontage is echter niet voor elke toepassing mogelijk. In het algemeen zijn de kosten on-site aanzienlijk hoger dan bij industrieel aanbrengen.

Bij de kostenberekening moeten ook de milieukosten, zoals de kosten van herverwerking mee moeten worden genomen. Omdat hierover nog weinig bekend is zijn deze kosten hier niet meegenomen. Bij de beoordeling van de milieuaspecten is wel rekening gehouden met de kosten.

Bij de beoordeling zijn alleen de kosten van aanbrengen als criterium gebruikt.

Uitvoerbaarheid

- stand der techniek;
- schaal;
- onderhoud ter plekke.

Een systeem wordt als ingevoerd beschouwd wanneer deze op praktijkschaal toegepast wordt. Dit hoeft niet te betekenen dat het systeem voor de in deze studie aan de orde zijnde toepassingen al in de praktijk wordt gebruikt.

Sommige systemen zijn alleen voor bepaalde toepassingen geschikt, bijvoorbeeld alleen voor continue systemen.

Indien de techniek niet is ingevoerd is een schatting gegeven van de tijd die hiervoor nog nodig is.

De schaal is de mogelijke schaalgrootte waarop het systeem uitvoerbaar is.

Dit aspect is niet bij de beoordeling meegewogen.

Met betrekking tot onderhoud ter plekke wordt bedoeld of het al of niet mogelijk is ter plekke een nieuwe deklaag aan te brengen aan het eind van de levensduur van de deklaag.

Zie ook bij kosten.

Milieuaspecten

- emissies bij gebruik;
- emissies bij aanbrengen en onderhoud;

- milieuaspecten in het afvalstadium;
- energie-aspecten.

De emissies bij gebruik zijn beperkt tot de emissies tengevolge van corrosie. De emissies bij aanbrengen en onderhoud zijn in de meeste gevallen puntbronnen, omdat de deklaag industrieel wordt aangebracht. Een uitzondering vormen het verven en spuiten, waarbij het aanbrengen zowel industrieel als op locatie mogelijk is. Indien er daarnaast nog bijzondere aspecten een rol spelen wordt dit vermeld. Zie ook bij 'kosten' de toelichting met betrekking tot onderhoud.

Met betrekking tot de milieuaspecten in het afvalstadium dient een onderscheid gemaakt te worden tussen het substraat en de deklaag. In een aantal gevallen is eerst een verwijdering van de deklaag nodig voordat het staal kan worden hergebruikt. Voor verf is dit meestal niet nodig. Bij het verwijderen van de deklaag ontstaat ook een afvalstof, waarvan het milieubezwaar moet worden bekeken.

Het energie-aspect wordt tot uitdrukking gebracht door de energie-inhoud van de deklaag en de energiebehoefte bij het aanbrengen van de deklaag weer te geven. Deze informatie is slechts voor een beperkt aantal deklaagen beschikbaar.

Bij de beoordeling is het energie-aspect niet meegenomen.

5.4 Beoordeling en selectie van de alternatieven

5.4.1 Uitvoering

Voor het beoordelen van de geïnventariseerde alternatieve oppervlaktebehandelingssystemen is een tweede workshop georganiseerd. Hiervoor zijn naast de deelnemers van de eerste workshop nóg enkele deskundigen uitgenodigd.

In de inleiding is een lijst gegeven van de deelnemers aan deze workshop.

In paragraaf 2.3 zijn de overige activiteiten tijdens de 2e workshop beschreven.

Het beoordelen van de alternatieven is beperkt tot de systemen, die als voorbeeldsysteem zijn uitgewerkt in de werkbladen. Deze beperking is toegepast op basis van twee belangrijke conclusies uit de vorige paragrafen:

1. De in de werkbladen (bijlage 4) uitgewerkte voorbeeldsystemen omvatten de meest kansrijke van de in aanmerking komende alternatieven.
2. De overige alternatieven, zoals ze zijn uitgewerkt in par. 5.4 blijken of om een aantal redenen minder aantrekkelijk dan de voorbeeldsystemen of zodanig goed vergelijkbaar dat ze binnen een voorbeeldsysteem passen.

Voorafgaande aan de beoordeling van de alternatieven zijn de werkbladen met de deelnemers van de workshop besproken. Hierbij zijn nog enige wijzigingen en aanvullingen aangebracht.

De belangrijkste gegevens van de werkbladen zijn in één tabel samengevat. Deze tabel is hierna weergegeven. De tabel en de werkbladen zijn gebruikt als hulpmiddelen bij het beoordelen van de alternatieven.

Tabel 5.1 Kenmerken systemen voor behandeling metaaloppervlakken tegen atmosferische corrosie
(samenvatting werkbladen)

Systeem	Functionaliteit		Kosten per m ²	Uitvoerbaarheid			Milieubezwaar ²⁾		Opmerkingen
	Levensduur (jaren)	Mech. sterkte	Aanbrengen (batch)	Stand der Techniek ¹⁾		Vervanging deklaag ter plekke	Gebruik	Hergebruik substraat	
				Batch	Continu				
Zink (Dompelen)	15 - 40	goed	25	ingev.	ingev.	niet mogelijk ²⁾	1	mogelijk dekl. verwijderen	onderhoud kan d.m.v. verven
Galvalume (Dompelen)	30- > 50	redelijk/go ed	ca. 35 ³⁾	5 j.	ingev.	niet mogelijk ³⁾	0,1	mogelijk dekl. verwijderen	oververven mogelijk
Galfan (Dompelen)	25 - 75	goed	ca. 35 ⁴⁾	5 j.	ingev.	n.v.t./niet mogelijk ³⁾	0,4	zie Zink deklaag	onderhoud kan d.m.v. verven
Al (Dompelen)	> 50	redelijk/go ed	ca. 50 ⁴⁾	5 j.	ingev.	niet mogelijk ³⁾	< 0,1	mogelijk dekl. verwijderen	Levensduur zeeklimaat
Verf (+ verzinken)	10 - 40	redelijk goed ⁴⁾	30 - 80	ingev.	ingev.	goed mogelijk	< 0,1	mogelijk	overg. naar watersyst.
Oxinitr. of Carbonitr.	3 - 5	goed	100 - 1000	5-10	-	niet mogelijk ³⁾	< 0,1	mogelijk	comb. ox.+ nit /carb. in ontw.
Al(leg)coëx/wals/ platteren	> 50 ⁵⁾	redelijk/ goed	40 - 100	5-10	-	n.v.t./niet mogelijk ³⁾	< 0,1	mogelijk dekl. verwijderen	
Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ spuiten	> 50 ⁶⁾	matig	25 - 100 ⁶⁾	5	10	n.v.t./ mogelijk	< 0,1	herb. mogelijk deklaag?	poriedichte laag ²⁾ moeilijk
Email/ Emailleren	> 50 ⁶⁾	redelijk/go ed	30	ingev.	ingev.	n.v.t./niet mogelijk	< 0,1	mogelijk dekl. inert	poriedichte laag ²⁾ moeilijk
Al (FeAl) spuiten	> 50 ⁶⁾	redelijk	> 30	ingev.	5	n.v.t./mogelijk	< 0,1	mogelijk dekl. verwijderen	poriedichte laag ²⁾ moeilijk
Anorg. ox. natch. proces	> 50 ⁶⁾	matig/ redelijk	40	10	10	n.v.t./niet mogelijk	< 0,1	mogelijk dekl. inert	poriedichte laag ²⁾ moeilijk
Al/Ti oxid. PVD,CVD	> 50 ⁶⁾	redelijk /goed	50 - 100	> 10	>10	n.v.t./niet mogelijk	< 0,1	herb. mogelijk deklaag?	poriedichte laag ²⁾ moeilijk
Zn-leg. Galvanisch	15 - 40	goed	20	ingev.	ingev.	niet mogelijk ³⁾	0,3	mogelijk dekl. verwijderen	onderh. kan via verven

¹⁾ Eventueel Jaren, is het aantal jaren voordat de techniek is ingevoerd

²⁾ Zie volgende pagina

³⁾ Kosten nog niet bekend, nog niet toegepast als continu-systeem, prijs naar analogie met Zn

⁴⁾ In combinatie met Zn onderlaag

⁵⁾ Uitgaande van een poriedichte laag

⁶⁾ Afhankelijk van mate van mechanisering

Poriedichtheid:

Het begrip poriedichtheid verdient een nadere toelichting. Voor zover bekend is het voorkomen van doorlopende poriën in coatings in het algemeen niet of nauwelijks mogelijk. Dit geldt zowel voor de metallische, de anorganische als de organische coatings. Belangrijker is in hoeverre deze defecten de corrosieprotectie-eigenschappen van het totale systeem beïnvloeden. Email-lagen kunnen voor de atmosferische toepassing voldoende dicht verkregen worden, indien nodig door het toepassen van een meerlagensysteem. Dit geldt zeker in vergelijking met thermisch gespoten lagen. Daarnaast speelt de eventueel aanwezige kathodische bescherming een rol. Voor de meeste metallische lagen zoals Zn en Al geldt ook dat deze niet porievrij aangebracht kunnen worden. Deze lagen kunnen zelfs een hogere poriedichtheid hebben als bijvoorbeeld organische coatings. Door de kathodische bescherming wordt echter tot op een zekere hoogte het substraat beschermd tegen corrosie, waardoor de beperkte poriedichtheid geen praktische beperking hoeft op te leveren.

Milieubezwaar

Met betrekking tot de beoordeling van het milieubezwaar tijdens gebruik (tengevolge van corrosie) is gekozen voor de volgende berekeningswijze:

Het milieubezwaar tijdens gebruik is het produkt van de hoeveelheid corrosie ($\text{g/m}^2\cdot\text{jaar}$) en een factor die het milieubezwaar per gewichtseenheid weergeeft. Met betrekking tot deze factor is de reciproke waarde van het MTR (Maximaal Toelaatbaar Risico) voor water gekozen. Het milieubezwaar voor zink is op 1 gesteld. Deze benadering is in een enigszins andere vorm tijdens de eerste workshop besproken en heeft na enige kleine aanpassingen geleid tot bovenstaande berekeningswijze. In bijlage 2 is het resultaat van deze berekeningen voor een aantal verschillende deklagen weergegeven.

Tijdens de 1e workshop zijn bij het milieubezwaar enkele kanttekeningen geplaatst:

- a. Een deel van het materiaal van de deklaag verdwijnt tijdens gebruik niet via corrosie maar ook via slijtage en komt onopgelost en daardoor vaak veel minder milieubezwaarlijk in het milieu terecht. Omdat het moeilijk is deze hoeveelheid te kwantificeren wordt uitgegaan van de 'worst-case' dat alles in opgeloste vorm in het milieu terecht komt.
- b. Om het milieubezwaar tijdens gebruik als enig milieucriterium te beschouwen wordt te beperkt gevonden. Gekozen is om deze beperking alleen bij de eerste grove selectie toe te passen, maar bij de volgende selectie ook andere milieu-aspecten (zoals het milieu-effect van het produkt in de afvalfase) mee te nemen.

In eerste instantie is gevraagd een score toe te kennen aan de kenmerken Functionaliteit, Kosten en Uitvoerbaarheid, waarbij de volgende scores mogelijk waren:

- ++ = zeer positief
- + = positief
- 0 = niet positief en niet negatief
- = negatief
- = zeer negatief

De deelnemers aan de workshop is verzocht ieder afzonderlijk de systemen te beoordelen, waarbij gebruik is gemaakt van een formulier zoals weergegeven in bijlage 6.

Er is voor gekozen de score voor de oppervlaktebehandeling via thermisch verzinken in alle gevallen op 0 te stellen.

Nadat aan de drie kenmerken (FKU) een score is toegekend, is aan de deelnemers gevraagd deze score op te tellen, waarbij de deelnemers individueel bepaalden welk gewicht zij aan een bepaald criterium toekennen (educated guess). Het resultaat van deze optelling levert derhalve niet per definitie het rekenkundig gemiddelde als eindresultaat op.

Bijvoorbeeld:

Een score van een -, 0 en + voor respectievelijk Functionaliteit, Kosten en Uitvoerbaarheid behoeft geen 0 als totaal op te leveren maar, dit kan best een + of een - zijn, wanneer het kenmerk dat die + of die - gekregen veel belangrijker wordt gevonden dan de overige kenmerken.

De eindscores van de verschillende deelnemers zijn samengevat in bijlage 7.

Dit overzicht is tijdens de workshop aan de deelnemers voorgelegd en besproken, met het doel te komen tot een totaalscore, waarover binnen de groep overeenstemming bestaat. Deze totaalscore, zoals die in de tabel is weergegeven, is wel min of meer het rekenkundig gemiddelde. Voor die gevallen waarbij de verschillen tussen de scores van de individuele personen meer dan 1 niveau verschilde, is hier over gesproken in de groep. In enkele gevallen heeft dit geleid tot een aanpassing van de score, wanneer deze tot stand was gekomen tengevolge van een andere interpretatie van de gegevens en/of waarbij de discussie tot een ander inzicht leidde.

Vervolgens is gevraagd om ook aan het kenmerk milieubezwaar een score toe te kennen. Deze scores zijn samengevat in bijlage 8.

De totaalscore is op dezelfde wijze tot stand gekomen als bij de vorige tabel en derhalve ook min of meer het rekenkundig gemiddelde.

Het milieubezwaar is (in een eerder stadium) ook door de uitvoerders van het project beoordeeld, waarbij een uitvoerige uitwerking van het criterium is gebruikt. Bij deze beoordeling is niet uitgegaan van een score 0 voor thermisch verzinken. De resultaten van deze beoordeling is in bijlage 9 weergegeven. Wanneer beide scores worden vergeleken blijkt dat, na correctie tengevolge van de verschillende uitgangswaarden voor thermisch zink, de resultaten niet veel verschillen. Bij de verdere interpretatie van de resultaten is de score van de werkgroep gebruikt, mede omdat hierbij voor zink een uitgangswaarde 0 is gehanteerd.

5.4.2 Bespreking van de resultaten

Uit de overzichten in bijlage 7 en 8 blijkt dat het resultaat van de beoordeling van de verschillende deelnemers over de verschillende systemen in het algemeen geen grote verschillen vertoonden.

Wat betreft de scores in tabel 7 (Functionaliteit, Kosten en Uitvoerbaarheid) liepen de meningen over Al, Email en Anorganische oxiden enigszins uiteen.

Het oordeel van personen over die deklagen, waarover bij hen een meer dan gemiddelde deskundigheid aanwezig is, was in het algemeen positiever.

De mening over nog niet ingevoerde technieken was van de deelnemers, die dichter bij de dagelijkse praktijk staan, in het algemeen minder positief.

De scores met betrekking tot milieubezwaar verschillen onderling slechts weinig. Het verschil in de eindscore tussen + en ++ is in enkele gevallen maar erg klein. Dit komt onder meer door het vaststellen van de score voor zink op 0 en het gegeven dat er gezocht is naar alternatieven die met betrekking tot het milieuaspect beter zijn dan zink. Er is veel gediscussieerd over het milieubezwaar van verfsystemen. Met name de KWS-problematiek en de problematiek van het stralen worden als negatief ervaren. Aan de andere kant wordt gesteld dat deze negatieve aspecten goed beheersbaar zijn zeker wanneer er sprake is van industrieel spuiten. Omdat bij de meeste overige systemen aanbrengen op locatie niet mogelijk is, moeten de nadelige milieuaspecten ervan niet te zwaar wegen. Wanneer daarnaast nog gekozen wordt voor systemen met minder oplosmiddelen, zijn de milieubezwaren aanzienlijk minder. Tijdens de discussie in de workshop is voor poedercoatings mede hierom een waardering + voor milieubezwaar overeengekomen.

De score van één deelnemer met betrekking tot het milieubezwaar van met name de anorganische deklagen is lager. Dit heeft voornamelijk te maken met de afwijkende mening over het milieubezwaar in het afvalstadium, dat door de betreffende persoon erg belangrijk wordt gevonden en minder positief wordt ingeschat.

Het resultaat van de beoordeling van de alternatieven voor thermisch verzinken als oppervlaktebehandelingssysteem tegen atmosferische corrosie, **het belangrijkste eindresultaat van de tweede workshop** is in tabel 5.2 samengevat.

Tabel 5.2 Samenvatting van de resultaten van de beoordeling van systemen voor de behandeling van metaaloppervlakken

Criterium	Functionaliteit + Kosten + Uitvoerbaarheid	Milieubezwaar
+/++		Oxinitr./Carbonitr. Al(legeringen) Al (therm. spuiten) Al_2O_3 , ZrO_2
+	Galvalume (dompelen) Aluminium (dompelen) Verf (duplex) Email	Email Anorg. oxiden Al/Ti-oxiden Al (dompelen) Galvalume
0	Zink (dompelen) Zinkleg. (galvanisch) Galfan (dompelen) Al(FeAl) (therm. spuit)	Verf (duplex) Zinklegeringen Galfan Zink
-	Al (leg) (wals/platt/c) Al_2O_3 , ZrO_2 (therm. spuit) Anorg. oxide (Natchem.) Al/Ti-ox (PVD, CVD)	
--	Oxinitr./carbonitr.	

De volgorde van de verschillende systemen binnen een cel is niet geheel willekeurig; de onderlinge verschillen met betrekking tot de scores is in de volgorde tot uitdrukking gebracht, de verschillen binnen een cel zijn echter klein.

5.5 Bespreking overige alternatieven naar analogie van de voorbeeldsystemen

De (groepen van) deklagen, die niet in de voorbeeldsystemen zijn uitgewerkt, zijn besproken aan de hand van de voorbeeldsystemen. Hierbij is nagegaan of de alternatieven binnen de voorbeeldsystemen passen en/of het betreffende alternatief duidelijke voordelen biedt ten opzichte van het uitgewerkte alternatief. Er is uitgegaan van de alternatieve deklagen zoals in hoofdstuk 4 besproken. Het resultaat is tijdens de tweede workshop aan de orde gesteld.

1a. Metallische deklagen en hun legeringen

Kathodische deklagen

Zink, titaan en aluminium zijn genoemd, Zr is vergelijkbaar met Ti. Cr wordt voor buiten-expositie altijd in combinatie met Ni als onderlaag toegepast. Als pure deklaag is het vanwege porositeit alleen geschikt in dikke lagen (hardchroom). Hoge kosten en het milieubezwaar zijn nadelige factoren.

Er bestaan zeer veel verschillende soorten legeringen.

Van Al zijn Galvalume en Galfan genoemd. De meeste Al-legeringen hebben net als Al een goede corrosieweerstand. Als voorbeelden kunnen worden genoemd de 3000 serie (bevat Mn) en de 6000 serie (bevat Si en Mg).

Als aanvullende behandeling van het aluminium kan anodiseren worden genoemd, waarbij de gevormde laag een extra bescherming biedt.

Anodische deklagen

Cu, Ni, Sn en Co kunnen alleen via elektrodepositie worden aangebracht.

De corrosiewering is vergelijkbaar of beter dan zink, echter de kathodische bescherming, die voor veel toepassingen erg belangrijk is, ontbreekt.

Het milieubezwaar van de metalen is groter dan van zink.

Koperlegeringen hebben een grote corrosieweerstand (Cu-Sn, Cu-Al).

Gechromateerd messing is vergelijkbaar met een gechromateerde zinklegering.

Roestvaststaal heeft een goede corrosiebestendigheid. Als deklaag kan het alleen via spuiten of oplassen worden aangebracht, omdat de samenstelling van de laag niet mag veranderen. Zie hiervoor Al/thermisch spuiten, werkblad 10.

Nikkellegeringen zoals Monel (Ni-Cu) en de Hastelloys (Ni-Mo-Fe-Co-Cr) hebben eveneens een goede corrosiebeschermende werking.

'Weathering steels' vormen een beschermende roestlaag. Deze legering is minder geschikt in zeeklimaat, maar kan wel als onderlaag voor organische coatings worden toegepast. Bovengenoemde alternatieven zijn geschikt als deklaag, maar ook als volledige vervanging van het staal.

1b. Anorganische deklagen

In de werkbladen 8, 9 en 11 zijn de oxiden als voorbeeldsystemen uitgewerkt. In het algemeen wordt er van uitgegaan gegaan dat deze oxiden de voorkeur genieten boven de nitriden, carbiden, boriden en siliciden. Enkele aanvullende opmerkingen dienen hierbij te worden gemaakt:

- De oxiden zijn in veel gevallen chemisch resistenter dan de overige anorganische deklagen. Bijvoorbeeld AlN reageert met water, Al_2O_3 is inert.
- Niet-oxiden worden vaak met relatief dure technieken opgebracht, de oxiden vaak met goedkope technieken (anodiseren, emailleren)
- Van veel anorganische deklagen is echter weinig bekend. Enkele carbiden (van Cr, Zr en Ti), nitriden (Cr, Zr en V) en siliciden (Ti en Ta) worden wel genoemd met betrekking tot een hogere corrosieweerstand, echter cijfers over de atmosferische corrosie in relatie met Zn of Al zijn niet bekend.
- Veel van deze lagen zijn bekend om andere eigenschappen:
Bijvoorbeeld van de boriden is de hoge hardheid bekend, TiN is bekend vanwege de hoge slijtvastheid En CrB_2 vanwege de bestendigheid tegen zuren.

1c. Organische deklagen

Er bestaan een groot aantal verschillende organische coatings, eventueel in combinatie met andere systemen. Op de eerste plaats kan een onderscheid worden gemaakt tussen het direct aanbrengen van de coating op het staal en het duplexsysteem, waarbij eerst een metaallaag (bijvoorbeeld zink, galvalume, galfan) wordt aangebracht. Van het laatstgenoemde systeem, dat in het algemeen een betere bescherming biedt, is in het voorbeeldsysteem uit gegaan. Dit betekent niet dat voor alle toepassingen dit duplexsysteem de voorkeur heeft. Het is sterk afhankelijk van de specifieke eisen.

Een ander belangrijk verschil tussen de diverse organische deklagen heeft betrekking op het gebruik van oplosmiddelen. Bij poedercoaten wordt bij het aanbrengen geen oplosmiddel gebruikt, terwijl bij de overige systemen er een groot verschil is tussen hoeveelheid oplosmiddel (denk aan high solidsystemen) en het type oplosmiddel (organisch of watergedragen). Deze aspecten spelen met name een rol bij het milieuaspect. Echter ook de levensduur van de verschillende systemen kan sterk verschillen.

Zinksilicaatverven

Dit type verven bestaat uit een silicaatbinder, met zinkpoeder als pigment. Het zinkpercentage kan meer dan 90% bedragen en draagt zorg voor de kathodische bescherming.

Na het aanbrengen verdampt het oplosmiddel (water) en vormt zich een onoplosbare zinksilicaatmatrix. Een groot deel van het zink blijft als zinkpoeder in de deklaag aanwezig, en geeft kathodische bescherming. Het voordeel is dat de laag ter plekke kan worden aangebracht (eventueel in duplexsysteem).

Met betrekking tot de kunststoflaminaten zijn er volgens deskundigen op dit moment geen alternatieven die voor deze toepassingen aantrekkelijk lijken

Transformatielagen

Op basis van de beschikbare kennis zijn de meest aantrekkelijke lagen in het voorbeeldsysteem uitgewerkt. Omdat deze weinig perspectief lijken te bieden is aan andere transformatielagen geen aandacht besteed.

5.6 Selectie van de alternatieven

Een verdere selectie op basis van de resultaten zoals weergegeven in tabel 5.2 is mogelijk. Hierbij is uitgegaan van de algemene opzet van het Schone Technologie-project waarbij voor deze fase gestreefd wordt naar een beperkt aantal alternatieven. Het uitvoeren van een dergelijke selectie kan op verschillende wijze worden uitgevoerd.

Een eerste keuze, welke nog tijdens de workshop is uitgevoerd, is het uitsluiten van alle alternatieven die met betrekking tot het totaal van Functionaliteit, Kosten en Uitvoerbaarheid (FKU) negatief scoren. Met andere woorden: er zijn alternatieven geselecteerd die een verlaging van het milieubezwaar geven bij een gelijke of betere geschiktheid als oppervlaktebescherming.

Naast thermisch zink resteren nu een zevental alternatieven.

Opmerkelijk is dat deze alternatieven niet alleen met betrekking tot het milieuaspect beter scoren dan thermisch verzinken, maar dat de meeste ook wat betreft de overige criteria de voorkeur lijken te verdienen. In de discussie in hoofdstuk 6 wordt hier op nader ingegaan.

Vanuit de overige alternatieven, zoals zijn uitgewerkt in par. 5.5 zijn twee uitbreidingen/aanvullingen zinvol:

- De Al-legeringen moeten in wat meer algemene zin worden vermeld. De aanbrengtechniek is afhankelijk van de toepassing.
- Het duplexverfsysteem kan worden aangevuld met een duplexsysteem, waarbij poedercoatings worden gebruikt.

Het eindresultaat van de selectie kan als volgt worden samengevat:

Geselecteerde systemen voor de behandeling van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken	
Galvalume (dompelen) Aluminium (dompelen) Duplexsystemen (spuiten) Email (emaileren) Al-legeringen (thermisch spuiten/dompelen)	
Galfan (dompelen) ¹⁾ Zinklegeringen (galvanisch)	

¹⁾ Deze alternatieven scoren wel beter dan thermisch verzinken, echter de milieuverdienste ten opzichte van de overige alternatieven is minder groot.

De hiervoor weergegeven systemen, kunnen worden beschouwd als het resultaat van een selectie van deskundigen (educated guess) van de meest in aanmerking komende systemen voor de behandeling van staaloppervlakken ter bescherming tegen atmosferische corrosie.

Voor een juiste interpretatie van dit resultaat is het noodzakelijk te weten welke criteria zijn gehanteerd en welke (kwalitatieve) informatie is gebruikt.

In hoofdstuk 6 wordt hierop nader ingegaan.

Opmerkingen

- Bij de keuze van het oppervlaktebehandelingssysteem dient een onderscheid gemaakt worden tussen nieuwe en bestaande objecten. Voor nieuwe objecten kan in eerste instantie in principe gekozen worden uit de geselecteerde systemen, rekening houdend met de beperkingen van een specifieke toepassing. Er wordt hierbij uitgegaan van het aanbrengen op industriële schaal.

Voor bestaande objecten moet een afweging worden gemaakt tussen het op locatie aanbrengen van een nieuwe deklaag of (indien mogelijk) het demonteren en industrieel aanbrengen van een nieuwe deklaag.

Indien het aanbrengen op locatie de voorkeur verdient of noodzakelijk is, komen slechts verven en thermisch spuiten van Al(-legeringen) in aanmerking.

Voor bestaande systemen is het daarbij zinvol te overwegen op welk tijdstip de deklaag vervangen moet worden. Zeker in het geval van aanbrengen van een nieuwe verflaag op locatie kan de aanwezigheid van een goede (niet beschadigde) zinklaag zeer functioneel zijn (duplexsysteem).

- Bij de keuze van aluminium als deklaag kan de overweging worden gemaakt tussen het aanbrengen van een deklaag of het volledig vervangen van het substraat door aluminium.

6 Evaluatie en discussie

In dit afsluitende hoofdstuk worden enige kanttekeningen geplaatst bij het uitgevoerde project en de daarbij verkregen resultaten. Het kan opgevat worden als een beperkte evaluatie van het project, ondersteund door enige discussie, voorzover deze niet eerder in de tekst is opgenomen. De kanttekeningen hebben met name betrekking op de verkregen resultaten en hoe daar verder mee te handelen en de gevolgde werkwijze, waarmee tot de resultaten is gekomen.

Evaluatie met betrekking tot de gevolgde werkwijze in het algemeen

Naast het genereren, inventariseren, beoordelen en selecteren van alternatieve oppervlaktebehandelingsmethoden voor metaaloppervlakken is het onderhavige project ook bedoeld als test-case, om na te gaan of de toegepaste werkwijze ook geschikt is voor andere onderwerpen in het kader van het onderzoeksprogramma SPA. Met betrekking tot enkele essentiële onderdelen zijn de volgende kanttekeningen geplaatst:

- Selectie van het onderwerp
Het is noodzakelijk uit te gaan van een goed afgebakend onderwerp. Tijdens het onderhavige project bleek het onderwerp in eerste instantie te breed, waardoor het noodzakelijk was een nadere selectie uit te voeren. Na deze nadere selectie bleek het pas goed mogelijk de uitgangspunten van het onderzoek vast te stellen.
- Het geselecteerde onderwerp was relatief technisch en wat betreft het milieu-aspect vrij eenvoudig. Alleen het milieubezwaar in de gebruiksfase is aan de orde gesteld.
- Inventariseren en genereren van de alternatieven
Naast het uitvoeren van literatuuronderzoek is het raadplegen van deskundigen essentieel. Belangrijk discussiepunt is de mate van detaillering. Het bleek vaak moeilijk over te brengen in welke mate van detaillering de informatie diende te worden uitgewerkt. Specialisten zijn vaak tot een verregaande detaillering geneigd. Daarbij is een groot verschil tussen nieuwe en bestaande systemen. Bij de laatstgenoemde is een verdergaande detaillering mogelijk.
Het tijdstip van inschakelen van de deskundigen is hierbij ook belangrijk. Tijdig inschakelen van deskundigen is gewenst. Bij het onderhavige project is dit vrij laat gebeurd waardoor pas laat een volledig overzicht van de omvang van het onderwerp werd verkregen.
- Beoordelen en selecteren van de alternatieven
Het houden van workshops is door alle betrokkenen als zeer waardevol ervaren. Met name de discussie tussen specialisten vanuit hun verschillende invalshoeken werd als zeer nuttig beschouwd.
De zeer regelmatige besprekingen met de diverse deskundigen en met RIZA hebben er voor gezorgd dat de noodzakelijke bijstelling van het project tijdig is uitgevoerd.

Uit het voorgaande blijkt dat gedurende de gehele uitvoering van het project veel keuzes moeten worden gemaakt, zowel met betrekking tot de toe te passen werkwijze als bij de beoordeling en selectie van alternatieven. De keuze welke deskundigen worden ingeschakeld is hierbij erg belangrijk. Er moet sprake zijn van een heterogene groep, zowel wat betreft de beschikbare kennis als de betrokkenheid bij het onderwerp in het algemeen (onderzoek, overheid, bedrijfsleven, technische specialisten).

Om de groep van deskundigen zo optimaal mogelijk te laten functioneren is het noodzakelijk hen volledig in te lichten over het project en zo vroeg mogelijk bij het project te betrekken.

Met het maken van subjectieve keuzes bleek de groep goed om te kunnen gaan. Bij het bespreken van de resultaten bleek men elkaar goed aan te vullen, hetgeen door de groep als erg nuttig werd ervaren.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de toegepaste werkwijze goed toepasbaar lijkt voor andere onderwerpen. De verwachting bestaat wel dat elk onderwerp weer zijn specifieke problemen kent.

Invloed van de gevolgde werkwijze op het resultaat

- De belangrijke stappen in het uitgevoerde project te weten:
 - inventarisatie van mogelijke alternatieven,
 - nadere invulling van deze alternatieven,
 - beoordeling en selectie,zijn uitgevoerd door een team van deskundigen met behulp van literatuurrecherche en ‘educated guess’. Voor dit laatste is gekozen omdat soms weinig en vaak minder betrouwbare gegevens voorhanden waren.
- Binnen deze klankbordgroep heerst in het algemeen de mening dat de gehanteerde werkwijze – gezien het voorgaande – de best uitvoerbare was. Het heeft in ieder geval geleid tot een brede instemming met de uiteindelijke resultaten.
- Reeds vanaf de aanvang van het project was duidelijk dat het onderwerp gekenmerkt wordt door veel variabelen, zoals:
 - veel verschillende (potentiële) materialen als deklaag (metalen, andere anorganische materialen, organische deklagen);
 - veel combinaties (waaronder legeringen zijn mogelijk);
 - veel toepassingen met elk hun eigen mogelijkheden.
- In het project is het volgende gedaan om het aantal variabelen te reduceren:
 - samenvoegen van een aantal alternatieven tot één alternatief(groep), die qua eigenschappen een representatieve vertegenwoordiger was van de samengevoegde alternatieven; bijvoorbeeld legeringen van metalen;
 - een aantal alternatieven zijn niet meegenomen (met name ‘zeer exotische’).

Evaluatie met betrekking tot de resultaten

- De uiteindelijk geselecteerde alternatieven voor verzinkt staal zijn min of meer bestaande en ook toegepaste systemen (voor andere doeleinden dan waarvoor nu thermisch verzinken wordt toegepast).

Er mag dan ook verwacht worden dat er geen grote (technologische) belemmeringen zullen bestaan deze systemen op grotere schaal toe te passen.
- Een aantal van de geselecteerde alternatieven blijken zowel met betrekking tot milieubezwaar als met betrekking tot de overige aspecten beter te scoren dan thermisch verzinken. Hieruit kan worden afgeleid dat er andere dan de gehanteerde criteria er de oorzaak van zijn dat die systemen (nog) niet worden toegepast. Mogelijke oorzaken zijn:
 - a. De hoge initiële investeringskosten.
 - b. De conservatieve opstelling van de gebruikers van gecoate producten ten aanzien van veranderingen in de deklagen (levensduurgarantie).Een doorbraak hierin lijkt alleen mogelijk wanneer meer kennis beschikbaar komt

op het gebied van de toepassing van deze lagen. Daarnaast is het belangrijk de financieel economische haalbaarheid aan te tonen.

Hieraan kan in de volgende fase van het project aandacht worden besteed.

- Bij de keuze van de alternatieven is geen afweging gemaakt tussen milieubezwaar en de overige alternatieven.
- Naast de geselecteerde is er nog een aantal alternatieven, bijvoorbeeld anorganische coatings, die een grotere milieuverdienste kennen dan de geselecteerde alternatieven. Deze alternatieven hebben op de andere criteria lager gescoord (dan de geselecteerde) en zijn daardoor niet in de finale selectie opgenomen. Het verdient aanbeveling deze alternatieven, nl. de anorganische oxiden aangebracht via thermisch spuiten, PVD/CVD en natchemische methoden, verder te onderzoeken, ten einde na te gaan op welke termijn haalbare technologie (uitvoerbaarheid en kosten) beschikbaar zal zijn. De verwachting is dat voor deze technieken ca. 10 jaar nodig is voordat ze inzetbaar zijn op grote schaal.
Voor de galvanische zinklegeringen ligt het anders. Er loopt veel onderzoek op dit gebied (onder andere duplex-coatings). De implementatie van dit alternatief zal waarschijnlijk minder lang duren; ook dit alternatief verdient verdere aandacht.
- De uiteindelijke kansrijkheid van een alternatief wordt naast de gehanteerde criteria in belangrijke mate bepaald door de toepassing. In de selectie is in zekere mate deze relatie alternatief-toepassing meegenomen, doch het is raadzaam deze relatie in de vervolgactiviteiten explicieter mee te nemen.
- Bij een aantal toepassingen zijn er trends te bespeuren van een toename van alternatieven voor thermisch verzinken, zoals:
 - kassenbouw; vervanging staal door aluminium,
 - hoogspanningsmasten; toepassing duplexsystemen,
 - vangrail; alternatieven materialen (nog in verkennend stadium).

Deze trends zullen ertoe leiden dat op den duur minder verzinkt staal atmosferisch blootgesteld zal zijn dan is aangegeven in de inventarisatie in dit rapport. Met deze trends zal bij de vervolgactiviteiten rekening gehouden moeten worden.

7 Referenties

- [1] Senhorst, H.
Achtergrondnotitie onderzoeksproject Schone Technologie
RIZA Lelystad, november 1992.

- [2] Weenk, A., G.J. Annokkée en H.J. van Veen
Een prioriteitsmethode voor milieumaatregelen
TNO-rapport nr. 93-193, juni 1993.

8 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA

Ir. H. Senhorst

Postbus 17

8200 AA Lelystad

Namen en functies van de medewerkers

W.G.J.M. van Tongeren – IMET-TNO, afdeling Milieutechnologie

G.J. Annokkée – IMET-TNO, afdeling Milieutechnologie

A.J. Bosch – IPL-TNO, afdeling Materiaalkunde

P.J.J. Ramaekers – IPL-TNO, afdeling Materiaalkunde

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

november 1992 – juni 1993

Ondertekening



Ing. W.G.J.M. van Tongeren
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ing. H.J. van Veen
werkgroep leider

Bijlage 1 Inventarisatie van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken en de (diffuse) emissie van metalen door corrosie/erosie

1 Motivering en doelstelling

Ten behoeve van de selectie van belangrijke atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken vanuit het oogpunt van (diffuse) emissie van metalen als gevolg van corrosie/erosie is een inventarisatie uitgevoerd.

Deze inventarisatie heeft geleid tot de volgende twee overzichten:

- Aan de atmosfeer blootgestelde metaaloppervlakken in Nederland; verdeeld naar metaal en/of deklaag en de jaarlijkse (diffuse) emissie van metalen van deze oppervlakken als gevolg van corrosie/erosie
- Toepassingen met de daarbij behorende geïnstalleerde oppervlakken van verzinkt staal.

In het navolgende worden deze overzichten gegeven met de daaraan onderliggende informatie en toelichting.

De ten dienste van de inventarisatie gebruikte referenties zijn – voorzover niet reeds in de toelichting – gegeven in hoofdstuk 9. Referenties van deze bijlage.

2 Aan de atmosfeer blootgestelde metaaloppervlakken in Nederland en de (diffuse) emissie van metalen van deze oppervlakken als gevolg van corrosie/erosie

Hieronder volgt de overzichtstabel van bedoelde oppervlakken en de daarmee samenhangende emissie van metalen. De vermelde emissies zijn berekend met behulp van corrosiesnelheden van de verschillende metalen; deze zijn na de tabel gegeven.

In de volgende hoofdstukken van deze bijlage wordt per metaal onderliggende informatie en toelichting gegeven.

Bescherming van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken – alternatieven voor het thermisch verzinken

*Tabel bijlage 1.1 Atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken in Nederland en de emissie
tengevolge van corrosie/erosie*

Metaal	Bescherming	Oppervlak (afgerond) m ² x 10 ⁶	% van totaal	Metaal- emissie (ton/jr.)	
Staal	geen	n.b.	-	n.b.	
	verzinkt	50	19	1750	Zn
				0,5	Cd ¹⁾
	verzinkt + geverfd	21 ²⁾	8	nihil	
	Duplex	3	1	„	
	verf	23 ³⁾	9	„	
		91 ⁴⁾	34	„	
Zink	verchroomd	4	1	n.b.	
	geen	26	10	858	Zn
RVS				0,3	Cd ¹⁾
	geen	35	13	50	Cr
				22	Ni
Koper	geen	0,1	<1	50+1	Cu ⁵⁾
Lood	geen	10	4	140	Pb
Aluminium	geen	n.b.	-	n.b.	
	geanodiseerd	4	1	„	
	verf/coating	3	1	„	
Totaal		270	100		

n.b. = niet bekend; niet in de totaaltelling opgenomen

- ¹⁾ Zink bevat Cd als verontreiniging. In het verleden was het Cd-gehalte 0,03%; hiermee is in de tabel gerekend (immers geplaatst zink is nog voor een groot deel uit het verleden). Zink bevat tegenwoordig aanmerkelijk minder Cd; namelijk enkele ppm's.
- ²⁾ **Niet** meegenomen zijn oppervlakken van mobiele objecten als auto's, vrachtwagenframes).
- ³⁾ Oppervlak minus mobiele objecten als auto's.
- ⁴⁾ Betreft uitsluitend oppervlak van mobiele objecten.
- ⁵⁾ 50 ton/jaar = slijtage,
1 ton/jaar = corrosie.

De in de tabel gegeven emissies zijn berekend op basis van de corrosiesnelheden gegeven in tabel bijlage 1.2.

Tabel bijlage 1.2 Gehanteerde corrosiesnelheden

Metaal	Corrosiesnelheid (g/m ² .jaar)
Zn	35 ¹⁾
RVS 18% Cr 8% Ni	8; dit betekent: 1,4 Cr 0,6 Ni
Cu	450 (slijtage) 11 (corrosie)
Pb	12
Al	2-2,5

¹⁾ Gewogen gemiddelde berekend op basis van geëxposeerd oppervlak;

**Omgeving Corrosie
g/m/jr)**

landelijk	14
stedelijk	25
industrie	40
verkeer	50
zee	35

3 Staal

3.1 Algemeen

Totaal staalverbruik in de bouw in Nederland (1984): 435.000 ton.

Verdeling staalgebruik in de bouw (CBS, 1983):

— ramen/kozijnen	18.000 ton
— grote deuren	17.000 ton
— loodsen	55.000 ton
— skeletten	121.000 ton
— puien/gevels	7.000 ton

Blank staal wordt weinig toegepast. Enkele toepassingen zijn:

- spoorstaven (hoeveelheid onbekend);
- kademuren (profielen);
- damwanden (profielen);
- transportleiding/buis.

Koolstofstaal: Corrosiesnelheid 12,5 - 25 $\mu\text{m}/\text{jaar}$ [21]; emissiefactor circa 150 $\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$
Corrosiesnelheid 290 $\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$ [29]

Gelegeerd staal (Cortonstaal), bezit door de toevoeging van enige tienden van procenten aan mangaan, koper, silicium en chroom een betere corrosieweerstand dan ongelegeerd staal (corrosiefactor onbekend). De corrosie van Cortonstaal gaat derhalve ook gepaard met een (zeer geringe) emissie van deze zware metalen.

3.2 Staal - verzinkt

Elektrolytisch verzinkte voorwerpen worden meestal binnenshuis gebruikt. Zinkspuiten (schooperen) wordt weinig toegepast (duur). Bovendien wordt in dat geval altijd een verlaag op het zink aangebracht. Thermisch verzinken wordt het meest toegepast.

De opgaven van de oppervlakken verzinkt staal en bladzink die aan de atmosfeer zijn blootgesteld verschillen nogal. Volgens ref. [1] is het totaal geëxposeerde oppervlak 125 miljoen m^2 , terwijl ref. [5] komt tot een taxatie van 95 miljoen m^2 . Niet duidelijk is in hoeverre bij deze opgaven ook rekening is gehouden met geverfd staal dat aan de atmosfeer is blootgesteld.

Bij verzinkt staal kan onderscheid worden gemaakt in: kaal verzinkt, verzinkt + geverfd en Duplex. Het is duidelijk dat deze oppervlakken verschillende corrosie kennen en dus verschillende emissiefactoren hebben. De onderlinge verdeling is niet nauwkeurig bekend.

Op basis van ref. [20] is deze verdeling als volgt ingeschat.

Geëxposeerd staaloppervlak: 45% kaal verzinkt
36% verzinkt + geverfd
3% Duplex
16% geverfd staal.

Als het thermisch verzinkte materiaal bij de fabricage van een verlaag wordt voorzien spreekt men over Duplex. Het gebruik van dit materiaal neemt sterk toe.

Bescherming van atmosferisch blootgestelde metaaloppervlakken – alternatieven voor het thermisch verzinken

Tabel bijlage 1.3 Atmosferisch opgestelde oppervlakken van **verzinkt staal**

Bescherming/Toepassing	% van aantal m ² x 10 ⁶	% van subtotaal oppervlak	% van het totaal oppervlak
Verzinkt (kaal):			
Skeletten (util. + ind. + tanks)	13,0	26,0	17,7
Tuinbouwkassen ¹⁾	12,0	24,0	16,3
Loodsen	8,9	17,8	12,1
Vangrails	4,8	9,6	6,5
Puien, gevels	3,5	7,0	4,8
Lantaarnpalen ²⁾	3,3	6,6	4,5
Spoorwegconstructies	1,9	3,8	2,6
Balkonhekken	1,1	2,2	1,6
Grote deuren	0,7	1,4	1,0
Verkeerspalen ²⁾	0,5	1,0	0,7
Hekwerken	0,3	0,6	0,4
Subtotaal	49,9	100	68,2
Verzinkt + geverfd:			
Hoogsp.masten	5,5	26,1	7,5
Ramen, kozijnen	3,8	18,0	5,2
Skeletten	3,8	18,0	5,2
Lantaarnpalen ¹⁾	3,4	16,1	4,6
Balkonhekken	3,3	15,6	4,5
Hekwerken	0,8	3,8	1,1
Verkeerspalen ¹⁾	0,5	2,4	0,7
Subtotaal	21,1	100	28,8
Duplex:			
Loodsen	1,7	68,0	2,3
Puien, gevels	0,7	28,0	1,0
Grote deuren	0,1	4,0	0,1
Subtotaal	2,5	100	3,4
Totaal	73,5	100	

¹⁾ Ook oppervlak binnen de kassen; hier vindt eveneens corrosie plaats (vochtig milieu)

²⁾ Oppervlak gelijkelijk verdeeld over verzinkt en verzinkt + geverfd

3.3 Staal - geverfd

a. *mobiel: wegverkeer (CBS):*
 5,2 miljoen personenauto's
 0,5 miljoen bedrijfsauto's
 131.000 motorentweewielers
 11,5 miljoen fietsen (1985)
 657.000 bromfietsen (1985)

treinen en trams (CBS):
 582 locomotieven
 2137 rijtuigen
 8380 goederenwagons

Tabel bijlage 1.4 Oppervlakken (eigen schattingen IMET/TNO)

Voertuig	Oppervlak per voertuig (m ²)	Totaal geverfd oppervlak (10 ⁶ m ²)
Personenauto	12,5	65
Bedrijfsauto (vracht- en bestelauto)	25	12,5
Motoren	3	0,39
Fietsen	0,8	9,2
Bromfietsen	1,6	1,05
Locomotieven	100	0,06
Rijtuigen	200	0,42
Goederenwagons	200	1,68
Trams	onbekend	0,22 ¹⁾
Overig (autobussen/schepen/ boten/vliegtuigen)	onbekend	onbekend
Totaal		90,7 miljoen

¹⁾ Aanname: oppervlak trams 10% van totaal treinoppervlak

Emissies mobiel oppervlak

Totaal mobiel oppervlak 89,5 miljoen m² (eigen schatting); aanname gebruik 20% metallic lak (80% gewone lakken, deze bevatten niet of nauwelijks metalen [info TNO Coatings, dhr. Zwaag]).

Zware metaalgehalte metallic lak in mg/kg:

Zn 9890
 Cu 319
 Cr 2320
 Pb 8600

Aanname dikte laklaag: 100 µm

Aanname corrosie: 1 µm/jaar; 10.000 kg lak × 0,2 = 2000 kg metallic lak
of

Aanname hoeveelheid lak per auto 2 kg

Aanname corrosie 0,1%/j = totaal ca. 14.000 kg lak en 2.800 kg metallic lak

Emissie zware metalen in kg/jaar:

Zn	28
Cu	0,9
Cr	6,6
Pb	2,4

b. *niet mobiel:*

– puien en gevels	0,2 miljoen m ²
– skeletten	1,4 „
– hekwerken	2,5 „
– bruggen	12,8 „
– tuinbouwkassen	6,0 „

Emissies niet mobiele bronnen

Van de emissie van zware metalen uit gelakte metaaloppervlakken zijn geen cijfers voorhanden. Hiervoor dient volgens Zwaag van Centrum TNO Coatings een literatuurrecherche uitgevoerd te worden.

Verfverbruik in industrie en de bouw is 163.000 ton/j, verdeeld over hout, beton en metaal. Het belangrijkste metaal in verf is titaan in de vorm van titaandioxide. Daarnaast komen er zware metalen voor in corrosiewerende pigmenten (lood, chroom, zink).

Emissie van zware metalen vanuit metaalverven

Referentie: Centrum TNO Coatings (CTC), hr. Zwaag/afdeling Industrielakken,
tel. 015-696465

Datum: 19 februari 1993.

Autolakken bevatten zeer weinig zware metalen; metallic lakken bevatten meer metalen dan de gewone autolakken (voornamelijk aluminium). Zwaag verwacht dat de emissie van zware metalen uit autolakken in de gebruiksfase erg laag (vrijwel verwaarloosbaar) zal zijn. De gebruikte lakken voldoen aan de TA Wasser normen. Hem zijn geen emissiecijfers bekend. In de sloopfase ligt het anders; uiteindelijk komen de gebruikte verfstoffen dan wel in het milieu terecht.

Bij de voorbehandeling wordt grondverf op basis van zink gebruikt (zinkfosfateren). Dit zink komt echter direct op het metaaloppervlak en wordt vervolgens overdekt met een laklaag. Zink als metaal komt derhalve niet vrij.

Een soortgelijk verhaal geldt voor het gebruik van menie (ijzer- en loodmenie). Hoewel de droge laklaag aanzienlijke hoeveelheden lood bevat, zal na het aanbrengen van de afdeklaag de emissie van lood nagenoeg verwaarloosbaar zijn.

Metaalemissie bij verven doet zich voor bij scheepsverven (antifouling). Bij dit type verven wordt het metaal koper geëmitteerd. Hierop berust de schimmelwerende werking.

Zwaag heeft niet de beschikking over emissiecijfers. Hij kan hiervoor desgewenst wel worden ingeschakeld. Voorlopig hier nog geen actie opgenomen.

Het jaarlijkse verfverbruik in Nederland bedraagt 215.000 ton.

Dit is als volgt opgebouwd:

- 51.600 ton in de particuliere sector (deze verf wordt vrijwel uitsluitend gebruikt op hout en steen);
- 163.400 ton de industriële sector en de bouw (deze verf wordt gebruikt op hout, metaal en beton)

Het belangrijkste metaal in de verf is titaan. Dit komt als pigment (TiO_2) in de verf voor. Het pigmentgehalte bedraagt 20 gew.% van de verf; hiervan is 15 à 20% TiO_2 . Daarnaast worden in bepaalde verven corrosiewerende pigmenten toegepast zoals Pb (loodmenie), Cr (als chromaat), Zn (in zinkprimers). Exacte gegevens zijn niet direct voorhanden, maar kunnen waarschijnlijk wel worden verzameld.

Dit geldt ook voor de emissie van zware metalen uit gelakte metaaloppervlakken. Deze gegevens zijn eveneens niet beschikbaar, maar kunnen door middel van een literatuurrecherche waarschijnlijk wel worden achterhaald.

Per jaar worden in Nederland 90.000 personenauto's geproduceerd. Het totale gelakte oppervlak bedraagt 70 m^2 per auto (sommige delen worden dubbel uitgevoerd en er wordt zowel binnen als buiten gelakt; ergo $35 \text{ m}^2 \times 2$). Van de genoemde 70 m^2 wordt 50% door dompeling dan wel elektrolytisch verzinkt. De eerste coating bevat enkele tienden tot max. 1% lood. Daarna volgt een primerlaag (hoeveelheid chroom niet bekend). Bij de berekening van het geëxposeerde (buiten)oppervlak van personenauto's is gerekend met een oppervlak van $12,5 \text{ m}^2$ per auto.

Daarnaast worden er per jaar 500.000 auto's afgedankt. Hoeveel zware metalen hiervan (via corrosie op de sloop) in het milieu komen is niet bekend.

File: verf **Grove berekening naar aanleiding van telefoongesprek Zwaag (TNO-Coatings)**.

Tabel bijlage 1.5

Metaal	Hoeveelheid		
	Gehalte (mg/kg) ¹⁾	op 1 m ² (mg) ²⁾	Emissie (g/m ² .jaar) ³⁾
Sb	375	38	0.02
As	10	1	-
Cd	10	1	-
Cr	2300	230	0.12
Hg	0,1	-	-
Se	<1	-	-
Co	30	3	-
Cu	320	32	0.015
Pb	8500	850	0.43
Mo	125	13	0.007
Sn	30	3	-
Zn	10.000	1.000	0.5

¹⁾ Gehalte in droge laklagen (bron : 1987, door ontwikkelingen afname Pb en Cr)

²⁾ Gemiddelde dikte van laklaag: 100 µm, dichtheid van de laklaag = 1000 kg/m³ → 100 g lak/m²

³⁾ Aannamen: - uitloging tijdens gebruik: verwaarloosbaar
- na 20 jaar stralen; hierbij 50% (van laklaag) in milieu

3.4 Staal - verchroomd

- Fietsen: aantal 11,5 miljoen (1985) (CBS).
 - totaal oppervlak sturen (verchroomd, eigen schatting): 1 miljoen m² (1 m lengte, diameter 2,5 cm);
 - totaal oppervlak velgen (eigen schatting; aanname allemaal verchroomd): 1,9 miljoen m².
- Bromfietsen: aantal 657.000 (1985) (CBS).
 - verchroomd oppervlak per bromfiets 0,75 m² (eigen schatting): totaal 492.750 m².
- Motoren: aantal 131.000 (1987) (CBS).
 - verchroomd oppervlak 1,5 m² per motor (eigen schatting): totaal 196.500 m².
- Auto's: aantal personenauto's 5,2 miljoen (CBS).
 - verchroomd oppervlak 0,1 m²/auto en aanname dat 25% van de auto's verchroomde onderdelen bevat (eigen schatting); totaal 130.000 m².

Totaal verchroomd staal (10⁶ m²):

- fietsen 2,9
- bromfietsen 0,49
- motoren 0,20
- auto's 0,13
- totaal 3,7.10⁶ m²

4 Zink

Bladzink wordt toegepast voor dakbedekking, dakgoten en regenpijpen. Het getaxeerde, geëxposeerde oppervlak bedraagt 17,7 tot 34,8 miljoen m²; voor het overzicht wordt 26 miljoen m² aangehouden.

5 RVS

Het verbruik van RVS zal naar verwachting in de komende jaren sterk toenemen. Op dit moment is het verbruik in Nederland circa 4 kg RVS per inwoner per jaar. Roestvrij staal wordt volledig geïmporteerd. In 1984 werd circa 100.000 ton RVS (18% Cr en 8% Ni) geïmporteerd, waarvan 20.000 ton weer via produkten werd geëxporteerd. In 1990 was het gebruik gestegen tot 150.000 ton [5].

Het totaal opgesteld oppervlak wordt geschat op 70 miljoen m² [5]. Geschat wordt dat hiervan 50% aan de atmosfeer is blootgesteld. RVS wordt met name in gebouwen op bedrijfsterreinen toegepast.

De corrosiefactor wordt geschat op circa 8 g/m²/jaar [5]. In de literatuur worden waarden van 0,02; 4-10 en < 40 g/m²/jaar gerapporteerd.

De totale emissie tengevolge van corrosie wordt berekend op 280 ton rvs. RVS bevat 18% Cr en 8% Ni. De chroom- en nikkelemisatie bedraagt derhalve respectievelijk 50 en 22 ton/jaar.

6 Koper

Niet meegenomen is: anti-fouling verf op scheepswanden (voor de Rotterdamse haven is een uitlopend oppervlak berekend van 5000 m² [3]).

Bovenleidingen NS-net:

- lengte 2809 km (waarvan ca. 1800 km geëlektrificeerd) [3,4];
- dikte 10 mm (eigen schatting IMET/TNO);
- berekend oppervlak 88.000 m² (eigen schatting IMET/TNO).

Overige bronnen

- toepassingen bouw:
 - staven en strippen;
 - gootbeugels, bliksemafleiders;
 - bladkoper;
 - dakbedekking;
 - buizen.

Van deze toepassingen zijn geen blootgestelde oppervlakten bekend.

Naast koper wordt in de bouw ook messing toegepast.

Messing is een koper-zinklegering met 10-55% zink. Afhankelijk van de soort kan messing ook lood, aluminium, tin, ijzer en mangaan bevatten.

Messing vindt toepassing als:

- profielen in de bouw;
- strippen, bladen, draad etc. zoals bij koper.

Totale emissie tengevolge van slijtage van bovenleidingen wordt geschat op 50 ton/jaar (NS-net 40 ton en tramleidingen circa 10 ton).

De corrosiesnelheid van koper is circa $1,25 \mu\text{m/j}$ [21], hetgeen overeenkomt met een emissiefactor van $11 \text{ g/m}^2/\text{jaar}$. Voor de bovenleidingen (opp. 88.000 m^2) betekent dit een emissie van circa 1000 kg (1 ton)/jaar.

Over de hoeveelheid koper (gewicht en oppervlak) dat in de bouw wordt gebruikt zijn geen gegevens beschikbaar.

De totale hoeveelheid koper dat via diffuse lozingen via het huishoudelijk afvalwater wordt geëmitteerd bedraagt circa 87 ton/jaar [2].

7 Lood

In de bouwnijverheid wordt jaarlijks 27.000 ton bladlood gebruikt [5, concept bijlage 5 februari 1992], met name als loodslabben bij dakbedekking. Het totaal opgestelde oppervlak aan bladlood wordt geschat op 19 miljoen m^2 . Aangenomen wordt dat de helft ($9,5 \text{ miljoen m}^2$) bloot staat aan atmosferische corrosie. Cijfers zijn afkomstig van RIVM (J.A. Annema). Betreffen grove schattingen. Annema heeft deze schatting gebaseerd op informatie van de belangrijkste bladloodproducent in Nederland (Uzimet Delft). Om meer duidelijkheid te verkrijgen over gebruik en emissie heeft het RIVM het Bouwcentrum opdracht gegeven een onderzoek uit te voeren naar het gebruik van loodslabben in de bouw (hoeveelheid en oppervlak) en de hierbij optredende corrosie. Het onderzoek wordt begin 1993 afgerond.

Niet meegenomen is de hoeveelheid metallisch lood in jacht en schietsport: Schatting gebruik in 1990 ten behoeve van veldjacht 280 ton (CBS) en depositie op landbouwgrond 230 ton (CBS).

Opmerking:

Nieuwste versie van SPEED gaat uit van een verbruik van 15.000 ton bladlood per jaar (betreft verbruik in laatste decennium). Het opgestelde oppervlak bedraagt dan 11 miljoen m^2 , waarvan $5,5 \text{ miljoen m}^2$ bloot staat aan atmosferische corrosie. Corrosiesnelheid $0,45 \mu\text{m/jaar}$ [21]; emissiefactor circa $5 \text{ g/m}^2/\text{jaar}$.

8 Aluminium

Het totale aluminiumgebruik is in Nederland circa 225.000 ton; waarvan 63.500 ton in de bouw, 46.000 ton transport en 30.000 ton machinebouw [36].

Tabel bijlage 1.6 Toepassing van aluminium in de bouw (1990 [36]):

Toepassing	Voorbeeld	Gewicht (ton)
Gevels/daken	dak- en gevelplaat	20.000
	ramen, deuren, kozijnen	12.000
Gonstructies	diverse	4.500
Frefab-constr.	huizen, kassen	16.000
Overige	binnenwanden, plafonds, interieur	11.000
Totaal		63.500

Evenals verzinkt staal wordt aluminium veel gebruikt voor buiten opgestelde objecten, omdat het door de vorming van een beschermend oxidelaagje over het algemeen goed bestand is tegen atmosferische corrosie.

Veelal wordt het aluminium voorzien van een oppervlaktelaag uit esthetisch oogpunt (oxidelaag is niet fraai).

Hierbij zijn twee opties: a. coaten/verven;
b. blank of gekleurd anodiseren.

Corrosiesnelheid 0,60 - 0,80 $\mu\text{m/j}$; corrosiefactor circa 2 $\text{g/m}^2/\text{j}$ [21].
Corrosiesnelheid 2,5 $\text{g/m}^2/\text{j}$ [29].

De meeste toepassingen van aluminium betreft geacht of geanodiseerd aluminium. De emissies tijdens gebruik van aluminium dat is voorzien van een oppervlaktelaag zijn waarschijnlijk zeer gering.

Totaal geanodiseerd oppervlak: $10 \times 10^6 \text{ m}^2$ [27] onderverdeeld:
plaat en profiel: $7 \times 10^6 \text{ m}^2$
kleine eindprod.: $3 \times 10^6 \text{ m}^2$
(gemiddelde dikte 1,3 mm)

Berekening aan atmosfeer blootgestelde oppervlakken:

- raamkozijnen; schatting VMRG $2 \times 10^6 \text{ m}^2$ (inclusief glasoppervlak);
- ramen, deuren, kozijnen 32.000 ton [36]; aanname gemiddelde dikte 2 mm en 25% blootgesteld aan atmosfeer: $1,5 \times 10^6 \text{ m}^2$;
- dak- en gevelplaten 20.000 ton [36]; aanname gemiddelde dikte 2 mm en 50% blootgesteld aan atmosfeer: $1,85 \times 10^6 \text{ m}^2$;
- constructies 4.500 ton [36]; aanname gemiddelde dikte 2 mm en 10% blootgesteld aan atmosfeer: $0,08 \times 10^6 \text{ m}^2$;

- huizen en kassen 16.000 ton [36] aanname gemiddelde dikte 2 mm en 10% blootgesteld aan atmosfeer: $0,3 \times 10^6 \text{ m}^2$;
- verkeersmeubilair (geen oppervlakken bekend);
- Gebruik voor transport (vliegtuigen, vrachtauto's, etc.) 46.000 ton [36]; aanname 25% blootgesteld aan atmosfeer en gemiddelde dikte van 2 mm; oppervlak circa $2,5 \times 10^6 \text{ m}^2$ (aanname geverfd/gecoat) aluminium.

Overzicht oppervlakken

- ramen, deuren, kozijnen : $1,5 \times 10^6 \text{ m}^2$ (aanname geanodiseerd)
- dak- en gevelplaten : $1,85 \times 10^6 \text{ m}^2$ (aanname geanodiseerd)
- huizen en kassen : $0,3 \times 10^6 \text{ m}^2$ (aanname geanodiseerd)
- constructies : $0,08 \times 10^6 \text{ m}^2$ (aanname kaal of gelakt/gecoat)
- verkeersmeubilair : onbekend (geverfd)
- transport : $2,5 \times 10^6 \text{ m}^2$ (aanname geverfd)

Totaal:

- geanodiseerd : $3,7 \times 10^6 \text{ m}^2$
- geverfd : $>2,5 \times 10^6 \text{ m}^2$

9 Referenties

- [1] J.A. Annema, J. Ros, J. Verburgh, K. Huizinga
Mogelijkheden en onmogelijkheden van ketenbeheer zink
RIVM rapport nr. 736301013, oktober 1991
- [2] P.W. van Oppen
Haalbaarheidsonderzoek terugdringing lozing koper en zink uit woningen
Bouwcentrum Advies, rapport nr 15581 juli 1991
- [3] W. Slooff, R.F.M.J. Cleven, J.A. Janus, J.P.M. Ros
Ontwerp basisdocument koper
RIVM rapport nr 758474003, oktober 1987
- [4] G. Vos
Koper in milieu en voeding in Nederland
VROM 70924/12/-875454/103
- [5] J. Coppoolse, F. van Bentum, M. Schwartz, J.A. Annema, C. Quarles van Ufford
Zware metalen in oppervlaktewater, bronnen en maatregelen
Conceptrapport RWS/RIZA VROM/DGM RIVM, juni 1992 (vertrouwelijk)
- [6] W. Slooff, R.F.M.J. Cleven, J.A. Janus, J.P.M. Ros
Scopingsrapport zink
RIVM rapport nr 758904001, maart 1989
- [7] R.F.M.J. Cleven, J.A. Janus, J.A. Annema, W. Slooff
RIVM rapport nr ?, mei 1991

- [8] Zink op staal
Publikatie van de Stichting Doelmatig Verzinken
- [9] Frank Porter
Zinc Handbook, properties, processing, and use in design
ISBN 0-8247-8340-9
- [10] M. Krasowski, P. Doelman
Lood in milieu en voeding in Nederland
VROM 00188/4-905461/103, april 1990
- [11] T.J.J. Mathu, C.P. Scheepens
Milieuzorg en zware metalen in de metaalindustrie
Rapportage in het kader van de Stimuleringsregeling Milieutechnologie
VROM, Publikatiereeks milieutechnologie nr. 1992/2
- [12] R. Schumacher
Ontwikkeling van milieuvriendelijke zinklegeringsbaden met verbeterde
korrosiewerking toegepast op een doorvoersysteem
Novem projectnummer 51.20-006.10
- [13] P.J. Meijer
Thermisch Verzinken
SPIN (Samenwerkingsproject Projektbeschrijvingen Industrie Nederland)
RIVM (rapport nr. 736301111), RIZA (nota nr. 92.003/11) en DGM
Publikatie januari 1992
- [14] S. de Vries
Afvalwateraspecten bij thermische verdonkeren
Interim rapport DBW/RIZA TV832/44, november 1985
- [15] E. Knegtering, K.J. Noorman
Lood in Nederland, een tussenbalans
IVEM, RU-Groningen Verslag no. 41, maart 1989
- [16] T.S. Mackey, R.D. Prengaman
Lead-Zinc '90
ISBN 0-87339-111-X
- [17] Anonymus
Handbook of emission factors, part 1, non-industrial sources
ISBN 90 12 03290 3 Staatsuitgeverij The Hague, 1980

M.E. Reinders
Handbook of emission factors, part 2, industrial sources
ISBN 90 12 04605 X Staatsuitgeverij The Hague, 1984
- [18] E.D.D. During
Verkeerde materiaalkeuze, nog steeds een veel voorkomende oorzaak van
corrosie
Materialen nr. 8 1992 4 - 9

- [19] R. Heijungs e.a.
Handleiding voor milieugerichte levenscyclusanalyses van producten
Publikatie CML, TNO, B&G, mei 1992, derde conceptversie
- [20] H. J. Gosseling, A.A. Olsthoorn, J.F. Feenstra
Economische schade aan materialen en monumenten door verzuring
Instituut Voor Milieuvraagstukken, mei 1990
- [21] Atmospheric Corrosion
Nace Corrosion Engineer's Reference Book (second edition)
Houston: National Association of Corrosion Engineers
Treseder, R.S. (ed.); Baboian, R. (co-ed.); Munger, C.G. (co-ed)
ISBN-nr. 0-915567-67-9, 1991
- [22] E.H.C. Manders-Maanders
Milieumatenstudie voor vier bouwverven; een oefenproject
NOVEM RIVM TU-E Faculteit Bouwkunde, mei 1992
- [23] R. Didde
Wormen in de Kempen verdwijnen door zink
Serie artikelen in de Volkskrant over zware metalen
- [24] Aluminium Een goed materiaal Ook voor verpakkingen
Uitgave Stichting Aluminium Centrum
- [25] R.J.M. Bekkers H.A.J. Mulder
Secundair aluminium: eerste keus?!
Studie in opdracht van de Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee, Groningen november, 1990
- [26] Anonymus
Galvaniseer-, anodiseer- en thermische verzinkinrichtingen XV-6 DHV,?
- [27] J.W. du Mortier, J.P.M. Ros
Anodiseren
SPIN, RIVM (rapport nr. 736301103) RIZA (nota nr. 92.003/3) en DGM, januari 1992
- [28] G.J. Govers
Aluminium scheepsbouwindustrie:
corrosiewering door zorg voor details
Materialen nr. 8 1992, 14 - 16
- [29] M.N.M. Boers, H.J. Tiemens
Corrosiviteit van het milieu
PT Procestechniek 39, (1984), Nr. 2 43-46
- [30] M.M. van Eerdt, C. Stiggelbout
Belasting van landbouwgrond met zware metalen, 1980-1990
Kwartber. Milieu (CBS) 92/3, 4-9

- [31] Degradation of metals in the atmosphere
ASTM Publication Code Number (PCN) 04-965000-27, Philadelphia,
May 1986
- [32] Effects of soil characteristics on corrosion
ASTM Publication STP 1013, Chaker/Palmer, editors, Philadelphia
- [33] Corrosion in natural environments
ASTM special technical publication 558, Philadelphia, June 1973
- [34] H.A.J. Mulder, C.A.J.H. van Oeveren, D. Swaving Dijkstra
Anti-corrosie pigmenten. Veranderingen in gebruik in heden, verleden en
toekomst
Chemiewinkel Rijksuniversiteit Groningen C60, 1991
A. Pedro, L. Huiyu
Evaluating of rating numbers for atmospheric corrosion resistance of
weathering steel
Journal of Testing and Evaluation. JTEVA. Vol. 19, No. 6, 1991, pp 429-439
- [35] Aluminium bouwt duurzaam. Van grondstof tot hergebruik.
Aluminium bouwmaterialen en het milieu
Uitgave Aluminium Centrum, Woerden
- [36] J.A. Annema
Corrosie van zink
Concept notitie RIVM/LAE 11-12-1990
- [37] Aluselect: betrouwbare gids in de wereld van aluminium
Uitgave Aluminium Centrum, Woerden
- [38] European Aluminium Statistics 1990
AA European Aluminium Association

Bijlage 2 Berekeningsgrondslag 'milieubezwaar' via corrosie/uitloging van metalen

Metaal	Corrosie (g/m ² .jaar)	MTR water (mg/l opg.)	Corr./MTR	'Milieu- bezwaar'
Zn (ref.)	35	1,6	22	1
Galvalume:				0,1
43% Zn	Zn:3,5	1,6	2,2	
55% Al	Al:1,5	30	0,05	
Galfan:				
95% Zn	Zn:15	1,6	9,4	0,4
5% Al				
Al	1	30	0,03	<0,01
verf	Zn:1	1,6	0,6	0,03
Oxynitr. of Carbonitril	Fe	n.v.t.		n.v.t.
Al-leg.	1	30	9,4	<0,01
Al ₂ O ₃ of ZrO ₂	nihil			<0,01
Ti/TiO ₂	nihil	n.v.t.		n.v.t.
Al (FeAl)	?			?
Anorg. ox. Email	metaalox:<5	Sn:20	<0,25	<0,01

MTR = Maximaal Toelaatbaar Risico

Bijlage 3 Deklagen voor atmosferisch blootgestelde staaloppervlakken

Deklaag	Opmerkingen
Realistische alternatieven	
Al en Al-legeringen	Al-deklaag + anodiseren ?. Al-Si, Al-Zn, ? Al-legering i.h.a. hogere corrosiesnelheid dan Al?
Cr en Cr-legeringen	Cr moeilijk poriedicht neer te slaan Cr-oxide zorgt voor corr. weerstand Veel gebruikt als conversielaag
Cu en Cu-legeringen	Poriedicht neerslaan moeilijk Cu-oxide bepaald weerstand Brons, Al-brons
Mo en Mo-legeringen	Lage toxiciteit
Ti en Ti-legeringen	Ti-nitride hoge corr. weerstand
Ni en Ni-legeringen	Ni vaak in combinatie met Cr Ni-Cu (Monel), Ni-Cr-Fe (Inconel)
Si en Si-verbindingen	Vaak als silicaat, weinig van bekend?
Zn en Zn-legeringen	Zn-Co, Zn-Fe, Zn-SiO ₂ , Zn-Ni, Zn-epoxy, Zn-Al. Legeringen vaak lagere corrosiesnelheid
Andere staalsoorten (RVS, weathering st)	Oxidehuid op bepaalde staalsoorten. Uiterlijk!
Org. deklagen	Gemakkelijk aan te brengen en te repareren. Uitloging gering ?. Tijdsduur ?
Email	Dikke laag. Mechanische eigenschappen ?
Minder realistische alternatieven	
Cd en Cd-legeringen	Wettelijke belemmeringen
Co en Co-legeringen	In eigenschappen veelal vergelijkbaar met Ni, echter toxisch, duurder ?
Pb en Pb-legeringen	Toxiciteit
Mg en Mg-legeringen	Brandbaar ? Corr. weerstand ? Mg-oxide zorgt voor corr. weerstand
Mn en Mn-legeringen	Lage corr. weerstand
Sn en Sn-legeringen	Sn-leg. in het algemeen vergelijkbare corr. weerstand
Pt, Au, Ag	Zeer kostbaar, als grondstof en bij gebruik
Keramiek	Poreuze laag

Toelichting bij bijlage 3.

Niet meegenomen zijn:

Lanthaan (La) en de Lanthaniden (Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, **Tm**, Yb, Lu);
Actinium (Ac) en de Actiniden (Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lw)
Cs, Zr, Hf, V, Nb, I, Ir, Sc, **Rb**, Ru, Os, Pd, Ga, Sb, Bi, As, Hg, Se, Be.

Belangrijkste argumenten zijn hierbij

- zeldzaam;
- zeer duur;
- praktisch niet haalbaar;
- geen corrosieweerstand.

Niet meegenomen betekent niet dat deze elementen niet in een verbinding of legering mogen voorkomen.

Naast de metallische deklagen zijn twee andere types deklagen genoemd:

1. Organische deklagen

Er zijn 2 typen organische deklagen:

- Oplosmiddelhoudende en watergedragen verven;
- Poedercoatings.

Zeer belangrijk is de hechting van de laag. Hiervoor worden verschillende voorbehandelingen voor toegepast.

Hierin zijn twee systemen te onderscheiden:

1. Metaallaag + verflaag (duplexsysteem).
De metaallaag is meestal thermisch zink echter andere lagen (galvalume, galfan) is ook mogelijk.
Het duplexsysteem bestaat uit een epoxyprimer-behandeling en aflakken.
 2. Corrosiewerende primer + aflakken.
De primer is bijvoorbeeld Zn-silicaat of epoxy-zink.
- Gemakkelijk aan te brengen en te repareren.
 - Zeer breed toepassingsgebied.

2. Email deklagen en keramische deklagen

Deklagen van metaaloxide-mengsels onder hoge temperatuur aangebracht.
Het maken van een poriedichte laag op staal is vaak een probleem.

Bereiding keramisch materiaal bij hoge temperatuur (1000 - 2500 °C).
Dikke en poreuze laag

Bij emailleren wordt een mengsel van metaaloxides aangebracht door verhitting van zowel het coating materiaal als het substraat.

Tenslotte is geen aandacht besteed aan combinaties van deklagen, waarbij zowel gedacht kan worden aan metallische deklagen in combinatie met organische deklagen, als aan combinaties van verschillende metallische deklagen.

Combinaties kunnen om meer redenen worden toegepast:

- extra corrosiebescherming;
- de noodzaak van een goede 'voorbehandeling c.q. een hechtende onderlaag;
- uiterlijk;
- de behandeling kan alleen fabrieksmatig worden aangebracht, zodat de tweede maal gekozen moet worden voor een andere behandeling.

Bijlage 4 Uitwerking voorbeeldsystemen in werkbladen

Werkblad 1

Zn/Thermisch dompelen

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	15 - 40 jaar (70 µm laag) gering, dikke taaie laag, kathod. bescherming	sterk afhankelijk van locatie dikkere laag? thermisch zink is harder dan staal
kosten per m²: aanbrengen onderhoud ²⁾	¹⁾ continu : f 9,- batch : f 25,- demontage + renovatie verven/vervangen	20 µm
uitvoerbaarheid: stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	ingevoerde techniek batch : tot 15 m continu : 1,5 m breed niet mogelijk	wel via ander systeem (verven)
milieu-aspecten: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	35 g Zn/m ² .jaar puntbron hergebruik staal na ontzinken, ontzinkvloeistof 35 MJ/m ² 14 MJ/m ²	uitg. van 5 µm corrosie/ jaar onderhoud, zie event. verven

Opmerkingen

1) info Hoogovens, 26/3/92

2) onderhoud kan op 3 manieren:

a) demontage/ontzinken(chemisch)/verzinken/montage

b) vervangen, geeft schrootafval

c) oververven na geringe roestvorming (5%)

2c) Geeft levensduurverlenging in de hoogbouw (balkons, galerijhekken en dergelijke) en bij elektriciteitsmasten.

Info SDV, dhr. Kraak 16/3/93.

Werkblad 2

Galvalume (55% Al, 43% Zn en Si)/Thermisch dompelen

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	30 - > 100 jaar gevoeliger dan Zn, kath. bescherming	niet geschikt voor petrochem. industrie randcorrosie? minder hard dan Zn (100HV), soms dunnere laag (13-25 µm)
kosten per m² aanbrengen onderhoud	1) continu : f 12,- batch : onbekend zie Zn	levensduur > 50 j -> n.v.t.?
uitvoerbaarheid: stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	continu proces industrieel ingevoerd lijkt geen probleem niet mogelijk	beperking: plaatdikte kleiner 2 mm; batch nog in ontwikkeling (5 jaar) evt. via verven, bij levensduur > 50 j n.v.t.?
milieu-aspecten: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	3,5 g Zn/m ² .jaar 1,5 g Al/m ² .jaar aanbrengen: puntbron hergebruik staal na verwijdering deklaag ontz./al-vloeistof? 75 MJ/m ² 14 MJ/m ²	bij 1 µm corr./jr evt. zie verf, bij lange levensduur n.v.t.? separate behandeling

- 1) info Hoogovens, 26/3/93, plm. 10 - 20 µm laagdikte per zijde.
De kostprijs kan dalen bij toegenomen gebruik.

Werkblad 3

Galfan (5% Al, 95% Zn, La en Ce)/Thermisch dompelen

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	25 - 75? gelijk aan Zn	in zoutsproeitest 3 maal beter dan Zn
kosten per m² aanbrengen onderhoud	continu : f 12,- batch : onbekend zie Zn	1) 2 mm staalplaat, 120 g/m ² (2 zijden)
uitvoerbaarheid stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	continu: ingevoerde techniek band: 1.5 m, dikte 3 mm niet mogelijk	batchproces niet beschikbaar evt. via verven
milieu-aspecten: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	15 g Zn, < g La, Ce puntbron hergebruik staal na ontz./, ontz.vloeistof moeilijk verwerkbaar? 40 MJ/m ² 14 MJ/m ²	bij 2 µm corr./jaar onderhoud zie evt. verven

1) info Hoogovens, 16/3/93

Werkblad 4

Al/thermisch via dompelen

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	> 50 jaar gevoeliger dan Zn, zachter	Anodiseren mogelijk verbetering in maritieme atmosfeer korter? Laagdikte tot 250 g/m ² (2 zijden) ²⁾
kosten per m² aanbrengen onderhoud	continu : f 28,- batch : onbekend n.v.t. levensduur >50	³⁾ Anodiseren niet meegenomen.
uitvoerbaarheid stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	continu: ingevoerde techniek continu: 1.5 m breed, dikte 3 mm niet mogelijk, echter n.v.t.?	batch-processen zijn nog niet beschikbaar ¹⁾ evt. oververven??
milieuverdiensite: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	1 g Al/m ² . jaar puntbron na ontalum. hergebruik staal. ontal. vloeistof her te gebruiken 110 MJ/m ² 14 MJ/m ²	bij 0.4 µm/jr ⁴⁾ n.v.t.? ervaring in de automobielsector?

1) info Thyssen (Dld.) en Armco (België)

2) 250 g/m² komt op 50 µm laagdikte per zijde

3) info Armco, dhr. Baert 31/3/93 voor 1.25 mm staalplaat

4) info Hoogovens dhr Bleker, Japans artikel 1980.

Werkblad 5

(Verzinken) + Verf (Duplexsysteem)

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	10 - 40 jaar ¹⁾ verzinkt staal met verf: minder gevoelig dan Zn	onverzinkt staal geeft geen kathodische bescherming Poedercoaten betere mech. bescherming
kosten per m² aanbrengen onderhoud	op staal : f 20,- incl. verz.: f 45,- f 50 - f 80	Uitgaande van kasgoten *Industrieel aangebracht, handmatig duurder elke 5 jaar bijwerken (lokaal), na 10 jaar straalbehandeling ⁴⁾
uitvoerbaarheid stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	ingevoerde techniek geen beperkingen mogelijk, let op kosten	de straalbehandeling zal in de toekomst verbeterd worden
milieuverdienste: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	< 2% van de laagdikte in 10 jaar (KWS), straalgrit hergebruik staal bij Hoogovens mogelijk (35+) 8,5	emissies van div. stoffen Nauwelijks KWS bij Poedercoaten voor watergedragen systemen zal de emissie slechts 10% van deze waarde zijn

1) Zonder thermisch zink en nat verfsysteem ca. 10 jaar, met Zn en poedercoaten minimaal 20 jaar. Diverse tussenvormen mogelijk.

Werkblad 6

Staal/geoxinitreerd of gecarbonitreerd

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	3 -10 jaar goed (hardheid 600 HV)	verbetering 5-10 t.o.v. staal ¹⁾
kosten per m² aanbrengen onderhoud	f 100 - 1000,- demontage + vervanging	
uitvoerbaarheid stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	ingevoerde techniek ovens tot 5 m ³ , batchproces niet mogelijk	combinatie oxideren met nitreren/carboneren is nog in ontwikkeling evt. volledig verfsysteem
milieuverdiensite: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	Fe emissies van afgassen, zoals ammonia en koolwaterstoffen geen probleem	niet bezwaarlijk corrosiesnelheid ca. 5-10 maal hoger dan Ni-Cr (gecondenseerd watertest)

1) rapport IOP Metalen 1992 (Somers TUD), Huis in 't Veld, IPL-TNO

Werkblad 7

Aluminium (leg.)/coëxtrusie/walsen/cladden/platteren

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	> 50 jaar, afhankelijk van porositeit gering taaie laag	Anodiseren mogelijk een verbetering 10-20 maal beter dan Zn, dikke lagen mechanische spanning kan leiden tot spanningscorrosie
kosten per m² aanbrengen onderhoud	f 40 - 100,- n.v.t. levensduur > 50 jaar, anders vervangen	f 10 - 200,-/kg, afh.. legeringssamenstelling en tonnage Anodiseren niet meegenomen.
uitvoerbaarheid stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	1) ingevoerde techniek buizen/pijpen tot diam. 100 mm, platen tot 3 m niet mogelijk, echter n.v.t.?	2) hechting op aluminium kan een probleem zijn: explosief cladden is mogelijk
milieuverdiensite: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	1 g Al/m ² . jaar puntbron oplosmiddelen na ontalum. hergebruik staal. ontal. vloeistof her te gebruiken oplosmiddelen 110 MJ/m ² 14 MJ/m ²	bij 0.4 µm/jr voor hechttings-bevordering

1) info P. Rademakers IPL-TNO, rapport MI-TNO 33.8.4021, 11 sept. 1985

2) De technologie is alleen geschikt voor dikkere substraten (5 - 10 mm).

Werkblad 8

Al₂O₃/TiO₂/ZrO₂ cermet/thermisch spuiten¹⁾

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	> 50 jaar gespoten lagen zijn breukgevoelig, breken uit; de krasvastheid is groter dan in geval van metallische lagen	afh. porositeit en nabehandeling) laagdikte is plm. 0.1 mm, moet geseald worden (impregneren met hars) TiO ₂ beter deformeerbaar
kosten per m² aanbrengen onderhoud	f 40,-? n.v.t., levensduur > 50 jaar	grondstofprijs is van belang f 80 - 200/kg
uitvoerbaarheid stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	nog niet ingevoerd op deze schaal en voor deze toepassingen flexibele cords verhogen produktiesnelheid hoeft geen probleem te zijn	smeltpunt Al ₂ O ₃ 800 °C ZrO ₂ 2200 °C plasmatoorts/Al ₂ O ₃ proces in ontwikkeling voor niet permeabele lagen
milieuverdienste: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	TiO ₂ geen probleem ZrO ₂ /Y ₂ O ₃ bij verwijdering laag geen probleem deklaag?	depositierendement plm. 70%

1) info. dr.ir. J.M. Houben (TUE-W)

Werkblad 9

Email/Emailleren

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	> 50 jaar scheurgevoeligheid groter dan Zn, krasgevoeligheid minder	Er zijn proeven op vangrails uitgevoerd (levensduur $5 \times \text{Zn}$) Voorzorg bij vervoer en montage
kosten per m² aanbrengen onderhoud	f 30,- Demontage en vervangen	Vangrail f 90,-/m
uitvoerbaarheid stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	ingevoerd grote oppervlakken batch en continu niet mogelijk, n.v.t.?	
milieuverdiensite: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	geen geen	Voorbehandeling moet zorgvuldig hergebruik/reparatie mogelijk

Werkblad 10

Al (FeAl)/thermisch spuiten²⁾

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur	zeer goed, indien porievrij	afh. kwaliteit coating, sealing
beschadigingsgevoeligheid	gevoeliger dan Zn	- Al + Al ₂ O ₃ spuiten!
kosten per m² aanbrengen	> f 30,- ?	gemechaniseerd coaten
onderhoud		
uitvoerbaarheid stand der techniek	mobiele spuitinstallatie: ervaring in petrochem. industr. en ruimtevaart	1) elektrisch opspuiten meest gewenst ²⁾
schaal		
onderhoud ter plekke	n.v.t.	Al is zeer plastisch en rekt mee
milieuverdiensite: emissies bij gebruik	depositierendement 70%	bij alle spuittechnologie moet de verliezen afgefilterd worden
emissies bij aanbrengen en onderhoud		Gezondheidsrisico's bij aanbrengen
in afvalstadium		
energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	110 Mj/m ²	

1) info dhr. dr. ir. J.M. Houben (TUE-W)

2) US Navy past sinds 10 jaar gespoten Zn, ZnAl en mogelijk Al toe (draadpistool), antisliplaag op vliegdekschepen.

3) diverse papers NACE Corrosion '93 Conference

Werkblad 11

Anorganische oxide coatings/natchemische processing²⁾Oxiden op basis van Si, Al, Sn, Ti en Zr. ¹⁾

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	 > 50 jaar harde, glasachtige laag, bros	 bij dichte laag, pinholes; sealing in ontwikkeling voorzorg bij montage, stat. belasting geen probleem
kosten per m² aanbrengen onderhoud	 f 40,- vervanging/demontage	 op basis emallieren
uitvoerbaarheid stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	 in ontwikkeling n.v.t. bij lange levensduur	 beschikbaar op kleine schaal
milieu-aspecten: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	 < 5 g/m ² metaaloxides n.v.t. ontcoaten noodzakelijk, daarna geen probleem	

1) Het gebruik van niet-oxiden, zoals nitriden en carbiden biedt geen voordeel vanwege verminderde stabiliteit (oxideren aan de lucht).

2) Natchemische processing wil zeggen:
Dippen, spuiten, verven (al of niet elektroforetisch/elektrostatisch), uitgaande van een waterige of organische suspensie van anorganische (oxidische) deeltjes.

Werkblad 12

Al/Ti/oxide; opdampen (PVD, CVD)

1), 2)

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur beschadigingsgevoeligheid	 > 50 jaar gevoeliger dan zink, zachter	 kristallijne opgedampte lagen bevatten pinholes; sealing noodzakelijk multilagen anorg./metaal/ anorg.
kosten per m² aanbrengen onderhoud	 f 50 - f 100,- n.v.t., levensduur > 50 j.	 Leybold-proces
uitvoerbaarheid stand der techniek schaal onderhoud ter plekke	 produktieschaal wordt getest zowel plaat als profiel niet mogelijk, echter n.v.t., lange levensduur	 bottleneck is de warmtebehandeling, i.v.m. hechting
milieu-aspecten: emissies bij gebruik emissies bij aanbrengen en onderhoud in afvalstadium energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	 1 g Al/m ² . jaar KWS verbranden; Al, Ti verbindingen uitwasbaar strippen moeilijk	

1) Info Leybold (Dld.), via P. Ramaekers

2) Papers NACE Corrosion '93 Conference

Werkblad 13

Zn-legeringen/Electroplating

(Zn-Ni(5-10%), Zn-Co (0,3-0,9%), ZnFe (0,3-0,9%))

Kenmerk	Grootte	Opmerkingen
functionaliteit: levensduur	15 - 40 jaar	passiveerlaag kan levensduur nog verlengen
beschadigingsgevoeligheid	beter dan therm. zink	Legering harder dan zink
kosten per m²: aanbrengen	f 14,- f 18,-	
onderhoud	demontage + renovatie verven/vervangen	
uitvoerbaarheid: stand der techniek	ingevoerde techniek	
schaal	grote afmetingen mogelijk	
onderhoud ter plekke	niet mogelijk	wel via ander systeem (verven)
milieu-aspecten: emissies bij gebruik	15 g Zn/m ² . jaar 0,2-2 g Ni, Co, Fe	uitg. van 2 µm corrosie/ jaar
emissies bij aanbrengen en onderhoud	puntbron	onderhoud, zie evt. verven
in afvalstadium	hergebruik staal na ontzinken, ontzinkvloeistof	
energie-inhoud: deklaag applicatietechniek	7 MJ/m ² 14 MJ/m ²	

Bijlage 5 Enige belangrijke kenmerken van aanbrengtechnieken voor deklagen

1 Elektrochemische depositie (galvaniseren)

Langs elektrochemische weg neerslaan van een metaal

- Breed toepassingsgebied, zowel metalen als legeringen.
- Elektrolyt kan zowel oplossing als gesmolten zout zijn.

Beperkingen:

- Laagdikte niet altijd uniform.
- Geen holle voorwerpen.
- Afmetingen.

2 Stroomloze depositie (electroless plating)

Via chemische (autokatalytische) reductie neerslaan van metaal in oplossing

- Momenteel beperkt toegepast (Ni, Co, Cu (Au en Ag).
- Uniforme laagdikte.

Beperkingen

- Niet geschikt voor metalen die gevoelig zijn voor P of B en voor gelaste onderdelen.

3 Thermische dompelen (hot-dip)

Neerslaan van een metaal via onderdompeling in een bad van gesmolten metaal (of legering).

- Dikke laag (tot 150 μm).

Beperkingen

- Hoge temperatuur.
- Afmetingen.

4 Thermisch spuiten

Via spuitpistool met grote snelheid aanbrengen van een gesmolten in fijne druppels verdeeld metaal.

- Verschillende verhittingsmethoden: vlam, boog, plasma, detonatie.
- Breed inzetbaar, zowel wat betreft metaal als afmetingen (en locatie).
- Met name plasma spuiten biedt veel perspectief.

Beperkingen

- Slechte hechting.
- Poreuze laag.
- Werkomstandigheden vaak slecht.

5 Platteren

Een onderscheid moet worden gemaakt tussen mechanisch platteren en clad-bonding. Bij mechanisch platteren wordt de metaallaag als kleine deeltjes via botsing of centrifugaalkrachten aangebracht. Uitvoering in trommel of centrifuge. Bij clad-bonding wordt de aan te brengen metaallaag en de substraatlaag onder druk onder bepaalde condities aangebracht.

6 Diffusie coaten

Onder invloed van thermische (en elektrochemische) reacties aanbrengen van een diffusieverzadigde legeringslaag op/in een substraat.

- De coating kan zowel vast vloeibaar als gasvormig zijn.
- Nitreren, Siliceren, Aluminiseren, Sulfineren.
- Grote marktpotentie.

Beperkingen

- Temperatuurwisselingen.
- Afmetingen van beschikbare reactoren, tanks enz.
- Beperkte procesbeheersing.

7 Ionimplantatie

Het onder invloed van hoge snelheid inbrengen van ionen (bombarderen) in een amorfe of kristallijne vaste stof

- Toepassing onder vacuüm.
- Breed toepassingsgebied.

Beperkingen

- Afmetingen.
- Proces vrij geavanceerd, veel hulpapparatuur nodig.

8 Physical Vapor Deposition (PVD)

Het onder hoog vacuüm neerslaan van metalen of metaalverbindingen op een substraat. Afhankelijk van de wijze waarmee het metaal uit de bron wordt vrijgemaakt wordt een onderscheid gemaakt in:

- opdampen;
 - ionplating;
 - sputteren.
-
- In principe breed toepassingsgebied, grote potentie.
 - Sterk in ontwikkeling, met name in combinatie met andere technieken.

Knelpunten

- Trage marktontwikkeling.

9 Chemical Vapor Deposition (CVD)

Neerslag van een deklaag op een substraat via een chemische reactie tussen verschillende componenten in de gasfase

- Breed toepassingsgebied.
- Al_2O_3 en Cr-C-legeringen hebben goede corrosiebestendigheid.

Knelpunten

- Hoge temperatuur.
- Lange procesduur.
- Trage marktontwikkeling.

10 Conversielagen (en anodiseren)

Via chemische (of elektrochemische) behandeling van een oppervlak aanbrengen van een passieve laag gevormd uit substraatmateriaal en componenten uit de gebruikte oplossing

- Twee typen
 - oxiden
 - oxiden van het substraat in combinatie met chromaten, fosfaten, boraten, fluoriden, silicaten en sulfiden en combinaties hiervan
- Vaak toegepast als ondergrond voor organische dekleden of als nabehandeling, maar ook als op zich zelf staande corrosiewering.
- Dunne laag.

Bijlage 6 Beoordelingsformulier 2e workshop*Beoordeling systemen voor behandeling metaaloppervlakken tegen atmosferische corrosie*

	Functionaliteit	Kosten	Uitvoerbaarheid	SubTotaal (F+K+U)	Milieu-bezwaar	Totaal	Opmerkingen
Zink (Hot-dip)							
Galvalume (Hot-dip)							
Galfan ((Hot-dip)							
Al (Hot-dip)							
Verf							
Oxynitr. of Carbonitr.							
Al(leg)coëx wals/plat							
Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ Therm. sp.							
Email/ Emaileren							
Al (FeAl) Therm. sp.							
Anorg. ox. natch. pr.							
Al/Ti oxid. PVD,CVD							
Zn-leg. Galvanisch							

Bijlage 7 Resultaten beoordeling systemen voor behandeling metaaloppervlakken tegen atmosferische corrosie

Subtotaal Functionaliteit + Kosten + Uitvoerbaarheid

Deelnemer	1	2	3	4	5	6	7	Totaal	Opmerkingen
Zink (Hot-dip)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Galvalume (Hot-dip)	+	+	+	0	+	+	0	+	
Galfan (Hot-dip)	+	0	-	0	+	-	-	0	
Al (Hot-dip)	+	+	++	0	+	--	+	+	1)
Verf (Duplex)	0	+	+	+	+	0	0	+	
Oxynitr. of Carbonitr.	--	--	--	-	-		--	--	
Al(leg)coëxwals /plat	--	-	-	-	-		-	-	
Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ Therm. sp.	-	--	0	-	-		-	-	
Email/ Emailleren	+	0	++	+	+	-	+	+	2)
Al (FeAl) Therm. sp.	-	+	-	0	0		0	0	
Anorg. ox. natch. pr.	-	--	+	-	-		-	-	3)
Al/Ti oxid. PVD,CVD	-	--	-	-	-		--	-	
Zn-leg. Galvanisch	++	+	0	0	0	0	0	0	

- 1) De afwijkende mening van één deelnemer ten opzichte van het eindresultaat heeft met name betrekking op de kosten, die door hem als zeer hoog worden ingeschat (hogere temperatuur).
- 2) De toepassingsmogelijkheden van email worden beperkt door de mechanische eigenschappen, die vooral bij montage een rol spelen. Dit betekent dat toepassing niet op alle substraten mogelijk is.
Voor gevelplaten lijkt email zeer geschikt, voor skeletten in de industrie aanzienlijk minder.
- 3) De mogelijkheden van de anorganische coatings worden door één persoon, die als deskundige op dit terrein kan worden beschouwd, aanzienlijk hoger ingeschat.

Bijlage 8 Resultaten beoordeling systemen voor behandeling metaaloppervlakken tegen atmosferische corrosie

Totaal Milieubezwaar

Deelnemer	1	2	3	4	5	6	7	Totaal	Opmerkingen
Zink (Hot-dip)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Galvalume (Hot-dip)	+	++	0	+	+	+	+	+	
Galfan (Hot-dip)	0	+	0	+	0	0	0	0	
Al (Hot-dip)	+	++	+	++	+	+	++	+	
Verf (Duplex)	-	+	0	+	-	-	0	0(+)	1)
Oxynitr. of Carbonitr.	+	++	+	++	+		++	+ / ++	
Al(leg)coëxwals /plat	+	++	+	++	+		++	+ / ++	
Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ Therm. sp.	+	++	++	++	0		++	+ / ++	
Email/ Emailleren	+	++	++	++	0	+	++	+	2)
Al (FeAl) Therm. sp.	+	++	++	++	0		++	+ / ++	
Anorg. ox. natch. pr.	+	++	+	++	0		++	+	
Al/Ti oxid. PVD,CVD	+	++	+	++	0		++	+	
Zn-leg. Galvanisch	0	+	0	+	0	0	0	0	

- 1) Door één deelnemer is in eerste instantie uitgegaan van een eenvoudig verfsysteem. In de discussie is vastgesteld dat uit mag worden gegaan van de betere verfsystemen. De meningen met betrekking tot het milieubezwaar lopen sterk uiteen. Met betrekking tot milieubezwaar is er een groot verschil tussen de verschillende verfsystemen (poedercoatings, high solids, watergedragen systemen en verven op basis van oplosmiddelen). Mede onder invloed van de diverse lopende ontwikkelingen (onder andere in kader van KWS-2000) zal in het kader van deze studie voor oplosmiddelarme systemen worden gekozen. In het geval van poedercoatings is tijdens de workshop een score + overeengekomen.
- 2) Er is discussie over het milieubezwaar van email in het afvalstadium. Er wordt door één deelnemer aan getwijfeld of scheiding van substraat en deklaag goed mogelijk is. Volgens anderen wordt dit reeds toegepast.

Bijlage 9 Beoordeling milieubezwaar van systemen voor behandeling metaaloppervlakken tegen atmosferische corrosie (Resultaat beoordeling projectuitvoerders)

	Gebruik	Onderhoud	Afvalstadium	Energie	Totaal	Opmerkingen
Zink (Hot-dip)	--	o	o/+	o/+	--	
Galvalume (Hot-dip)	o/-	o	o/+	-	-	
Galfan (Hot-dip)	-	o	o/+	o/+	-	
Al (Hot-dip)	++	++	o/+	-/--	+	
Verf (duplex)	+	o/-	+ / ++	o/+	+	
Oxinitr./ Carbonitr.	++	o	++	o	++	
Al(leg)coëxwals /plat	++	++	o/+	-/--	+	
Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ Therm. sp.	++	+	o/+	-	+	
Email/ Emailleren	++	++	o/+	-	+	
Al(FeAl) Therm. sp.	++	++	o/+	-/--	+	
Anorg. ox. natch. pr.	++	++	o/+	-/--	+	
Al/Ti oxid. PVD, CVD	++	++	o/+	--	+	
Zn-leg. Galvanisch	o/-	o/-	o/+	+	o	

- 1) Voor wat betreft recyclingmogelijkheden van email (zie voetnoot) wil ik de volgende formulering voorstellen: Geëmailleerd staal en aluminium kan in principe gerecycled worden. Echter aan de hoeveelheid van de te verwerken emailsak die vrijkomt bij de recycling van het substraat zijn waarschijnlijk beperkingen verbonden.