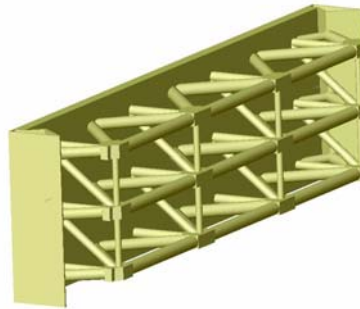


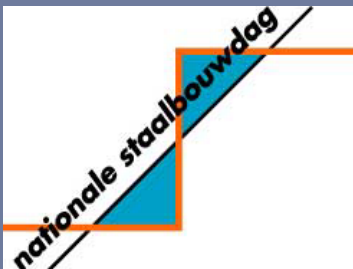
Aluminiseren, een gouden toekomst



Mink Ros *MRConsult*

Bouwdienst Rijkswaterstaat

bouwen met
staal



Nationale Staalbouwdag 2005
Staal Vitaal



Mijn ambitie als technisch onderzoeker bij Rijkswaterstaat:

- Innovatief ontwerpen en onderhouden van werktuigkundige en civiele constructies in en bij water:
 - Ontwerpen door weglaten
 - Gebruik van alternatieve materialen, constructies en deklagen
 - Voorkomen van ontwerpfouten
- Doel: verlaging van de levensduurkosten en milieubelasting

Beleid overheid:

- Krimpen
- Ontwerp- en onderhoudsverantwoordelijkheid bij de markt
- Gevolg: tot 1 december a.s. werkzaam bij Rijkswaterstaat

Vanaf 2005: Voortzetting Adviesbureau *MRConsult*

MRConsult

A graphic element in the top right corner consisting of a vertical black bar, a horizontal black line, and two red dots.

Wie is MRConsult?

MRConsult is een technisch adviesbureau voor het ontwerpen en onderhouden op basis van de integrale kosten en milieubelasting over de gehele gebruiksduur. Ook voert MRConsult ontwerptoetsen en schade-onderzoek uit.

Waarin is MRConsult o.m. gespecialiseerd?

Tribologie: beheersen wrijving en slijtage.

Conserveren van stalen objecten op basis van integrale kosten en milieubelasting, ondermeer met thermisch gespoten aluminium deklagen.

Mobiel 06 12109582

E-mail: mr-consult@hetnet.nl

www.mrconsult.nl

Inhoud van de presentatie



- Doel van innovaties bij constructies van RWS
- Historie m.b.t. aluminiseren
- Beschermmechanisme alulagen
- Praktijktoepassingen van alulagen
- Leerpunten in praktijksituaties
- Witte vlekkenonderzoek in kennis van alulagen
- Integrale kostenvergelijkingen verfspuiten versus aluminiseren
- Conclusies en aanbevelingen

Doel van innovaties: verlagen integrale kosten

- Integrale kosten, het totaal van:
 - Ontwerpkosten
 - Bouwkosten
 - *Onderhoudskosten*
 - *Bedrijfskosten, milieukosten en indirecte kosten*
 - *Economische en maatschappelijke kosten t.g.v. niet-beschikbaarheid*
 - Kringloopkosten en milieueffecten
- De onderhouds**frequentie** domineert deze kosten
- De ontwerper legt de kiem voor deze kosten

Wat is aluminiseren?



Aluminiseren =

Opspuiten van gesmolten aluminiumdeeltjes op gestraald substraat

Deze aluminiumdeeltjes stollen vast aan het ruwe substraat



Historie

Thermisch gespoten aluminium deklagen



- Literatuur tot 1994 geeft aan: een thermisch gespoten aluminium deklaag beschermt vele tientallen jaren en wordt daarom al 40 jaar wereldwijd toegepast
- Literatuuronderzoek TNO in 1994: Onbekend maakt onbemind
- Aluminiseren wordt sindsdien binnen en buiten RWS steeds meer onderzocht en toegepast

Corrosiesnelheid alulagen (μm per jaar)

Volgens onderzoek in 1995

- In zeewater (poriën gesloten): 1...5
- In zoet water (poriën gesloten): 0,1...0,5
- In lucht (poriën gesloten): <0,1

Volgens praktijkonderzoek pontfuik Texel
(mei 2004)

- In stromend zeewater nieuw
(open poriën): circa 10
- In stromend zeewater na een week
(poriën gesloten): circa 1

Vergelijking verf- en alulagen



Systeem	Verflaag	Alulaag
Principe	Passief / afsluitend	Actief / kathodisch
Applicatietijd	Droogtijden	Doorlooptijd afhankelijk aantal spuitpistolen
Onderhoud	Groot / klein	Geen
Beschermduur zonder onderhoud	Circa 10...25 jaar	40...>50 jaar
Werkzaamheidsmechanisme	Degradatie	Oppoftering
Keuze van parameter beschermduur	Systeemkeuze en onderhoud	Laagdikte

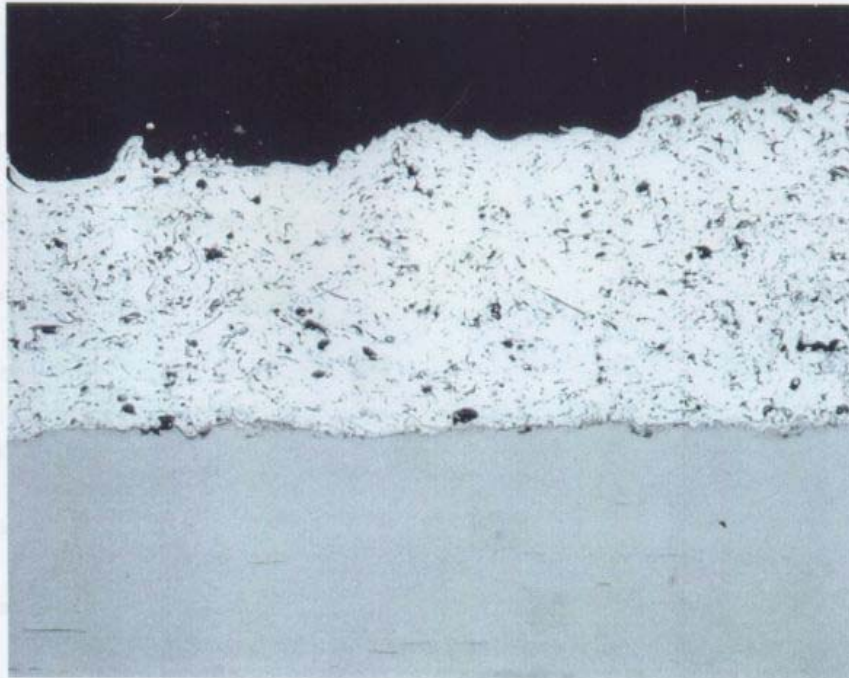
Dikte en kosten applicatie alulagen inclusief stralen

Milieu	Dikte alulaag (µm)	Kosten stralen+ applicatie per 0,1 mm laagdikte	Kosten alulaag €/m ² (afgerond)
Land- en zeelucht	260	$27,- + 2,6 \cdot 18,- =$	75,-
Zoet water	300	$27,- + 3,0 \cdot 18,- =$	80,-
Zeewater	350	$27,- + 3,5 \cdot 18,- =$	90,-
Zeer agressief milieu	450	$27,- + 4,5 \cdot 18,- =$	110,-

Beschermmechanisme en basisgegevens



Structuur thermisch gespoten deklaag

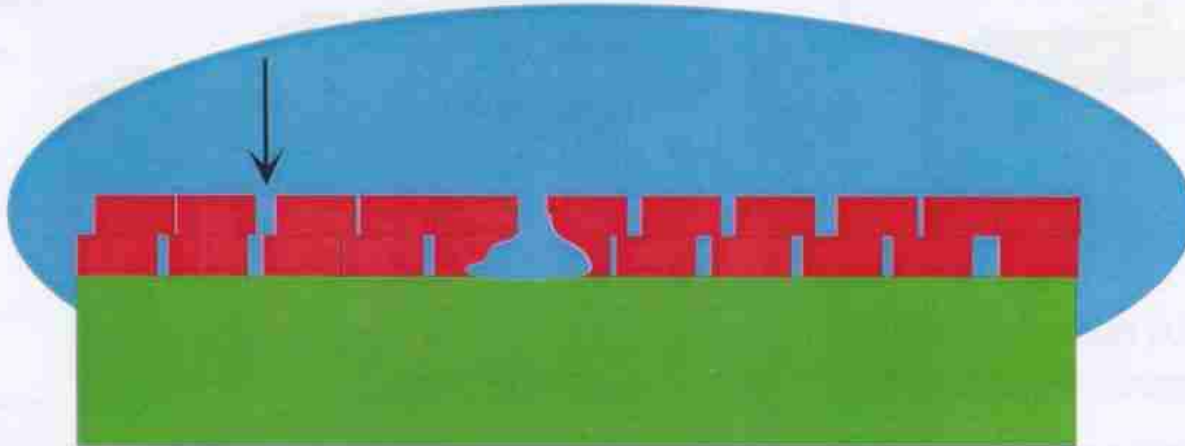


Elektrisch gespoten AlMg5 deklaag, dikte ca. $375\text{ }\mu\text{m}$

Onedele alulaag over een edeler substraat



Thermisch gespoten aluminium op staal

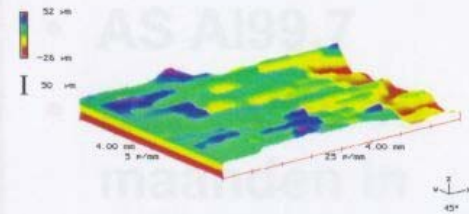
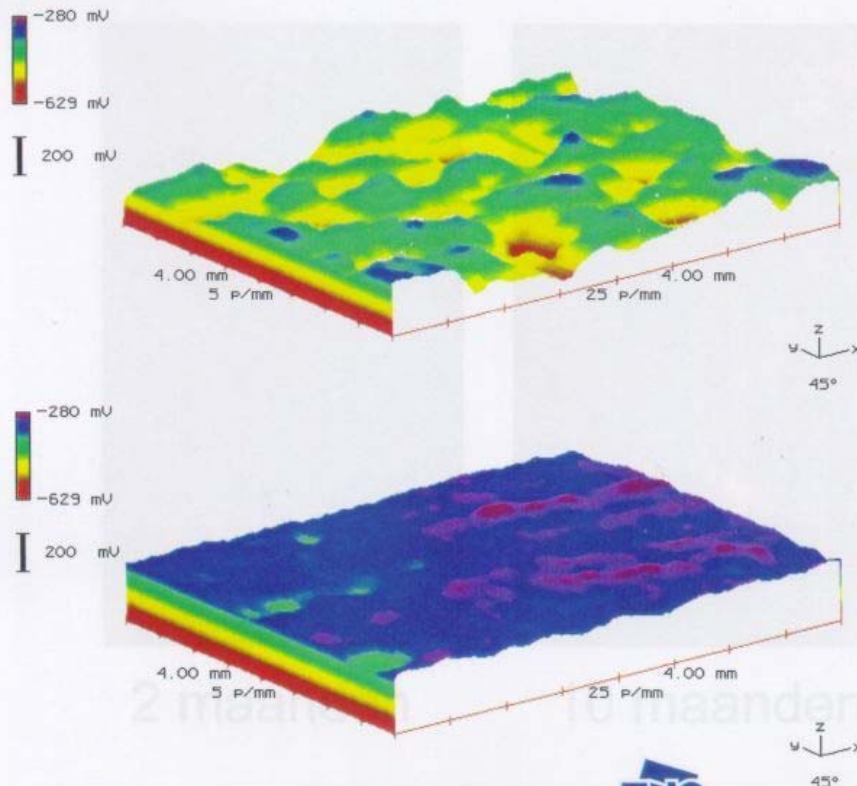


- Poreuze onedele deklaag op edel substraat
- Kathodische bescherming van substraat



De alulaag is zelfreparerend door de vorming van aluminiumoxides in de poriën, en door...

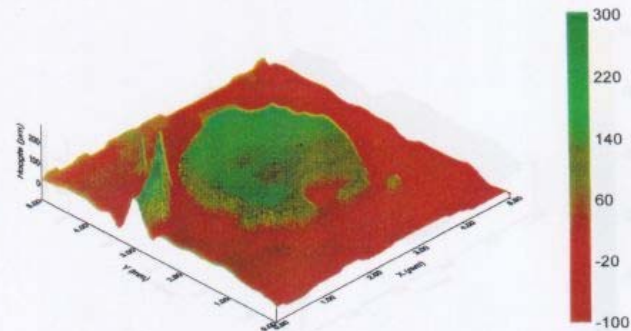
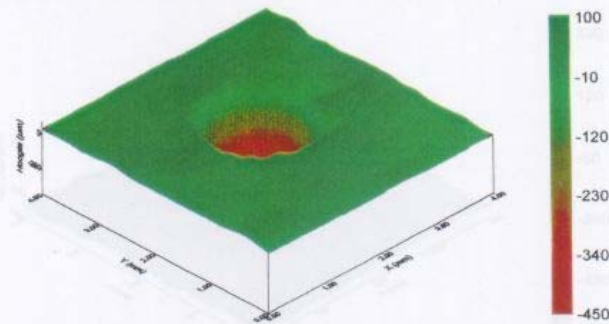
Corrosiegedrag zeewater en zoetwater



Vlamgespoten Al99.7
in natuurlijk zeewater
(verse deklaag en na
4000 uur immersie)

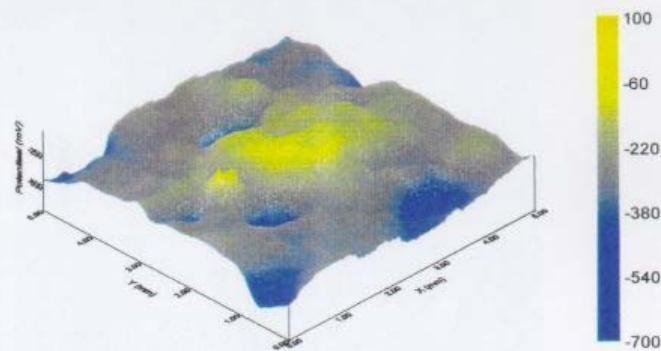
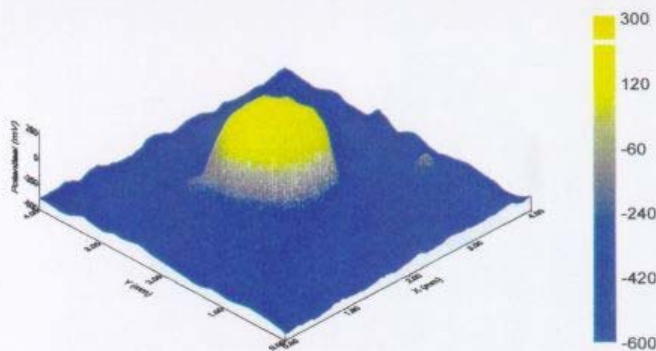
...vorming van een kalklaagje op defecten

Corrosiegedrag bij defecten



- Hoogteprofiel FS Al99.7
- 2 mm defect, voor en na 1000 uur expositie in natuurlijk zeewater

Corrosiegedrag bij defecten



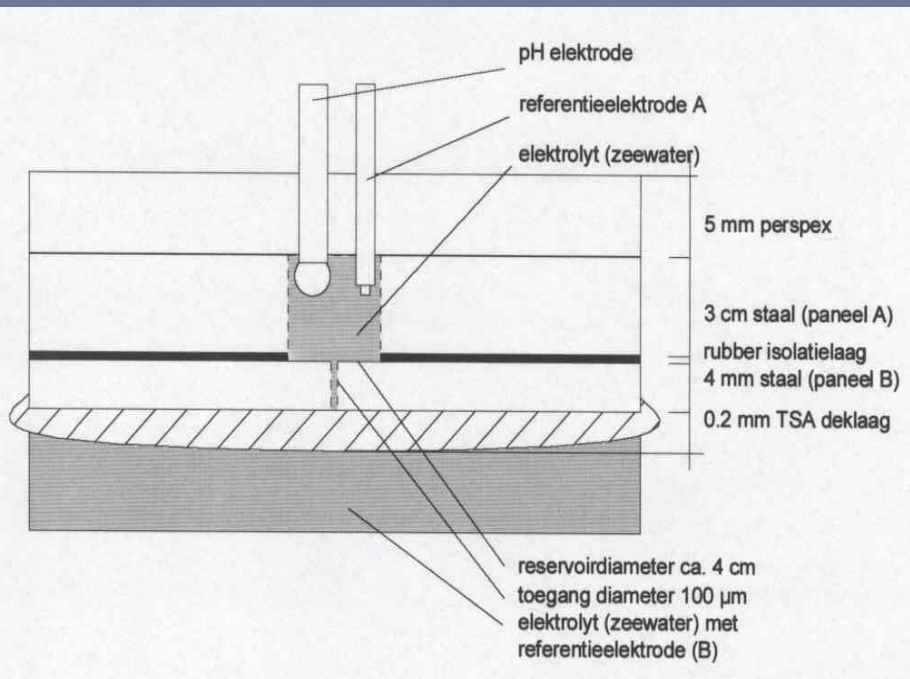
- Corrosiepotentiaalprofiel FS Al99.7
- 2 mm defect, voor en na 1000 uur expositie in natuurlijk zeewater

Gedrag bij toepassing voor bescherming pen-gat verbindingen



- Speling gevarieerd 0.1, 0.2, 0.3 mm
- Gat : koolstofstaal
- Pen: koolstofstaal met FS Al99.7
- Deklaag van 300 μm afgedraaid tot gewenste speling
- Resulterende dikte ca. 100 μm

Putcorrosie dooft uit door afdekken met alulaag – uitboren niet nodig



Conclusie TNO-onderzoek:

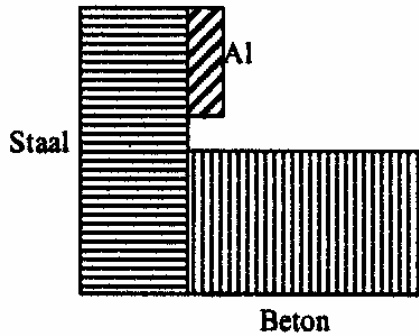
“... dat de put door de aluminium deklaag wordt afgesloten...”

...en het corrosieproces in de put zelf tot stilstand komt”.

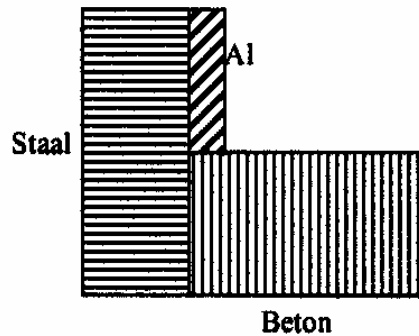
Overgangen van gealuminiseerd staal naar beton



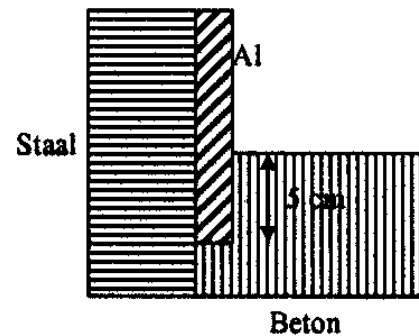
a



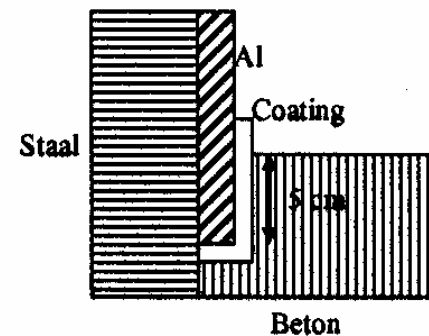
b



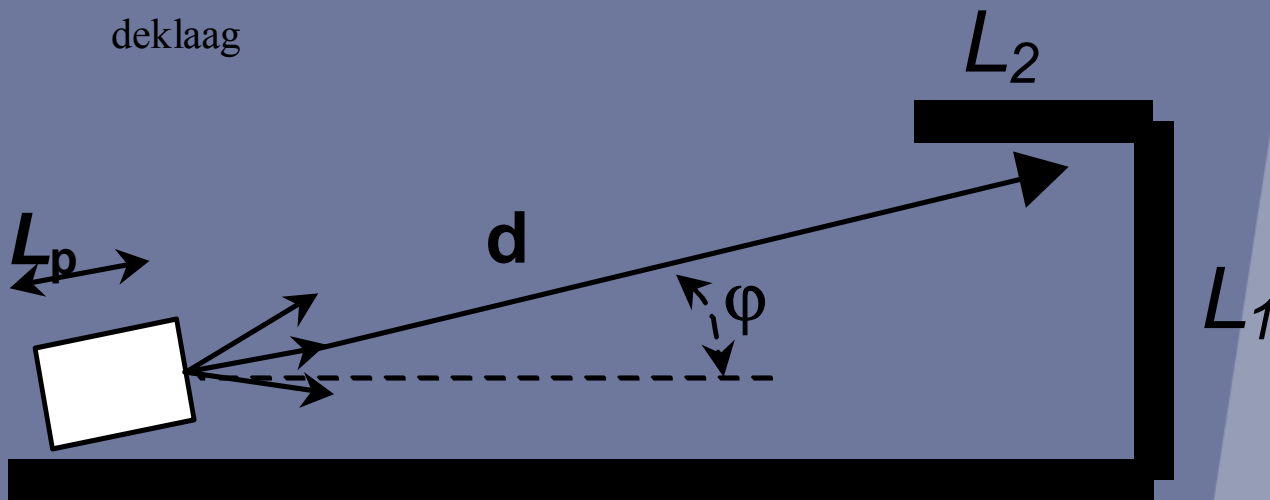
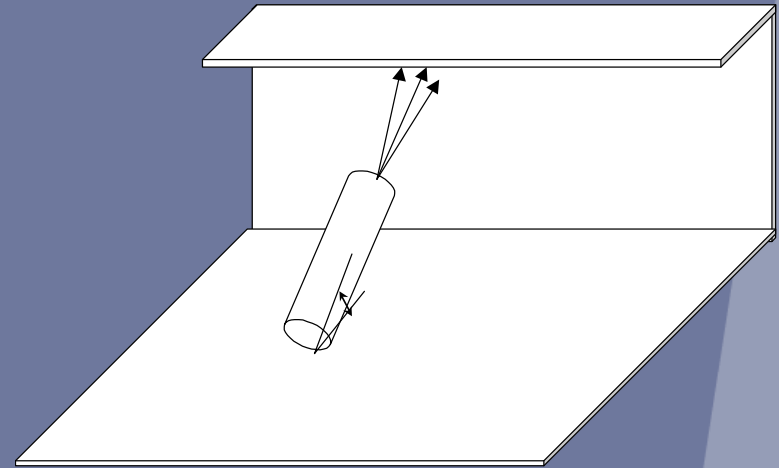
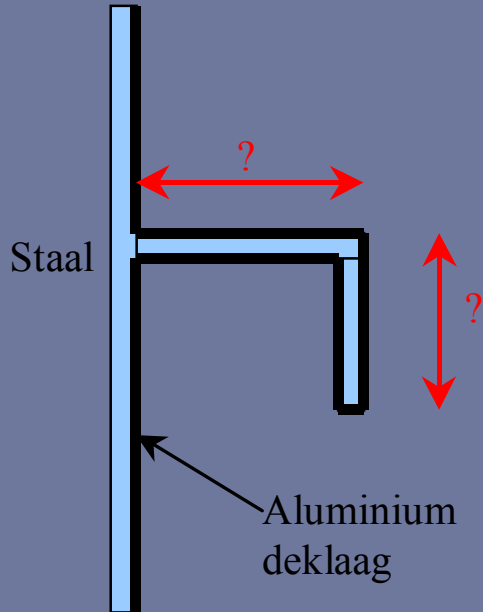
c



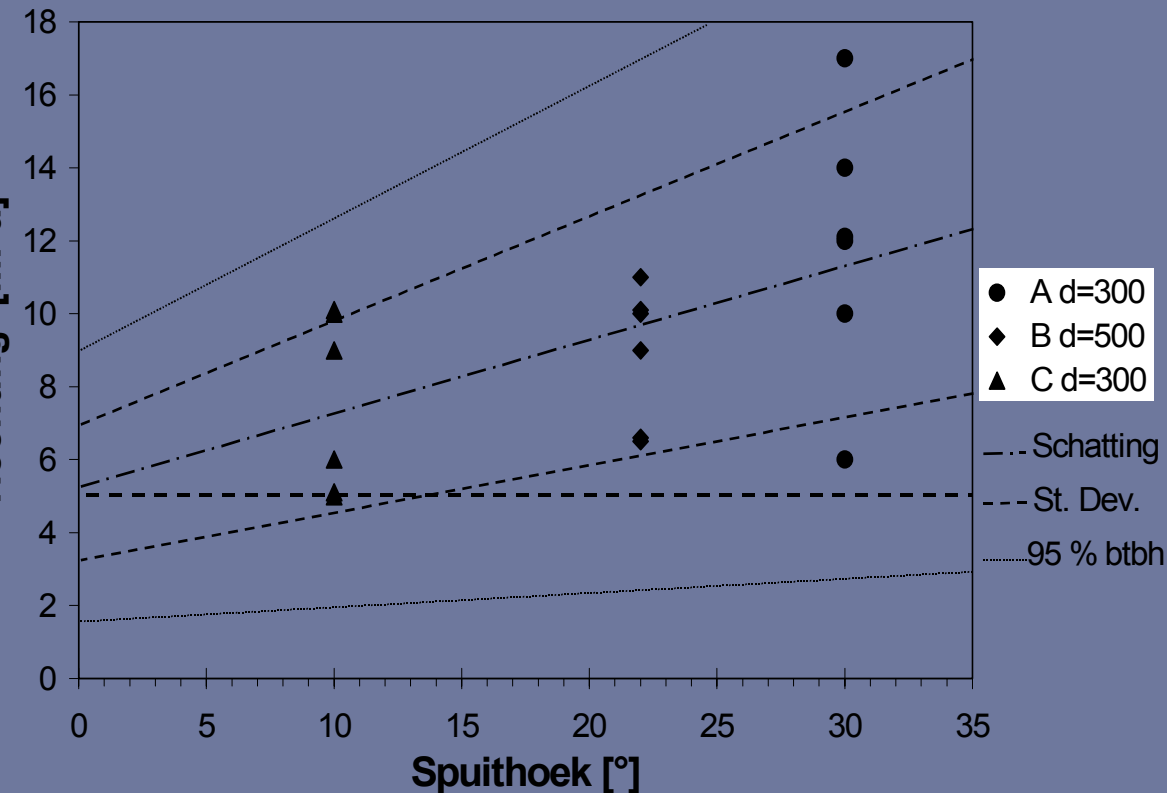
d



Variabelen bij het bepalen van de hechtsterkte van de alulaag



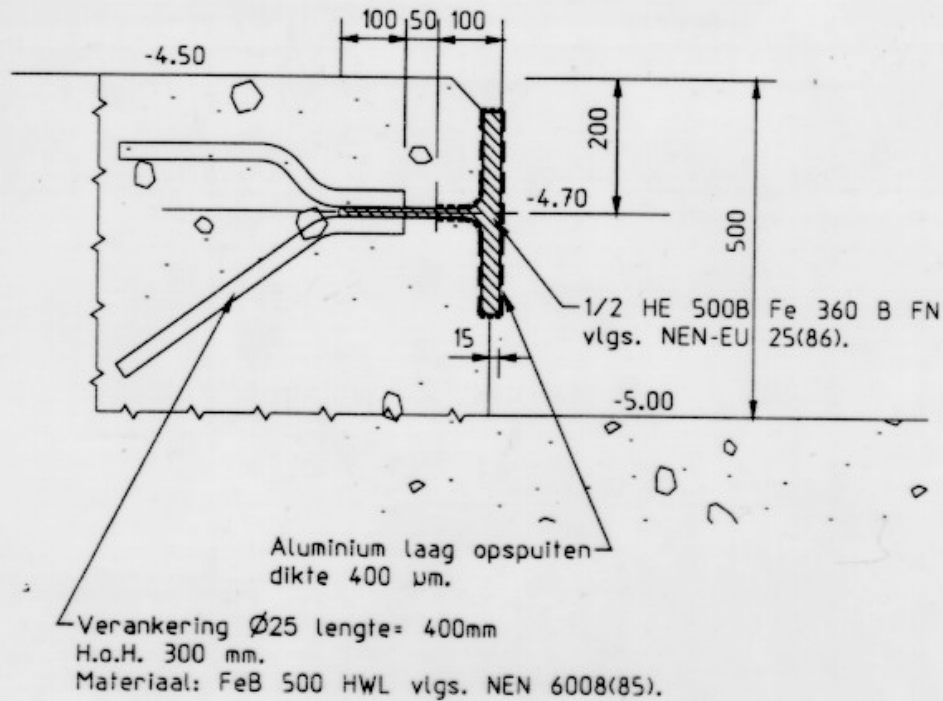
Hechtsterkte alulaag als functie van de spuithoek en conclusie



- Bij een spuithoek groter dan 15 graden ten opzichte van het te spuiten oppervlak is de hechtwaarde groter dan de minimaal vereiste 5 MPa volgens NBD 10300
- In 15% van de gevallen zal de hechtwaarde kleiner zijn. Een grotere spuithoek dan 15 graden wordt daarom aanbevolen

Praktijktoepassingen

Alulaag op stalen aanslagen sluis Lith (1997)



Figuur 6: Detail drempelaanslag met aluminium-coating



Alulaag op het buizenframe geluidsscherm A16 (1998)



Alulaag in 2002 op brugdeel Kampen (1998)



Alulaag met verfcoating op buisfundatie Harlingen 1998



Stalen damwand boven water met alulaag, onder water beschermd met KB (2000)



Alulaag op puntdeuren Zandkreeksluis (oktober 2000)



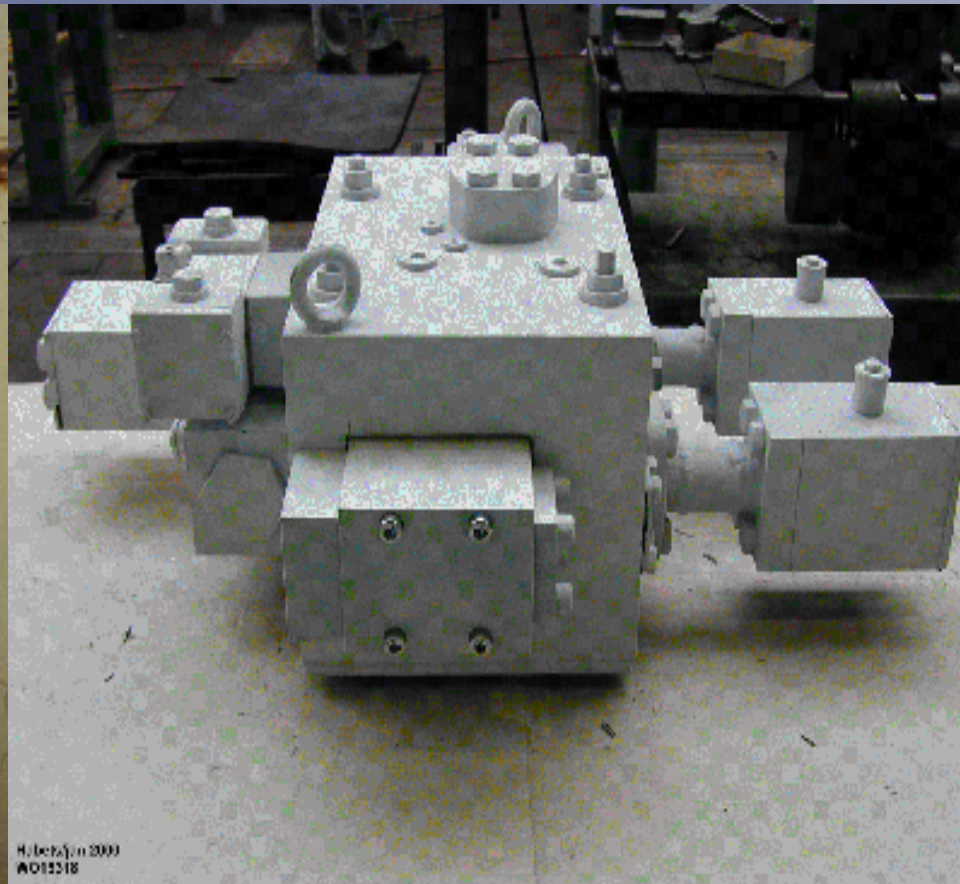
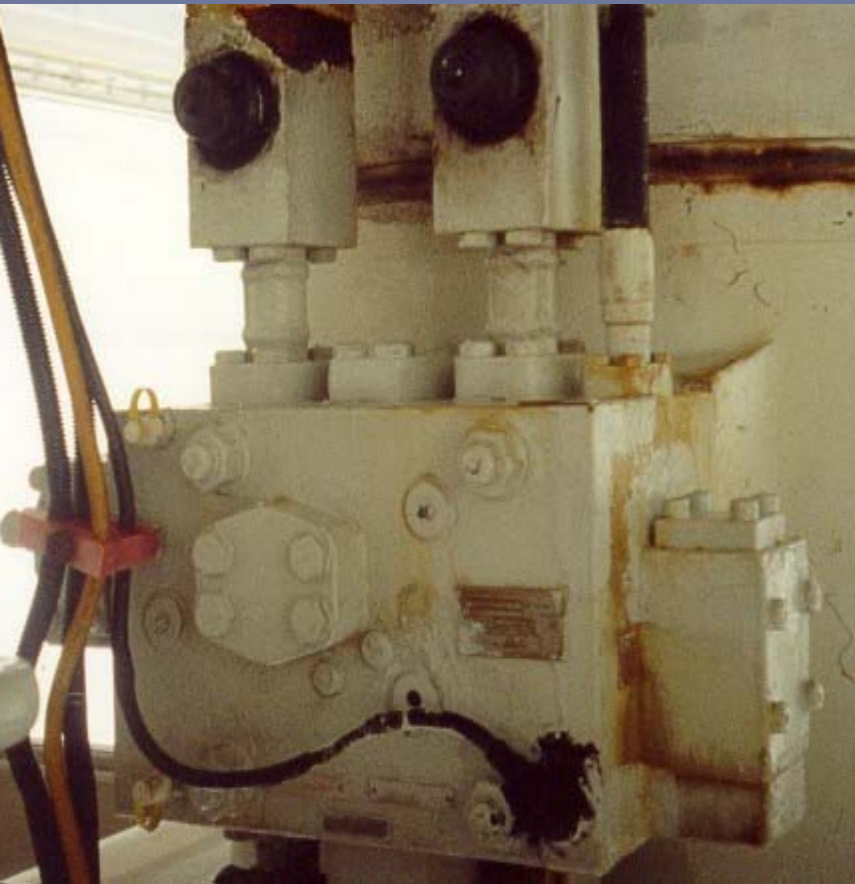
Alulaag op reservedeuren Zandkreeksluis (2001)



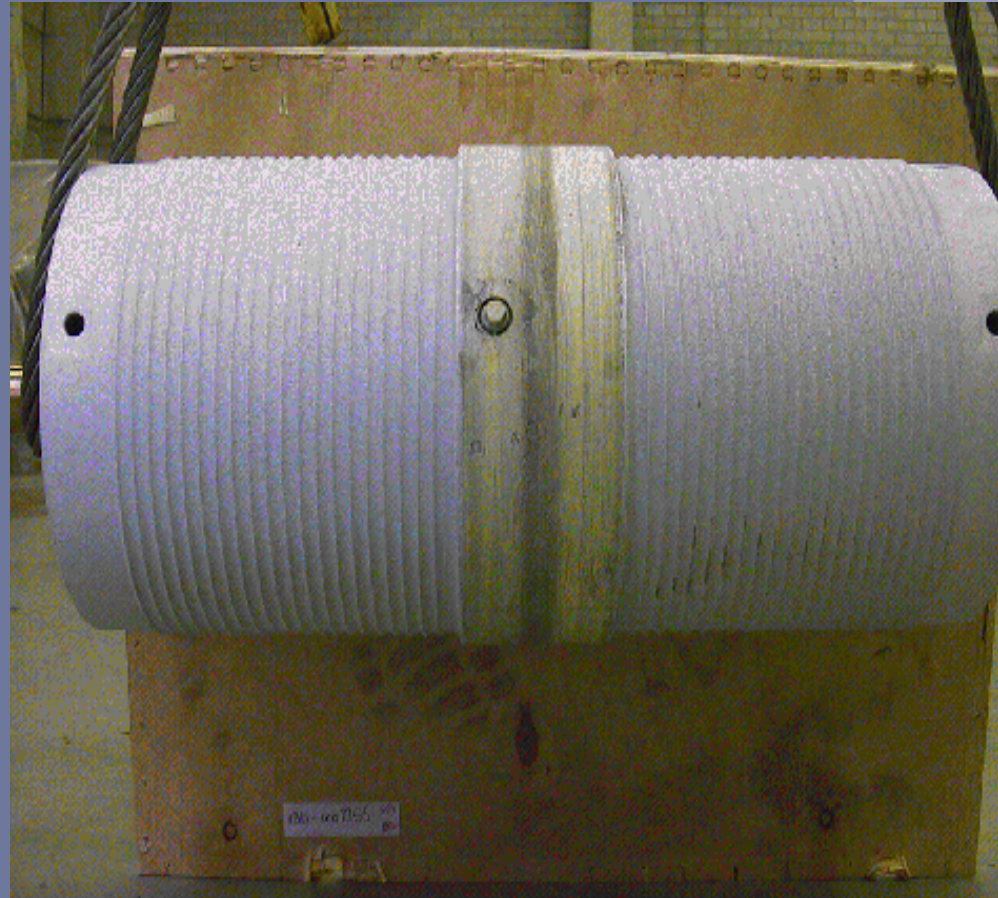
Geleiderails 2001



Hydraulische kleppenblokken SVKO (2001) geverfd / geroest gealuminiseerd



Verzinkte kabeltrommel SVKO (2001) in contact met RVS-kabel en gealuminiseerd



Meerpalen -stoelen Zandkreeksluis gealuminiseerd in 2001



Gealuminiseerde pijler onder de kunststofbrug Noordland (2002)



Aluminiseren roldeur Westsluis Terneuzen 10 000 m² (2002)

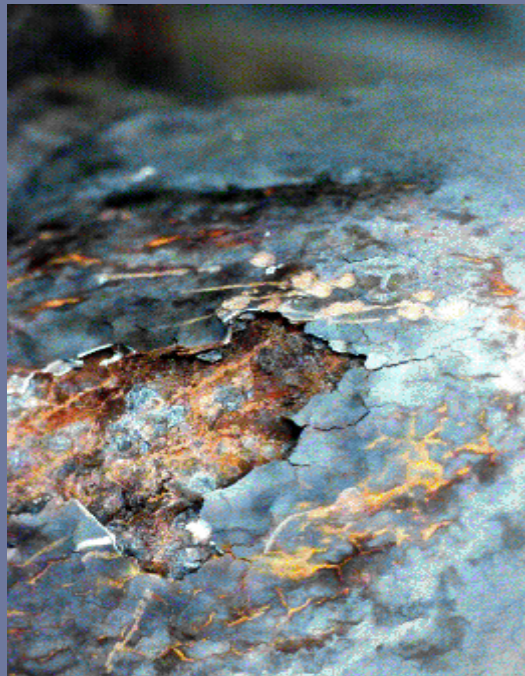


Alulaag op damwand Veerboothaven Texel (2004)



Ervaringen in verband met alulagen

Corrosie schuiven SVKO (1991)



Gealuminiseerd proefvlak R16 (2000)



Gestraalde corrosieput, oktober 2000



Gealuminiseerde corrosieputten na 4 maanden expositie aan het zeemilieu



Blaarvorming in 2002 in alulaag op R16

- Oorzaak blaarvorming volgens TNO
 - Delaminatie, dus niet in het hechtvlak
 - Te lange pauze tussen applicatie basislaag en overige laagdikte, en neerslag chloriden in die pauzetijd
- Bij toepassing NBD 10300 valt dit onder de garantie en moet de alulaag opnieuw worden aangebracht
- Blaarvorming wordt niet veroorzaakt door corrosieputten
- Alulaag beschermt totdat alle aluminium is geoxideerd
- Aanbeveling: jaarlijks inspecteren op corrosie



Mobiliteit spuitapparatuur / filteren van aluminiumstof



Beperkte ruimten dichtlassen of verfspuiten in combinatie met KB



Testen laagdikte door stomen -> roestplekken stralen en (op locatie) op dikte brengen



Profielen, klinknagels en boutkoppen zijn aluminiseerbaar



Corrosiewervels en aangroei-vrije plekken in damwand Texel (2005)



Witte vlekkenonderzoek alulagen

2003-2005: Industriebreed TNO- monitoringonderzoek alulagen

- Literatuuronderzoek praktijkgedrag alulagen (2004)
- Elektrochemische meetmethode voor
 - bepalen restbeschermduur op locatie
 - vergroten inzicht in verouderingsmechanisme
- Invloed sealertypen op beschermduur
- Kritische waterstroomsnelheid in praktijksituatie
- Combineerbaarheid alulagen boven water met KB in water
- Bevestiging gealuminiseerde delen
- Is SRC/MIC te voorkomen met alulagen?
- Tribologische eigenschappen van geslepen alulagen tegen kunststof glijlagers

Integrale kostenvergelijking

Verfspuiten versus aluminiseren

Vraagstelling

Wat zijn de integrale kosten van verfspuiten en aluminiseren bij **bestaande** en **nieuwe** stalen objecten in:

1. Landlucht
2. Zeelucht
3. Zoetwater
4. Zeewater
5. Zeer agressief milieu?

INVOER KOSTENGEGEVENS (€ / m2)

VERFSPUITEN

ALUMINISEREN

Object: Brug en sluisdeur	Oppervlakte =	1000	m2 = totaal van het object
	Disconto =	4	% = rente - inflatie

Nieuw object in land- en zeelucht met zonbestraling

Verfapplicatie in fabriek inclusief stralen	45	Alu-applicatie in fabriek inclusief stralen	75
		Verflaag over alulaag	10

Nieuw object in zoet water, condens op schaduw- en ongelijke vlakken / klinknagels

Verfapplicatie in fabriek inclusief stralen	45	Alu-applicatie in fabriek inclusief stralen	80
		Verflaag over alulaag	0

Nieuw object in zeewater

Verfapplicatie in fabriek inclusief stralen	45	Alu-applicatie in fabriek inclusief stralen	90
		Verflaag over alulaag	0

Nieuw object in zeer agressief milieu

Verfapplicatie in fabriek inclusief stralen	45	Alu-applicatie in fabriek inclusief stralen	110
		Verflaag over alulaag	0

Bestaand object in land- en zeelucht met zonbestraling

Montagekosten	5	Montagekosten	5
Voor- en nabehandelen	15	Voor- en nabehandelen	25
		Afboxen voor 1e maal aluminiseren	10
Voorbehandeling + conservering	32	Alu-applicatie+reinigen+stralen	75
		Verflaag over alulaag	10
Bestekskosten: uren*uurloon/m2 object		Bestekskosten: uren*uurloon/m2 object	
500 77	39	500 77	39
Afscherming	39	Afscherming	39
Uitvoeringskosten aannemer	17	Uitvoeringskosten aannemer	22
Aanvoer materieel en bouwketen	1	Aanvoer materieel en bouwketen	3
Inrichtings- en huisvestingskosten	3	Inrichtings- en huisvestingskosten	3
Economische en maatschappelijke kosten	15	Economische en maatschappelijke kosten	15
TOTAAL	166	TOTAAL	246
Tussentijds klein onderhoud	33	Onderhoud verflaag op alulaag / 25 jaar	15



Montagekosten	32
Voor- en nabehandelen	45
Voorbehandeling + conservering	32
Bestekskosten: uren*uurloon/m2 object	
500 77	39
Afscherming	39
Uitvoeringskosten aannemer	17
Aanvoer materieel en bouwketen	1
Inrichtings- en huisvestingskosten	3
Economische en maatschappelijke kosten	15
TOTAAL	223

Montagekosten	26
Voor- en nabehandelen	55
Afboxen voor 1e maal aluminiseren	10
Alu-applicatie+reinigen+stralen	80
Verlaag over alulaag	0
Bestekskosten: uren*uurloon/m2 object	
500 77	39
Afscherming	39
Uitvoeringskosten aannemer	22
Aanvoer materieel en bouwketen	3
Inrichtings- en huisvestingskosten	3
Economische en maatschappelijke kosten	15
TOTAAL	291

Bestaand object in zeewater

Montagekosten	32
Voor- en nabehandelen	45
Voorbehandeling + conservering	32
Bestekskosten: uren*uurloon/m2 object	
500 77	39
Afscherming	39
Uitvoeringskosten aannemer	17
Aanvoer materieel en bouwketen	1
Inrichtings- en huisvestingskosten	3
Economische en maatschappelijke kosten	15
TOTAAL	223

Montagekosten	26
Voor- en nabehandelen	55
Afboxen voor 1e maal aluminiseren	10
Alu-applicatie+reinigen+stralen	90
Verlaag over alulaag	0
Bestekskosten: uren*uurloon/m2 object	
500 77	39
Afscherming	39
Uitvoeringskosten aannemer	22
Aanvoer materieel en bouwketen	3
Inrichtings- en huisvestingskosten	3
Economische en maatschappelijke kosten	15
TOTAAL	301

Bestaand object in zeer agressief milieu

Montagekosten	32
Voor- en nabehandelen	45
Voorbehandeling + conservering	32
Bestekskosten: uren*uurloon/m2 object	
500 77	39
Afscherming	39
Uitvoeringskosten aannemer	17
Aanvoer materieel en bouwketen	1
Inrichtings- en huisvestingskosten	3
Economische en maatschappelijke kosten	15
TOTAAL	223

Montagekosten	26
Voor- en nabehandelen	55
Afboxen voor 1e maal aluminiseren	10
Alu-applicatie+reinigen+stralen	110
Verlaag over alulaag	0
Bestekskosten: uren*uurloon/m2 object	
500 77	39
Afscherming	39
Uitvoeringskosten aannemer	22
Aanvoer materieel en bouwketen	3
Inrichtings- en huisvestingskosten	3
Economische en maatschappelijke kosten	15
TOTAAL	321

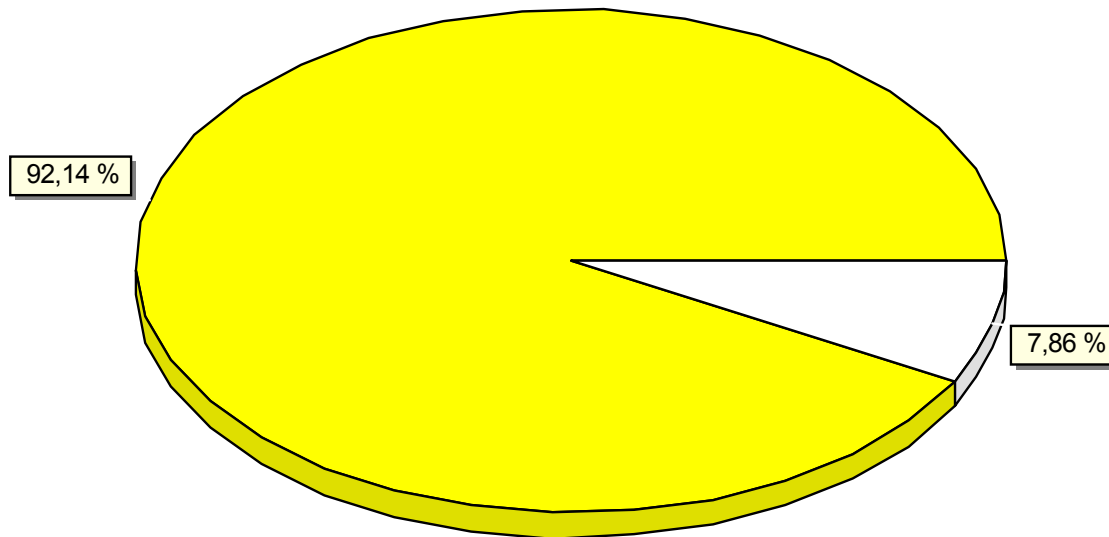
Aandeel MK=15 €/m² bij verfspuiten

Bestaand object in landlucht



Verfspuiten_bestaand
Bestaand verfspuiten landlucht MK = 15
Onderhoud

■	Preventief	€ 703,00
□	Overige	€ 60,00



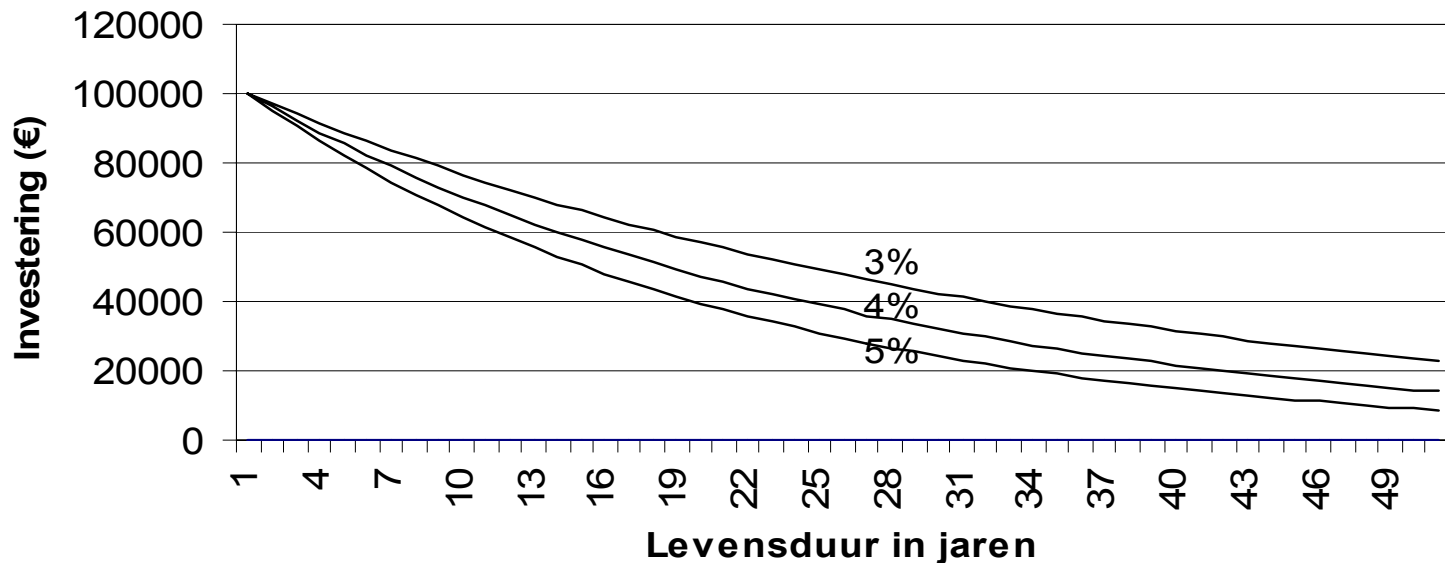
Contante Waarde toekomstig onderhoud



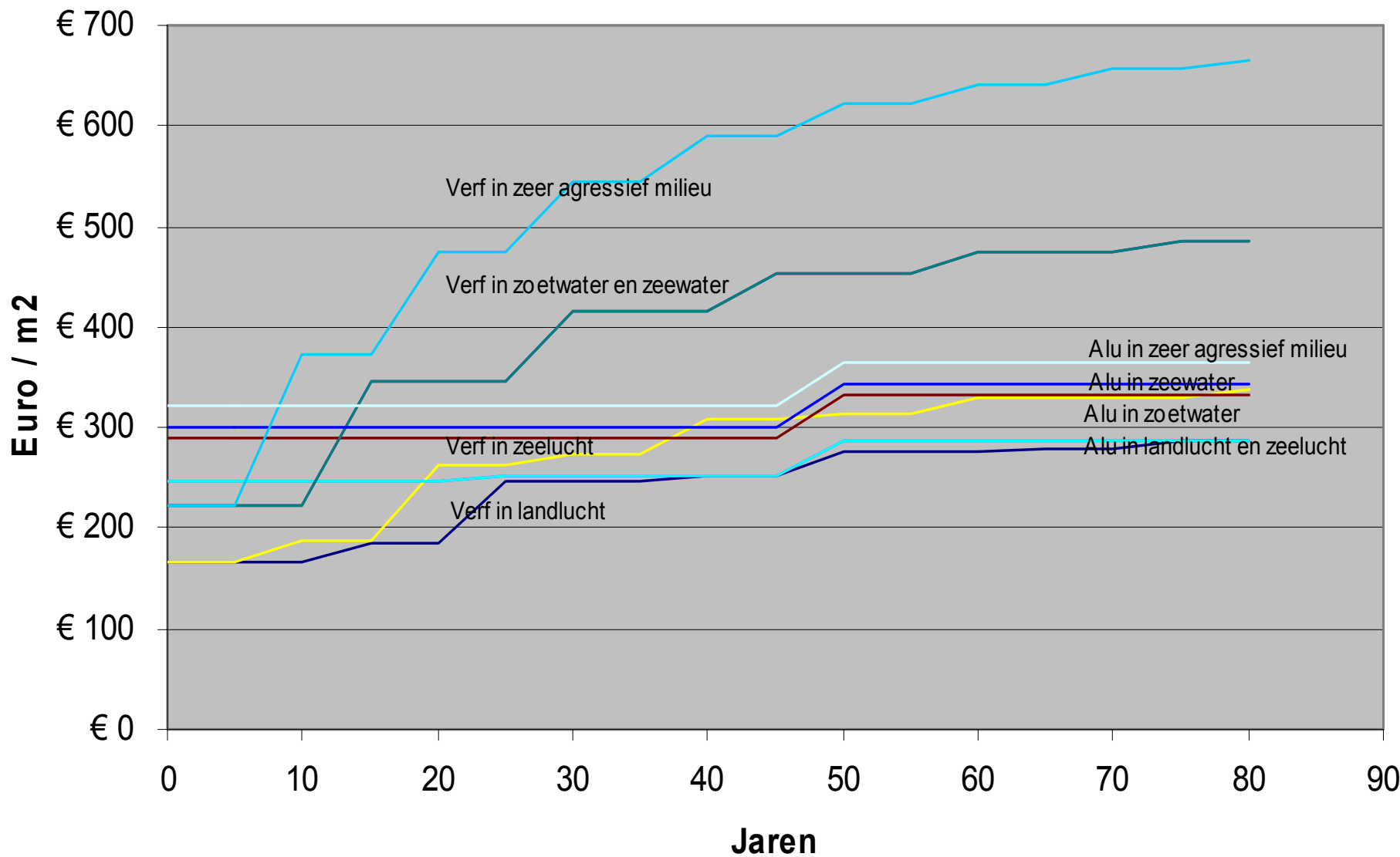
Investing van 100 000 Euro na 10 jaren bij disconto van 4% (= rentevoet – inflatie):

$$CW = 100\ 000 / (1 + 4/100)^{10} = \text{€ } 67\ 556,-$$

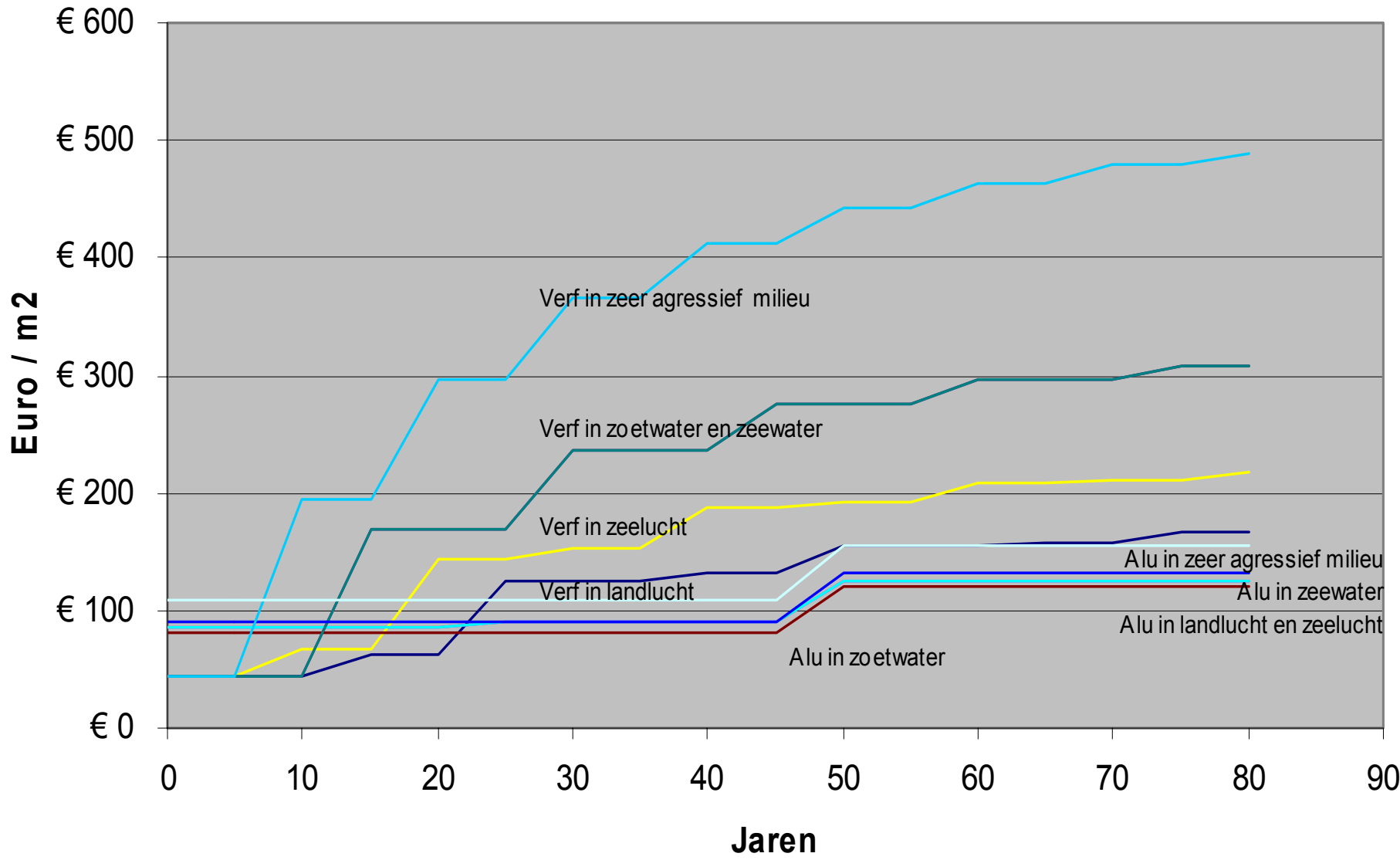
**Verloop CW van een investering over 50 jaar
bij een disconto van 3, 4 en 5 %**



CW verfspuiten en aluminiseren bij bestaand object inclusief 15 Euro / m² maatschappelijke kosten



CW verfspuiten en aluminiseren bij nieuw object inclusief 15 Euro / m² maatschappelijke kosten

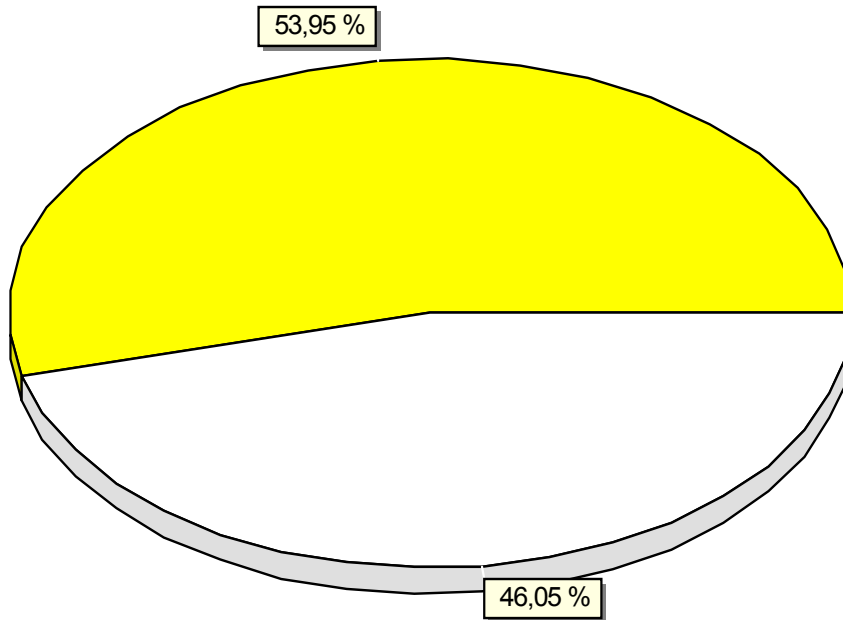


Aandeel MK150 €/m² bij verfspuiten

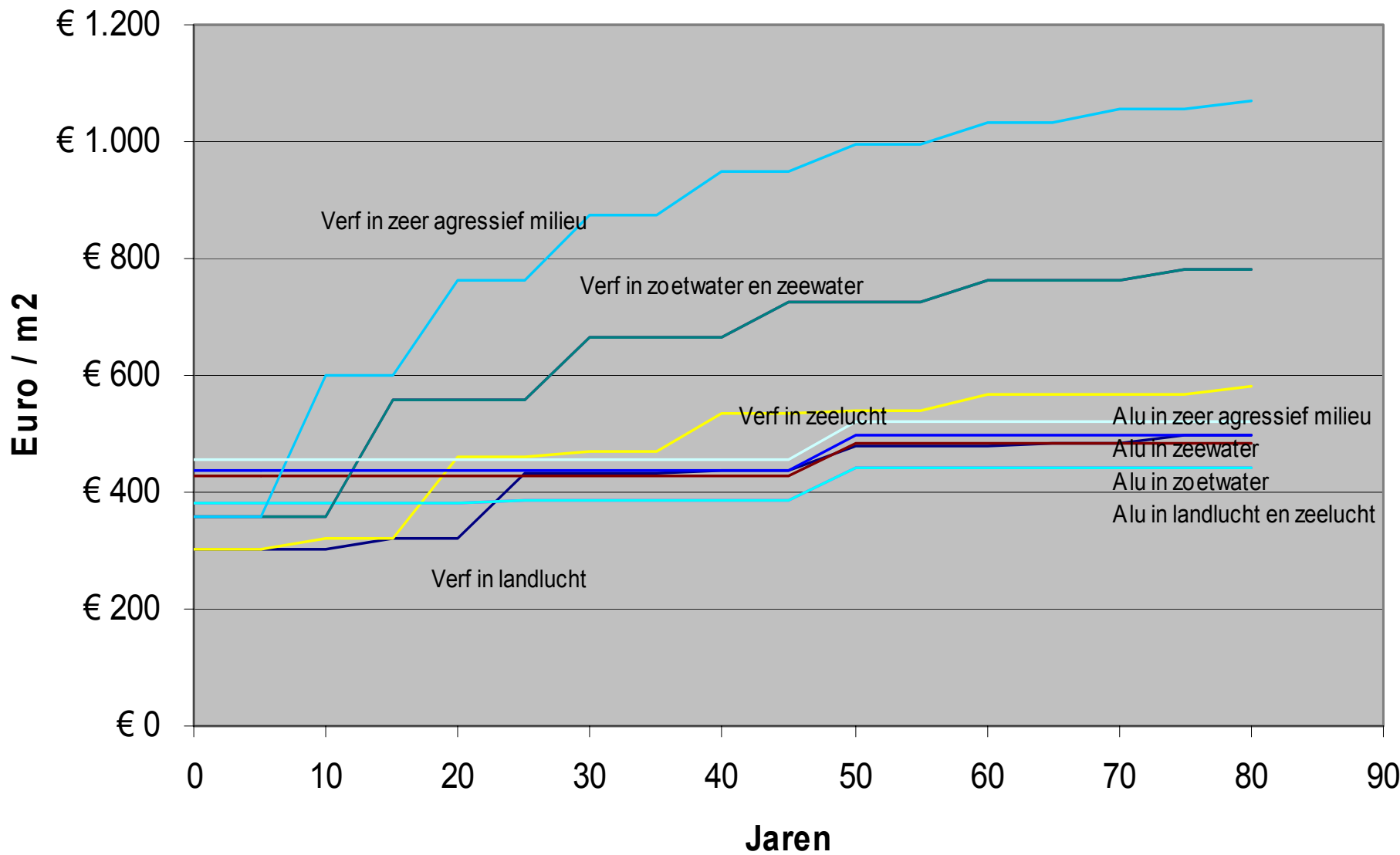
Bestaand object in landlucht

Verfspuiten_bestaand
Bestaand verfspuiten landlucht MK = 150
Onderhoud

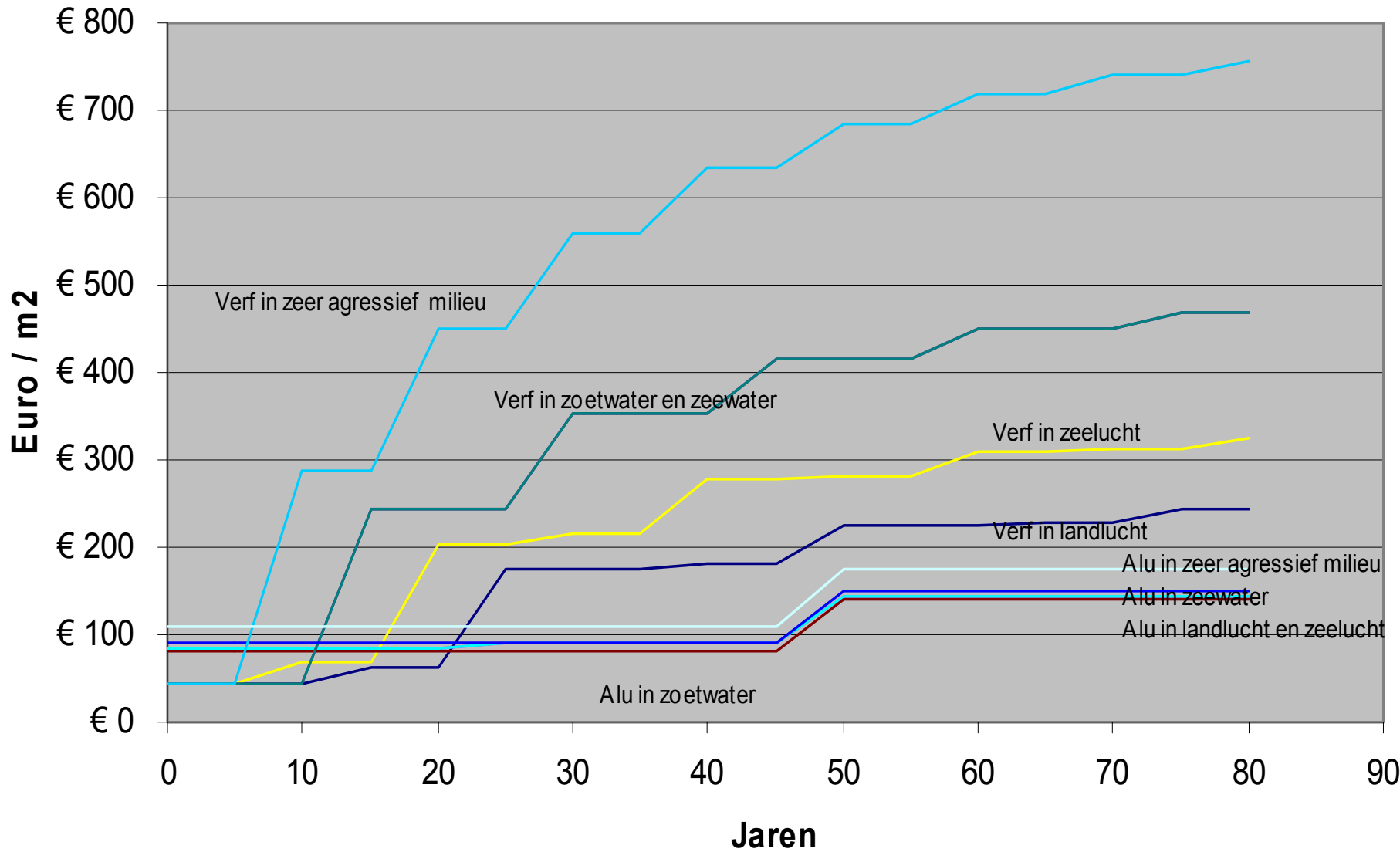
■	Preventief € 703,00
□	Overige € 600,00



CW verfspuiten en aluminiseren bij bestaand object inclusief MK 150 Euro / m²



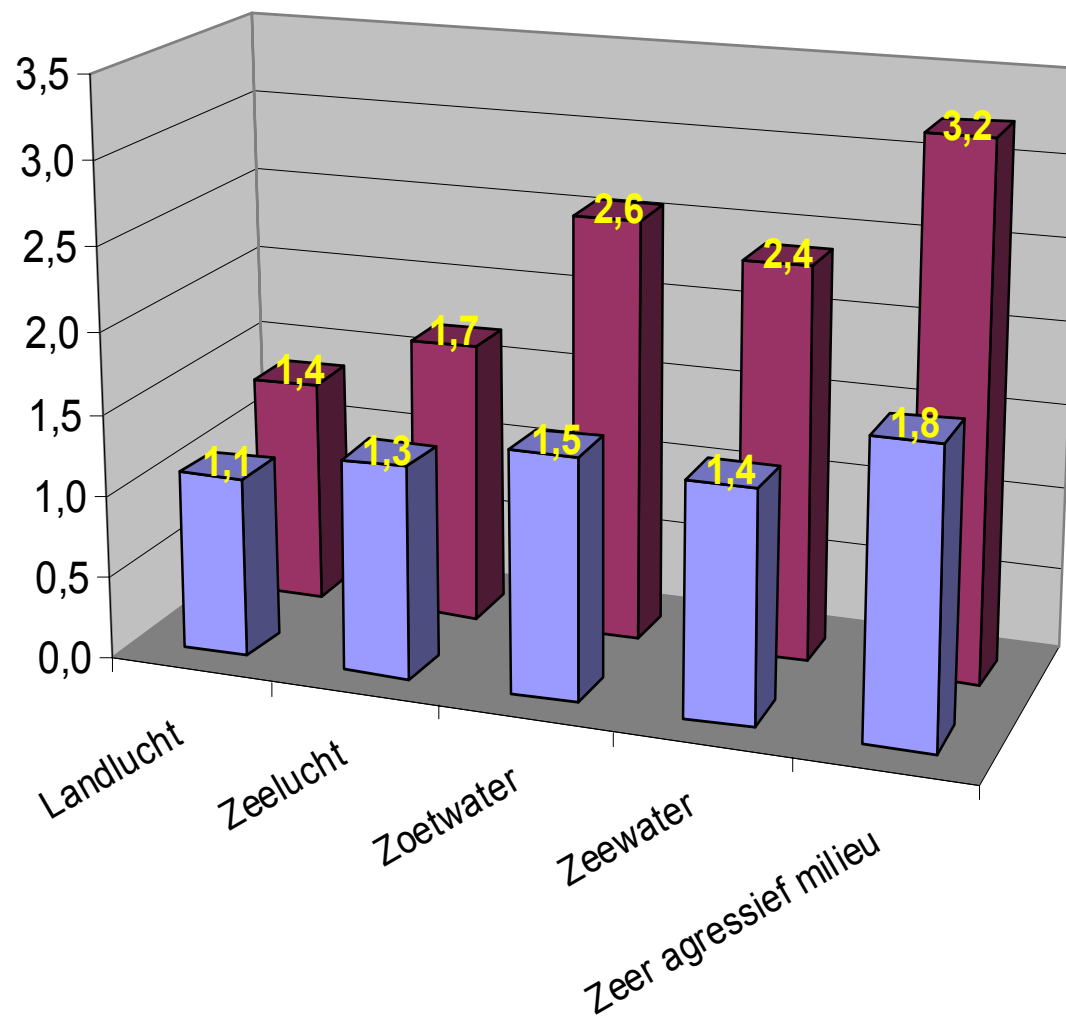
CW verfspuiten en aluminiseren bij nieuw object inclusief MK 150,- Euro / m2



Integrale kosten geverfd / gealuminiseerd

Maatschappelijke kosten = € 15/m²

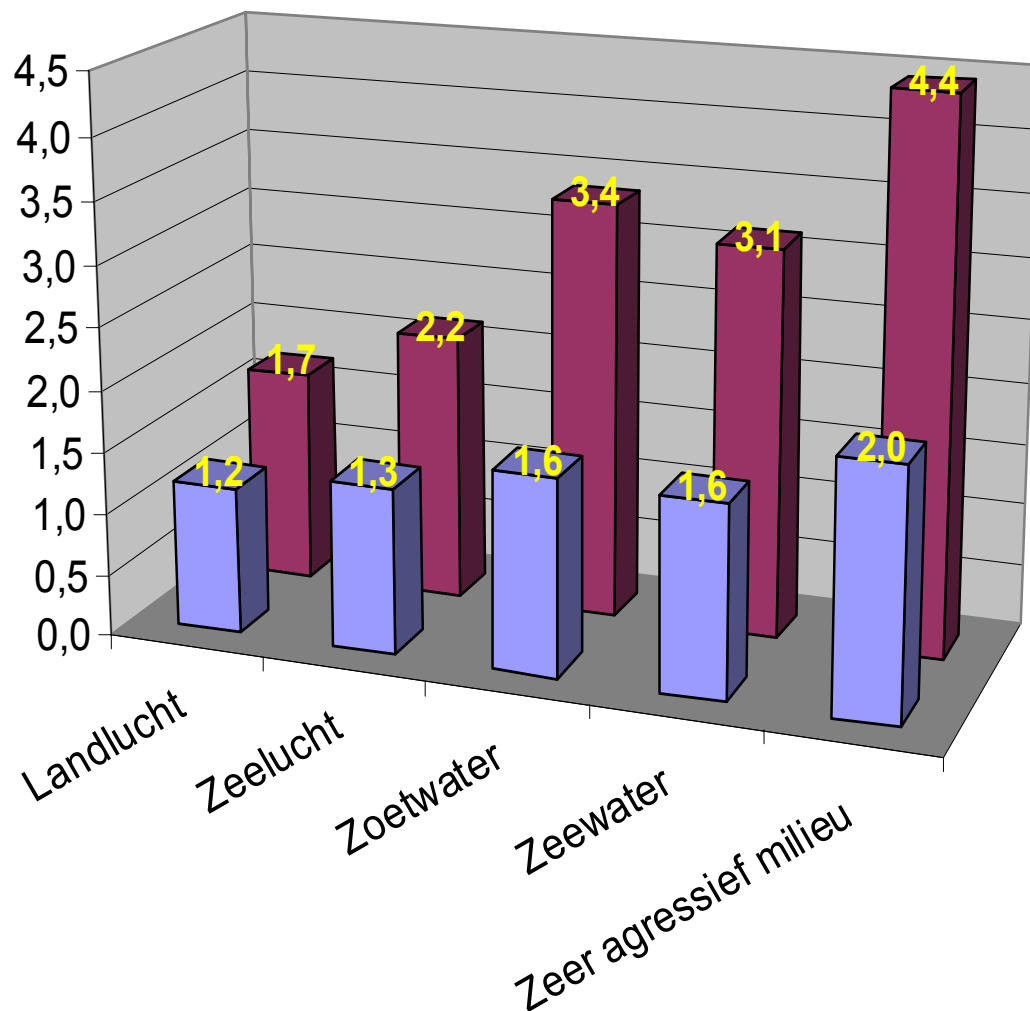
■ Bestaand: Geverfd / Gealuminiseerd ■ Nieuw: Geverfd / Gealuminiseerd



Integrale kosten geverfd / gealuminiseerd

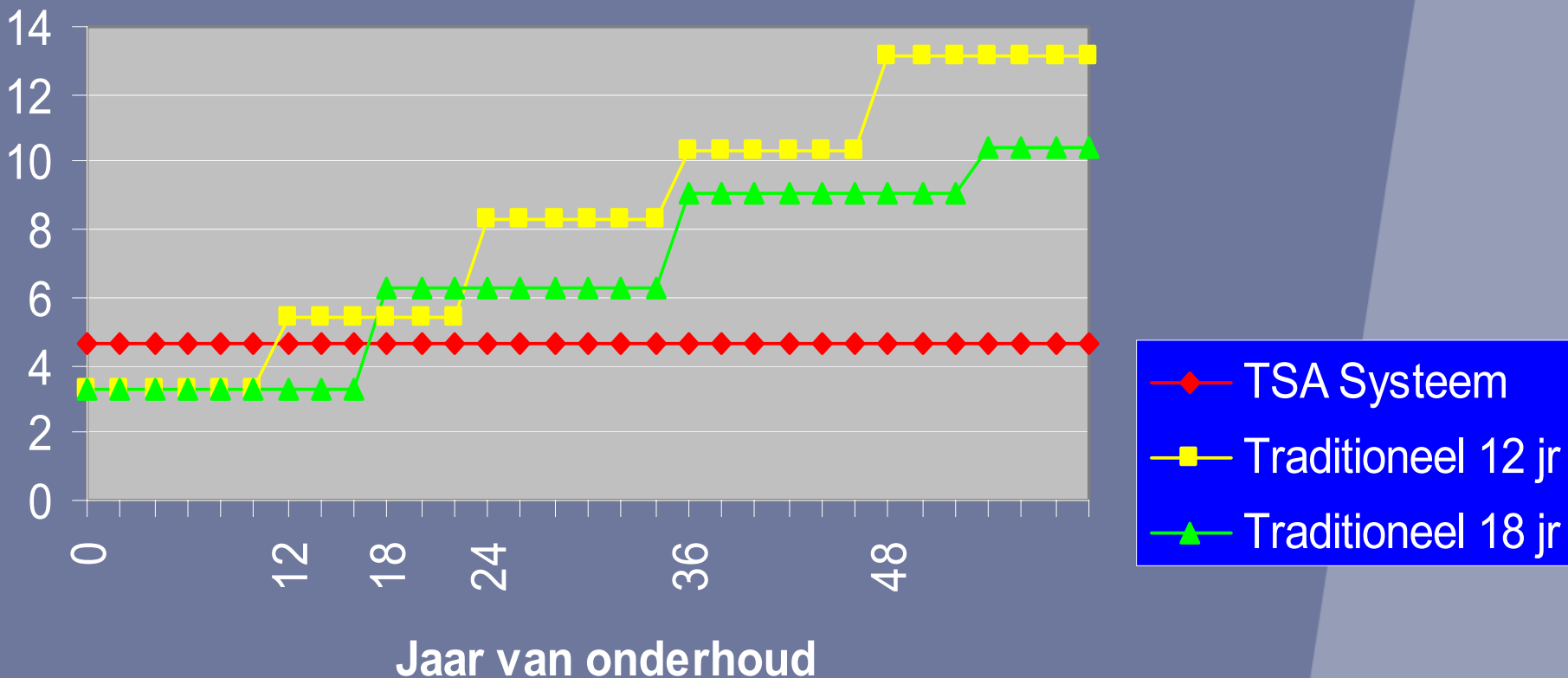
Maatschappelijke kosten = € 150/m²

■ Bestaand: Geverfd / Gealuminiseerd ■ Nieuw: Geverfd / Gealuminiseerd



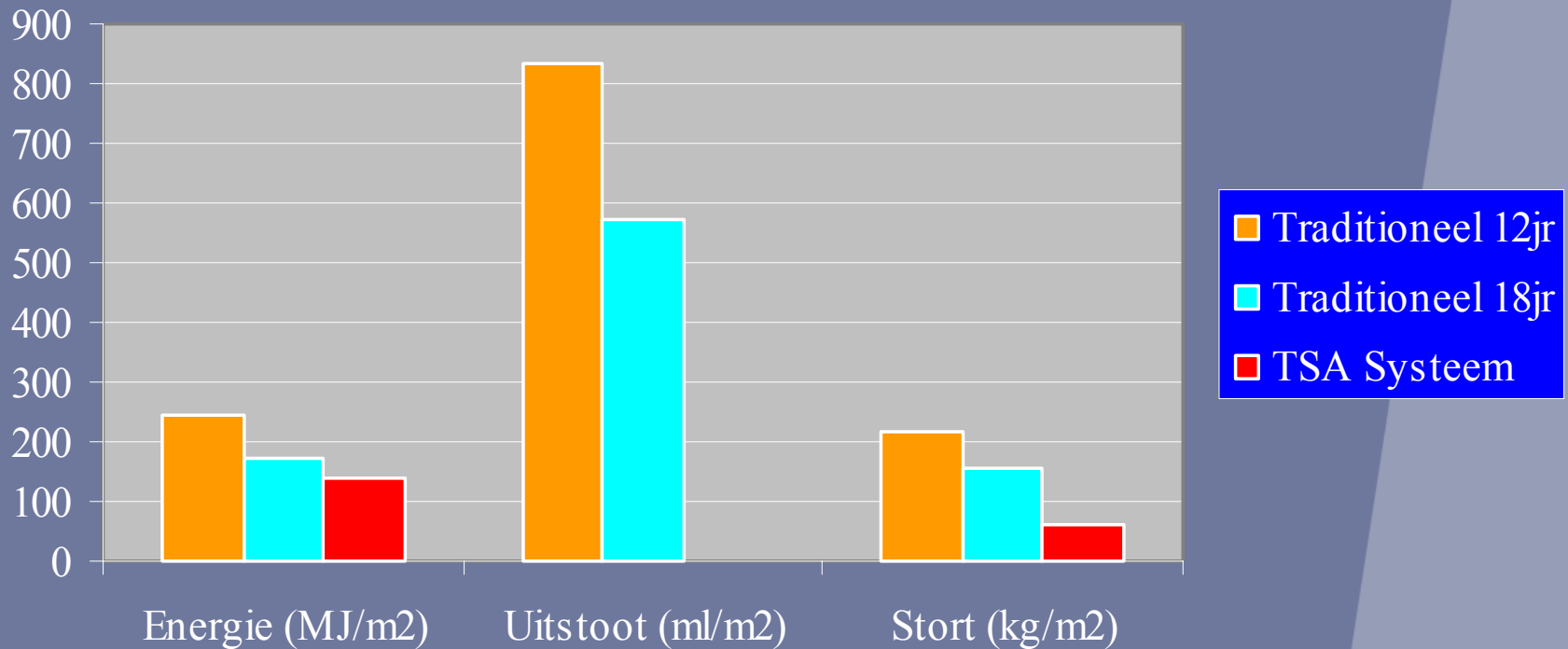
CW-vergelijking roldeur 5 Westsluis Terneuzen

Cumulatieve onderhoudskosten
(Netto Contante Waarde) in miljoenen gulden.



Milieueffecten aluminiseren versus verven

Milieueffecten TSA vs traditionele systemen



Grove inschatting besparing met alulagen

- RWS heeft circa 5 miljoen m² staal in onderhoud waarvan
 - 2 miljoen m² in lucht
 - 3 miljoen m² in water
- Onderhoudskosten: 50 miljoen Euro per jaar
- Aanneemkosten: 30 miljoen Euro hiervan is nodig voor de objecten in water
- Bij een halvering van de integrale kosten bij “natte” objecten is al een besparing mogelijk van 15 miljoen Euro per jaar

Onderzoeksuitkomsten tot nu toe



- Zonder sealer is een beschermduur mogelijk van >50 jaar
- De verflaag op een alulaag heeft geen last van ondercorrosie en beschermt daardoor langer
- De handmatige applicatie van de alulaag is twee maal duurder dan de applicatie van de verflaag
- Bij de gerobotiseerde applicatie kunnen de applicatiekosten dalen tot die bij het verfspuiten
- De integrale kosten zijn lager bij natte objecten (door condens) en objecten met een gebruiksduur van 25 jaar of langer

Conclusies integrale kosten / milieuvergelijking

- Besparingen door aluminiseren zijn het grootst bij nieuwe objecten in een maritiem milieu
- Maatschappelijke kosten kunnen grote invloed hebben op:
 - integrale kosten
 - keuze van het conserveringssysteem
- Aluminiseren is minder milieubelastend dan verfspuiten

Aanbevelingen



- Aluminiseer objecten in water en permanente schaduwvlakken altijd
- Aluminiseer bij voorkeur vanaf nieuwbouw
- Ontwerp en onderhoud onderhouds- en maatschappelijke kostenvermijdend
- Seal / verf alulagen voor verlengen beschermduur / gewenste kleur
- Het kan kostenverlagend zijn om onderdelen gerobotiseerd voor te aluminiseren
- Verklaar de Eisen Thermische Spuitlagen (NBD 10300) inclusief 10 jaar garantie van toepassing

Publicatie “Thermisch gespoten aluminiumlagen”

Zie Tech-Info-blad nr. TI.05.25 van FME CWM



Vragen / discussie

???

Voor de doorvragers

Basisgegevens



Uitgangspunten

- Referentiedocument Bouwdienst RWS met kentallen onderhoud versie: juni 2004
 - Applicatie- en tussentijdse onderhoudskosten verfsystemen
 - Afschermkosten (milieukosten)
- Beschermduur, dikte en kosten van alulagen
- Discontovoet: 4%
- Bedrijfsduur constructie: 80 jaar
- Maatschappelijke kosten volgens:
 - Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen
 - Transport & Mobility in Leuven

Applicatie- en onderhoudskosten verlaag

Milieu	Applicatie- kosten € / m ²	Tussentijdse onderhoudskosten / € € / m
Verf op staal; object in lucht	71,- ¹⁾ Voorbehandeling 7,- Conservering 25,- Afscherming 39,-	33,- ¹⁾ Voorbehandeling 9,- Conservering 13,- Afscherming 11,-
Verf op staal; object in water	71,- Zie hierboven	Geen tussentijds onderhoud mogelijk
Verf op alulaag; object in lucht	10,-	15,-

1) (Kostenverlaging bij extra tussentijds onderhoud niet meegenomen)

Maatschappelijke kosten (MK)

- MK per auto: €10,- per uur wachttijd
- MK per vrachtauto: €45,- per uur wachttijd
- MK per schip: €75,- tot €500,- per uur “ “
- Aannamen:
 - 6000 auto's en 600 vrachtauto's wachten 1 minuut per dag
 - Oppervlakte object = 1000 m²
 - MK van wegverkeer en scheepvaartverkeer zijn per m² gelijk
- MK:
 - 6000 auto's * 1/60 uur = 100 uur * €10,- = €1000,- per dag
 - 600 vrachtauto's * 1/60 uur = 10 uur * €45,- = €450,- per dag
 - Totaal €1450,- per dag = €1,50,- per m² per dag (afgerond)
- Stel stremming duurt 10 dagen -> MK = € 15,-/m²
- Stel stremming duurt 100 dagen of 60000 auto's -> MK = €150,-/m²