

XI.

OVER DE OORZAKEN TOT ONREGELMATIGE TIJDSAANWIJZING

DER

UURWERKEN,

DOOR

F. C. DE JONG.

De tijdsaanwijzing der tot burgerlijk gebruik ingerigte uurwerken is niet altoos juist. Bij meest al die werktuigen worden van tijd tot tijd afwijkingen en onregelmatigheden waargenomen, wanneer men hun gang vergelijkt met dien van een astronomisch uurwerk, of hun, met inachtneming der daarbij behoorende berekeningen, toetst aan zon- of sterretijd.

De oorzaken, die tot deze afwijkingen en onregelmatigheden aanleiding geven, zijn velen en van verscheiden' aard; zij zijn echter, behalve aan hen die ze ambtshalve behooren te weten, doorgaans aan weinigen bekend. Deze onbekendheid met hetgeen de tijdsaanwijzing der uurwerken stoort, heeft ten gevolge, dat deze storingen dikwerf op verkeerde rekening gesteld worden, en men, met het oog op de samenstelling zelve, de gevorderde juistheid overdrijft.

Het gebeurt immers niet zelden dat bij een gewoon uurwerk een verschil van drie minuten per week als eene groote onjuistheid wordt aangemerkt. Eene eenvoudige berekening toont echter aan, dat dit slechts $\frac{1}{3360}$ van den tijd bedraagt, die in zeven dagen gemeten is, zoodat, wordt de uurwerkmaker belast om eene zoo geringe afwijking te verbeteren, dit kleine verschil over iedere beweging van den regelaar des uurwerks moet verdeeld worden.

In een van de meest gunstige gevallen, dat is, wanneer het naar de beste regels der kunst zaamgestelde en met de meest mogelijke zuiverheid afgewerkte uurwerk, een' sekondeslinger tot regelaar heeft, dan moet de verbetering van $\frac{1}{3360}$ van den in zeven dagen gemeten tijd over 604 800 slingeringen worden verdeeld, en wanneer het een gewoon zakuurwerk betreft, over 3 024 000 balansbewegingen, derhalve op iedere beweging het hieraan toekomend deel, en wel naarmate dit noodig blijkt, door versnelling of vertraging.

Deze cijfers, die door ieder gemakkelijk zijn te controleren, bewijzen, dat een verschil van drie minuten per week eene zoo groote onjuistheid niet is als men zich voorstelt. Inderdaad geloover wij dat het moeilijk zoude zijn een ander werktuig aan te wijzen hetwelk, na, even als een uurwerk, geheel aan zichzelf overgelaten zeven dagen en nachten gewerkt te hebben, eene zoo kleine afwijking van de berekende werking aantoon. Toch hebben voornamelijk uurwerkmakers het nog verder gebragt, want er kunnen uurwerken gemaakt worden, waarbij het verschil slechts $\frac{1}{100}$ van het bovengenoemde bedraagt, zoodat dit zich tot tiende deelen eener sekonde in de 24 uren bepaalt. Deze soort uurwerken worden echter zeldzaam tot burgerlijke tijdsbepaling gebruikt, doch zijn voor sterrekundigen en zeevaarders onmisbaar. De zoo volmaakt mogelijke inrigting, de veelvuldige proeven en waarnemingen, enz., die er vereischt worden, om die groote naauwkeurigheid te verkrijgen, voeren den prijs van zoodanig werktuig tot eene hoogte die geen particulier besteden wil.

Uit dit laatste vloeit van zelve voort, dat men zich over het algemeen van uurwerken bedient, wier samenstelling minder volmaakt is, en waarmede, wijl daaraan minder zorg werd besteed, derhalve eene zoo groote naauwkeurigheid onmogelijk kan verkregen worden.

Zal men er ooit toe geraken, met minder opoffering van moeite en tijd, geheel juiste, of bijna geheel juiste uurwerken te vervaardigen? Onmogelijk mag men zulk een verlangen in onzen tijd niet noemen. Doch het mededeelen der voornaamste oorzaken die de tijdsaanwijzing der uurwerken onregelmatig maken, zullen ons leeren dat hier het bereiken der volmaaktheid met schier onoverkomelijke hinderpalen te worstelen heeft.

De oorzaken waardoor de tijdsaanwijzing der uurwerken niet voortdurend juist of regelmatig gegeven wordt, zijn, voor zoo verre het de samenstelling zelve betreft, van tweeërlei aard; het zijn òf fouten door gebrekkige constructie te weeg gebragt, òf zij worden door veranderingen in de natuurlijke toestanden veroorzaakt. Hierbij kunnen gevoegd worden de fouten voortspruitende door ondoelmatig gebruik, welke veeltijds die, welke in de constructie van het uurwerk zijn gelegen, verre overtreffen.

Alvorens over te gaan tot het uiteenzetten der oorzaken die de tijdsaanwijzing onregelmatig doen worden, is het vooraf noodig, in het kort mede te deelen waaruit een uurwerk is zamengesteld.

Een uurwerk, onverschillig of het bestemd is altijd een vasten stand te behouden of in den zak gedragen te worden, bestaat uit

vier hoofdafdeelingen. welke de uurwerkmaker onder de volgende benamingen kent: den regelaar, den gang, het raderwerk en de beweegkracht. De eerstgenoemde afdeeling of de regelaar is het eigenlijk tijdmetend werktuig. Konden zijne bewegingen en het aantoonen der veelvouden daarvan zonder verdere zamenstelling verkregen worden, dan ware het niet zoo moeilijk eene zeer juiste werktuigelijke tijdsaanwijzing tot stand te brengen. Dit is echter niet mogelijk. Wanneer de enkele regelaar in beweging wordt gesteld, dan doen de wrijving om zijn as of ophangpunt, de tegenstand der lucht, en wanneer het een slinger is, bovendien de aantrekkingskracht der aarde hem vroeger of later — dit is van de speciale inrigting van den regelaar afhankelijk — weder den stand van rust innemen.

Om de bewegingen van den regelaar te doen voortduren, is het dus noodig een middel aan te wenden dat het verlies aan beweging herstelt. Hiertoe is de tweede afdeeling of de gang in een uurwerk aanwezig. Deze gang staat te dien einde onmiddellijk met den regelaar in verbinding. Bij eenige uurwerken is die verbinding doorlopend, bij anderen tusschenpoozend. Deze laatste bepaling betreft het meest de zakuurwerken, die doorgaans ook naar de soort van gang waarmede zij voorzien zijn, hun naam voor den handel ontvangen.

De gang van een uurwerk wordt door de derde afdeeling of het raderwerk in werking gebragt. Het raderwerk heeft daarenboven ten doel de beweegkracht te verlengen en tevens de gelegenheid aan te bieden om op het uurwerk wijzers te plaatsen, ten einde de veelvouden der door den regelaar gemeten tijd zichtbaar te maken. Eindelijk wordt in de vierde afdeeling of de beweegkracht het middel gevonden om alle deelen van het uurwerk in beweging te brengen en deze bewegingen gedurende een vooraf bepaalden tijd te onderhouden of doen voortduren.

Iedere afdeeling van een uurwerk stelt, om tot een doorlopend juiste en regelmatige tijdsaanwijzing te kunnen leiden, hare bijzondere eischen. Ieder bewegend deel kan, wanneer het niet naar behooren is ingerigt of geplaatst, een storenden invloed op de tijdsbepaling uitoefenen. In het niet vervullen der door alle deelen van een uurwerk gestelde eischen zijn derhalve de oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing gelegen, en het nagaan der voornaamsten dier bepalingen moet dus van zelve leiden tot het vinden van datgene wat de tijdsaanwijzing der uurwerken onnaauwkeurig doet worden.

Als het belangrijkste deel van een uurwerk komen met betrekking tot een doorlopend juiste tijdsaanwijzing, de eischen door den

regelaar gesteld, het eerst in aanmerking. De regelaar van een uurwerk kan zijn een slinger of een balans. De slinger is de eenvoudigste regelaar en tevens die, welke het gemakkelijkst tot het doel leidt. De algemeene aanwending is hiervoor het beste bewijs. Zijn vorm is aan ieder bekend. De lengte van een slinger wordt in de praktijk gerekend van het ophangpunt tot het midden van den bol of lens en bepaalt het aantal slingeringen in een gegeven tijd. De voorwaarden om laatstgezegde uitkomst te verkrijgen, zijn: den slinger zoo vrij mogelijk te doen slingeren en zich in zeer kleine bogen te laten bewegen. Daarenboven moet men de noodige voorzorgen nemen, om den nadeeligen invloed, welke de temperatuursveranderingen op dit werktuig hebben, onschadelijk te maken.

Een uurwerkslinger zoo op te hangen dat hij vrij kan slingeren, schijnt zeer gemakkelijk, doch met het oog op eene juiste tijdmaat, is dit inderdaad zoo gemakkelijk niet. Toen HUYGENS voor het eerst den slinger aan de uurwerken toevoegde, schijnt het ophangen aan een koord reeds in gebruik gekomen te zijn. Bij uurwerken van dat tijdperk, die nog voorzien waren met de door HUYGENS uitgevonden cycloïde — die, als niet aan het doel beantwoordende, reeds spoedig na de uitvinding niet meer werden toegepast — hangen meestal de slingers aan een koord. Bij het gebruiken van eenigzins zware slingers kan deze wijze om den slinger op te hangen niet toegepast worden, omdat het gevaar van te breken dan te groot wordt.

Dit laatste werd reeds korten tijd na de uitvinding der slingeruurwerken ingezien, want, in een uurwerk, gemaakt door DIRK JACOBSZON VOLGER, te Wormerveer, ten jare 1693, vonden wij reeds eene andere wijze om den slinger op te hangen toegepast. Bij dat uurwerk hing de slinger aan een mesvormig stuk ijzer, dat met zijn scherpen kant in eene daaronder aangebragte groef steunde. Deze verbetering werd veelvuldig toegepast en langen tijd beschouwd als voldoende om eene juiste tijdsaanwijzing te verkrijgen.

Dat het ophangen van den slinger reeds een belangrijk punt van overweging uitmaakt, blijkt niet alleen uit de zoo even opgegeven verschillende vormen — waarvan nog verschillende afwijkingen bestaan — maar nog veel meer uit de onderscheidene meeningen omtrent deze aangelegenheid. Het ophangen aan een koord is wegens de ligte breekbaarheid daarvan reeds tot enge grenzen beperkt en behoort bij een goed uurwerk niet toegepast te worden. De invloed van den verschillenden graad van vochtigheid in de lucht kan reeds eene merkbare onnaauwkeurigheid in de tijdsaanwijzing der uurwerken

veroorzaken, daar door deze inwerking het koord gedurig verlengd en verkort wordt. Ook kan het vochtig worden van het koord een schadelijk wringen van den slinger te weeg brengen. De laatstgenoemde schadelijke invloed kan weggenomen worden wanneer men den slinger op een mes hangt. Dit zal wel de reden geweest zijn waarom dit reeds zoo spoedig na de uitvinding werd toegepast. In het begin dezer eeuw, en nog iets later, hingen bij de beste uurwerken meestal de slingers op een mes, eene manier die thans veel minder gevolgd en meer en meer vervangen wordt door eene met het oog op de vrije beweging minder voordeelige wijze om den slinger op te hangen, namelijk het hangen aan eene stalen veer.

Het is belangrijk na te gaan, welke proeven en scherpzinnigheid er noodig waren om te beslissen hoe men den slinger moest ophangen om er een voortdurend den tijd juist metend werktuig van te maken. De beroemde Fransche uurwerkmaker BERTHOUD, die zich door verschillende uitstekende vindingen met betrekking tot het voortbrengen eener juiste werktuigelijke tijdsbepaling een welverdienden roem bezorgde, trachtte dit door proeven te bepalen. Daarbij bediende hij zich van een slinger van $21\frac{1}{4}$ pond zwaarte. Deze slinger werd afwisselend op een mes en aan eene veer opgehangen, in die manier, dat bij iedere proef de slinger eene zelfde lengte had. Zijne bewerking der proeven was als volgt:

De geheel vrij hangende slinger werd vijf graden uit den stand der rust ter zijde gedrukt en dan los gelaten, zoodat in den aanvang de totale hoog tien graden mat. Daarop liet BERTHOUD den slinger aan zich zelven over, en wachtte bij de eerste proef (waarbij het op een mes hangen was toegepast) het oogenblik af waarin de slingeringboog tot op $\frac{1}{4}$ graad verminderd was; hij vond dit 24 uren 13 minuten na het in beweging stellen. Dezelfde slinger werd vervolgens aan eene veer opgehangen en op gelijke wijze als bij de vorige proef behandeld. En nu vond BERTHOUD, dat de slingeringboog tot $\frac{1}{4}$ graad verminderd was na verloop van nog geen volle 21 uren. Er was dus tusschen beide proeven een verschil van $3\frac{1}{4}$ uur, en wel ten voordeele van het hangen des slingers op een mes.

De uitslag dezer proeven leidde BERTHOUD tot de volgende opmerkingen: "Het is ondoelmatig om den slinger aan eene veer op te hangen. Ook schijnt het, onafhankelijk van deze proeven, dikwijls te kunnen gebeuren, dat het bewegingspunt der veer, het ophangmiddenpunt, naar de meerdere of mindere veerkrachtigheid veranderlijk wordt. Bovendien kan het verlengen of verkorten der veer

door compensatie der stangen niet opgeheven worden, omdat de temperatuur daarop ongelijkmatig veel spoediger werkt dan op de stangen. Ook kan de veer ligt breken, is moeilijk te herstellen en met het oog op het vervoeren van een uurwerk ongeschikt. Eindelijk heeft deze wijze van ophangen nog het nadeel, dat door den invloed der zwaarte van den bol, wanneer de warmte de veer heeft uitgezet of verlengd, de koude haar niet weder zooveel kan zamenbrengen of verkorten en dus het uurwerk van tijd tot tijd langzamer moet gaan."

Deze gevolgtrekkingen en opmerkingen hebben zich later in de praktijk niet bevestigd. Daarentegen komt het meermalen voor, dat de messen, waaraan in uurwerken de slingers hangen, daaruit moeten verwijderd worden, niet alleen omdat zij tot onregelmatige tijdsaanwijzing aanleiding geven, maar ook omdat zij de oorzaak zijn, dat die uurwerken, door verandering in de snede van het mes of in de groef, geheel stil blijven staan. Nu kan dit wel is waar aan eene niet voldoende bewerking worden toegeschreven, doch dat dit niet alleen de oorzaak kan zijn, blijkt uit hetgeen dienaangaande door Dr. SCHREIBER, in zijn *Handbuch der Uhrmacherkunst*, wordt medegedeeld en aan de schriften van een beroemd sterrekundige ontleend is. "Ridder VON BESSEL, te Koningsbergen, heeft in zijne klassieke verhandeling over de lengte van den eenvoudigen sekondeslinger, door de uitgebreidste waarnemingen en de scherpzinnigste onderzoekingen, niet alleen bewezen, dat ook bij het met de meest mogelijke naauwkeurigheid vervaardigde mes toch de slingertijd eens slingers veranderen kan, maar ook dat zich de vorm van het mes, zelfs bij de meest voorzigtige behandeling in het observatorium der sterrewacht, door een slechts gedurende korten tijd voortgezet gebruik *gedurig verandert*. De ridder heeft te gelijker tijd den invloed van het koord en van de veer (waaraan de slinger gehangen is) met alle mogelijke analitische naauwkeurigheid onderzocht en bekend gemaakt, en daardoor bewezen, dat eene doelmatige en juiste aanwending van eene veer alleen de onveranderlijkheid zijner slingeringen ten volle waarborgt."

Het medegedeelde ten aanzien der verschillende wijzen om de uurwerkslingers op te hangen, geeft slechts een gering denkbeeld van al hetgeen gedaan is alleen om den slinger zoo in een uurwerk op te hangen, dat deze den wijzer voortdurend den juisten tijd doet vermelden. Het aangevoerde zal evenwel voldoende wezen om aan te toonen dat hierin reeds oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing kunnen aanwezig zijn. En daar bij de meeste uurwerken de beste

wijze om den slinger op te hangen wordt nagelaten, zal het geen betoog behoeven, dat hierdoor reeds de onregelmatige tijdsaanwijzing van vele uurwerken verklaard wordt. Daarenboven hebben de later door VILLAUMY genomen proeven geleerd, dat het nog niet voldoende is de slingers op de beste wijze op te hangen, maar dat het om eene zeer juiste tijdmaat te verkrijgen, noodig is, dat er eene bepaalde verhouding besta tusschen de lengte, breedte en sterkte van de veer en de massa van den slingerbol.

Wanneer aan al de voorwaarden is voldaan, die het doelmatig op-hangen van den slinger vereischt, dan kunnen in zijne inrigting of vorm weder andere oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing gelegen zijn. Professor OERSTEDT was de eerste die de opmerking maakte, dat de verschillende digtheid van de lucht een storenden invloed hebben kan op de slingertijden van de regelaars voor uurwerken. Dit werd ook door Ridder VON BESSEL bevestigd, en op de volgende wijze duidelijk gemaakt. Hij zegt: „Stellen wij de zwaarte van den slinger = 1, nemen wij de digtheid der lucht Δ en die van den slinger Δ' , dan wordt de slingeringskracht = $1 - \frac{\Delta}{\Delta'}$. Daar nu Δ veranderlijk is,

volgt hieruit dat de slingeringstijden die van de slingerkracht af-hangen, veranderlijk zijn. Derhalve is het duidelijk, dat de ver-schillende digtheid van de lucht den duur der slingerings wijzigt, en dus denzelfden slinger daardoor eene veranderlijke tijdmaat zal leveren.“ „Deze oorzaak tot onregelmatige tijdsaanwijzing,” zegt JÜRGENSEN, „schijnt bijna onoverwinnelijk,” doch dezelfde geleerde gaf ook het middel aan de hand, waardoor de hieruit ontstane fout kan worden verbeterd en opgeheven. Hij bragt deze verbetering in verband met de compensatie tot het onschadelijk maken der tempe-ratuursveranderingen, die, even als de verschillende digtheid der lucht, ook storend op de juiste tijdsaanwijzing inwerken.

De veranderingen der temperatuur hebben invloed op het metaal, waarvan de slinger gemaakt is. Warmte doet het uitzetten — dat is den slinger verlengen — koude brengt het tegenovergestelde te weeg. Daar nu, zoo als reeds gezegd werd, de lengte van den slinger den duur der slingertijden bepaalt, is ook in de temperatuursveranderingen eene bron van voortdurende onregelmatige tijdmeting te vinden.

De storende invloed der temperatuursveranderingen op de tijdsbe-paling der uurwerken is veel belangrijker dan men zich veelal voor-stelt. Reeds vroeger werd in *de Volksvijt*, jaargang 1865, blz. 222, door den Heer Mr. J. A. VAN EIJK medegedeeld, dat een uurwerk

van de *beste soort*, doch waaruit het middel om den invloed der temperatuursveranderingen onschadelijk te maken, verwijderd was, bij een temperatuur van 99.3° FAHRENHEIT (34.4° CELSIUS) dagelijks $142.5''$, of 2 minuten $22\frac{1}{2}$ sekonde, naliep, maar bij eene temperatuur van 40.9° FAHRENHEIT (4.9° CELSIUS) dagelijks $225''$, of 3 minuten $45''$, te snel ging, en derhalve de beide uitersten een verschil van ruim 6 minuten *daags* in gang gaven. Deze proeven, welke genomen zijn met een uurwerk van veel latere constructie dan dat waarvan JÜRGENSEN spreekt, en welks verschil vroeger in dit tijdschrift werd opgegeven, als zijnde 5 minuten *per dag*, bij wisseling van zomer- tot winter-temperatuur, bevestigen ten volle de daar ter plaatse gemaakte bewering over de moeilijkheid tot het verkrijgen eener voortdurend juiste tijdsaanwijzing door uurwerken, wanneer ten aanzien van de temperatuursveranderingen in de uurwerken geene voorzorgen genomen zijn.

De temperatuursveranderingen binnen de gebouwen zijn dikwerf zeer groot. Wij namen in een vertrek, aan den openbaren weg, tegenover het zuidwesten gelegen, gedurende 1868 en het begin van 1869 eene temperatuur waar van 32 tot 88 graden FAHRENHEIT, dus een verschil van 56° FAHRENHEIT, dat is ongeveer 31° CELSIUS. Daar dusdanig verschil van temperatuur den duur van iedere slingerbeweging merkbaar verandert, is het ligt na te gaan dat hiervan onregelmatige tijdsaanwijzingen het onvermijdelijk gevolg zijn ¹. Daar nu in vertrekken die over het noordoosten of daaromtrent liggen, de temperatuursveranderingen minder groot zijn, is hieruit ligt te verklaren waarom verscheidene uurwerken, in hetzelfde gebouw geplaatst, uiteenlopende tijdsaanwijzingen zullen geven, al is het dat hunne inrigting geheel overeenstemt. Dit bewijst ook nog de mogelijkheid hoe door het verplaatsen van een uurwerk in een ander vertrek van hetzelfde gebouw een aanzienlijk verschil in de tijdsaanwijzing kan ontstaan.

Het zoude te ver leiden, ook de balans even breedvoerig te bespreken als den slinger. Voor het met deze mededeelingen beoogde doel zal het voldoende zijn op te merken dat de oorzaken die bij het gebruiken van een slinger als uurwerkregelaar tot onregelmatige

¹ Op den 7^{den} Junij 1869, ten 3 ure na den middag, wees de thermometer 83° FAHRENHEIT en den 8^{sten} Junij 58° ; dus in 24 uren een verschil van 25° FAHRENHEIT of ongeveer 14° CELSIUS. Dit verschil zoude, volgens bovenstaande proeven, in den tijd van twee achtereenvolgende dagen, reeds eene verandering van bijna 3 minuten in de tijdsaanwijzing kunnen te weeg brengen.

tijsdaanwijzing aanleiding geven, in veel ruimer mate bij het aanwenden eener balans bestaan. De onregelmatigheid, welke eene ondoelmatige wijze van ophangen bij den slinger te weeg brengt, wordt bij de balans nog grooter, omdat, wijl deze op twee aspunten draait, nog grooter veranderingen kunnen ontstaan. De tegenstand der lucht is bij de uurwerkbalans veel grooter dan bij den sekondeslinger, want in denzelfden tijd waarin de laatste eene ruimte van nagenoeg 6 Ned. duim doorloopt, kan dit voor de balans van 24 tot 36 Ned. duim bedragen. De inwerkingen der temperatuursveranderingen kunnen bij balansuurwerken veel grooter verschillen teweeg brengen dan bij die met een slinger, omdat deze ook bestemd zijn om in den zak gedragen, dus buitenshuis gebruikt te worden. Daarenboven heeft de temperatuur ook invloed op de spiraalveer, die door warmte verlengd en door koude verkort wordt, hetgeen niet alleen op hare lengte, maar ook op hare veerkracht invloed heeft en daardoor den duur der slingeringen wijzigt, want de lengte en sterkte der spiraalveer, in zekere verhouding tot de middellijn en de massa der balans, bepalen het getal slingeringen in een gegeven tijd.

Het is bij het aanwenden eener balans nog niet voldoende wanneer hare inrigting en bewerking den hoogsten graad van werktuigelijke volkomenheid bereikt heeft: vele proeven maken haar eerst tot een juist den tijd metenden uurwerkregelaar. Deze door vele moeite verkregen deugd wordt dikwijls in een enkel oogenblik vernietigd door onvoorzigtigheid van den gebruiker, die het door een ligten schok of stoot in een staat brengt waarin het onmogelijk eene regelmatige tijsdaanwijzing kan leveren ¹. Het zij met bescheidenheid gezegd, men beseft over het algemeen niet welke voorzigtige behandeling een uurwerk dat den tijd juist aanwijst, vordert om in dien staat te blijven. Men kan zich haast geen gevoeliger werktuig denken. Om voor dit beweren het bewijs te leveren, stippen wij aangaande de uurwerkregelaars nog aan, dat Ridder VON BESSEL voorschrijft, dat het, om den nadeeligen invloed der verschillende digtheid der lucht op den uurwerkslinger onschadelijk te maken, noodig is, deze zoodanig in te rigten dat hij voor iederen graad CELSIUS temperatuursverandering $\frac{1}{6400000}$ te zwak gecompenseerd moet zijn, omdat die nadeelige invloed met de temperatuursveranderingen zamenvalt. Een

¹ Het veelvuldig verplaatsen van uurwerken met slingers werkt mede zeer nadeelig op eene regelmatige tijsdaanwijzing en behoort uit dit oogpunt zooveel mogelijk vermeden te worden.

werktuig dat voor zulk eene kleine verbetering vatbaar moet zijn, mag toch wel gevoelig heeten.

Tot hetzelfde doel bepaalde JÜRGENSEN door proeven, dat bij de balans der chronometers het isochronismus der spiraalveer zoodanig moet worden ingerigt, dat, wanneer met een uitslagboog van 450 graden de chronometer den middelbaren tijd volgt, dezelfde chronometer, wanneer door vermindering van beweegkracht den slingerboog der balans tot 300 graden terugvalt, 5 tot 6 sekonden in de 24 uren versnellen moet. Dit zijn bepalingen die tot het verkrijgen eener doorlopend juiste tijdsaanwijzing moeten in acht genomen worden en daarom hier vermelding vorderen. Bij de tot burgerlijk gebruik ingerigte uurwerken is hiervan de toepassing niet mogelijk, omdat in het grootst gedeelte dier werktuigen geen middelen tot het onschadelijk maken der temperatuursveranderingen worden aangetroffen. Zelfs bij mogelijke aanwezigheid van compensatie, zouden de oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing door eene onvolmaakte zamenstelling van de overige deelen der werktuigen, het streven naar de grootst mogelijke juiste tijdsaanwijzing doelloos maken, gelijk wij zoo aanstonds zullen zien. Daardoor toch worden nog veel grootere fouten veroorzaakt dan die, welke de verschillende digtheid der lucht en temperatuursveranderingen te weeg brengen.

Behalve in den regelaar van een uurwerk, kunnen in de andere deelen daarvan oorzaken tot groote onregelmatigheid van de tijdsbepaling aanwezig zijn. Na den regelaar zelven komen de fouten die door den gang van een uurwerk in de tijdsaanwijzing worden te weeg gebracht het eerst in aanmerking, omdat de gang onmiddellijk met den regelaar in verbinding staat, en het doel van den gang is het verlies aan beweging van den regelaar te herstellen. De meest uitstekende kunstenaars op het gebied van uurwerkmaken hebben steeds hunne bijzondere aandacht op dit deel van een uurwerk tot verbetering der tijdsaanwijzing gevestigd gehad. De wijze waarop de uurwerkgang de bewegingen van den regelaar onderhoudt, is zeer verschillend. In het algemeen kan de werking van een uurwerkgang voorgesteld worden door het uitoefenen eener zeer ligte drukking van buiten af op den regelaar. Bij eenige uurwerken heeft gezegde drukking bij iedere beweging van den regelaar, bij anderen daarentegen met iedere dubbele beweging eenmaal plaats.

Het is bij het toepassen van een uurwerkgang niet onverschillig welke regelaar door dien gang in beweging gehouden moet worden, want om tot eene juiste tijdsaanwijzing te kunnen leiden stellen de

beide uurwerkregelaars verschillende voorwaarden. Wil men den slinger tot een juisten regelaar maken, dan moet de inrigting van den uurwerkgang van dien aard zijn, dat de totale slingerboog niet grooter dan hoogstens vijf graden wordt. Daarentegen zal de balans het best aan haar doel beantwoorden, indien zij met zoodanigen gang in verbinding wordt gesteld, dat een uitslagboog van 360 tot 550 graden wordt toegestaan.

Ten gevolge dezer uiteenlopende bepalingen is er geen deel van een uurwerk dat onder zooveel verschillende vormen voorkomt als de gang. Hieruit vloeit voort, dat niet alle gangen even doelmatic zijn, en daar alle soorten van gangen dagelijks in grooten getale gebruikt worden, ontstaan ook hierdoor verschillende oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing. Dit zal nog duidelijker worden door de volgende opmerkingen.

Behalve dat men voor de beide verschillende uurwerkregelaars afzonderlijke gangen moet ontwerpen, bestaan voor iederen regelaar vier hoofdsorten: de terugwerkende gang, de rustende gang, de vrije gang en de vrije gang met standvastige kracht. Naar volgorde heeft de eerstgenoemde, met betrekking tot eene naauwkeurige tijdsaanwijzing, de minste, en de laatste de meeste waarde, wanneer deze aan hetgeen zijn naam aanduidt, ten volle beantwoordt. Daar dit echter niet praktisch bewezen is, kan men aannemen dat de verschillende uurwerkgangen zich tot drie hoofdsorten bepalen.

De meerdere of mindere waarde van een uurwerkgang, met betrekking tot eene doorlopende juiste tijdsaanwijzing, is voornamelijk daarin gelegen, dat het onderhouden der bewegingen van den uurwerkregelaar — dit geldt zoowel voor den slinger als voor de balans — op zoodanige wijze geschiedt, dat zijne bewegingen in het geheel niet of zoo min mogelijk gehinderd worden, opdat de wetten van den vrijen val die het aantal bewegingen van den slinger in een gegeven tijd bepalen, van kracht blijven, derhalve de regelaar zelfstandig den tijd meet en niet als een hefboom door den druk van den gang heên en weêr wordt geworpen.

Deze laatste bepalingen maken dat de terugwerkende gangen voor de regelmatige tijdsaanwijzing de minste waarde hebben. Bij de terugwerkende gangen geschiedt den stoot of impulsie tot het onderhouden der bewegingen van den regelaar aanvankelijk tegen de rigting waarin zich op dat oogenblik de regelaar beweegt en belemmert deze hierdoor in zijne vrije beweging, te meer daar deze tegenstand gelijk is aan de kracht, noodig om zijne beweging te onderhouden. Eerst bij

de daarop volgende beweging van den regelaar in de rigting der kracht van den gang, kan de laatste tot het onderhoud der bewegingen van den regelaar werkzaam zijn, door eene zeer kleine vermeerdering van druk op den regelaar verkregen, doordien op dat oogenblik de krachtsaanwending op een iets langeren hefboom plaats vindt.

Bij de terugwerkende gangen moet dien ten gevolge de kracht waarmede zij de bewegingen des regelaars onderhouden, veel grooter zijn dan het verlies aan beweging bij iedere slingering, omdat een groot gedeelte dier kracht door de terugwerking ongebruikt blijft en zelfs met het oog op eene juiste tijdmaat schadelijk werkt. Om dien ten gevolge het uurwerk niet te colossaal te maken, is men genoodzaakt zich van ligte regelaars te bedienen. Hierdoor wordt de schadelijke invloed der wrijvingen en den tegenstand der lucht belangrijk vermeerderd en de tijdsbepaling der op deze manier toegeruste uurwerken zeer afhankelijk van de verdere samenstelling van het geheele werktuig.

Er is nog eene andere reden die de terugwerkende gangen zeer weinig geschikt maakt om tot eene doorlopend juiste tijdmaat te kunnen leiden. Uit den aard dezer inrigtingen kan, vooral bij de oudste soorten, wanneer de slinger als regelaar zal worden aangewend, de absolute hoog niet klein genoeg vallen, zoodat geringe afwijkingen in de slingerwijdten onschadelijk worden, hetgeen zooals hiervoor (blz. 142) gezegd werd, slechts dan het geval is wanneer de totale hoog niet grooter dan hoogstens vijf graden meet. Daarentegen kan bij het gebruiken der balans als regelaar, de inrigting van den terugwerkenden gang niet zoo getroffen worden, dat de uitgestrektheid der slingerbogen van 360 tot 550 graden klimt, hetgeen tot het verkrijgen eener doorlopende juiste tijdsaanwijzing voor balansuurwerken gevorderd wordt. Immers eene uitgebreidheid van 180 graden als maximum, kan bij deze gangen niet overschreden worden.

Het moet onze verwondering opwekken, dat, niettegenstaande al de onregelmatigheden, welke de toepassing der terugwerkende gangen op de juiste tijdsaanwijzing veroorzaken, deze toch gedurende zes en eene halve eeuw uitsluitend in de uurwerken werden gebruikt en zelfs tot heden nog dagelijks bij duizendtallen in werking zijn. Dit is grootendeels daaraan toe te schrijven, dat vroeger de regelaars zelve in zoodanigen onvolmaakt staat waren, dat het verkrijgen eener juiste tijdsaanwijzing toch onmogelijk was. Eerst nadat door HUYGENS de regelaars zelve in voldoende staat waren gebragt, of ten minste de middelen daartoe waren aangegeven om hen tot den

tijd juist metende werktuigen in te rigten, was het, dat de uurwerk-gangen eene aan deze voorwaarde voldoende inrigting ontvingen. Dit althaus mag gerekend worden in vele opzigten te bestaan bij de rustende gangen, die de tweede hoofdsoort uitmaken.

Bij de rustende gangen heeft over het algemeen de stoot van den gang geen zoo schadelijken invloed op de bewegingen van den regelaar als bij den terugwerkende, en wordt de kracht of drukking tot het onderhouden der slingerbewegingen alleen in de rigting der beweging aangewend. De slingeruurwerken, welke met gangen dezer soort zijn voorzien, geven bijna allen eene zeer voldoende tijdsaanwijzing, wanneer de regelaar zelf aan de gestelde eischen beantwoorde. De astronomische slingeruurwerken zijn in den regel voorzien met de beste inrigting dezer soort, die volgens de uitvinding van GRAHAM.

Het enige nadeel, dat den rustenden gang kan ten laste gelegd worden, is dit, dat hij ten gevolge van de doorlopende verbinding met den regelaar, deze eenigzins in zijne beweging belemmert door de wrijving die gedurende de rust plaats vindt. Deze wrijvings-tegenstand is evenredig aan de kracht, welke de slingeren moet onderhouden; doch daar de onderhoudende kracht hier veel geringer kan zijn dan bij het aanwenden van een terugwerkenden gang, is zijn schadelijke invloed veel minder, en kan, vooral bij slingeruurwerken, tot een zeer gering bedrag worden teruggebracht. Daarenboven wordt bij goede uurwerken gewoonlijk die wrijving veel verminderd door het aanwenden van robijnen of andere steensoorten op die plaatsen van den gang waar zulks met voordeel kan geschieden, en door het aanbrengen van olie tusschen de wrijvende deelen. Het mag echter niet onopgemerkt blijven, dat de olie, die bij deze gangen tot vermindering der wrijving wordt aangewend, niet altijd eene gelijke maat van vloeibaarheid heeft, en dit veeltijds bij belangrijke temperatuursveranderingen aanleiding tot zeer aanmerkelijke onregelmatigheid in de tijdsaanwijzing kan geven. Evenzoo bewerkt de vermenging dier olie met de stofdeeltjes, welke van tijd tot tijd in het uurwerk dringen, ook eenige onregelmatigheid, zoodat de uurwerken die met een rustenden gang zijn voorzien, al meer en meer na gaan loopen, terwijl daarentegen bij die met terugwerkende gangen eene voortdurende versnelling plaats vindt.

Dit zijn de uit den aard der gangen voortspruitende onregelmatigheden; doch het kan ook gebeuren dat de afwijkingen juist in tegenovergestelden zin uitvallen. In dat geval vloeijen die onregelmatigheden niet uit de soort van den gang voort, maar ontstaan uit

eene ondoelmatige inrigting of plaatsing der overige deelen van het desbetreffende uurwerk.

Niet alleen bij slingeruurwerken, maar ook bij die welke eene balans tot regelaar hebben, worden de rustende gangen met voordeel aangewend. De cilinder- en duplexgang, die men thans bij balansuurwerken veelvuldig in gebruik heeft, voldoen bij goede uitvoering met betrekking tot eene juiste tijdsaanwijzing, aan billijk gestelde eischen. De uitgestrektheid der slingerbogen van de balans kan daarbij tot eene voldoende grootheid opgevoerd worden, om den nadeeligen invloed op te heffen, welke het in den zak dragen en ook het paardrijden op den juisten tijd der tijdsaanwijzing van uurwerken hebben. Met deze soort gangen is het dus mogelijk eene zeer voldoende tijdsbepaling te verkrijgen; doch de straks genoemde wrijvingstegenstand, — welke zich vooral bij het aanwenden der balans als de oorzaak van het verstoren eener juiste tijdsaanwijzing doet kennen, ten gevolge der grootere ruimte die hij doorloopt — gaf aanleiding dat men, vooral bij balansuurwerken, nog verbetering zocht, en hiertoe de derde hoofdsoort van gangen, die welke gewoonlijk den vrijen gang genoemd wordt, in praktijk bragt.

De aanwending der vrije gangen geschiedt bijna uitsluitend in balansuurwerken, want deze worden zelden bij slingeruurwerken toegepast, ofschoon men ook voor deze eenige inrigtingen tot deze soort behorende, heeft ontworpen. Het voordeel, dat de vrije gangen tegenover de reeds genoemden hebben, bestaat daarin, dat de beweging van den regelaar nagenoeg ongestoord blijft, daar de verbinding dezer soort gangen met den regelaar slechts bij tusschenpoozen plaats vindt. De drukking tot het onderhouden der bewegingen geschiedt, even als bij den rustenden gang, in de rigting der beweging van den regelaar; en uit dien hoofde zullen uurwerken die met een vrijen gang voorzien zijn, de meeste geschiktheid hebben om eene doorlopende juiste tijdsaanwijzing te leveren, namelijk wanneer de afwerking en plaatsing der verschillende deelen van den gang met de vereischte zorg is geschied.

De vrije gangen zijn echter meer zamengesteld dan de vroeger genoemden. Deze meerdere zamenstelling heeft, vooral bij niet voldoende bewerking, het nadeel dat er meer oorzaken tot storing voorhanden zijn. Dit komt vooral bij een zakuurwerk in aanmerking, zoodat bij onvoorzigtige behandeling, een met den besten vrijen gang voorzien uurwerk ligt in het ongereede kan raken en zijne juiste tijdsaanwijzing gestoord worden. Uit dit oogpunt verdient een uurwerk met

rustenden gang de voorkeur, omdat deze minder zamengesteld, en vooral de cilindergang meer vastheid of sterkte heeft.

Even als bij den vrijen gang is het voor een groot gedeelte aan de meerdere samenstelling te wijten dat de vrije gang met standvastige kracht, die de vierde hoofdsoort uitmaakt, tot heden geen bijval heeft kunnen vinden, ofschoon in hare kiem de meest mogelijke juiste tijdsaanwijzing wordt gevonden.

Uit de voorgaande, zeer oppervlakkige beschouwingen der verschillende uurwerkgangen blijkt, dat de uiteenlopende inrigtingen een ongelijk schadelijken invloed op de tijdsbepaling hebben, en laten zich weder vele onregelmatigheden, die bij de tijdsaanwijzing der uurwerken voorkomen, ligt verklaren. Evenwel is het nog niet voldoende dat de regelaar en de gang van een uurwerk onder de meest gunstige omstandigheden zijn aangewend. Wanneer de derde hoofdafdeeling of het raderwerk niet op voldoende wijze is bewerkt, dan brengt ook dit weder nieuwe oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing bij, zooals uit het volgende zal blijken.

De voorwaarden waaraan het raderwerk van een uurwerk moet voldoen, komen overeen met die voor de raderwerken van andere werktuigen. Het aantal tanden der raderen en rondsels regelt zich naar het getal omwentelingen die zij moeten maken, en hiernaar verhouden zich ook hunne betrekkelijke middellijnen. Aan deze voorwaarden wordt over het algemeen bij de uurwerken vrij wel voldaan. Wanneer het somtijds gebeurt dat met het aantal tanden van een of ander rad eene vergissing heeft plaats gehad, dan komt de hierdoor ontstane fout spoedig genoeg aan den dag, om tot geen onregelmatigheid aanleiding te geven. Ook de onderlinge verhoudingen der middellijnen tot elkander zijn over het algemeen met voldoende naauwkeurigheid gekozen. Twee zaken zijn het voornamelijk die door het raderwerk de tijdsaanwijzing onregelmatig doen worden. Deze zijn: de onjuiste plaatsing der verschillende stukken, en vooral de slordige bewerking.

De onjuiste plaatsing der verschillende raderen kan in vele gevallen door den uurwerkmaker bij het eerste repasseren of nawerking van het nog geheel nieuwe uurwerk verbeterd worden. Wanneer echter in zoodanig uurwerk de tappen der assen in steenen gaten loopen, wordt deze verbetering moeilijker en eischt het vernieuwen van het niet op den juiste stand geplaatste rad of rondsels. Deze wijze van handelen wordt veeltijds niet gevolgd, ja zelfs in de fabrieken vergenoegt men zich meermalen met deze fout te veranderen, door

eenvoudig het rad, welks ingrijping te ondiep staat, met den hamer uit te rekken. Deze uitrekking verandert den vorm der tanden, welke volgens de theorie een gedeelte moet zijn eener epicycloïdische lijn, opdat de wrijving tusschen rad en rondsel eene rollende zij en geen slepende ¹. Het gevolg dezer ondoelmatige verandering der ingrijping is, dat er eene voortdurend in waarde veranderende wrijving wordt geboren, die de beweegkracht met ongelijke krachtsaanwending doet werkzaam zijn en eene bron ontstaan van voortdurend veranderende tijdsaanwijzing.

Bij laatstgezegde oorzaak tot onregelmatige tijdsaanwijzing der uurwerken voor zooverre dit het raderwerk betreft, sluit zich aan de slordige afwerking. Door slordige afwerking wordt niet alleen bedoeld dat raderen en rondsels niet behoorlijk op hunne aspunten zijn gecentreerd (hetgeen reeds spoedig de geheele stilstand der uurwerken veroorzaakt), maar bovenal, dat de desbetreffende deelen, behalve den juisten vorm en geschikte grondstoffen, ook niet de behoorlijke hardheid en fijne polijsting hebben. De ruwheid der wrijvende deelen bevordert in groote mate de afslijting. De hierdoor losgemaakt wordende metaaldeeltjes vermengen zich met de olie die in het uurwerk op geschikte plaatsen tot vermindering der wrijving wordt aangewend, verdikt die vloeistof (het zoogenoemd vuil worden), vermeerderd daardoor de wrijvingen en geeft alweder aanleiding tot veranderlijke krachtsuitoefening van den gang op den regelaar, en bij gevolg tot onjuiste tijdmeting. Deze oorzaak tot onregelmatige tijdsaanwijzing is daarom van veel beteekenis, omdat in het verminderen der verschillende bewerkingen der uurwerkdeelen veeltijds de meerdere goedkoope vervaardiging gezocht worden, doch hetgeen dan alleen ten koste van de deugdzaamheid en met opoffering der juiste tijdsaanwijzing geschiedt.

Met het oog op het raderwerk kan ook de vorm van het uurwerk bijzondere aanleiding tot onregelmatige tijdsaanwijzing geven. Dit is bijzonder het geval wanneer de uurwerken te vlak of te plat worden ingerigt. Het komt meermalen voor, dat een uurwerk van overigens onberispelijke uitvoering en goede verhouding alleen daarom ligt tot onregelmatige tijdsaanwijzing overhelt, omdat het minste stofdeeltje dat toevallig in het uurwerk geraakt, zich wegens de beperkte ruimte ligtelijk zoo tusschen twee raderen of tusschen een rad en de stelling-

¹ Dit geldt voor vlakke of spoor-raderen. De tanden voor kroonraderen moeten naar eene cycloïdische lijn gevormd worden.

plaat inwerkt, dat hierdoor wrijving genoeg wordt te weeg gebragt om aan de beweegkracht een aanzienlijken tegenstand te bieden, deze aanmerkelijk te verzwakken en de tijdsaanwijzing van zulk een uurwerk, ofschoon te voren volkomen voldoende, minder juist te doen worden. Komt er toevallig een weinig olie op dezelfde wijze in aanraking met twee raderen of de stellingplaat, dan brengt dit dezelfde fout te weeg. Ook het verminderen der middellijn van een uurwerk tot beneden zekere grenzen, is voor de juiste tijdsaanwijzing ongunstig, want in dat geval wordt de beweegkracht te gering om de voortdurend vermeerderende wrijvingen, ten gevolge van het dik worden der olie, te overwinnen. Dergelijke uurwerken kunnen uit dien hoofde minder lang eene juiste tijdsaanwijzing leveren dan die van grootere afmetingen.

De aangaande het raderwerk van een uurwerk gemaakte opmerkingen, met betrekking op den invloed welke eene onvoldoende inrigting op de tijdsaanwijzing der uurwerken kan hebben, zouden nog met velen vermeerderd kunnen worden, vooral wanneer men bedenkt dat door de wijzigingen, welke de beweegkracht, ten gevolge van ondoelmatig ingerigte raderwerken, ondergaat, de druk van den gang op den regelaar zeer ongelijkmatig wordt, want de gang wordt door het raderwerk in beweging gebragt.

Volgens de in deze beschouwingen aangenomen orde zouden nu nog de oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing der uurwerken, voor zoo verre deze door de beweegkracht zelve ontstaan, besproken moeten worden. Om verschillende redenen kunnen wij dienaangaande kort zijn.

Niettegenstaande alle beweegkrachten kunnen dienstbaar gemaakt worden om een juist den tijd aanwijzend uurwerk in beweging te houden, zijn er slechts twee die bij deze mededeelingen in aanmerking komen. Zij zijn: de kracht, te weeg gebragt door een afdalend gewigt, en die door gespannen veeren. De electro-magnetische kracht zou als derde kunnen aangemerkt worden, doch daar de tot heden meest gevolgde toepassing dezer kracht op de tijdsbepaling van dien aard is, dat de beweegkracht zelve op de regelmatige tijdsaanwijzing geen invloed heeft, kunnen wij ons tot het gewigt en de veer bepalen.

De bij het gebruiken van een afdalend gewigt als beweegkracht in acht te nemen voorzorgen zijn zoo eenvoudig, dat het zeer weinig kennis van zaken verraadt, wanneer hierdoor groote onregelmatigheden in de tijdsaanwijzing der uurwerken worden in het leven geroepen. Over het algemeen bepaalt men het noodige gewigt in

verband met de overige zamenstelling van een uurwerk en houdt het voor een goed teeken als een uurwerk met betrekkelijk weinig gewigt behoorlijk aan den gang kan gehouden worden. Hierbij zij men echter indachtig aan hetgeen zoo even met betrekking tot den terugwerkenden gang en den rustenden gang is gezegd, namelijk, dat een overigens in alle deelen geheel overeenstemmend uurwerk met minder gewigt zal kunnen gedreven worden wanneer het met een rustenden gang is voorzien, dan wanneer het een terugwerkenden gang heeft.

De onregelmatigheden, die door het gebruiken van een veer als beweegkracht in een uurwerk kunnen ontstaan, werden reeds vroeger in *de Volksvlijt*, jaarg. 1867, blz. 290, besproken, weshalve wij over dit punt de nalezing van dat stukje aanbevelen. Wij vertrouwen dat dit voldoende zal zijn om de overtuiging te vestigen, dat ook daarin oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing kunnen gelegen zijn.

Nu zoude men, na het overwegen der hiervoren medegedeelde oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing van de tot burgerlijk gebruik ingerigte uurwerken, ligt tot ons de aanmerking kunnen rigten: "ik heb een uurwerk in het gebruik, en dat loopt altijd precies, hoe is dat mogelijk?" Deze mogelijkheid is gelegen in de *toevallige compensatie* der verschillende oorzaken tot onregelmatige tijdsaanwijzing. Om dit met een voorbeeld op te helderen, bepalen wij ons tot een gewoon uurwerk, met een terugwerkenden gang voorzien, waarbij geene voorzorgen tot opheffing van den schadelijken invloed der temperatuursveranderingen zijn genomen, maar dat doorlopend juist den tijd aanwijst.

Volgens de theorie moet dat uurwerk, wanneer de temperatuur rijst, achtergaan, en wanneer zij daalt, omgekeerd, voorloopen. Nu wordt echter bij het rijzen der temperatuur de olie in dat uurwerk vloeibaarder, waardoor de tegenstandswrijvingen verminderen. Een kleiner gedeelte der beweegkracht gaat dien ten gevolge verloren, de druk van den gang op den regelaar uitgeoefend, wordt versterkt, en de beweging van dezen laatste juist zooveel versneld als hij door het rijzen der temperatuur wordt vertraagd. Dat bij het dalen der temperatuur de onregelmatigheden zich ook in omgekeerden zin kunnen neutraliseren, is ligt na te gaan. Zoo kunnen er ook bij een uurwerk met rustenden en andere gangen verschillende oorzaken tot toevallige compensatie der onregelmatige tijdsaanwijzing nagespoord worden. Dat zij moeten bestaan, is boven allen twijfel verheven, omdat anders het verkrijgen van eene doorlopende juiste tijdsaanwijzing door voor

burgerlijk gebruik ingerigte uurwerken eene volstrekte onmogelijkheid zoude wezen, en deze nog verre beneden de juistheid moeten blijven die thans bereikt wordt. De toevallige compensatie is in geen geval te berekenen.

Ten slotte zij opgemerkt, dat in de voorgaande schets alleen wordt gesproken over uurwerken van het meest eenvoudige zamenstel. Het daaraan toevoegen van slagwerk, van aanwijzingen van dag, datum, den stand der maan, enz., brengt zeer dikwijls nieuwe oorzaken tot onregelmatige tijdsbepaling mede.

Het door een uurwerk in beweging brengen van mechanieke beeldjes en andere figuren is voor een uurwerk bijna altijd schadelijk.

AMSTERDAM, 1869.

