

# Enkele ontwikkelingen uit de geschiedenis van de Regeltechniek

Globaal zijn in de ontwikkeling van de Regeltechniek drie perioden te onderscheiden:

## Oudheid tot middeleeuwen

De aanpak is sterk intuïtief, er bestaat (nog) geen theorie en de praktische toepasbaarheid speelt geen belangrijke rol.

## Ca. 1600 - 1850

De technische toepasbaarheid begint langzamerhand een steeds grotere rol te spelen (Drebbel, Huygens, Watt). De verklaring



PROF. IR. R. G. BOITEN  
Hoogleraar Laboratorium voor  
Werktuigkundige Meet- en  
Regeltechniek  
TH Delft

is grotendeels beschijvend, een (mathematische) theorie ontbreekt.

## Ca. 1850 - heden

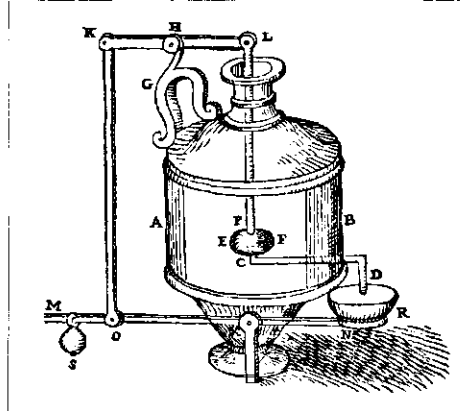
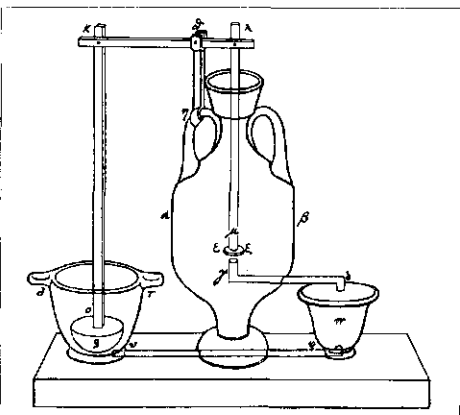
De theorie wordt steeds meer ontwikkeld en de toepassingen worden hierop gebaseerd. De computer begint een steeds grotere rol te spelen (Maxwell, Routh, Stodola, Wiener).

Het kenmerkende van een gesloten regelkring is dat van een systeem de werkelijke toestand wordt vergeleken met de gewenste toestand en dat bij een verschil een opdracht wordt geformuleerd volgens welke op het systeem wordt ingegrepen, zodanig dat het verschil tussen werkelijke en gewenste toestand wordt verkleind.

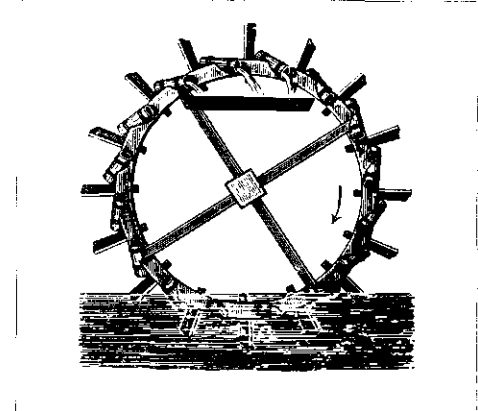
In de oudheid hebben water en lucht bij de ontworpen regelsystemen de grootste rol gespeeld.

Heron van Alexandrië ontwierp niveauregelingen met behulp van een vlotter

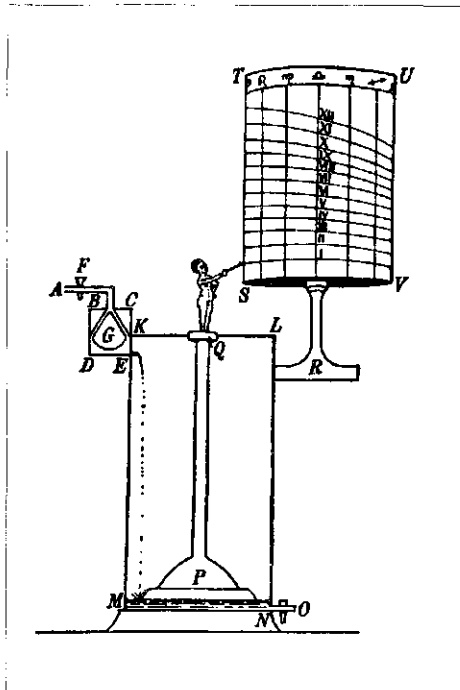
Afb. 1 - Niveauregeling met vlotter (Heron).



Afb. 2 - Niveauregeling door gewicht (Heron).



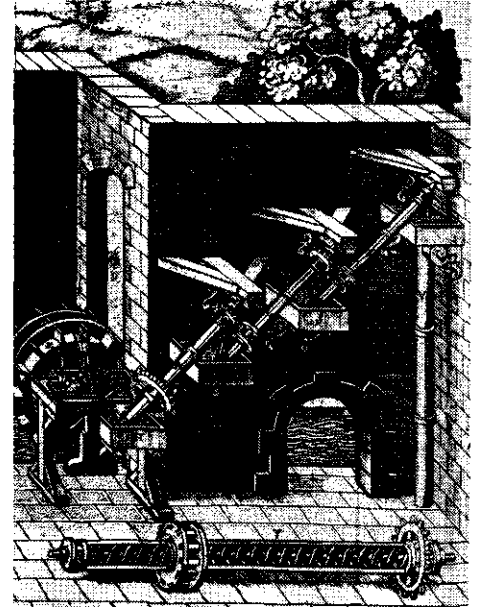
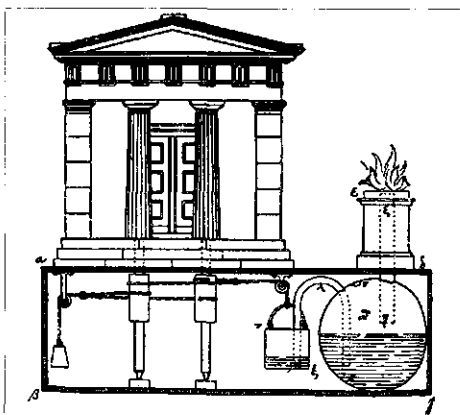
Afb. 5 - Chinees waterrad (ca. 2200 v. Chr.)



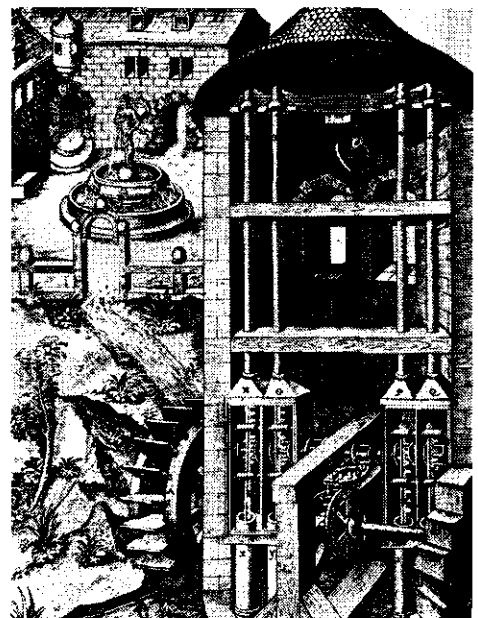
Afb. 3 - Wateruurwerk van Ktesibios.

Afb. 7 - Waterleiding systeem, bestaande uit zuigpompompen, aangedreven door een waterrad, een watertoren en een buizennet, Duitsland, ca. 1575.

Afb. 4 - Bal van Heron, hier voor de regeling van een tempeldeur.



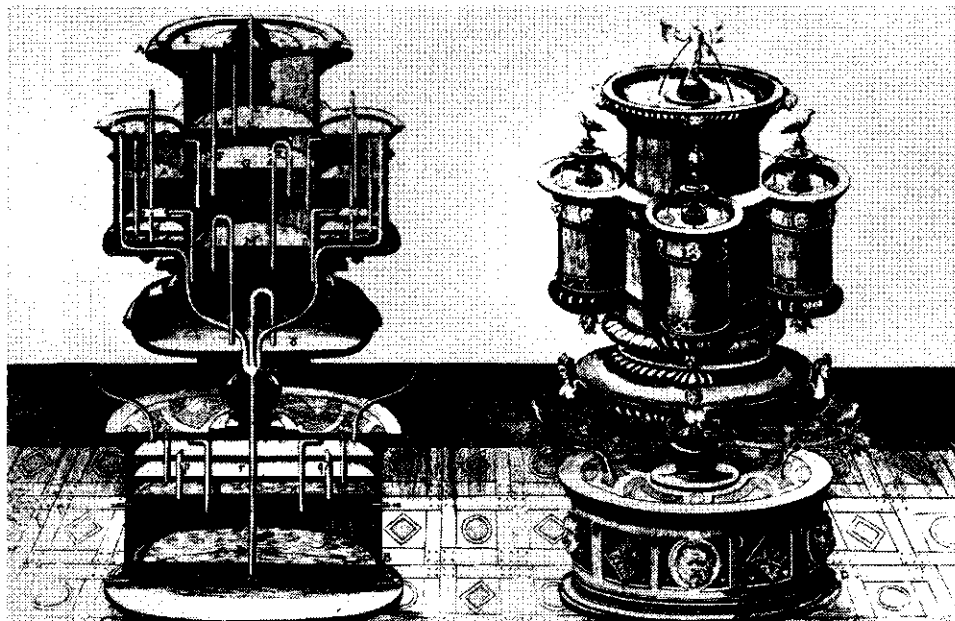
Afb. 6 - Waterpomp met drie spiralen van Archimedes, in serie, aangedreven door een waterrad, Augsburg, ca. 1550.



(afb. 1) of door het eigen gewicht (afb. 2). De vlotter is het meetorgaan, het via een hefboomstelsel aangedreven afsluitplaatje het regelorgaan. Een belangrijke toepassing vormden de zogenaamde wateruurwerken (afb. 3). Via de vlotter P wordt de hoogte van het water in het vat L omgezet in een aanwijzing van de tijd door de stok van het mannetje. Het probleem is om een constante watertoevoer te bewerkstelligen. De hoeveelheid water die per seconde uit een uitstroombopening onder in een vat stroomt, wordt bepaald door de hoogte van het niveau in dit vat. Wordt dit niveau constant gehouden, dan is de uitstroomsnelheid constant.

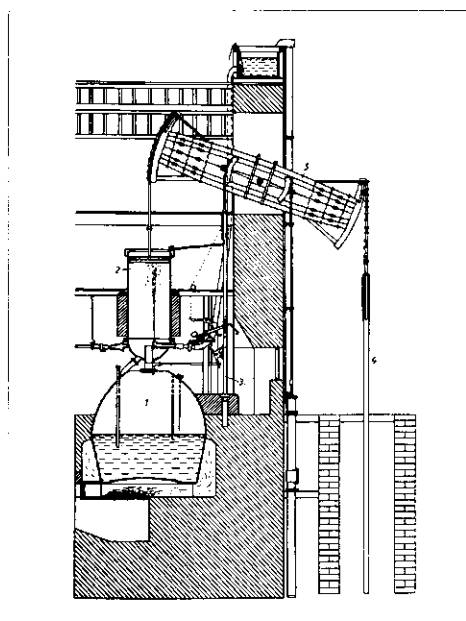
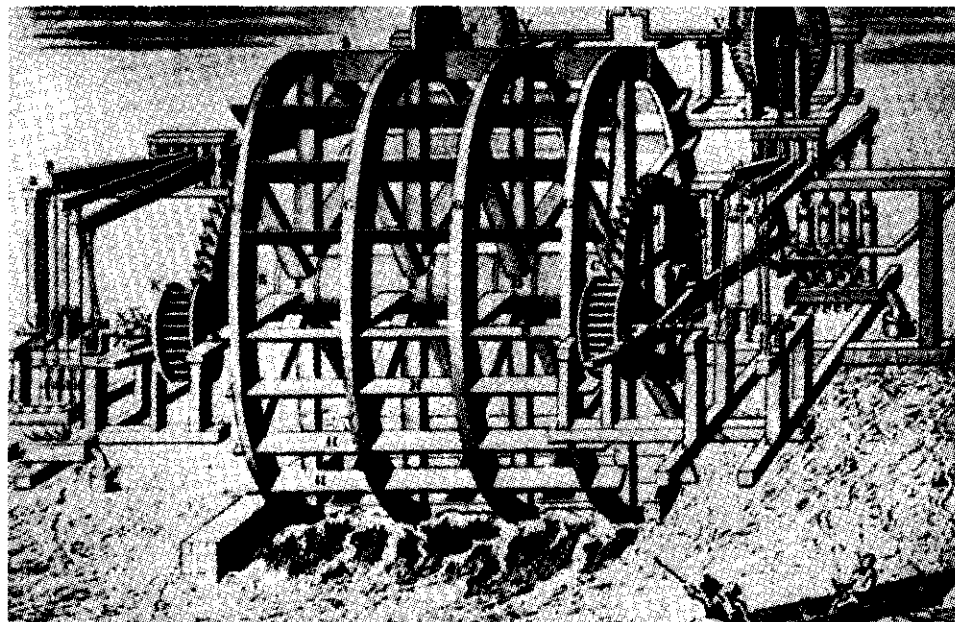
De kegelvormige vlotter G ('meta cava') is zowel meetorgaan als corrigerend orgaan en regelt de watertoevoer via A in het vat. (Opm.: Let op het mechanisme van de draaibare urentrommel, waarmee afhankelijk van de maand het tijdsinterval tussen zonsopgang en -ondergang in 12 gelijke delen werd verdeeld; dit in verband met een rechtvaardig uurloon). Bekend is ook de bal van Heron (afb. 4). De bal is gedeeltelijk gevuld met water, waarboven zich lucht bevindt. Als de lucht door verwarming uitzet, wordt een deel van het water via een hevel overgeperst in een ander vat en omgekeerd. Door de verandering van het gewicht in het andere vat

wordt in dit geval de stand van de tempeldeuren beïnvloed; hoe groter het altaarvuur, hoe verder de deuren opengaan. De Romeinen hebben bij hun aquaducten soms gebruik gemaakt van de vlotterkegel volgens afb. 3. Om een constante stroom water in een aquaduct te realiseren, bevond zich tussen het hoofdreservoir en het aquaduct een tussenreservoir, waarin het niveau met een (eikenhouten) kegelvlotter (ca. 3 m doorsnede) constant werd gehouden. Bij een waterleidingsysteem behoren pompen. Afb. 5 toont een pomp uit het oude China, gebaseerd op een waterrad. Een belangrijke ontdekking was de spiraal van



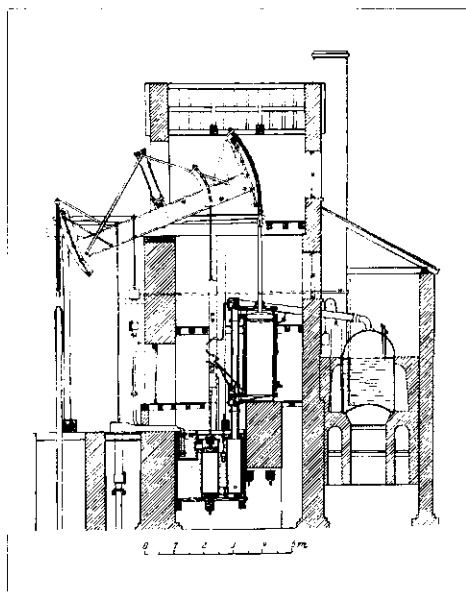
Afb. 8 - Automaton van de Duc de Medici (ca. 1600) gebaseerd op hevels en vlotters.

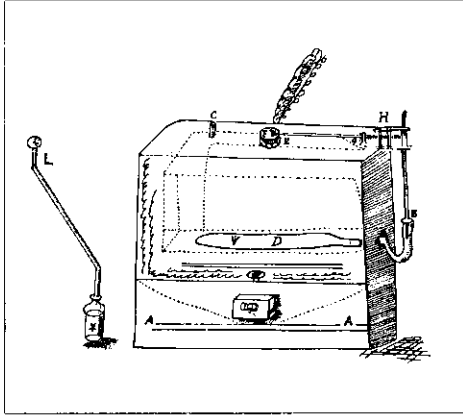
Afb. 9 - Waterrad-pompinstallatie in de Theems (1730).



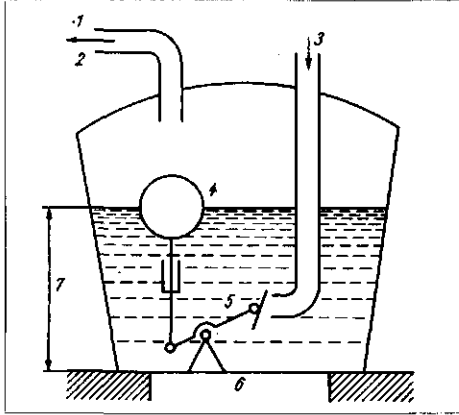
Afb. 10 - Atmosferische Stoommachine van Smeaton (1772).

Afb. 11 - Condensator stoommachine van Watt (1788).

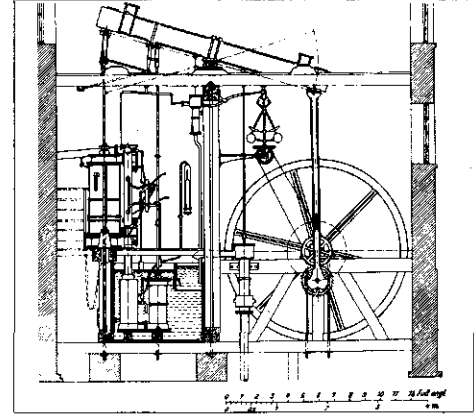




Afb. 12 - Broedstroof van Drebbel (ca. 1620).



Afb. 13 - Niveauregeling in een stoomketel volgens Polsunov (ca. 1765).

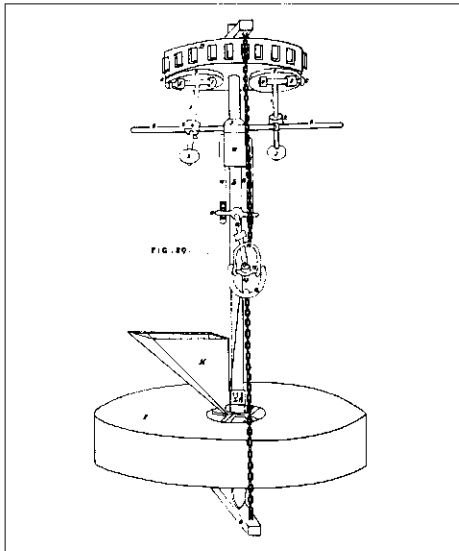


Afb. 16 - Stoommachine van Watt met centrifugaalregulateur (ca. 1790).

Archimedes. Afb. 6 geeft een beeld van een toepassing in een kasteel of vesting in Augsburg (1550) voor de watervoorziening. De uitvinding van de zuigerspomp is van later datum. Afb. 7 toont een compleet waterleidingsysteem, zoals in gebruik in Zuid-Duitsland in het midden van de 16e eeuw. Opvallend is, dat met de aanleg van waterleidingnetten, men ook direct inzag, dat het onder druk staande water arbeid kon verrichten, zodat een waterleidingnet ook een energienet vormde. Gebruik (of misbruik) werd hiervan gemaakt door de zogenoemde automata, fontein en figuren (afb. 8). Ten behoeve van de Londense waterleiding werd bij London Bridge in 1730 in de Theems een waterrad-pompinstallatie gebouwd volgens afb. 9. Nog groter was die bij Marly in de Seine, ten behoeve van het paleis te Versailles (1685, vermogen ca. 80 pk).

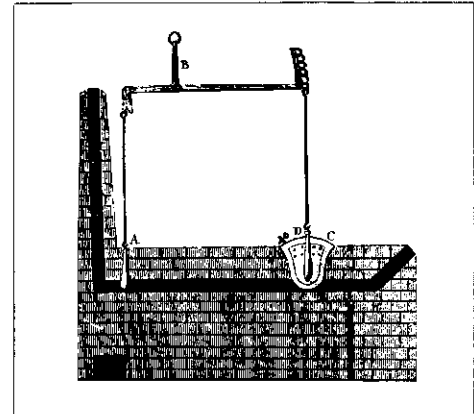
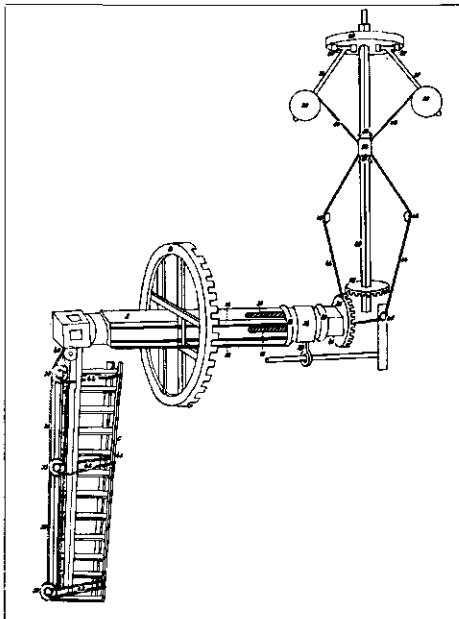
Grotere vermogens moesten komen van de stoommachine. Een van de oudste goedwerkende was de atmosferische stoommachine van Smeaton, waarbij de condensatie van stoom plaats vond door het inspuiten van water (afb. 10). Deze machines werden gebruikt voor het droogpompen van kolenmijnen. De grootste verbetering door James Watt bestond in het scheiden van de condensatie van de werkcylinder door het aanbrengen van een aparte condensor (afb. 11).

Aan deze machines ontbreekt nog iedere regeling. Drebbel heeft na de oudheid het eerst een bewuste regeling ontworpen (afb. 12). Het betreft hier een broedstroof, die werd verwarmd door de rookgassen van smelende turf of houtskool. De blaas D met aangebouwde U-buis diende als opnamer. De U-buis was gevuld met een zware, moeilijk verdampende vloeistof, terwijl de blaas lucht bevatte. Bij verwarming zet de lucht uit, waardoor het niveau in de rechterpoot van de U-buis stijgt. In deze buis drijft de vlotter B, die via de

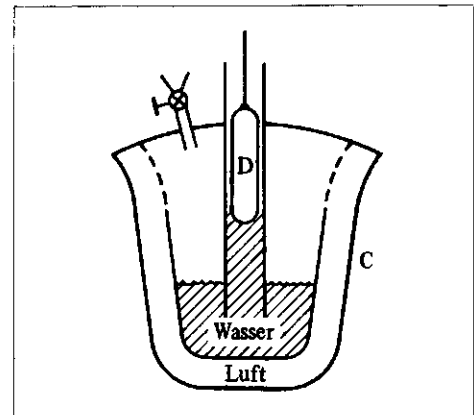


Afb. 14 - Centrifugaalregulateur van Mead (1787) voor de regeling van korenmolens.

Afb. 15 - Mead's regeling van de wieken van een windmolen.



Afb. 17 - Temperatuurregeling van Henry (1761).



Afb. 18 - Meetorgaan van Henry.

stang H de rookafvoer E min of meer kan afsluiten, waardoor de stroom van de hete rookgassen van de stoof geregeld werd. De oudste niveauregeling in een ketel is van Polsunov (afb. 13). Het is interessant het principe te vergelijken met afb. 1. In 1787 kreeg Thomas Mead een octrooi voor de toerentalregeling van korenmolens (afb. 14). Met behulp van centrifugaalgewichten werd het toerental constant gehouden door de afstand tussen de molenstenen te variëren. In hetzelfde patent werd ook een methode aangegeven om het effectief

oppervlak van de wieken te regelen als functie van het toerental (afb. 15). Hier is duidelijk de werking van de centrifugaalreguleur te zien, die afhankelijk van het toerental de klappen in de wieken verstelt. Deze reguleur werd door Watt overgenomen voor zijn stoommachine (afb. 16), zonder overigens licentie te nemen. Een temperatuurregelaar toont afb. 17 (Henry 1761), die veel is toegepast in Noord Amerika. Het principe lijkt veel op het apparaat van Drebbel (vgl. afb. 18 met afb. 12). Duidelijk zijn het uitzettende gas (lucht), de U-buis en de vlotter D te herkennen.

Uit het voorgaande blijkt dat alle essentiële componenten van een regelkring een grote ouderdom hebben en dat bij de tegenwoordige uitvoeringen alleen mechanisch verbeteringen en verfijningen zijn aangebracht. De bijdrage in de laatste halve eeuw bestond hoofdzakelijk uit een beter wiskundig inzicht en de daarmee mogelijke meer gecompliceerde regelingen.

