





Wat is slijtage & Is er wat tegen te doen?

134^e bijeenkomst NH MatKring
14 december 2017, ECN-Petten

Inhoud

- Wat is slijtage/tribologie
- Indeling mechanismen
- Mechanismen en Invloedsfactoren
- Karakteriseren
- Wat is er tegen te doen
- Oplossingsrichtingen
- Conclusies/Samenvatting



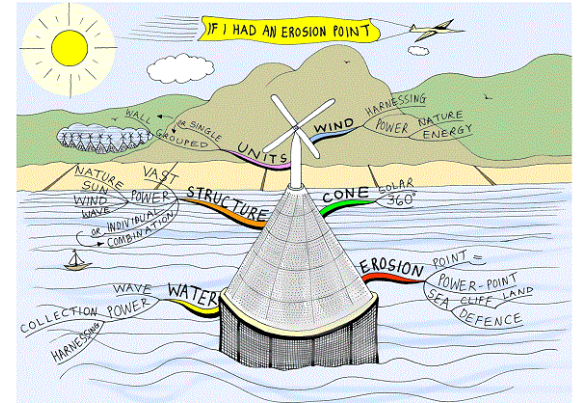
Wat mag u van deze presentatie verwachten?

Niet

- Kant en klare recepten voor HET slijtvaste materiaal, want dat bestaat niet
- Kant en klare recepten per slijtage mechanisme

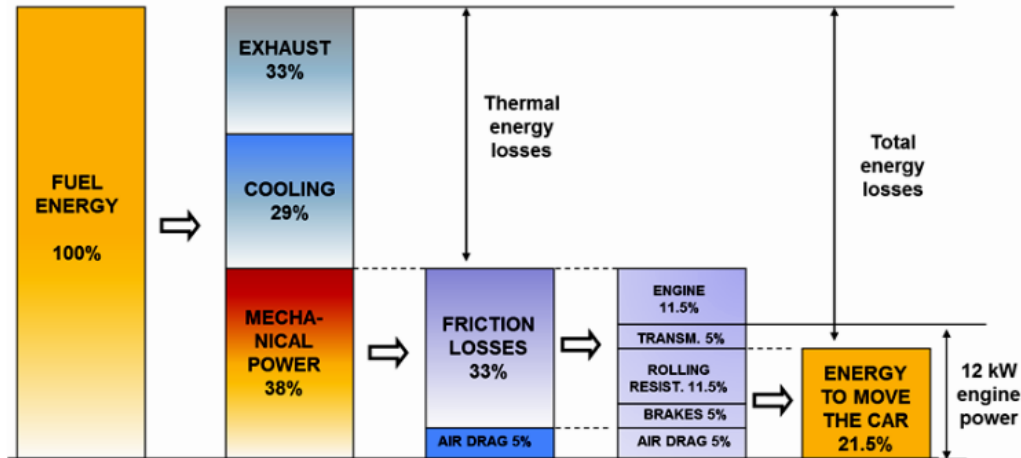
Wel

- Begrip over slijtage en de belangrijkste parameters
- Indicatie voor denkrichtingen hoe aan te pakken
- Methoden voor validatie
- Methoden voor identificatie



Economisch effect van tribologie (indicatief)

- 100 miljoen terajoule voor overwinnen van wrijving (1/5 van de energy productie)
 - Voorbeeld transport sector:
 - 17,5% besparing mogelijk in energieverbruik:
 - 330 miljard liter olie en 860 miljard ton CO₂ reductie



Bron: [Global Impact of Friction on Energy Consumption, Economy and Environment, VTT 2015](#)

Wat is Slijtage & Wat is Tribologie



Slijtage:

- Slijtage is een langzame en ongewenste verandering van afmetingen en gedaante van het oppervlak van een voorwerp tijdens gebruik
- Als gevolg van een glijdende, stotende of rollende aanraking met een tegenmateriaal
- Eventueel gepaard gaande met fysische, chemische of elektrochemische processen



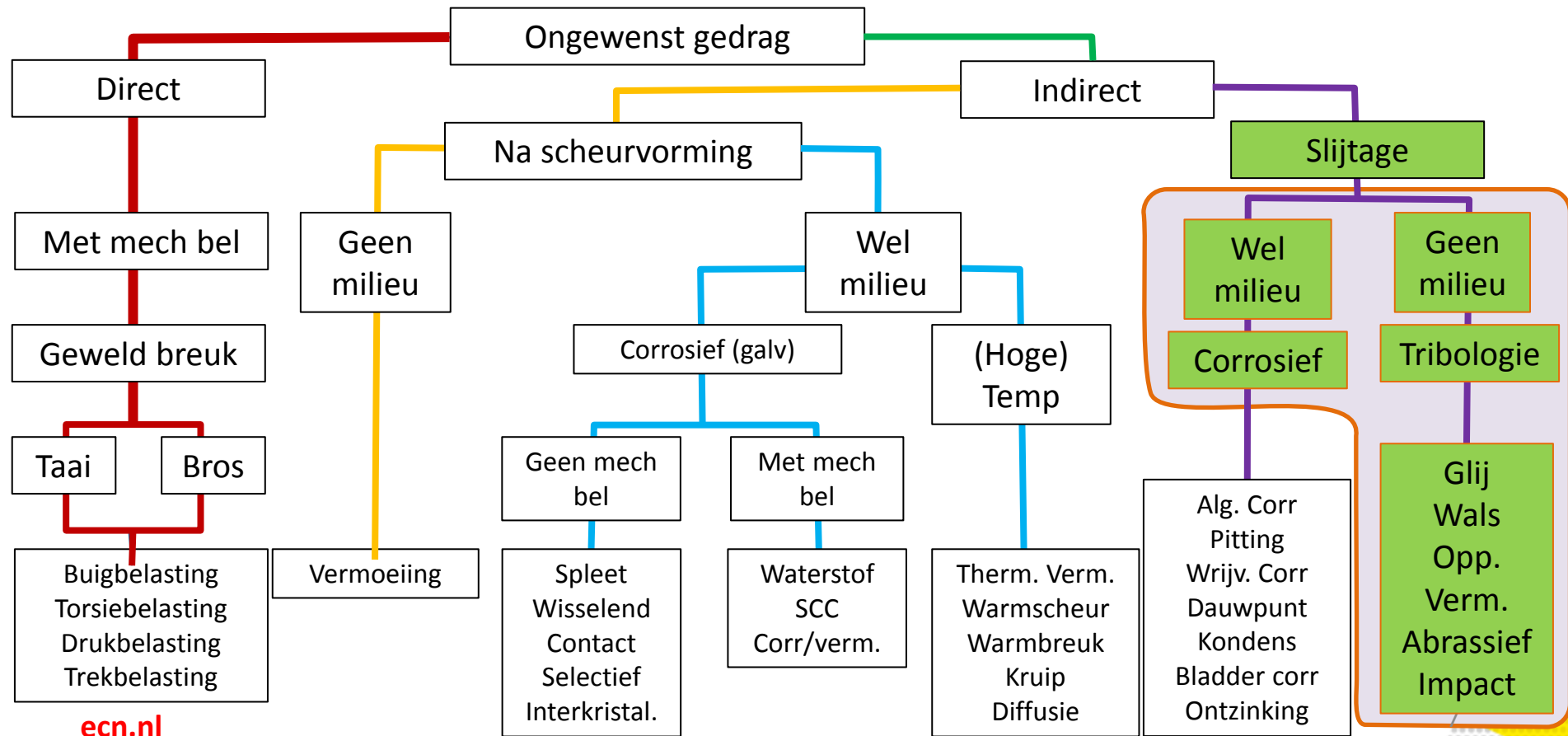
Slijtage van het kraakbeen

Tribologie:

De wetenschap die zich bezighoudt met de bestudering van de verschijnselen die samenhangen met wrijving, smering en slijtage.



Faalmechanismen – een indeling



Slijtage processen/mechanismen

Deeltjes of vloeistof

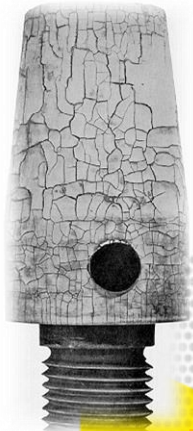
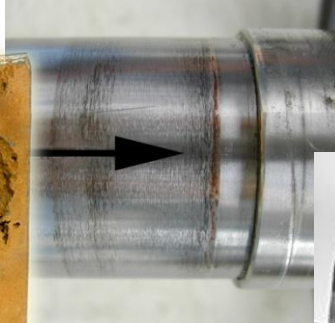
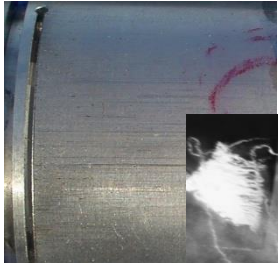
- Abrasief
- Erosief
- Cavitatie
- Impact/impingement
- Erosie in een slurrie

Rollen, glijden of impact

- Adhesief
- Schaviel
- Fretting
- Rollend
- Impact

Chemische invloeden

- Corrosief
- Oxidatie
- Thermisch



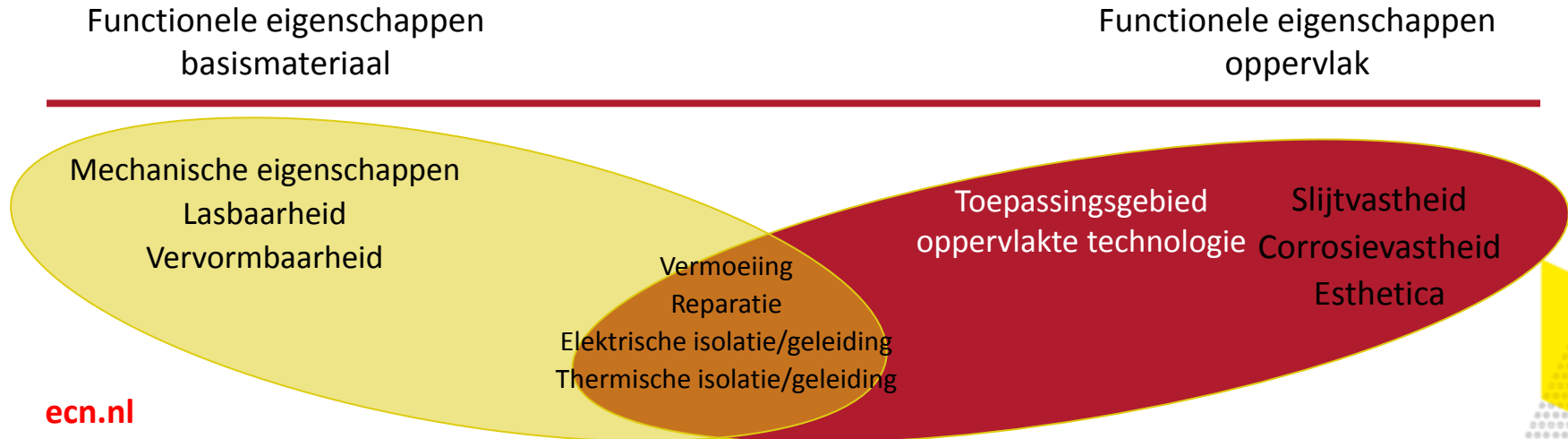
Slijtage/Tribologie speelt zich af aan het (sub)oppervlak

- Door veranderingen aan het oppervlak uit te voeren wordt het slijtageproces beïnvloed
- Deze oppervlakte-beïnvloeding moet afhankelijk van de toegestane slijtage en het slijtageproces een minimale diepte hebben (Oppervlaktevermoeiing)
- Oppervlaktebeïnvloeding kan zijn:
 - Topografie (wrijvingsweerstand)
 - Hardheid (oppervlakteharding of deklaag of ---
 - Temperatuur (voorkomen thermische schok)
 - Chemisch (voorkomen van concentraties)
 - --

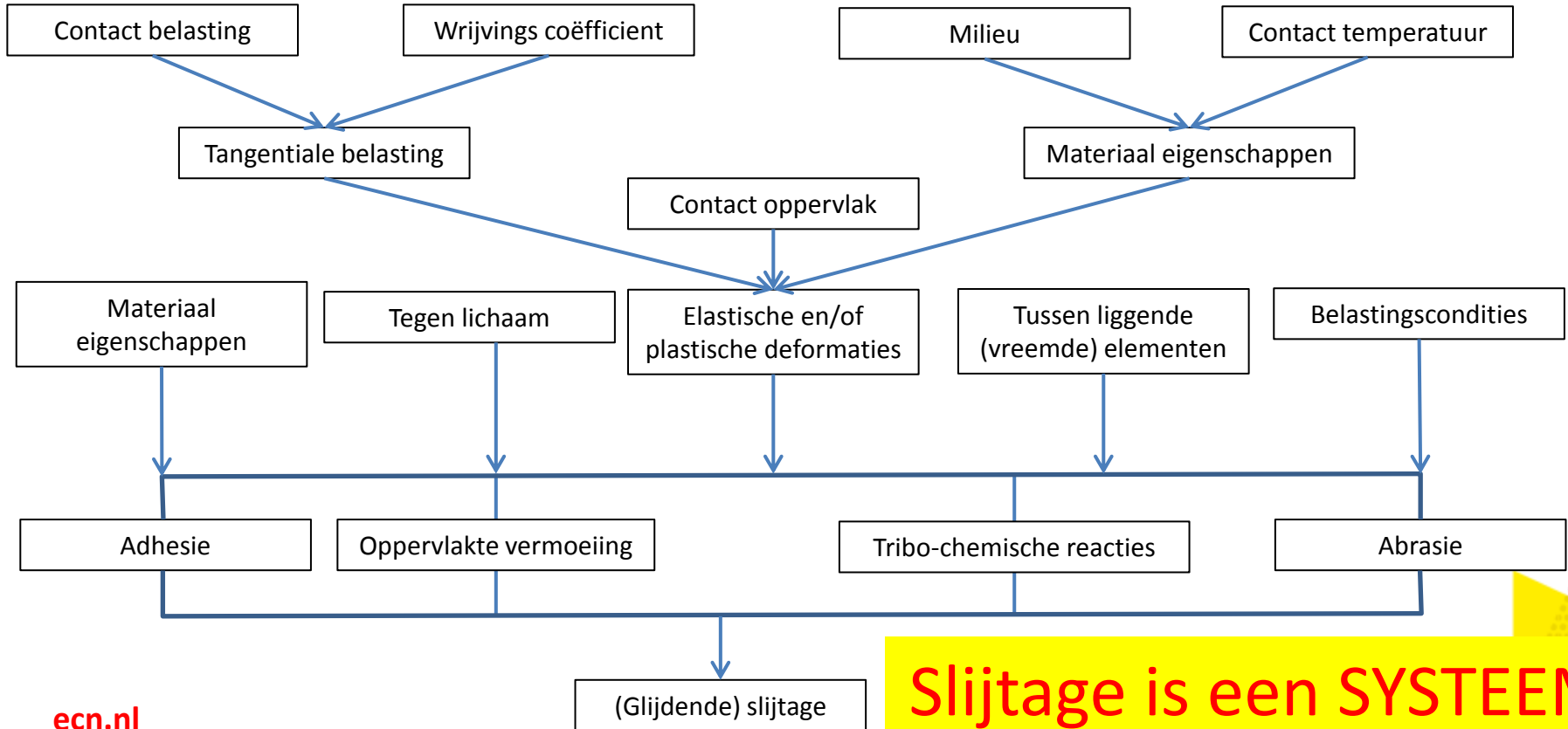


Slijtage/Tribologie speelt zich af aan het (sub)oppervlak

- de gevraagde functionaliteit aangaande slijtage is een functionaliteit van het oppervlak is.
- de gevraagde functionaliteit goed en juist omschreven moet zijn.
- goed omschreven moet zijn wat de gebruikscondities zijn.
- er duidelijkheid moet bestaan over de verwachte levensduur/gebruikstermijn.



Wat is slijtage – Beïnvloedende factoren



Overzicht Slijtage mechanismen vs parameters

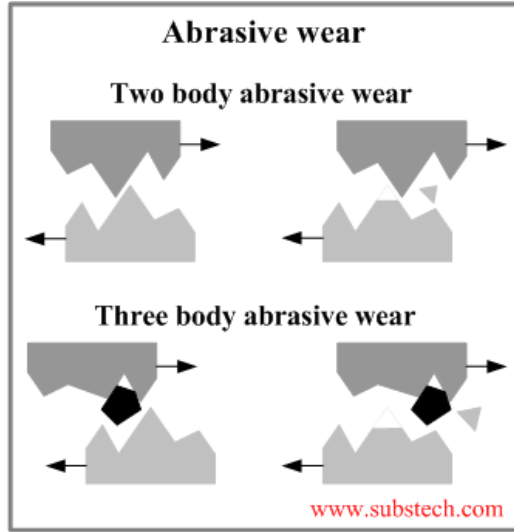
	Materiaal parameter									Oppervlak				Milieu										
	Hardheid (basismateriaal vs deeltjes)	E-modulus	Rekgrens	Kerftaaiheid	Koudversteving	Restspanningen	Smeltemperatuur	Microstructuur	Oxidehuid (als corrosiebescherming)	Chemische samenstelling	Wrijvingsweerstand	Ruwheid	Materiaalcombinaties	Type abrasief	Temperatuur	Snelheid	Hoek van inslag	Belasting	Belasting amplitude	Frequentie	Vochtigheid	Corrosieve invloeden	Zuurstof partieldruk Vacuum	Smering
Slijtage mechanisme																								
Abrasief				m.n. bij keramiek																				
Erosief																								
Cavitatie																								
Impact/ Impingement																								
Erosie in een slurrie																								
Adhesief																								
Schavief																								
Fretting										afh van mat cominatie														
Rollend																								

NOTEN:

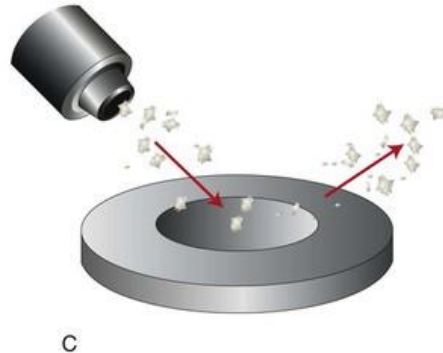
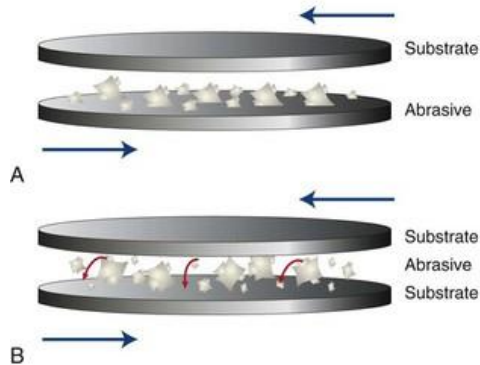
Een grijs vlak betekent dat de betreffende parameter invloed heeft op het betreffende slijtagemechanisme

Voor een nadere beschrijving van de slijtagemechanismen wordt onder andere verwezen naar VM108

Abrasieve Slijtage



Relatief harde oppervlakken en/of harde deeltjes tegen een relatief zacht tegen oppervlak (hardheidsverschillen $>100\text{HV}$)

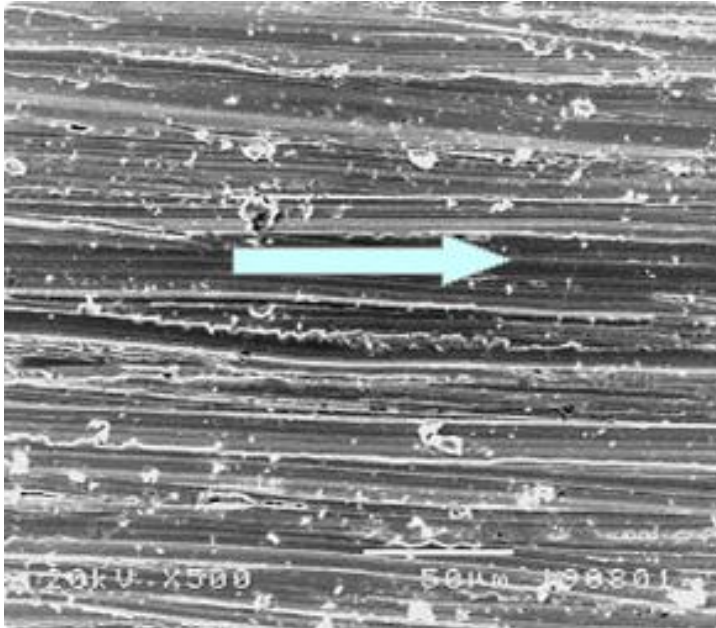


Parameters:

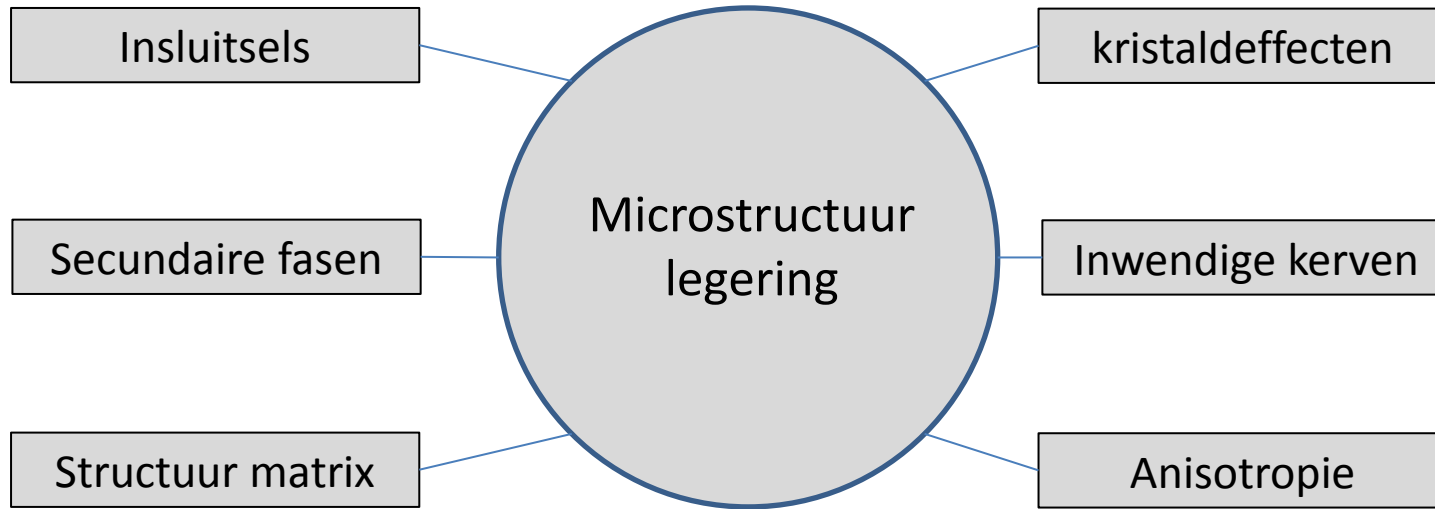
- Hardheid
- Ruwheid
- Aanwezigheid harde deeltjes & scherpe deeltjes
- Snelheid
- Afwezigheid van smering
- Hoek

Abrasieve Slijtage

Microscopisch beeld



Abrasieve Slijtage vs microstructuur



Straaltest vs carbiden:

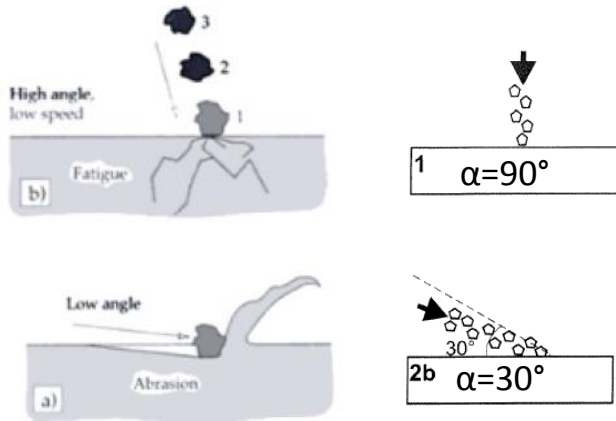
$$V_{CB}[\%] = 9,43 - \%C + 0,39.\%Cr^* - 7,3, \quad Cr^* = \text{carbide vormende elementen}$$



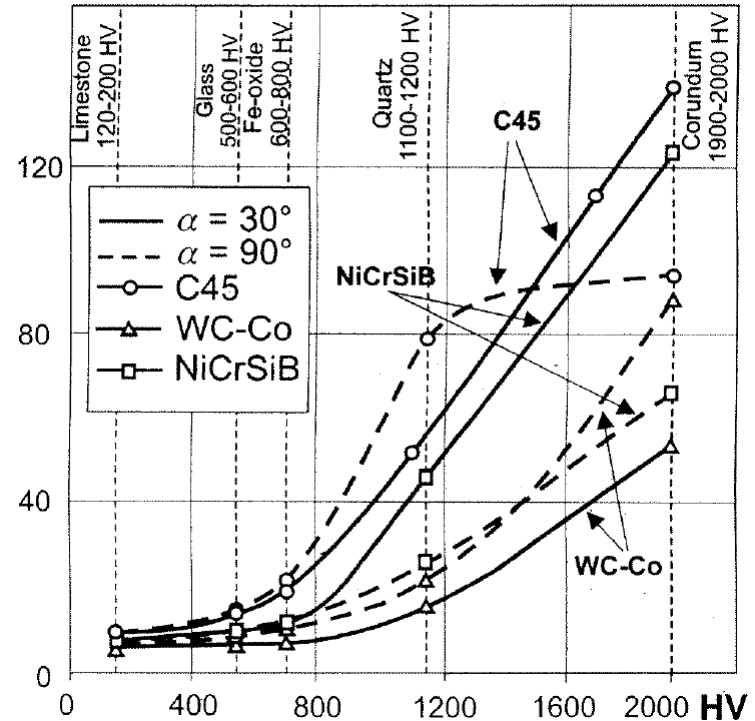
Slijtage – Deeltjes – Erosie (Abrasief)

Relatie deeltjes hardheid-impact hoek-(coating) hardheid

- $< 30^\circ$: Coating hardheid $>$ hardheid deeltjes
- $> 30^\circ$: Grote invloed hardheid deeltje op slijtage $\rightarrow$ oppervlakte vermoeiings effect



$v_v, \text{mm}^3/\text{kg}$



Bron: [[JTTEE5-11:517-522](#)]

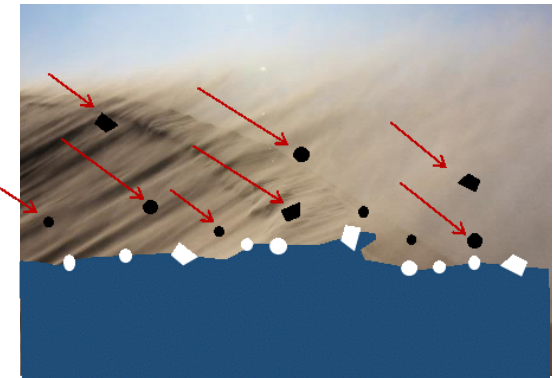
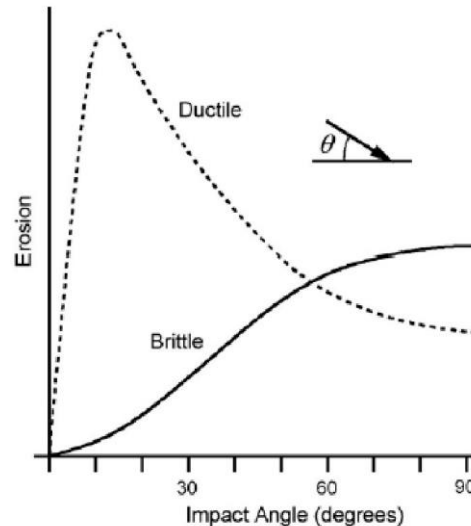
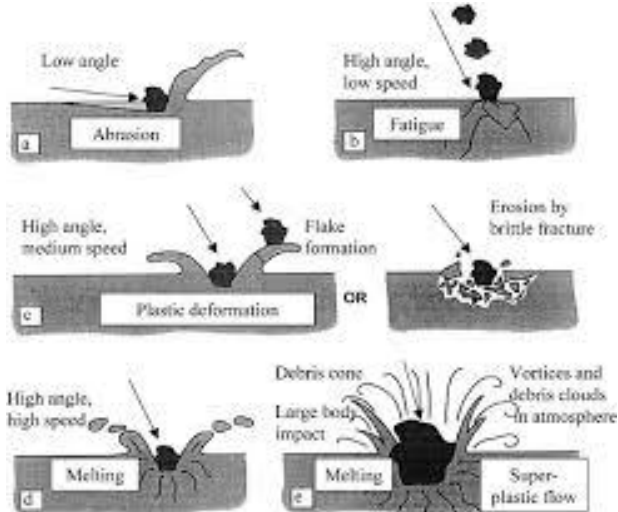
Erosieve Slijtage

Deeltjes vs oppervlak (twee lichamen)

Hoek bepaald sterk slijtage beeld: putjes, krassen, ruw, glad (gepolijst)

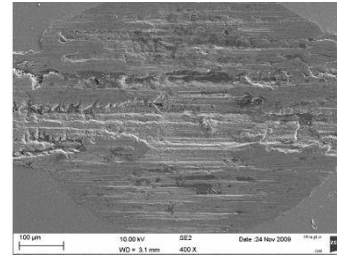
Hoek vs materiaal taaheid bepaald erosie snelheid

Snelheid groot effect (kinetische energie)

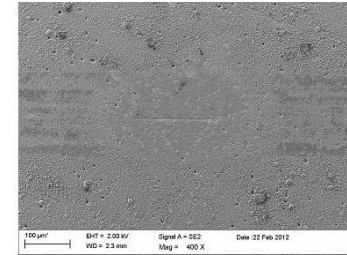


Schaviel slijtage en Fretting

- Onderlinge occilerende beweging met kleine amplitude (0,5-400 μ m) (trillingen)
- Metallurgische verbinding tussen beide materialen
- Materiaaloverdracht tussen beide of naar een van de vlakken
- Deeltjes niet afgevoerd
- Oxidatie in lucht (harde oxiden)
- Microlassen

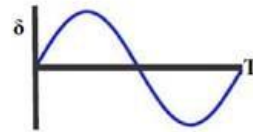
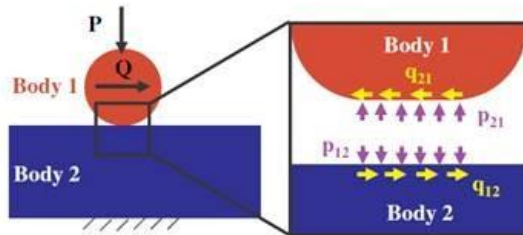


(a)

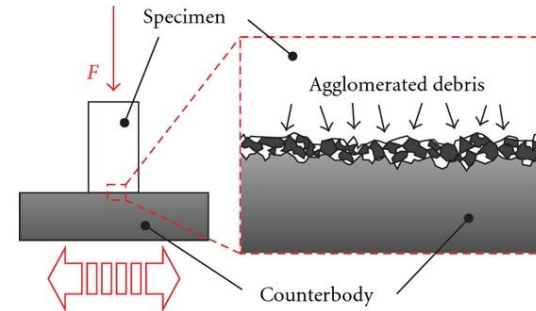


(b)

Fretting
(test) van
Titaan



- P Normal Force (N)
- p Normal Pressure (Pa)
- Q Shear Force (N)
- q Frictional Shear Stress (Pa)
- T Time (s)
- δ Sliding Distance (m)



Schaviel slijtage en Fretting –remedie(s)



Remedie:

- Beweging voorkomen.
- Andere materiaalcombinatie kiezen of deklaag aanbrengen: TiN (PVD/CVD), kolsteriseren (harden) van een van de oppervlakken.
- Een van de oppervlakken opruwen (let op: Dit kan de vermoeiingseigenschappen negatief beïnvloeden).
- Wrijvingscoëfficiënt aanpassen.

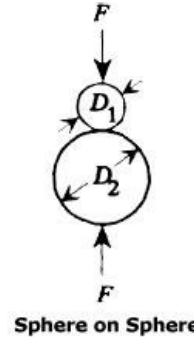
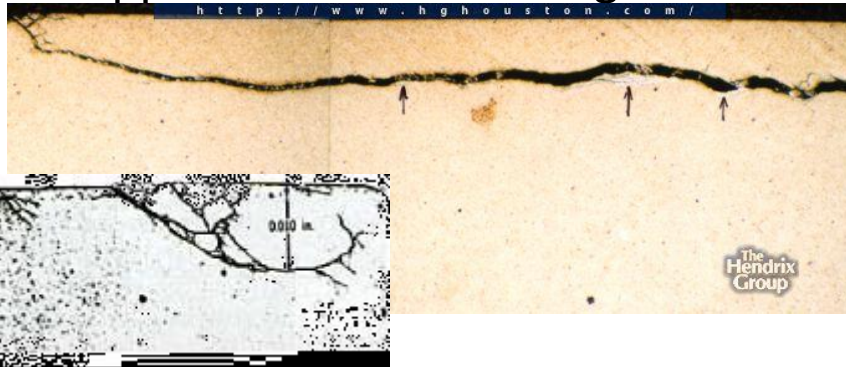
Slijtage – Rollende / glijdende slijtage

Oppervlakte vermoeiing

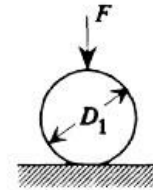


Hertziaanse (schuif)spanningen:

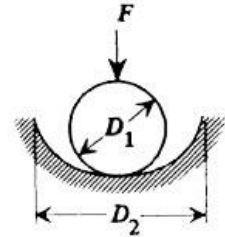
- Afhankelijk van de kracht en diameter ontstaan de maximale schuifspanningen onder het oppervlak → vermoeiing →



Sphere on Sphere



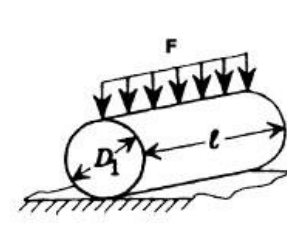
Sphere on Flat Plate



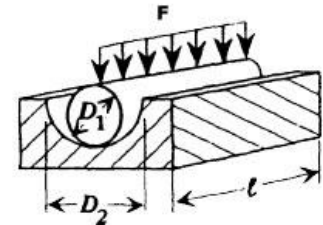
Sphere in Cup



Cylinder on cylinder



Cylinder on flat plate



Cylinder in inner cylinder

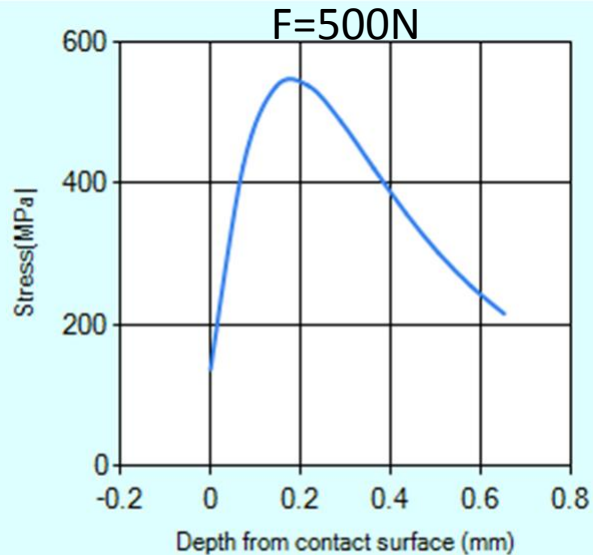
Probleem met TS lagen is de cohesive sterkte in de laag en de adhesive sterkte met het substraat → locatie van de hoogste schuifspanning(en)

Slijtage – Rollende / glijdende slijtage

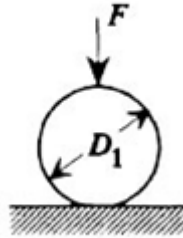
Oppervlakte vermoeiing



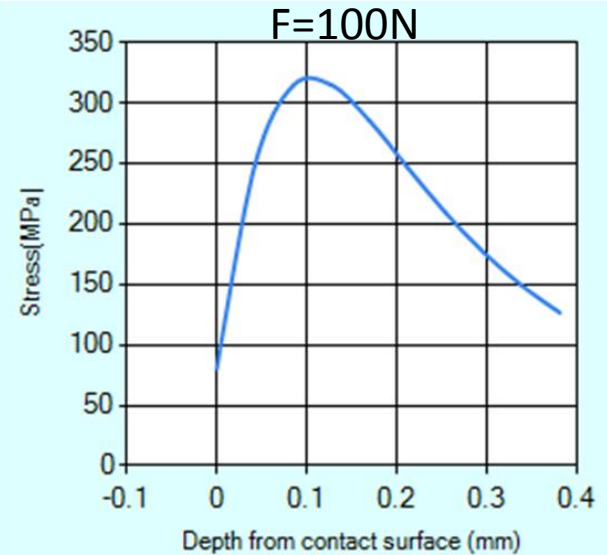
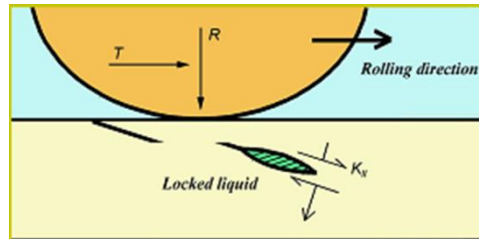
Diepte van de maximale Hertziaanse schuifspanning varieert met oa belasting.



— Max schuifspaning in Vlakke plaat



$D_1=10\text{mm}$
 $E=70\text{GPa}$
Poisson: 0,35



— Max schuifspaning in Vlakke plaat

Voorbeeld oppervlaktevermoeiing tandwiel



Tandwiel

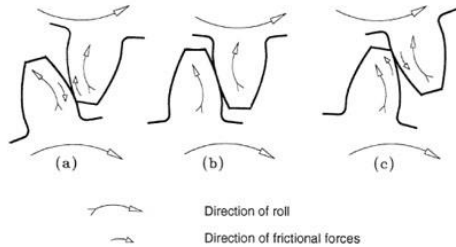
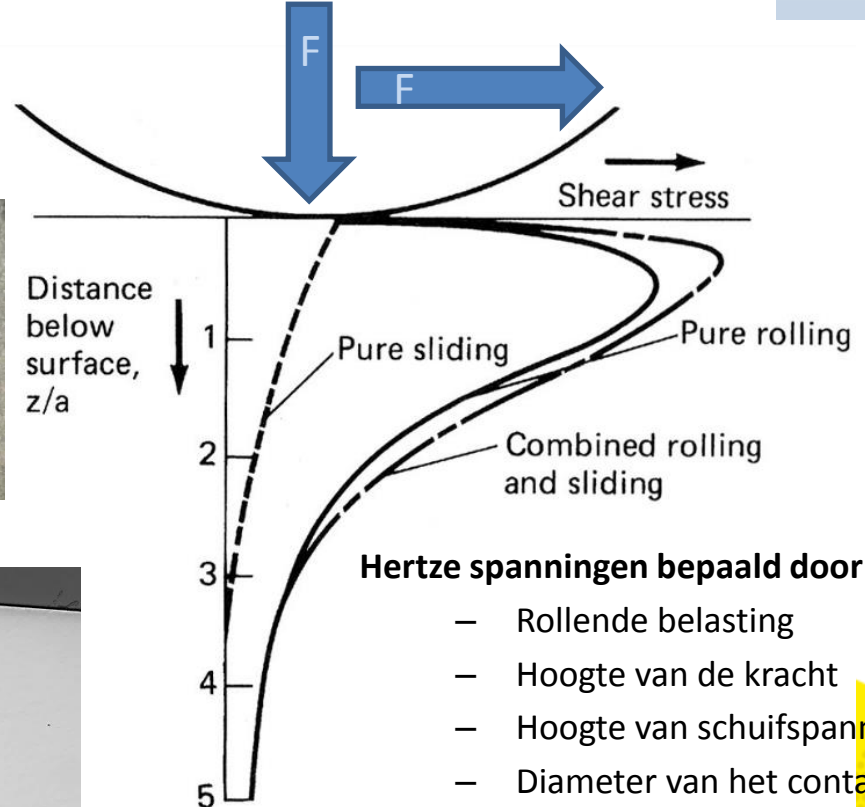


Figure 3. Mechanics of gear tooth contact: (a) at point of first contact; (b) at pitch point and (c) at last point of contact (Adapted from Walton and Goodwin, 1988).

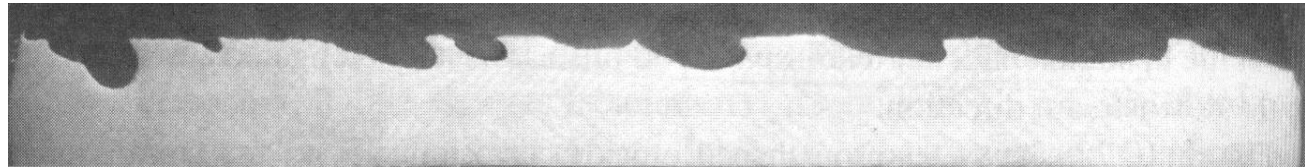
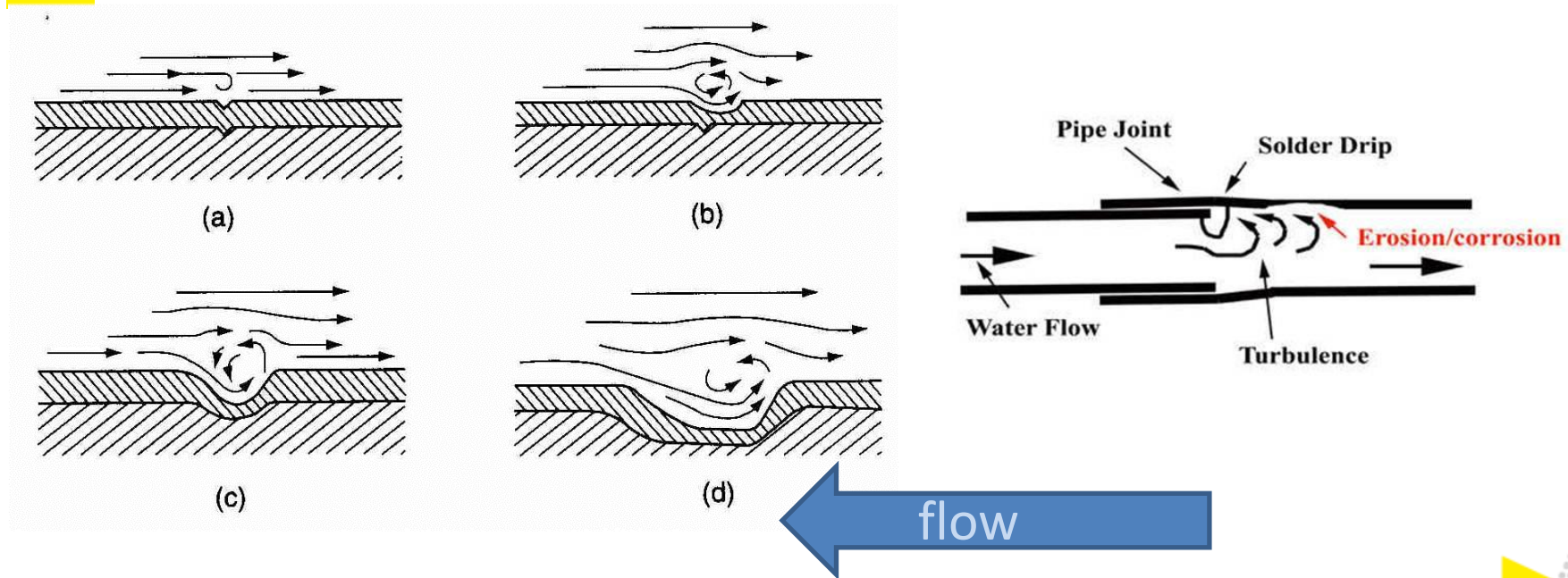


Hertze spanningen bepaald door:

- Rollende belasting
- Hoogte van de kracht
- Hoogte van schuifspanning
- Diameter van het contact lichaam

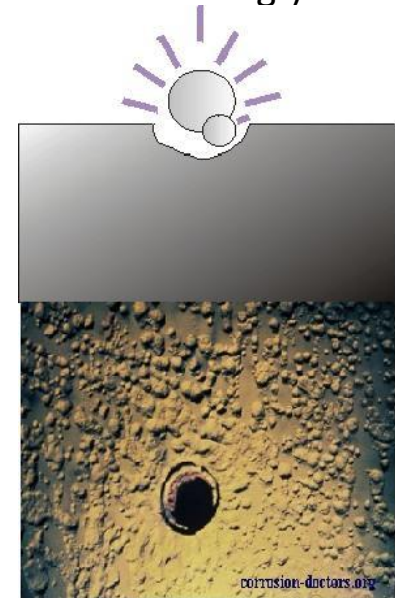
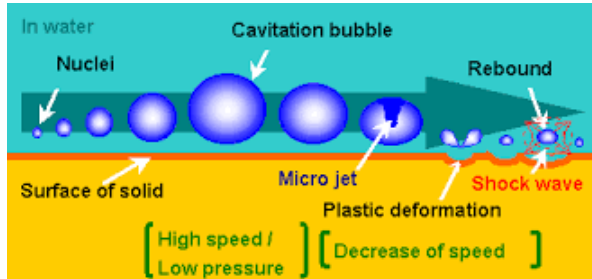


Corrosieve slijtage/erosie - corrosie



Slijtage - Cavitatie

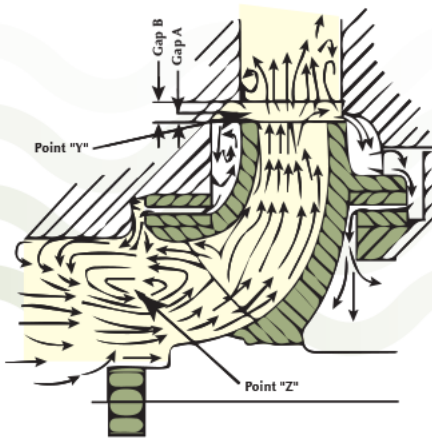
- In een vloeistof
- Implosie van luchtbelllen → drukgolf in het materiaal → oppervlakte vermoeiing
- Oppervlakte vermoeiing → uitbraak materiaal
- Turbulente stroming van een vloeistof, drukverschillen, vibraties(kan ook in een leiding!)



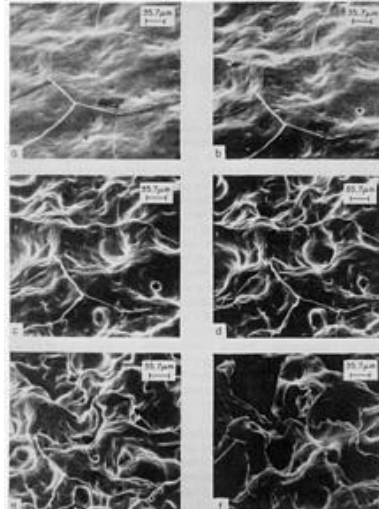
Slijtage - Cavitatie

- Voorkom turbulentie → ontwerp, bedrijfscondities
- Kies een bestand materiaal → hoge mate van koudversteving → absorptie energie
 - Titaan, Al-brons, Cobalt-basis legeringen, Aust RVS tot op zekere hoogte

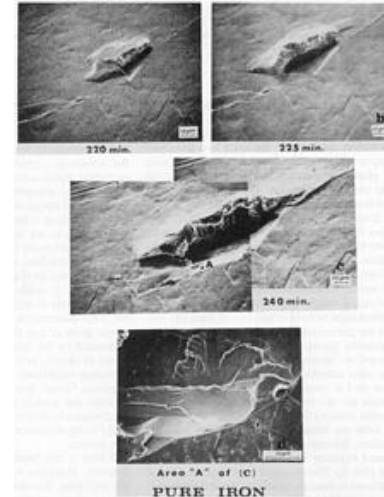
Figure 1



Recirculation vortices at impeller suction eye and at vane tips (source: Pump Handbook, Igor J. Karassik and Joseph P. Messina; ISBN-10 0070333025).



Cavitatie Al, KVG, taai gedrag (MH vol8)



Cavitatie Fe, KRG, bros gedrag (MH vol8)

Adhesieve Slijtage



Kenmerken:

- Materiaal overdracht tussen de lichamen
- Uitbraak van materiaal uit een van de lichamen
- Lokale thermische effecten beïnvloeden effect (lokaal legeren)

Parameters:

- Oppervlakte ruwheid → hoge ruwheid tips met elkaar in contact
- Snelheid
- Krachten

$$\gamma = k \cdot \frac{WV}{H}$$

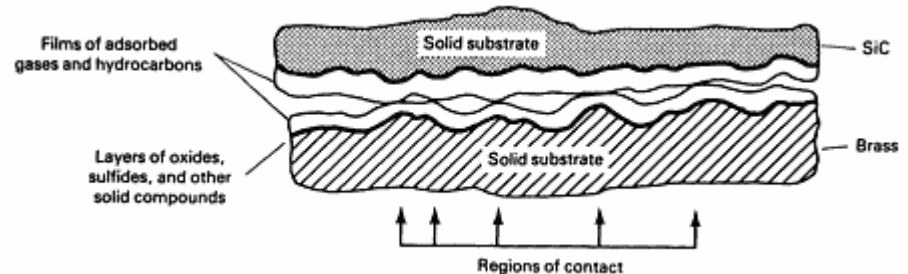
γ = slijtage (volume per tijdseenheid)

k = constante (slijtage coefficient)

W = belasting

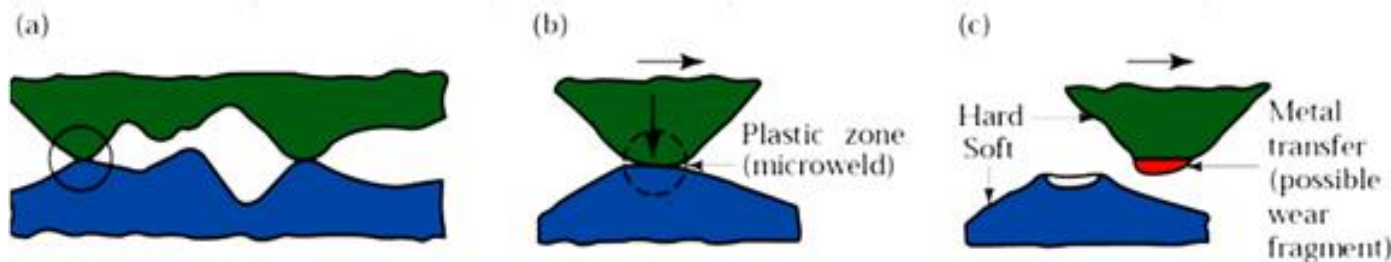
V = (glijd)snelheid

H = Hardheid zachtse lichaam



Adhesieve Slijtage - preventie

- Voorkom contact tussen gelijksoortige materialen
- Voorkom contact tussen materialen met een metallurgische 'liefde'
- Geen vermoeiingscomponent: dan is een hoog hardheidsverschil gunstig
- Breng een coating aan met een hoge hardheid
- Let op oppervlakte ruwheid



Voorkomen van Slijtage

— Ontwerp & bedrijfsvoering (is deel van ontwerp filosofie)

- Voorkom impact onder ongunstige hoeken
- Voorkom te hoge stromingssnelheden
- Voorkom wervelingen tgv oneffenheden
- Voorkom te hoge oppervlakedrukken
- Kleine repeterende bewegingen (fretting)
- Te grote thermische wisselingen
- Houd rekening met mogelijke deklagen/oppervlakte behandelingen
- -----

Ga bij experts te raden op het gebied van materiaalkeuze en tribologie (GEEN materiaaleigenschap)

Probeer van te voren te bedenken welke typen slijtage op kunnen treden



Voorkomen van Slijtage – Evalueer het systeem

— Ontwerp & bedrijfsvoering (is deel van ontwerp filosofie)

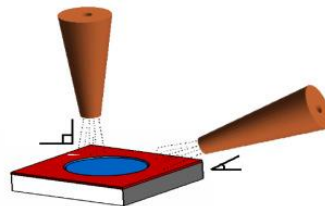
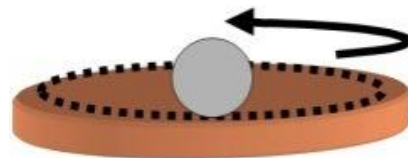
Milieu

- Vaak vastgelegd door het gebruiksdoel
- Informeer daarom de constructeur
- Wees alert op (kleine) veranderingen (tgv verhoging efficiëntie):
 - Temperatuur
 - Snelheden (flow)
 - ---
- Voer eventueel controles uit:
 - Samenstelling smeervet/olie
 - ---
- Ga na of het milieu echt niet anders kan



Karakteriseer je systeem

- Rubber wheel test (ASTM G-65)
- Schuurtest (ASTM G-28)
- Pin on Disk/Ball on Disk (ASTM G-99)
- Tribometer, meting wrijving en slijtage eigenschappen (DIN 51834)
- Block-on-Ring (ASTM G-77)
- Slurry abrasie test / Miller test (ASTM G-95)
- Impact testen, bv Valtest (TS'98)
- Straaltest (TS'98) (Afgeleid van ASTM G-76, Solid particle erosion test)

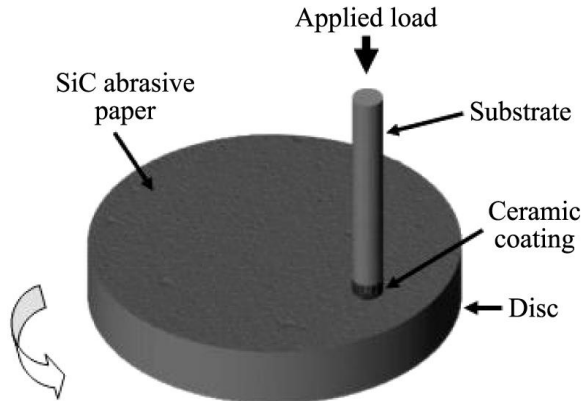


Voorbeeld: Slijtage testmethoden - abrasie

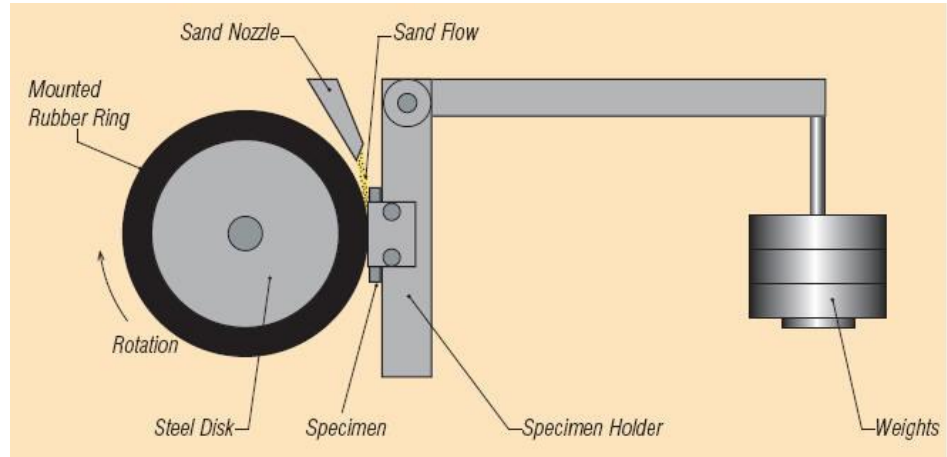
Rubber wheel abrasie test (ASTM G-65)

- Abrasie test
- Monster gewicht wordt regelmatig gemeten.
- Aannee van constant condities voor slijtage (alternatief voor 'schuur abrasie test')

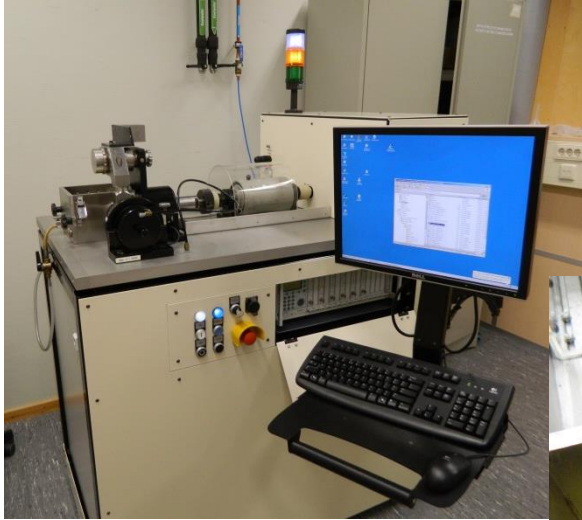
Schuur test (eenvoudig) (ASTM G-28)



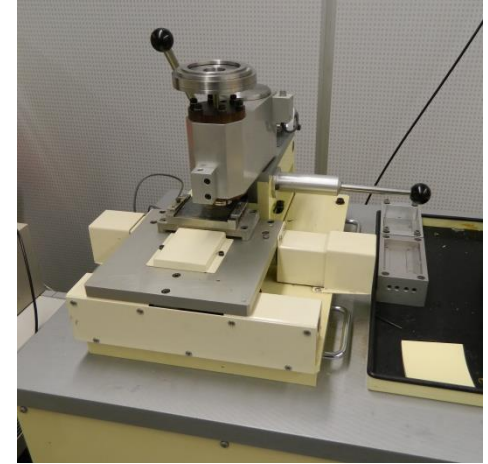
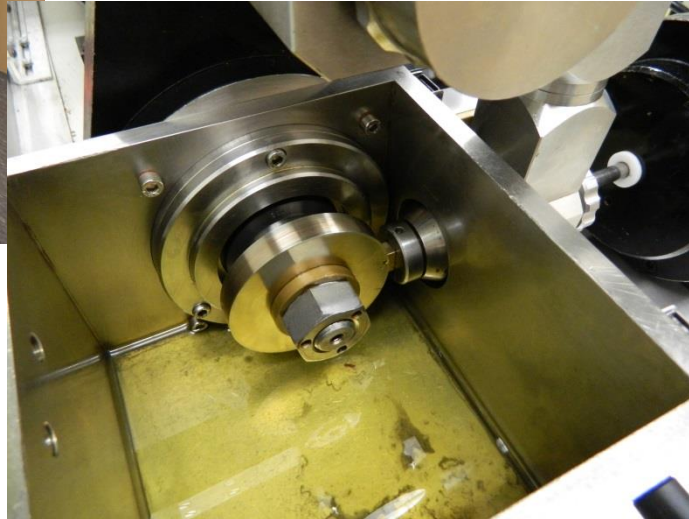
Rubber Wheel Abrasie test (ASTM G-65)



Karakteriseer je systeem - ECN



High end Tribometer.
Modulaire opbouw



Plint:
Pin-on-disc
Wrijvings coëfficiënt

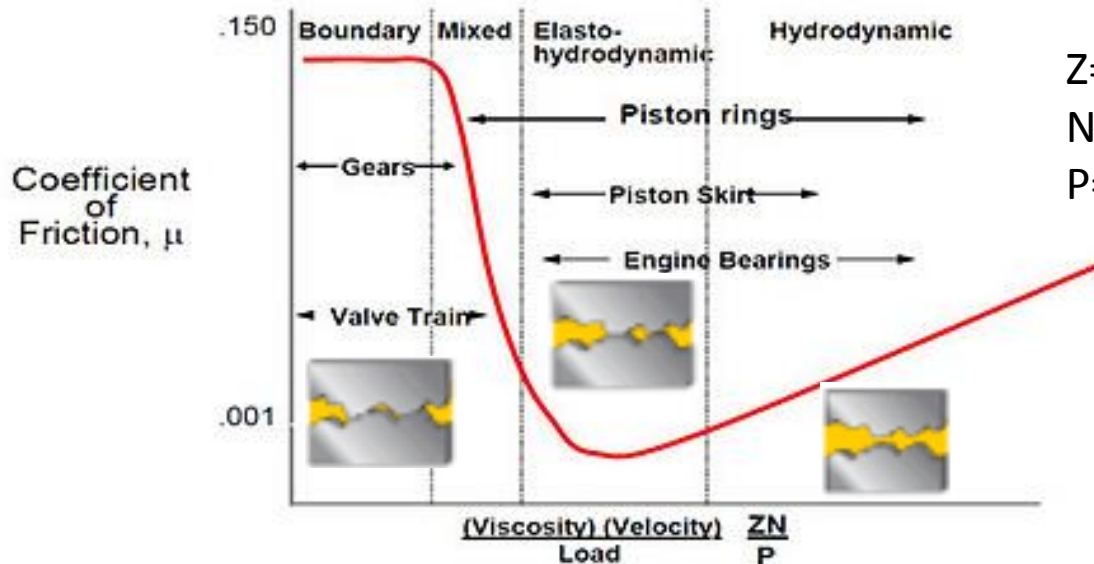
Slijtage beproeving – adhesieve slijtage

Pin-on-Disk/Drum/Table/Belt ASTM G132

Stribeck curve

Type smering en toepassing(en)

Toenemende snelheid



Formule van Stribeck: $Z \cdot N / P$

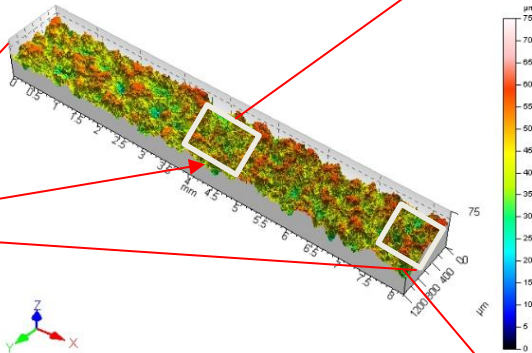
Z= Viscositeit vloeistof

N= snelheid

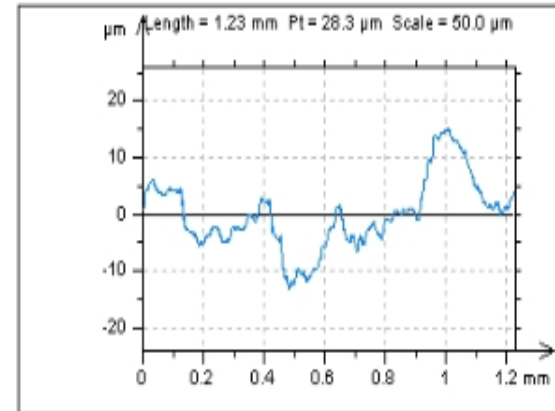
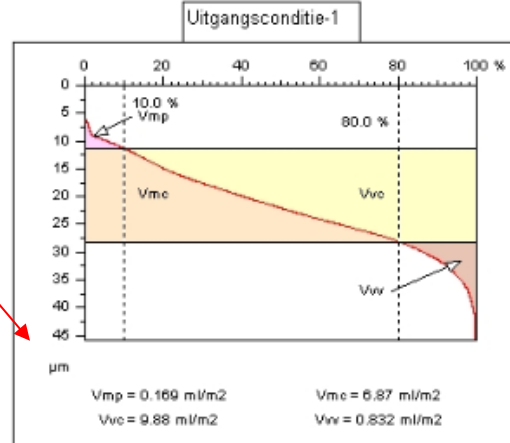
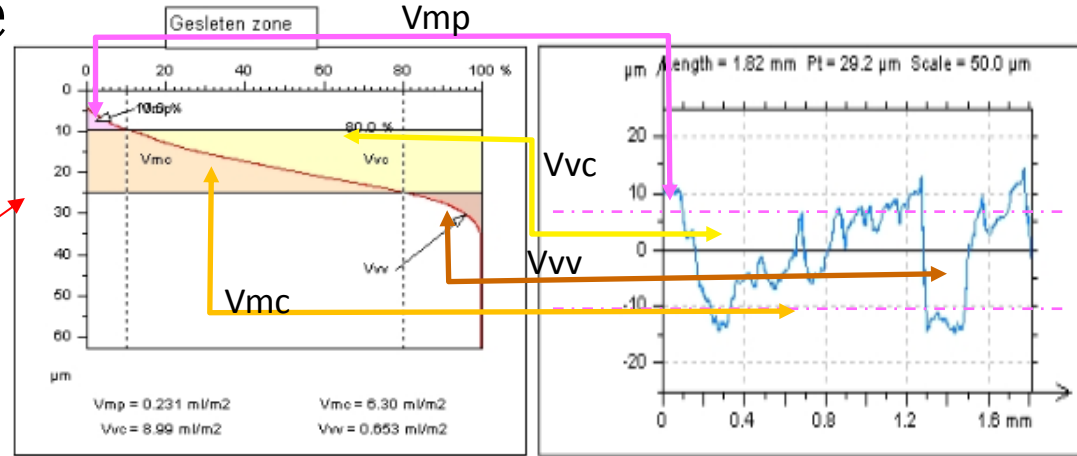
P= Belasting

Karakterisering Abbott-Firestone curve

V_{mp} (Peak material volume):
indicatie materiaal volume dat
'uitsteekt'



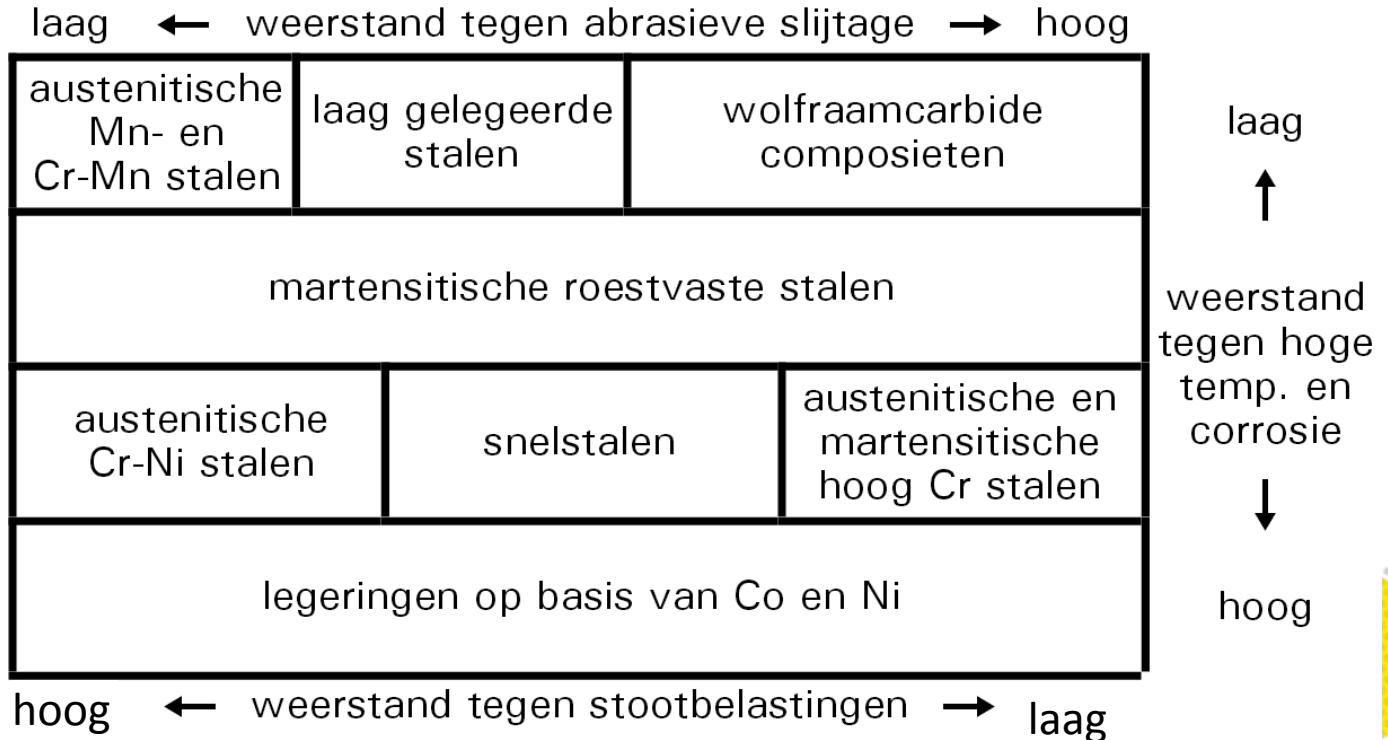
V_{vc} (Core void volume): indicatie
volume dat zich kan vullen →
hoeveelheid smeermiddel



Slijtvastheid - materialen

Basis/constructie materialen vs deklaag

Oplossingrichting – hulpmiddel



Bron: VM 129-
Reparatielassen

Samenvattende conclusie

- Bezint eer gij begint
- Remedies tegen slijtage vinden in het systeem
- DE slijtagebestendigheid van een materiaal bestaat NIET
- Raadpleeg experts

1: basismateriaal

2: tegenliggend stui

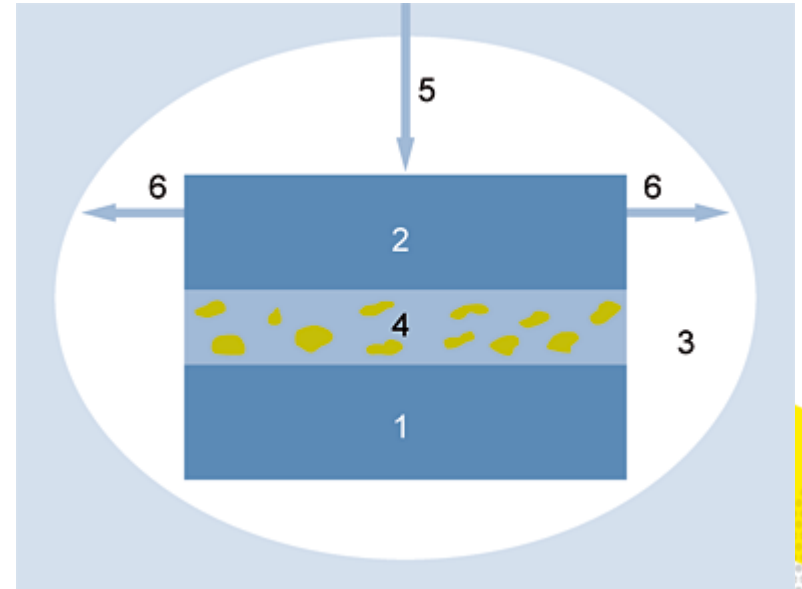
3: invloeden van de omgeving:

Temperatuur, Relatieve vochtigheid, druk

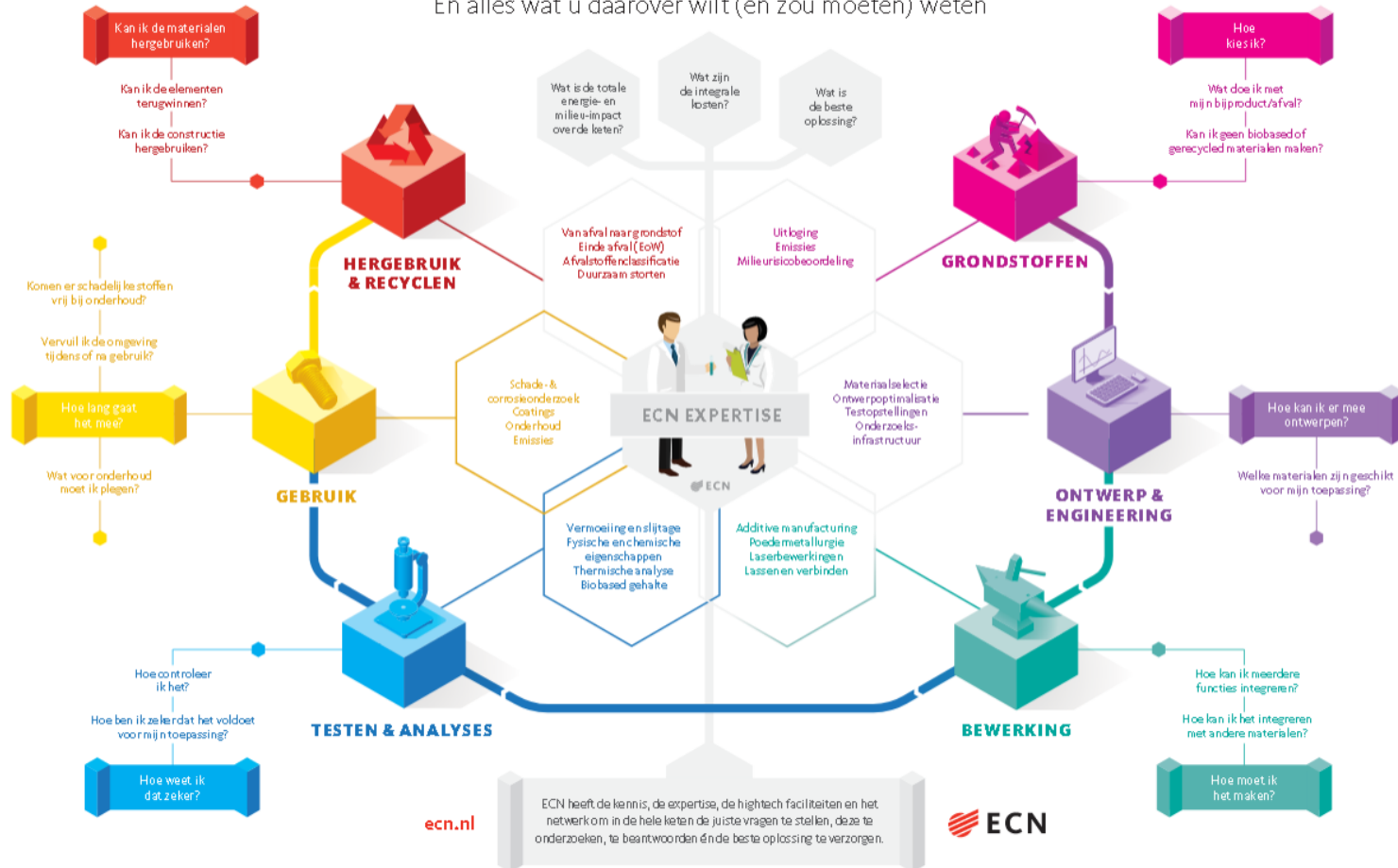
4: Tussenliggend materiaal; Olie, vet, water, deeltjes, onzuiverheden

5: Belasting

6: Beweging



En alles wat u daarover wilt (en zou moeten) weten



Vragen & Discussie



ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
The Netherlands

T +31 88 515 47 88
F +31 88 515 44 80

P.O. Box 1
1755 ZG Petten
The Netherlands

schuring@ecn.nl
www.ecn.nl