

Het nauwkeurig meten van de groei van zaailingen en (jonge) planten

W.J.M. Tonk, experimenteel ontwerper bij de Faculteit Algemeen der Landbouw Universiteit Wageningen.*

Bij het plantenfysiologisch onderzoek aan de Landbouw Universiteit (zie kader) werd de behoefte gevoeld aan een methode om de groei van jonge tot zeer jonge planten zeer nauwkeurig (in microns) onmiddellijk en continu te meten. Om hieraan te voldoen werd een instrument ontwikkeld dat in het hierna volgende zal worden beschreven.

Het instrument is in staat plotselinge veranderingen in de groeisnelheid te registreren onder velerlei, instelbare, condities, zoals luchtvochtigheid, windsnelheid en temperatuur. De registratie van de groei en groeisnelheid is een zeer subtiële aangelegenheid. Noodzakelijk is o.a. de afwezigheid van trillingen.

De gerealiseerde klimaatbeheersing opent ook mogelijkheden de invloed van luchtverontreinigingen - zoals ozon, ammoniak of zwaveldioxyde - op de proefplant te onderzoeken.

De proefopstelling

Op een trillingsvrije tafel, waarvan het blad op luchtbalgen rust en met fijn grind gebalast is tot ca. 300 kg, zijn twee groepen van drie meetopstellingen geplaatst; zie de figuren 1 en 2. Iedere opstelling is omgeven door een, los van de tafel, aangebrachte kast die lucht- en lichtdicht afsluit en thermisch geïsoleerd is. Om lichtreflecties te voorkomen zijn de aluminium kastdelen zwart geanodiseerd. De luchtstroom, - temperatuur en vochtigheid - zijn regelbaar.

Belichting van de groeitop van de proefplant met verschillende lichtfrequenties (verschillende kleuren licht) geschiedt met behulp van twee lichtgeleiders (optische vezels) per plant, die bevestigd zijn aan de slede van de meetopstelling. De lichtgeleiders ontvangen hun licht van een buiten de kasten opgestelde 250 W kwarts-jodide projectielamp die voorzien wordt van de benodigde filters om de gewenste kleur licht te leveren.

Belichting van meer zijden is mogelijk door het aanbrengen van extra lichtgeleiders. Voorts is voorzien in belichting met

Voor de groei van planten is licht, gewoonlijk zonlicht, een onmisbare factor.

Licht dient allereerst als de broodnodige bron van informatie. Het geeft signalen voor de afwikkeling van de verschillende stappen in het groeiproces. Licht dient ook als energiebron die de plant in staat stelt koolhydraten te fabriceren uit koolzuur en water.

De stoffen in de plant die de lichtsignalen registreren noemt men fotoreceptoren. Het zijn kleurgevoelige stoffen, pigmenten. De belangrijkste daarvan is fytochroom, een eiwit dat in iedere cel van de plant aanwezig is.

Deze fotoreceptor is gevoelig voor duur en richting, maar bovenal voor de spectrale samenstelling van het licht. Zo wordt fytochroom geactiveerd door een bepaalde verhouding van rood en infra-rood licht. Schaduwlicht, in een bos bijvoorbeeld, bevat weinig rood maar veel infra-rood. Andere fotoreceptoren zijn gevoelig voor blauw licht of zelfs uitsluitend UV.

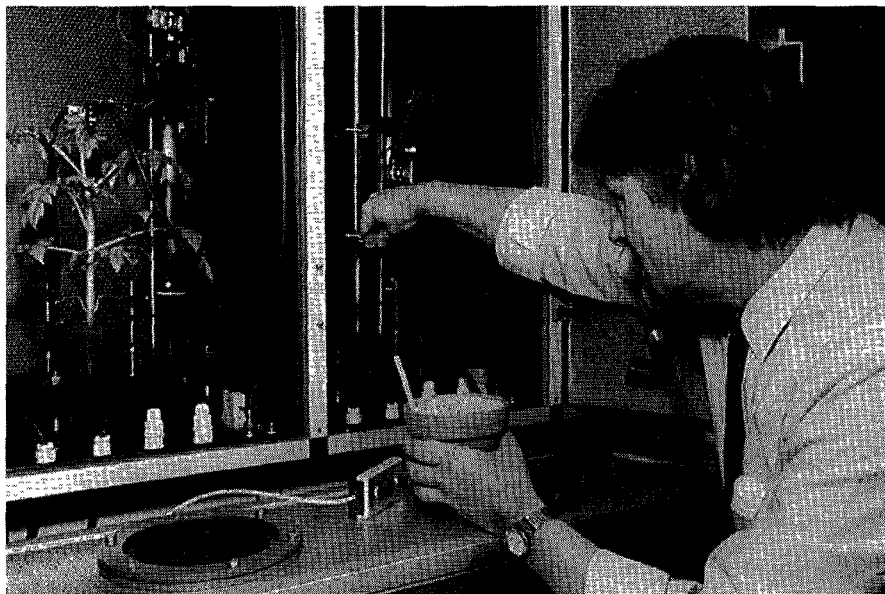
De bouwstoffen voor de groei worden gevormd door het foto-synthetisch apparaat in de groene korrels (chloroplasten), een verfijnde biofysische fabriek waarin het ingevangen licht via overdracht van elektrische lading vastgelegd wordt in chemische energie en aldus koolhydraten ontstaan in de

vorm van suikers of zetmeel.

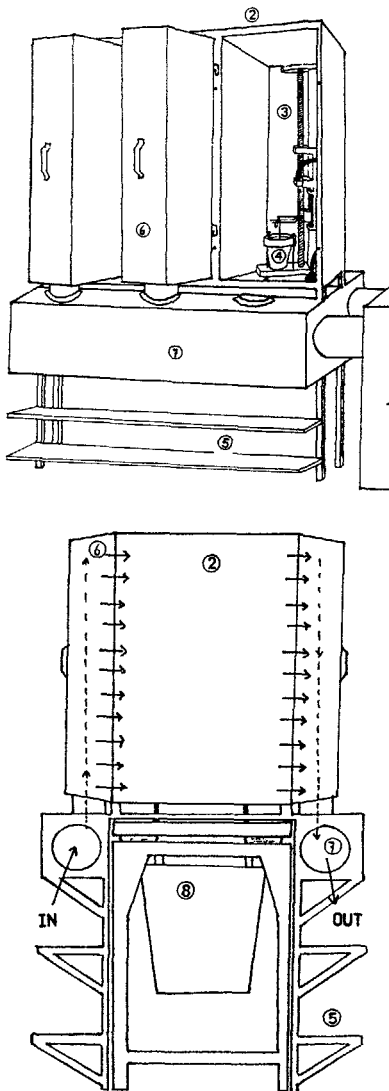
Het werkingsmechanisme van fotoreceptoren is onderwerp van onderzoek. In de regel wordt een specifiek lichtsignaal doorgegeven aan een specifiek deel van de DNA, het genetisch apparaat van iedere cel. De betreffende genen worden "gewekt" en geven weer opdrachten die bijvoorbeeld strekking van de cel tot gevolg hebben.

Hoe het fytochroomeiwit chemisch in elkaar zit is eveneens onderwerp van studie. Er zijn aanwijzingen dat er meestal twee types in een plant aanwezig zijn, die ieder meer dan één werkingsmechanisme hebben.

Op het werkingsprincipe van de fotoreceptoren bestaan ook uitzonderingen. Soms wordt het signaal van een bepaald soort licht onmiddellijk, zonder inschakeling van het erfelijk apparaat, doorgegeven en reageert de plant binnen een minuut. Voordat een plant gaat groeien door bouwstoffen te vormen door middel van fotosynthese moet eerst het zaad ontkiemen en de zaailing een bepaalde lengtegroei ondergaan. Deze beslissende fase wordt op gang gebracht door licht van een bepaalde kleur en intensiteit. Een te lang voortdurende lengtegroei voordat de plant zelf voedsel kan gaan maken, kan fataal zijn door uitputting van de reservestoffen.



Figuur 1 De proefopstelling.

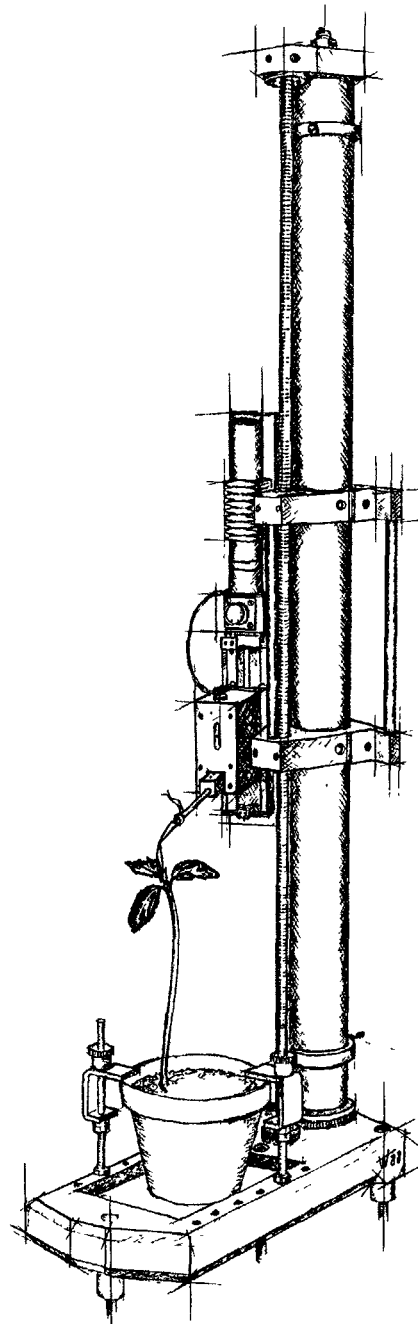


Figuur 2 Schematische weergave van de proefopstelling:
 a vooraanzicht met één kast geopend;
 b zijaanzicht;
 1 klimaatbeheersingseenheid;
 2 kast;
 3 meetopstelling;
 4 pot met zaailing of proefplant;
 5 schappen voor o.a. belichtingsapparatuur;
 6 kastdeksel met filter voor kastdeksel met filter voor gelijkmatige verdeling van de luchtstroom;
 7 luchttoevoerkast;
 8 trillingsvrij tafelflad met ballast.

wit licht van bovenaf ten behoeve van fotosynthese bij de verdere ontwikkeling. De frequentie van belichting wordt geregeld door dezelfde microprocessor die de hele meetopstelling controleert

Het meetinstrument

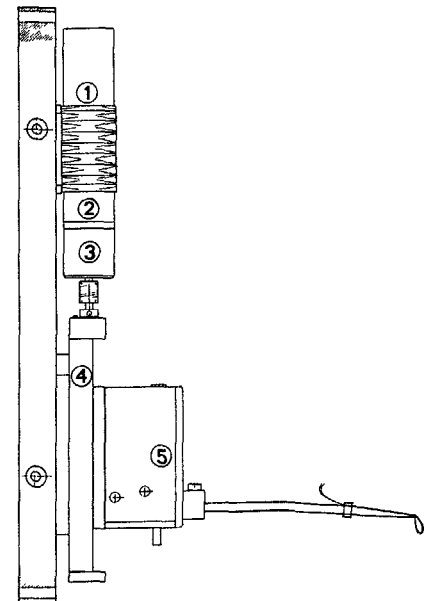
De basis van het instrument waarmee de groei wordt gemeten bestaat uit een voet,



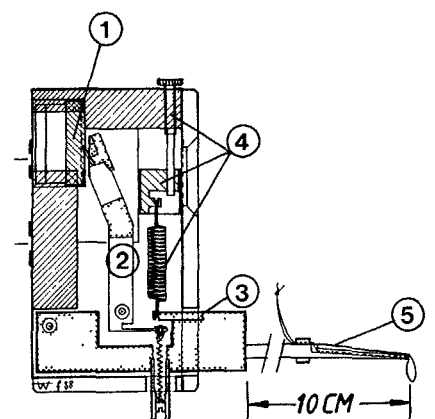
Figuur 3 Kolom met meetinstrument en proefplant.

waarop een pot met proefplant kan worden bevestigd, en een kolom. Aan deze kolom is de meetunit bevestigd, die met een schroefspil over een hoogte van ca. 70 cm met de hand verstelbaar is, zie *figuur 3*.

Op de aluminium plaat van de eigenlijke meetunit is een slede aangebracht waarvan de slag ca. 40 mm bedraagt, zie *figuur 4*.



Figuur 4 Slede met aandrijving voor de zwevende nulindicator:
 1 gelijkstroom (DC) motor met tachogenerator
 2 reductiekast met satellietvertraging;
 3 optische incrementele encoder;
 4 slede met schroefspil (opmerking: tussen uitgaande as van de reductiekast resp. encoder en de schroefspil is een torsiestijve elastische koppeling aangebracht om uitlijnfouten op te heffen);
 5 zwevende nulindicator.



Figuur 5 Doorsnede van de zwevende nulindicator met meetarm:
 1 microfoon (AKG, type D58E, Oostenrijks) met gemodificeerd membraan (ICI Melinex), 75 µm dik en ijzeren huis;
 2 pick-up element (B & O, type MMC-4, Deens) met balans in saffierlagertjes (uurwerkconstructie);
 3 meetarmheft, gekoppeld aan de pick-up arm met behulp van de veer uit een aansteker (BIC-B3);
 4 roestvaststalen gekalibreerde veer (Tevema-Barnes, type T-41030, 50-300 g lineair) met instelschroef;
 5 meetarm met holle tip.

Het nauwkeurig meten van de groei van zaailingen en (jonge) planten

Deze slede kan door een kleine gelijkstroommotor via een reductiekast en een schroefspil worden aangedreven. Op de uitgaande as van de reductiekast is een optische encoder aangebracht waarmee de verplaatsing in een elektronisch signaal kan worden omgezet.

Op de slede is de zogenaamde zwevende nul aangebracht. Deze bevat de eigenlijke meetarm, zie *figuur 5*. De meetarm is door middel van een lusje van chirurgisch garen, gestoken door de doorboorde tip, met de groeitop van de proefplant verbonden en houdt die overeind. De zeer geringe overeindhoudkracht, instelbaar tussen 0,8 en 20 gram, wordt geleverd door een trekveer met mooie lineaire karakteristiek (post 4 in *figuur 5*) waarvan de spanning instelbaar is. De meetarm is verder met een relatief stijve drukveer aan een pick-up arm gekoppeld.

Om de geringe overeindhoudkracht goed reproduceerbaar te kunnen instellen en ten behoeve van de gevoeligheid van de meting, moeten de lagers van zowel meetarm als pick-up arm zo goed mogelijk vrij zijn van wrijving, in het bijzonder stilstaande (begin) wrijving. Na ampele overweging van diverse varianten, onder andere saffierlagersteentjes, is uiteindelijk gekozen voor kleine RMB-taplagers.

De pick-up rust op het membraan van een microfoon. Deze is voorzien van een, niet standaard, Melinex membraanfolie - 75 μm dik - ten behoeve van een grotere vervormbaarheid gepaard gaande met voldoende robuustheid. Door aan de microfoon een signaal van bijvoorbeeld 1 kHz toe te voeren, dus deze als een soort miniluidspreker te gebruiken, wordt in de pick-up een elektrisch signaal opgewekt waarvan de sterkte afhankelijk is van de druk van de pick-up op het membraan. Wanneer dit signaal een van te voren bepaalde (kleine) waarde overschrijdt, wordt de motor bekrachtigd en de slede (omhoog) verplaatst. Daarbij wordt de druk van de pick-up gereduceerd tot de nulindicator weer het normale signaal afgeeft. Tevens is de overeindhoudkracht weer op de ingestelde waarde teruggebracht.

Bij het verplaatsen van de slede geeft de encoder een hoek-verdraaiingssignaal dat een maat is voor die verplaatsing. De encoder heeft een verdeling in 500 stappen per omwenteling. Hij bevat twee stel LED's en fotodiodes, zodat bij draaiing

twee vierkantsgolfsignalen worden gegenereerd die 90° in fase verschillen. Hieruit is ook de draairichting te bepalen en dus of van groei sprake is.

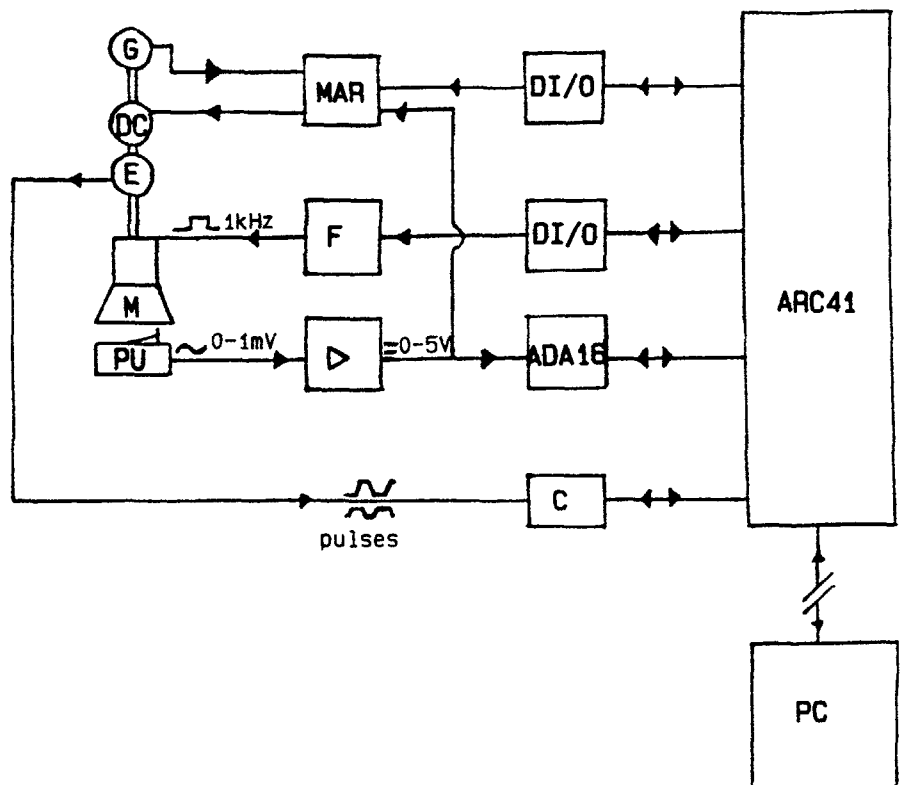
Na de noodzakelijke signaalbewerking door de microprocessor levert dit de meting van de groei. De nauwkeurigheid daarvan wordt, behalve door de encoderverdeling, mede bepaald door de spoed van de schroefspil. Deze bedraagt bij de huidige uitvoering ca. 1 μm . De nauwkeurigheid wordt ook beïnvloed door de eventuele mate van "overshoot" bij het verplaatsen van de zwevende nulindicator. Dit wordt bepaald door de overbrenging van de reductiekast - bij de huidige uitvoering 1:10 - en de drempelwaarde van de motorspanning waarbij deze wordt uitgeschakeld. Die drempelwaarde wordt bepaald door de signaalspanning die door de pick-up wordt afgegeven. De "overshoot" kan nog verder worden verbeterd indien een overbrenging van 1:20 en een andere, aangepaste drempelwaarde voor de motorvoedingsspanning worden gekozen.

Besturing en signaalverwerking

Voor de besturing, de meting van de groei en de opslag van de gegevens, wordt gebruik gemaakt van een microprocessor (Arcom, op basis van een ARC41, van Tekelec Airtronic). Zie blok-schema *figuur 6*.

Voor de microprocessor is een speciaal programma geschreven waarmee de cyclustijden voor de groeiemeting en de belichting kunnen worden geregeld. De groeiemeting wordt met een korte cyclustijd uitgevoerd, dat wil zeggen dat elke paar seconden of eenmaal per seconde de microfoon van signaal voorzien wordt en het in de pick-up gegenereerde signaal wordt verwerkt tot al dan niet verstellen (verplaatsen) van de zwevende nulindicator.

Het hoekverdraaiingssignaal van de encoder, een maat voor de groei, wordt door de microprocessor verwerkt doorgegeven aan een PC (Personal Computer), waar de gegevens worden opgeslagen en verder verwerkt.



Figuur 6 Blokschema van besturing en groeiemeting met behulp van een microprocessor:

E	encoder;	M	membraan;
C	teller;	PU	pick-up element;
G	tachogenerator;	DI/O	digitale input/output;
DC	motor;	ADA16	analoog/digitaal convertor;
MAR	motorvoedingsversterker;	▷	signaalversterker.
F	signaalgenerator;		

Ook het tijdstip van de belichtingscyclus wordt geregistreerd. Aldus kan de, meestal enigszins vertraagde, groeireactie onder invloed van die belichting worden vastgesteld.

Uitvoering en componenten

Voor de uitvoering van de constructie zijn diverse commercieel verkrijgbare, beproefde componenten gebruikt; zie de bijschriften bij de illustraties

De manier waarop dit is gedaan getuigt van vindingrijkheid van de constructeur. Het resultaat voldoet aan de in de inleiding geformuleerde desiderata.

De constructeur had daarvoor veel medewerking van onder andere:

- B & O Nederland voor de pick-up die onder zeer gunstige voorwaarden ter beschikking werd gesteld, en
- Elmech (Hilversum) die in goed overleg de slede met spil en de aandrijving met DC-motor, tacho, planetaire

vertraging en optische encoder leverde.

Voorts van de TFDL van de LU Wageningen, met name de heer van Ginkel, voor de bouw van de meetstatieven.

De voor het functioneren essentiële elektronica en besturing werd verzorgd door R. Bouma, elektronicus van de afd. Elektronica van de PFO der LU Wageningen. Ook interessant is hoe ook hier weer gebruik wordt gemaakt van een microprocessor en een PC.

Kortom: een interessant voorbeeld van maatwerk voor een specifieke opgave.

Naschrift

Het concept van de zwevende nul is ook geschikt voor andere applicaties waar een zeer kleine verplaatsing zeer nauwkeurig gemeten moet worden, bijvoorbeeld ten behoeve van positionering. Afhankelijk van de eigenschappen van de componenten is een reproduceerbare

meting in het submicron gebied haalbaar.

De zwevende nul zelf kan als lineaire verplaatsingsopnemer voor een bereik van max. 1 mm met hoge resolutie gebruikt worden.

Literatuur

[1] "Mutants as an aid to the study of higher plant photomorpho-genesis", Proefschrift ter verkrijging van de graad van Doctor in de Landbouwwetenschappen, door Paulien Adamse, november 1988

[2] LU-onderzoek naar werking fytochroom Instrument meet de kleinste groei in plant; **Biovisie**, vakblad voor biologen, jaargang 69, nr 2, januari 1989 (Stam Tijdschriften bv)

[3] Nieuws uit Wageningen, 5 januari 1989; Lichtsignalen sturen ontwikkeling van plant - instrument registreert acute veranderingen in groeisnelheid

* Bovenstaand artikel werd samengesteld door ir M Breuning uit de beschikbaar gestelde informatie

Vermoeiingsresponsie van gehard staal

Op **woensdag 6 maart 1991** organiseert de Sectie Metalen van de Bond voor Materialenkennis een studiedag in het Congresgebouw IAC te Wageningen met als thema bovengenoemd onderwerp.

Cyclisch-wisselende mechanische belasting veroorzaakt veranderingen in de eigenschappen van gehard staal. Deze veranderingen manifesteren zich in drie fasen.

De eerste fase is de zogenaamde "shake-down"-fase, die direct bij de eerste lastwisselingen de processen van micro-plastische vervorming, versteviging en herverdeling van restspanningen omvat. Vervolgens treedt een fase op van schijnbare stabiliteit, die na enige tijd overgaat in de fase van accumulatie van micro-plastische deformatie. Aangenomen wordt dat de laatste overgang is gemarkeerd door het afnemen van het weerstandsvermogen tegen micro-plastische deformatie. De afname zal zich eerst zeer lokaal manifesteren gezien de sterke heterogeniteit in de microstructuur van gehard staal. Het aantal lastwisselingen dat geaccumuleerd kan worden voordat de overgang van de tweede naar de derde fase wordt bereikt, blijkt in een aantal onderzochte gevallen gecorreleerd te zijn met de levensduur. Bij het voorspellen van de levensduur is het dan ook van be-

lang inzicht te hebben in de ontwikkeling van deze "veroudering" onder condities van dynamische belasting.

Gedurende de "shake-down"-fase wordt de staalmatrix inhomogeen geconditioneerd, hetgeen wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van vele inhomogeniteiten, zoals niet-metallische insluitels en carbide clusters. Deze werken als lokale spanningsconcentraties. Bekend is, dat reeds bij de eerste belastingcyclus rondom deze inhomogeniteiten drastische veranderingen optreden. In extreme gevallen ontstaan al direct microscheuren. Verstevingseffecten in de lokale matrix en gunstige restspanningsverdeling rondom deze gebieden compenseren meestal de hoge piekspanningen. Hierdoor ontstaat in deze gebieden weer een "elastische" belastingscyclus, althans in die gevallen waarbij de lokale belastingsamplitude onder de "shake-down"-limiet ligt.

Gesteld wordt, dat verdere scheurbreiding en nieuwe scheurnitiatie pas zal optreden als de weerstand tegen micro-plastische deformatie afneemt. Het is waarschijnlijk dat de quasi-stabiele fase bepaald is door de thermodynamische stabiliteit van de geharde staal-matrix. De verhouding tussen belasting, belastingfrequentie en temperatuur, en die stabiliteit bepaald dan het aantal lastwis-

selingen voordat "veroudering" zal optreden. Als dit het geval is, luidt dat het einde in van de incubatietijd na "shake-down", hetgeen zich later kan manifesteren in een vermoeiingsbreuk. Om de lengte van deze incubatietijd te voorspellen moet de materiaalresponsie bekend zijn.

Experimenteel is voor een aantal staal-soorten via de methode van de thermometrie op eenvoudige wijze aangetoond bij welke belasting micro-plastische deformatie zal gaan optreden. Een verandering in de energie-dissipatie is een goede indicatie voor het verloop van processen die zich op zeer kleine schaal manifesteren. Aangetoond is dat de spanningswaarde, waarbij voor het eerst micro-plastische deformatie optreedt, overeenkomt met de spanningswaarde van de vermoeiingsgrens, verkregen uit Wohler-tests. Voorts is aangetoond dat de responsie bij gelijke spanningsamplitude afhankelijk is van de wijze waarop de belasting wordt aangebracht.

In een zestal voordrachten zal het onderzoek op dit gebied worden toegelicht.

Nadere inlichtingen kunnen worden verkregen bij het bureau van de Bond voor Materialenkennis, Postbus 390, 3330 AJ Zwijndrecht, telefoon: 078-192655.