

POPULAIR WETENSCHAPPELIJK MAANDBLAD

# Kijk



LOF-Tijdschriftprijs 1990





Foto: Produktcentrum TNO

**Rechts:** De Trollenkoning in vol ornaat in attractiepark de Efteling. Onder masker en mantel zit geen trollenvlees of trollenbloed, maar een wirwar van motoren, tandwielen, stangen en scharnieren, die samen zorgen voor een soepel trollenlichaam. Voor de show van twee minuten staat onderin de boom een computer opgesteld. Die zorgt er voor dat de trol op een buitengewoon natuurlijke en vloeiende wijze kan bewegen door met de juiste kracht aan het juiste lichaamsdeel te trekken. **Links:** Naakt toont de trol zijn fijnmechanisch skelet en spierstelsel. Het rubber masker is in Engeland gemaakt door het team van Spitting Image.

# STUDENTEN IN DE LEER BIJ DE TROLLENKONING

**N**iets menselijks is de Trollenkoning vreemd. De nieuwste aanwinst van attractiepark de Efteling beweegt niet alleen op een heel menselijke wijze, hij wordt zelfs gekoeld zoals een menselijk lichaam zichzelf koelt. Wij gebruiken de circulatie van ons bloed om warmte van hete plekken af te voeren. De hitte onder de kleding en de rubber gezichtshuid van de Trollenkoning verdwijnt door een uitgekiend ventilatiesysteem. Dunne slangen langs romp en ledematen brengen als bloedbanen frisse lucht op plaatsen waar anders de temperatuur te hoog zou oplopen. Een vernuftige oplossing in een al even vernuftige fijnmechanische constructie. De geraffineerde koeling van de trol is pas achteraf ingebouwd. Want de ontwerpers van het Produktcentrum van TNO in Delft hadden de warmteproductie van de 26 elektrische aandrijvingen onderschat. Ze realiseerden zich niet dat het kleding en het masker van de trol zo'n sterke 'isolatiedeken' zouden vormen. Voor het overige was en is de Trollenkoning een schitterende robot. Ook Ted Crowell, onderdirecteur van de technische staf van Disney World en dus wel gewend aan 'vernunftige attracties', was zeer onder de indruk. Het levensverhaal van de fijnmechanische trol begon met een videofilm. De vormgever van de Efteling in Kaatsheuvel had een idee voor een Trollenkoning die de toekomst voorspelt. Het moest een trol worden die een onverstaanbare (trollen)taal spreekt. Dus moest de betekenis van zijn woorden duidelijk zijn aan de hand van een zeer suggestieve mimiek. Op de videofilm deed de vormgever vóór hoe de trollenkoning moest

**Verstaan doe je hem niet, de  
Trollenkoning van de Efteling.  
Maar zijn gezicht spreekt  
boekdelen. Het geheim van de  
koning schuilt in zijn binnenste:  
een staaltje van  
fijnmechanische techniek dat  
net zo verbazingwekkend is als  
de malle bekken die de koning  
trekt.**

bewegen. De technici van het Produktcentrum keken naar de film en analyseerden de bewegingen. Ze kwamen op een totaal van 26 zogeheten vrijheidsgraden. Anders gezegd: er waren 26 bewegingsmogelijkheden nodig om de robot-trol enige minuten 'levens-echt' te laten bewegen. Bedenk hierbij dat een moderne produktierobot met één grijp-arm 6 vrijheidsgraden heeft. Voor de technici van het Produktcentrum was het een opdracht om de vingers bij af te liken. Dat de Efteling wilde dat de trol in vier

Foto: Efteling





(!) maanden gereed zou zijn, maakte het nog spannender. Nu moesten de elektrotechnici en fijnmechanici keihard werken om de trol te kunnen realiseren. Bezoekers van de Efteling zien sedert mei 1988 in een nis van een boom een prachtig geklede trol zijn wenkbrauwen optrekken, zijn vuisten ballen en zijn hoofd in alle richtingen bewegen. Wat ze niet zien is de compacte, zachtjes zoemende techniek onder kleding en masker en de menshoge besturingskast tussen de wortels van de holle boom, waar de technici vier maanden op zwoegden.

**G**a eens voor de spiegel staan en trek gekke bekken. Turf daarbij hoeveel verschillende spieren in het gezicht kunnen zorgen voor een schier eindeloze variatie in bekketrekkerij. Geen ander wezen op aarde kan zoveel verschillende uitdrukkingen op zijn gezicht toveren als de mens. Een robotrol komt daarom veel menselijker over als zijn gezicht sterk plooibaar is. De TNO-medewerkers hebben een fantastische klus geklaard door het trollengezicht op negen verschillende plaatsen te laten bewegen. Negen

**Rechts:** Voor een robot ziet de Trollenkoning er bijzonder uit. Dat komt doordat de constructie zoveel scharnieren heeft. De Trollenkoning telt 26 zogenaamde vrijheidsgraden.

**Rechtsboven:** De duim en de wijsvinger kunnen apart bewegen, de overige drie vingers bewegen tegelijkertijd.

**Rechtsonder:** De computer die de robot stuurt, leert zijn bewegingen van een dummy-robot (voorgrond). De leermeester gebruikt de beugels van de dummy om de ledematen te bewegen. Het computergeheugen slaat de verplaatsingen in zijn geheugen op.

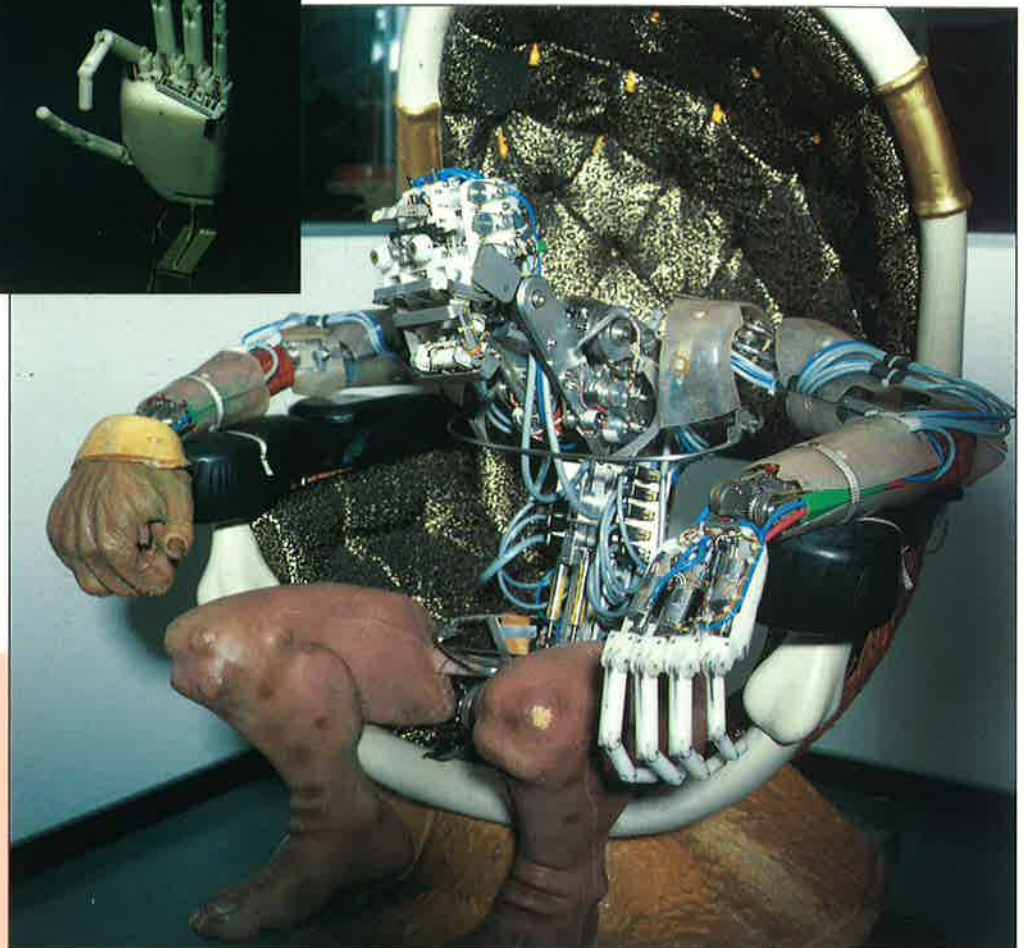


Foto is: Produktcentrum TNO

kleine elektromotoren in het hoofd zijn volledig mechanisch met ogen, wenkbrauwen, mond, kin, voorhoofdshuid, enzovoort verbonden. In principe lijkt het op gewone werktuigbouwkunde, al die mechanismen in het trollenhoofd. Maar de kleine afmetingen en de bijzondere eisen die de Efteling stelt, maken dat fijnmechanische technieken onontbeerlijk zijn.

Dat wordt duidelijk als we het hoofd van de Trollenkoning nauwkeuriger bekijken. Het 'frame' bijvoorbeeld is niet van metaal gemaakt maar van kunststof. De reden voor deze materiaalkeuze heeft te maken met geluiddemping. Geen enkele aandrijving werkt zo geluid-

loos als het spierskelet-mechanisme waarmee bijvoorbeeld mensen zich bewegen. Voor een natuurgetrouwe nabootsing van een levend wezen door een robot, moet het gezoom van de motoren en het gegier van de tandwieloverbrenging daarom zo gering mogelijk zijn. Geluiddemping begint al bij het ontwerp, onder meer bij de materiaalkeuze. Een dikke kunststof plaat dempt meer dan een dunne metalen plaat. Eventueel neemt de massa van het geheel toe, maar dat naudeel weegt minder zwaar dan de lawaaiproduktie.

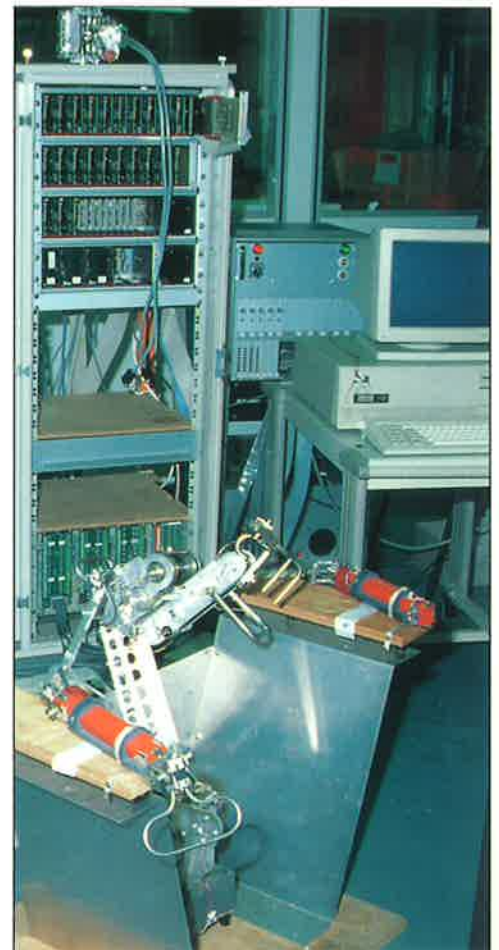
Een volgende route op weg naar geluiddemping was het verminderen van de toerental-

## HET VAKGEBIED FIJNMECHANISCHE TECHNIEK

Dat er naast de elektronica ook micro-elektronica bestaat, verbaast inmiddels niemand meer. Minder bekend is echter dat de fabricage van chips en andere micro-elektronische componenten mogelijk werd dank zij de fijnmechanische techniek (FMT). Fijnmechanische techniek (in het Engels aangeduid met 'precision engineering') lijkt op werktuigbouwkunde, maar heeft enkele typische kenmerken. Zo zijn de fijnmechanische produkten veelal combinaties van mechanische en elektronische componenten. Ook moeten FMT-produkten voldoen aan zeer hoge nauwkeurigheidseisen (op de micrometer nauwkeurig).

Fijnmechanici moeten heel goed in de gaten houden welke factoren hun constructiematerialen beïnvloeden. Temperatuurverhoging bijvoorbeeld gaat gepaard met het uitzetten van metalen. Een werktuigbouwer zal daar bij zijn 'grove' constructies doorgaans niet wakker van liggen, maar een fijnmechanicus moet daar wel degelijk rekening

mee houden. Hetzelfde geldt voor de nauwkeurigheid van de vorm. Een fijnmechanisch wiel moet na fabricage een bepaalde rondheid hebben. Deze nauwkeurigheid moet behouden blijven tijdens de belasting van het wiel in een constructie. Bovendien moet het wiel die nauwkeurigheid enige jaren behouden. Materialenkennis en fijnmechanische constructieer is dus heel belangrijk. De fijnmechanische techniek komt voort uit de instrumentmakerij. Lange tijd was de LIS, de Leidse Instrumentmakerschool, de enige opleiding voor fijnmechanici. Inmiddels kun je op MBO-niveau op zeven instituten FMT studeren (Amsterdam, Rotterdam, Stadskanaal, Sittard, Utrecht, Eindhoven en Leiden). Op HBO-niveau is er slechts één instituut: de Hogeschool Utrecht, lokatie Hilversum. De Technische Universiteit Delft heeft een aparte leerstoel Fijnmechanische Techniek. De NVFT is de Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek. Het secretariaat stuurt desgevraagd informatie over de studiemogelijkheden: NVFT. Postbus 359, 5600 AJ Eindhoven.



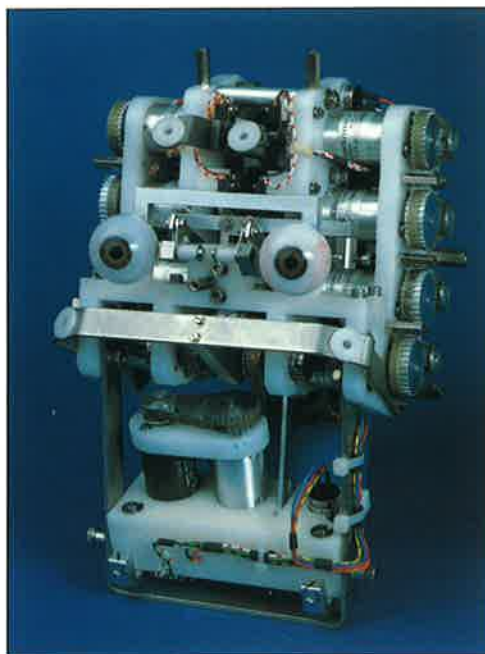


len in de tandwielkastjes. De elektromotoren draaien met een toerental van 8.000 omwentelingen per minuut. Voor de beweging van bijvoorbeeld het hoofd is dat volkomen ongeschikt. Een tandwielkast zorgt voor een flinke vermindering van dat toerental, maar produceert hierbij een krachtig gegier. De ontwerpers van het trollenhoofd zorgden daarom voor een tandriemoverbrenging tussen motor en tandwielen. Daarmee daalde het toerental van de ingaande as van de tandwielkast tot 2.500 omwentelingen per minuut. Dat scheelt een slok op een borrel in geluidsproductie. Bovendien kwam de tandriemoverbrenging goed van pas bij het benutten van de beperkte ruimte in het trollenhoofd.

**W**ie dit leest, houdt vermoedelijk het hoofd vrijwel stil. Dat betekent niet dat er geen spieren werken. (Ontspan maar eens alle hoofdspieren, het hoofd valt naar voren tot de kin de borst raakt.) Ook het hoofd van de Trollenkoning zou naar voren vallen als aan het eind van een beweging de stroom zou worden afgeschakeld. Dat is geen gezicht, dus moet er stroom naar de motoren om het hoofd en andere lichaamsdelen in de juiste stand te houden. Die elektrische stroom heet de 'houdstroom'. Bij voorbaat moet al bekend zijn hoeveel warmte de houdstromen produceren, om te voorkomen dat delen van het mechanisme of het masker smelten. Per slot van rekening vloeien er bijvoorbeeld de gehele nacht enkele houdstromen om de trollenrobot in een bepaalde stand te houden. Ondanks de voorzorgsmaatregelen hadden de technici de warmteproductie niet juist ingeschat. Dat bleek toen de trol enige tijd aan het werk was.

Per dag komt de Trollenkoning 250 keer in actie. Elke show duurt twee minuten, zodat de installatie per dag acht uur werkt. De warmteontwikkeling in het trollenmechaniek was daarop berekend. Uit de analyse bleek dat de omgevingslucht de warmte wel kon

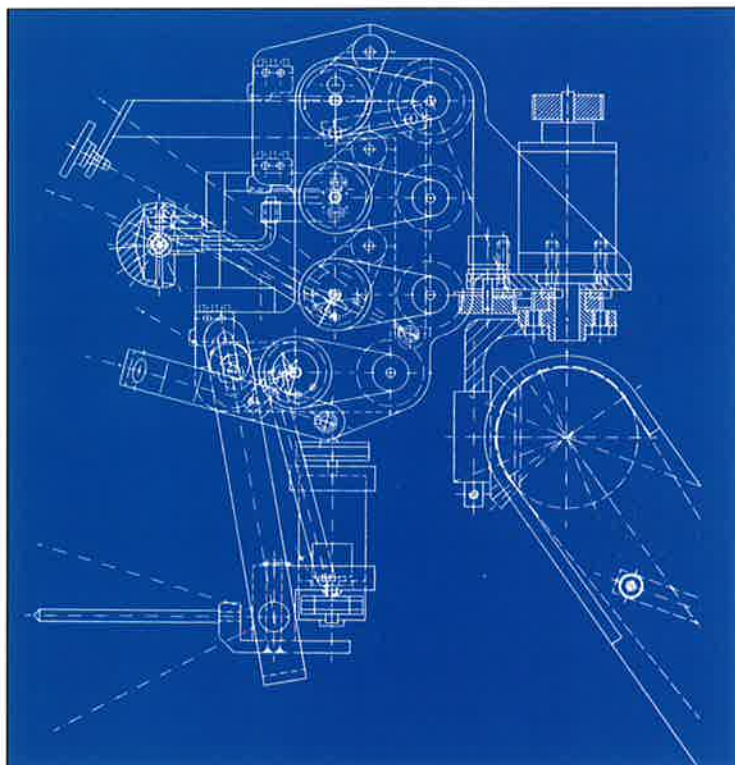
opvangen en afvoeren. Maar zo werkte het niet. De kleding en het masker zorgden op twee manieren voor extra warmte, waardoor de temperatuur te hoog opliep. Ze zorgden voor extra massa voor de elektromotoren, waardoor die meer warmte produceerden. En ze zorgden voor een goede isolatie van de 26 warmteproducenten, waardoor de hete lucht niet kon ontwijken. De temperatuur liep zover op dat het rubber masker snel verouderde en sommige mechanismen in de soep draaiden. Overigens was dit probleem ongetwijfeld aan het licht gekomen als de TNO-technici enige tijd met een prototype hadden kunnen proefdraaien. Maar daarvoor was helaas geen tijd. De eerste twee Trollenkoningen werden na de fabricage meteen naar de Efteling gebracht: één werkende en één als reserve. De reservetrol doet tevens dienst als hulp bij



Foto's: Productiecentrum TNO

het programmeren van de bewegingen van de Trollenkoning. Daarbij speelt ook een dummy van de trol een onmisbare rol. De dummy-trol is fijnmechanisch volkomen gelijk aan de twee echte trollen, alleen bezit hij geen motoren. De vormgever van de Efteling hoeft niets anders te doen dan de ledematen, het hoofd, de wenkbrauwen en andere lichaamsdelen van de dummy te bewegen. Tijdens de beweging drijft het mechaniek een detector aan, die elektrische signalen produceert. Een personal computer slaat deze elektrische signalen op in zijn geheugen. Ter controle stuurt de computer meteen een stroom signalen naar de eveneens aangesloten reservetrol. (Het is hetzelfde principe als een driekops-cassetterecorder, waarmee nabandcontrole mogelijk is; je kunt de zojuist gemaakte opname direct afluisteren.) De vormgever kan aldus het resultaat van zijn programmeerwerk met de dummy direct zien door te kijken naar de reservetrol. Wanneer een armbeweging goed is, maar iets sneller of langzamer zou moeten verlopen, dan loopt de vormgever naar het toetsenbord. De computer is namelijk in staat de in het geheugen vastgelegde beweging elektronisch te versnellen of te verzwakken. Een heel prettige eigenschap, want dat vermindert het risico dat bij het herhalen van de dummy-beweging in het juiste tempo, de kwaliteit van de beweging weer minder is. De dummy programmeertechniek maakt het ook mogelijk een nieuwe 'act' te verzinnen, terwijl de Trollenkoning gewoon zijn huidige show opvoert. Alle gegevens van een act (tekst en bewegingen) staan namelijk op insteekkaarten. De technici van de Efteling hoeven dus alleen maar aan het eind van de dag de kaarten te vervangen en de volgende ochtend begint de Trollenkoning een geheel andere toekomst te voorspellen. Met een geheel andere fijnmechanische mimiek.

Tekst: Nico Wittebrood



**Boven:** Het hoofd van de Trollenkoning zit propvol fijnmechanische techniek. Dat heeft te maken met de bekketrekkerij van de trol. Op negen plaatsen is het rubber gezichtsmasker met het mechaniek verbonden. Daarmee is het mogelijk de trol een veelzijdige mimiek te geven.

**Links:** Om de bewegingen van het masker natuurlijk te laten zijn, moet de constructeur draaipunten en stanglengtes bepalen binnen de afmetingen van het hoofd. Na veel gepieker ontstaat dan zo'n dwarsdoorsnede van het trollenhoofd.

**Rechts:** Fijnmechanische techniek is niet uitsluitend voor unieke robots. De videorecorder is een voorbeeld van een product dat in grote aantallen wordt gefabriceerd en waarin het loopwerk een schoolvoorbeeld van fijnmechanische techniek is.



Foto: Archief KLUK



## Succesformule

Of het nu gaat om het milieu, reageerbuisbaby's, het gebruik van nieuwe plastics, de bouw van kerncentrales of het kweken van super-aardappelen, de keuzes die men vandaag de dag maakt worden in hoge mate bepaald door wetenschap en techniek. Onze toekomst kreeg en krijgt vorm door het werk van de onderzoekers in de wetenschappelijke laboratoria, de technisch begaafden die praktische toepassingen realiseren. De ondernemer, de politicus en de wetgever volgen de gebeurtenissen. Helaas lang niet altijd op de voet. Toch geldt dat wie op de hoogte is van de ontwikkelingen in wetenschap en techniek, meer begrijpt van de hedendaagse situatie en de wereld die ons morgen wacht.

Het maandblad KIJK geeft zijn jonge lezers toegang tot die werelden. De redactie van KIJK volgt de ontwikkelingen op het terrein van wetenschap en techniek aandachtig en biedt, hierdoor geïnspireerd, de lezers maandelijks een keur van artikelen. De verrassende feiten, gebeurtenissen en ontwikkelingen die zich op verschillende gebieden voordoen, worden zodanig in tekst en beeld verwerkt dat inzicht ontstaat in de samenhang met het huidige bestaan. KIJK-lezers weten dat wij het tot onze taak rekenen moeilijke dingen zo duidelijk mogelijk te maken. Maar dat is niet het enige dat KIJK nastreeft. De vele onderwerpen die het blad telt, worden op wervende wijze gepresenteerd. Vooral de manier waarop tekst en beeld elkaar versterken, heeft KIJK tot een unieke verschijning in de wereld van de tijdschriften gemaakt.

In het 15-jarig bestaan heeft het populair wetenschappelijk maandblad KIJK zich ontwikkeld tot een zeer stabiele titel. Het bereik is maar liefst 21 procent, hetgeen neerkomt op 164.000 jongens. Daarnaast heeft KIJK nog een bereik van 330.000 lezers vanaf 20 jaar. Daarmee is KIJK het grootste tijdschrift in bovengenoemd segment en dus een belangrijke partner voor vele adverteerders. Het groeiend aantal advertenties is hier het bewijs van. Dat KIJK een langdurige waardering bij de lezers heeft, wordt, naast de hoge oplage, ook aangegeven door de lange duur van het abonnement, namelijk gemiddeld 5 jaar.

Hans Waleveld  
Hoofdredacteur KIJK

Eugène Houben  
Marketingmanager KIJK

