

Geïntegreerde lagereenheden*

Ober-Ing. L. Schard, Sindelfingen

In de wentellagertechniek wordt onderscheid gemaakt tussen discrete (afzonderlijke) en geïntegreerde lagereenheden (LE). In discrete lagereenheden worden genormaliseerde wentellagers toegepast. Echter in geïntegreerde lagereenheden, ook wel IBU (Integral Bearing Unit) genaamd, zijn de loopgroeven direct in de as, respectievelijk het huis, geïntegreerd.

Varianten in de constructie

IBU met radiale en axiale lagerspeling

Het meest bekende IBU is wel de vaak gebruikte lagering van een waterpomp, zie *figuur 1*. De loopgroeven zijn zowel in de as als het huis geïntegreerd. Door de axiale en radiale lagerspeling kan de as zich enigszins bewegen. De maximale beweging komt overeen met deze speling. Dit IBU biedt een optimaal gebruik van de beschikbare ruimte en geeft een aanzienlijke vereenvoudiging van de montage van een dergelijk lager door de gebruiker. Intussen heeft dit lagertype in vele takken van de machinebouw en de fijnmechanische techniek zijn goede diensten bewezen.

IBU met radiale en verminderde axiale lagerspeling

Een vuistregel voor IBU's zoals deze in de vorige paragraaf zijn beschreven, is dat de axiale lagerspeling ongeveer tien keer zo groot is dan de radiale lagerspeling. In bepaalde gevallen is echter een kleinere axiale speling noodzakelijk. Dit kan bereikt worden door de loopgroeven in de as ten opzichte van die in het huis (of omgekeerd) iets te verzetten. De verhouding tussen de axiale en radiale lagerspeling wordt dan verkleind tot ongeveer 3:1.

Spelingvrije IBU's

Bij toepassingen, waarbij hoge eisen gesteld worden aan de loopnauwkeurigheid van de spil, is het beter de lagerspeling geheel te elimineren. In plaats van de buitenring met twee loopgroeven worden twee afzonderlijke buitenringen toegepast die door middel van een drukveer spelingvrij worden gedrukt; zie *figuur 2*. Een van

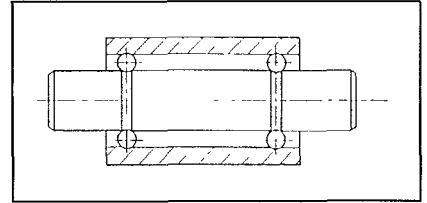
deze ringen wordt altijd vastgeklemd in het huis. Er zijn verschillende manieren voor de bevestiging van de tweede ring. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de uitvoeringsvormen met een constante kracht (Constant Force, CF) en zulke met een constante positie (Constant Position, CP).

Bij de CF-uitvoeringsvorm zit de tweede buitenring vrij beweeglijk in het huis, zodat maatveranderingen ten gevolge van temperatuurvariaties gecompenseerd kunnen worden, terwijl de gekozen voorspanning constant blijft.

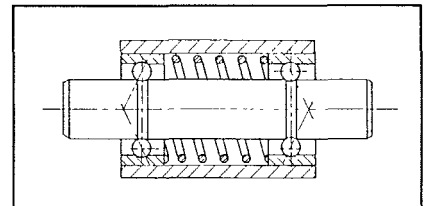
De vrij beweeglijke buitenring veroorzaakt een radiale bewegingsvrijheid van de as. Deze is bij aandrijvingen met zeer hoge nauwkeurigheid niet toegestaan. Door maatregelen te nemen zoals het inbouwen van O-ringen, zie *figuur 3*, veerbouten of door een dempende vulling in de spelingsspleet, kan deze beweeglijkheid worden beperkt. Voor de vrij beweeglijke ring kan een "minimum stabiliteit" bereikt worden door een relatief hoge voorspanning toe te passen.

Bij toepassingen met de hoogste eisen is het echter noodzakelijk om te kiezen voor de CP-uitvoering. Bij deze uitvoeringsvorm worden beide buitenringen in het huis gefixeerd door middel van lijmen. De as wordt zo nauwkeurig mogelijk gepositioneerd. Tengevolge van temperatuurverschillen tussen de as en het huis kan echter de voorspanning veranderen. Door een juiste keuze van de constructieparameters kunnen deze veranderingen echter binnen nauwe grenzen gehouden worden. *Figuur 4* toont de verandering van de voorspanning als functie van het temperatuurverschil voor een lagerunit met de lagers WA 406 met een voorspanning van 22 tot 27 N.

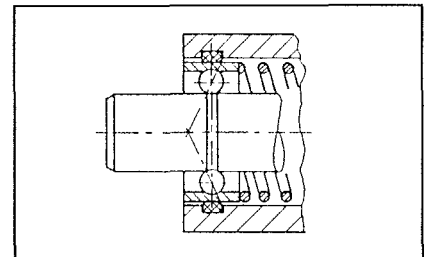
Niet alleen door temperatuurveranderingen, ook door slijtage aan de wentellichamen en loopgroeven kan een



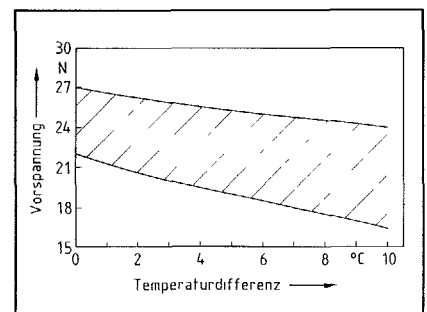
Figuur 1 Lager van een waterpomp



Figuur 2 Spelingvrije lagereenheid



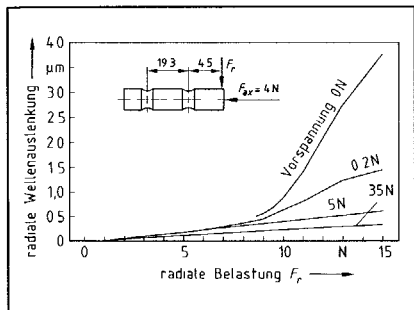
Figuur 3 Spelingvrije lagereenheid met een O-ring ter beperking van de radiale bewegingsvrijheid van de as



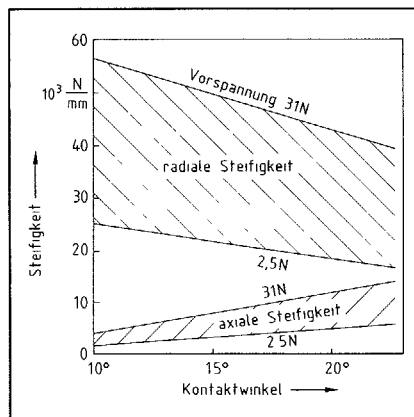
Figuur 4 Voorspanning als functie van het temperatuurverschil tussen huis en as voor een spelingvrije CP-lagereenheid (as is koeler dan het huis)

verandering van de voorspanning optreden. Door er zeker van te zijn dat een elastohydrodynamische smering aanwezig is tussen de wentellichamen met de kooien waarin deze zijn opgesloten, kan deze slijtage zo goed als zeker worden uitgesloten. Een lagering die op deze manier is uitgevoerd bleek na 20 000 bedrijfsuren bij

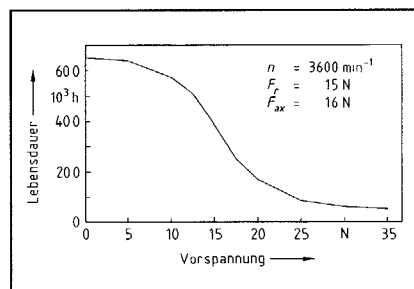
* Dit artikel is verschenen onder de naam "Integrierte Lagerungseinheiten" in Feinwerktechnik & Messtechnik 96 (1988) 12 van de Carl Hanser Verlag München



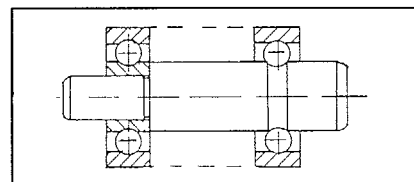
Figuur 5 Radiale asuitslag voor een lagereenheid met de kogeleenheid WA 406 voor verschillende voorspanningen en uitwendige belastingen



Figuur 6 Radiale en axiale stijfheid als functie van de voorspanning en contacthoek voor het lager WA 408



Figuur 7 Nominale levensduur als functie van de voorspanning van een spelingvrije CP-lagereenheid



Figuur 8 Lagereenheid met een geïntegreerd en een ingebouwd kogellager

een toerental van 20.000 per minuut nog steeds vrij van speling te zijn. Omdat de buitenringen vast zitten kan er ook geen passingroest ontstaan. Bij deze uitvoeringsvorm is bovendien van voordeel dat er met een zeer geringe voorspanning van slechts enkele Newtons kan worden gewerkt. Dit kan omdat de "vrij bewegelijke buitenring" na het aanbrengen van de voorspanning wordt gefixeerd. De mate van voorspanning wordt volgens de volgende criteria gekozen:

Slingering: Figuur 5 toont de radiale beweging van een IBU met en zonder voorspanning. De voordelen van de voorspanning en de invloed van de mate waarin deze is aangebracht worden duidelijk zichtbaar. Tussen 5 en 35 N treedt geen noemenswaardige verbetering meer op. Dat wil zeggen dat een voorspanning van

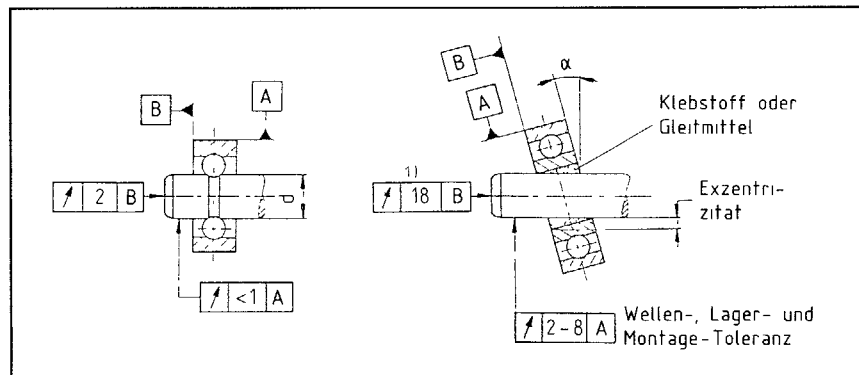
circa 10 N voor dit criterium voldoende is.

Lagerstijfheid: Figuur 6 toont de samenhang tussen de lagerstijfheid en de voorspanning (en contacthoek) voor het lager WA 408.

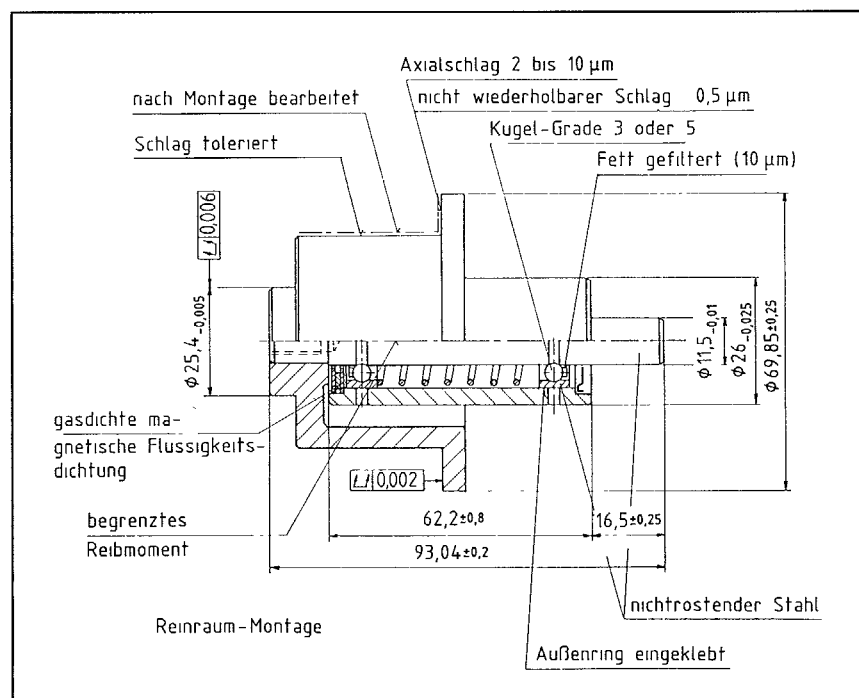
Levensduur: De samenhang tussen de voorspanning en levensduur wordt weergegeven in figuur 7. Een voorspanning van meer dan 10 N beïnvloedt de levensduur aanmerkelijk.

Wrijvingsmoment: De voorspanning heeft ook invloed op de mate waarin de aanloop- en dynamische wrijving optreden.

Spelingvrije IBU's kunnen zonder huis (Integral Spindle) of met huis (Integral Cartridge) geleverd worden. De versie met huis biedt de gebruiker een aanmerkelijke vereenvoudiging van de montage omdat deze uitvoering "montageklaar" is. Daarentegen biedt de



Figuur 9 Vergelijking tussen de loopnauwkeurigheid van een IBU (links) en een discrete lagereenheid met kogellagers van de tolerantieklasse P5 (rechts). P5: 8 µm (tolantieklasse binnenring) en montage-tolerantie 10 µm geeft een maximale afwijking van 18 µm.



Figuur 10 IBU van een draager voor een hard disc

versie zonder huis een prijstechnisch voordeel. In bepaalde gevallen, bijvoorbeeld bij speciale montagevoorwaarden, worden de LE's toegepast waarbij slechts één loopgroef geïntegreerd is; zie *figuur 8*. Vanuit een kwalitatief standpunt zijn deze eenheden echter minder dan de IBU's, maar beter dan discrete LE's

Voordelen van IBU's

De trends die de computerindustrie beheersen, zijn miniaturisering, hoge precisie en de toepassing van montage-eenheden. Door het wegvallen van de binnenring vervullen IBU's de eisen tot miniaturisering op een ideale manier. Bij eenzelfde asdiameter is een verkleining van de buitendiameter tot ca. 35% mogelijk, of anders gezegd, bij eenzelfde buitendiameter kan een aanmerkelijk dikkere en dus stijvere as worden toegepast.

Door de sterk toenemende geheugen-capaciteit van hard discs, optical recording discs, scanners, etc., worden aan de loopeigenschappen van de assen die hierin worden toegepast steeds hogere eisen gesteld. Een vergelijking tussen de discrete en geïntegreerde gelagerde assen maakt de superieure eigenschappen van de IBU's duidelijk; zie *figuur 9*.

Geïntegreerde lagereenheden bieden loopnauwkeurigheden volgens ABEC7 tot en met ABEC9 (vergelijkbaar met klassen 2 tot en met 4 van de ISO-norm). Omdat het aantal componenten geringer is zijn er natuurlijk ook minder toleranties en zijn er ook minder passings- en centreervlakken. Een scheefstelling van de binnenring op de as (dit beïnvloedt het trillingsgedrag en het loopgeruisniveau) is niet mogelijk, en elke toename van de asdiameter verbetert de stijfheid.

Steeds meer bedrijven gaan er toe over om de uit vele componenten bestaande lagereenheden te vervangen door complete lagereenheden. Bij deze lagereenheden kan het dynamisch loopgedrag door middel van computer-ondersteunde analyses voor elke afzonderlijke toepassing geoptimaliseerd worden. *Figuur 10* toont de vele eisen die voor een specifieke toepassing aan een dergelijke lagering gesteld worden.

Toepassingen

Hard discs, laserprinters, e.d.

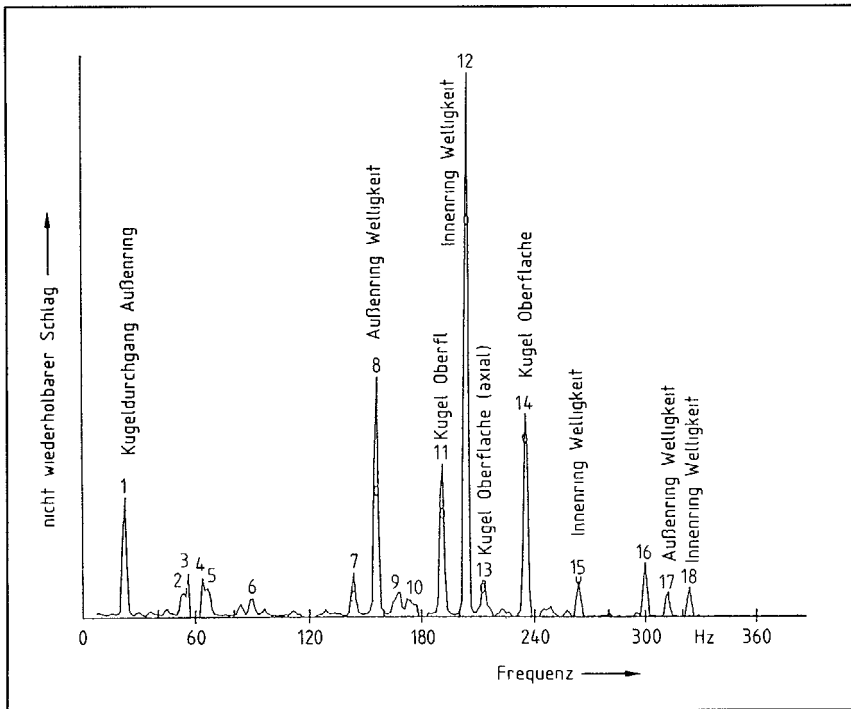
De belangrijkste eis voor deze assen is o.a. een kleine, niet repeterende slagfout. De in hard discs gebruikelijke servosturing van de lees/schrijf-koppen kan de door de niet repeterende slagfout veroorzaakte asbewegingen niet volgen. Om fouten bij het lezen of schrijven te voorkomen moet deze slagfout binnen enge grenzen worden gehouden. Met IBU's zijn waarden mogelijk van ca. 0,3 micrometer. Deze slag wordt contactloos gemeten met behulp van capacitieve meetsensoren. Worden de meetwaarden toegevoerd aan een spectrum analyser, dan wordt het mogelijk de pieken in de amplituden te bepalen en de oorzaak toe te wijzen aan hun veroorzakers. *Figuur 11* toont het resultaat van een dergelijke analyse. Optimale constructies eisen dat de IBU-frequenties zijn afgestemd op de as-aandrijving-resonanties.

Om een as rotor-dynamisch optimaal te ontwerpen, moeten de natuurlijke frequenties van de complete as (resp. asaandrijving) en de door de lagers veroorzaakte frequenties worden berekend en vervolgens zodanig worden bepaald dat deze niet samenvallen. Bovendien moet erop gelet worden dat het toerental van de as niet samenvalt met een van de natuurlijke frequenties van de as zelf.

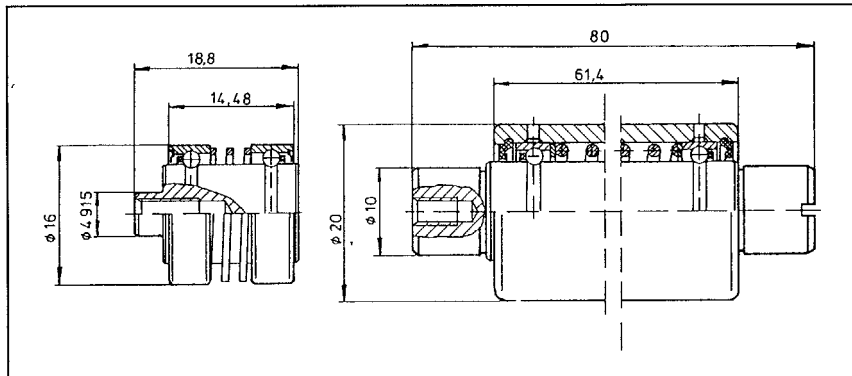
Een lagering met een geoptimaliseerd dynamisch gedrag en een lage, niet repeterende slagfout heeft ook een gering loopgeruis. Het type (CP of CF) en de voorspanning hebben weinig invloed op het niveau van het loopgeruis.

Positioneerlagering

Voor het positioneren van de lees/schrijfkop in een hard disc komen lineaire alsook zwenkaandrijvingen in aanmerking. Zwenkaandrijvingen bieden voordelen uit hoofde van hun eenvoudigere structuur, geringer aantal componenten en kortere accesstijden. Er zijn twee typische uitvoeringsvormen van een dergelijke positioneeraandrijving. *Figuur 12* toont een vliegende en een tweezijdig onder-

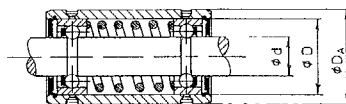


Figuur 11 Pieken in niet repeterende slagfouten (N R), de oorzaak wordt vermeld



Figuur 12 Geïntegreerde lagereenheden voor zwenkaandrijvingen van lees/schrijfkoppen

Tabel 1 Normvoorstel voor geïntegreerde lagereenheden



IBU-standaard	zwenkaandrijving			as		
	1,588	1,588	1,588	2,381	3,175	3,969
kogeldiameter	1,588	1,588	1,588	2,381	3,175	3,969
aantal kogels	10	14	17	6	6	7
<i>d</i>	8,34	11,63	14,95	6,7	7,5	11,5
<i>D</i>	12,7	16	19,05	13	16	22
<i>D_{A,min}</i>	15,7	19	22	16	19	26

steunde constructie. Bij het ontwerpen van een dergelijke toepassing moet op de volgende punten speciaal gelet worden: bij het starten van de beweging of een lage draaisnelheid kan bij een voorgespannen constructie onder bepaalde omstandigheden stick-slip, ook wel indexeffect genoemd, optreden. Dit wordt veroorzaakt door variaties in het wrijvingsmoment.

Omdat een positioneeraandrijving uitsluitend zwenkbewegingen uitvoert, d.w.z. elke keer weer vanuit hetzelfde punt opnieuw aanloopt, wordt dit fenomeen vaak als zeer storend ervaren. Door een afgewogen keuze van de zwenksnelheid, aanliggen in de loopgroeven, kogeldiameters en kogelaantallen, voorspanning en smeerstoffen kan dit effect vermeden worden.

Een ander fenomeen dat bij kogellagers optreedt is het zogenaamde "False Brinelling". Hieronder verstaat men het inlopen van de kogels in de

loopgroeven bij trillingen van het stilstaande of slechts kleine zwenkbewegingen makende lager. Deze toestand treedt veelvuldig op bij dergelijke positioneerlageringen. Om het tijdstip tot het optreden van beschadigingen in de loopgroeven zo ver mogelijk vooruit te schuiven, moeten zwenkhoeken, aanliggen in de loopgroeven, kogeldiameter en kogelaantal, voorspanning en smeerstoffen voor elke specifieke toepassing worden geoptimaliseerd.

Een nadeel van zwenkaandrijvingen is een relatief lage mechanische eigenfrequentie. Trillingen worden overgedragen op de lees/schrijfkop en verstoren daardoor een correcte werking. De eigenfrequentie kan tot meer dan 2000 Hz verhoogd worden door gebruik te maken van een roterende buitenring, een tweezijdig ondersteunende as en door het optimaliseren van de asdiameter, de afmetingen van het lager en de voorspanning met betrekking tot de stijfheid.

Overige toepassingen

Andere toepassingsgebieden voor IBU's zijn bijvoorbeeld decoders, lageringen voor Daisy-wheels (printers), platenspelers, video-apparaten, geleiderollen, precisie-assen voor de fijnmechanische techniek en machinebouw, etc. etc. IBU's zijn daar op hun plaats waar technische aspecten zoals geringe radiale speling, hoge loopnauwkeurigheid, hoge astijfheid en geringe trillingen voor het eindproduct van grote betekenis zijn.

Afmetingen, normen

In tegenstelling tot de discrete wentellagers bestaan er voor IBU's tot op heden geen normen of standards. Als eerste stap in die richting heeft men gekozen voor bepaalde kogelkooien en daarmee de as- en huisdiameters bepaald. Deze zijn weergegeven in tabel 1. Aseinden en afstanden van de lagers onderling worden voor elke specifieke toepassing afzonderlijk bepaald. Bovendien worden de reeds in serie geproduceerde IBU's, voorzover het niet om speciale klantenwensen gaat, aanbevolen.

De auteur:

Ir. Lothar Schard is bij SKF-Textilmaschinen Komponenten GmbH in Stuttgart werkzaam en verantwoordelijk voor de ontwikkeling van lagereenheden.

Vervolg van pag. 47

Th J A Kemme,
Dienst Grondwaterverkenning TNO
11 00-11 30 uur
XPS-2. Een knowledge base voor de werkvoorbereiding van een familie te verspanen producten, P C C Uijt de Haag,
Metaalinstituut TNO
11 30-12 00 uur
VDES Vocht-diagnose expertsysteem H Oey,
Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies
12 00-13 30 uur
Discussie, lunch en demonstraties
13 30-14.00 uur
AUTOPES. De toepassing van een kennisstelsel op het gebied van procesbeheersing, L M Schrijnen,

Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO
14 00-14 30 uur
Kijk op procesinstallaties en kennis van storingen, A M Schaafstal,
Projectgroep Bedrijfskunde TNO
14 30-15 00 uur
Theepauze
15.00-15.30 uur
FELIX: Een intelligent computer ondersteund onderwijsstelsel, J Bruin,
Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO
15 30-16.00 uur
ESOVOS. Expertsysteem ter ondersteuning van het voorontwerpen van schepen, U Jager,
Instituut voor Toegepaste Informatie TNO

Plenair Mondriaanzaal
16 00-16 15 uur
Afsluiting
A G G Op 't Veld, voorzitter Contactgroep Kennissystemen TNO
16 15-17.30 uur
Borrel
Plaats
Nederlands Congresgebouw
Churchillplein 10
Den Haag
Datum
12 mei 1989
Tijd
09.00 uur
Deelnamkosten: Hfl 475,00
(te voldoen op bankrekeningnummer 54 96 22 705 t n v TNO, onder vermelding van "kennis", naam van deelnemer en firmanaam)