



**Hans Gijsbers**  
Molenaar-Instructeur  
Leumolen - Nunhem  
Grathemermolen - Grathem

[opleidingen.gvm@ limburgsemolens.nl](mailto:opleidingen.gvm@ limburgsemolens.nl)



# Waterraderen en turbines

- Lesstof:
- Hoofdstuk 4 - welke watermolentypes zijn er?
- Hoofdstuk 6 – Het gaande werk
- Hoofdstuk 6.2 - waterraderen
- Hoofdstuk 6.3 - verbeterde waterraderen
- Hoofdstuk 6.4 - turbines
- Hoofdstuk 7 - de Praktijk
- Hoofdstuk 7.3 - Periodieke controles
- Hoofdstuk 10 – Veiligheid
- Hoofdstuk 10.2.9 – het waterrad
- Grootste waterrad, 9,30 mtr, Opwettense molen Nuenen.
- Grootste turbine opstelling, 2x Francis turbine, ECI centrale Roermond





# Type watermolens



De Kilsdonkse Molen

- **Watermolen**
  - **Gelegen aan de oever van een beek.**
  - **Gebruik van verval**
- **Schipmolen**
  - **Gebouwd op schip in de rivier.**
  - **Gebruik van stroming van de rivier.**
- **Getijdenmolen**
  - **Gelegen op oever.**
  - **Gebruik van eb en vloed.**
- **Watervluchtmolen**
  - **Gelegen aan de oever van een beek**
  - **Aangedreven door water en wind.**

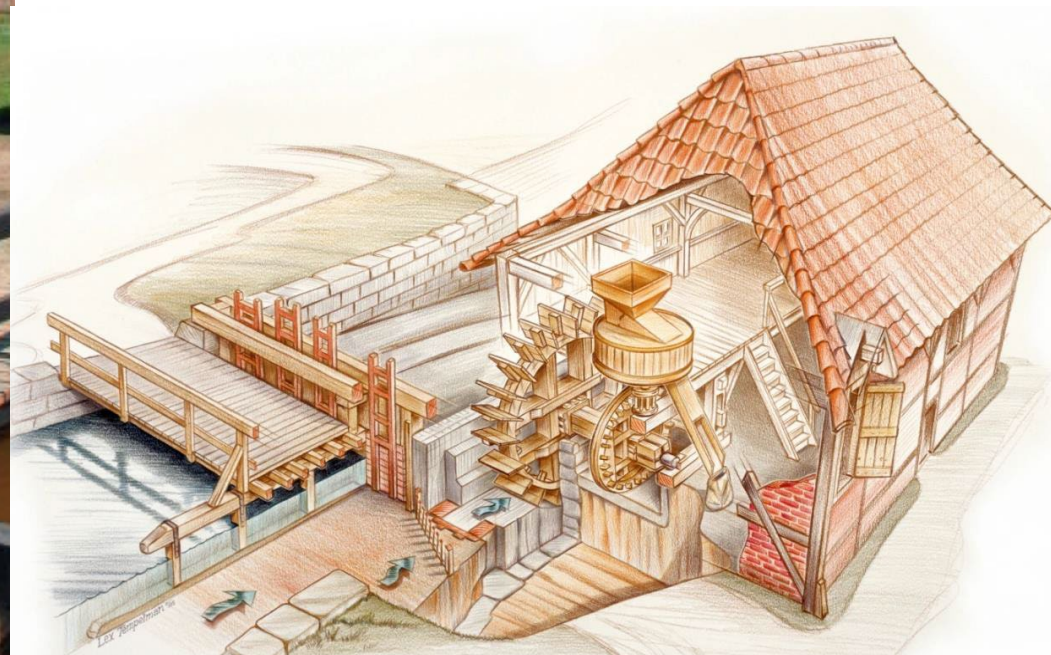


# Watermolen



## De Oelemeeule te Oele (Hengelo)

Naam	Oldemeule / Oelemeeule
Gebouwd	1690
Type	Watermolen





# Watermolen

## Dn Olliemolen Te Oploo

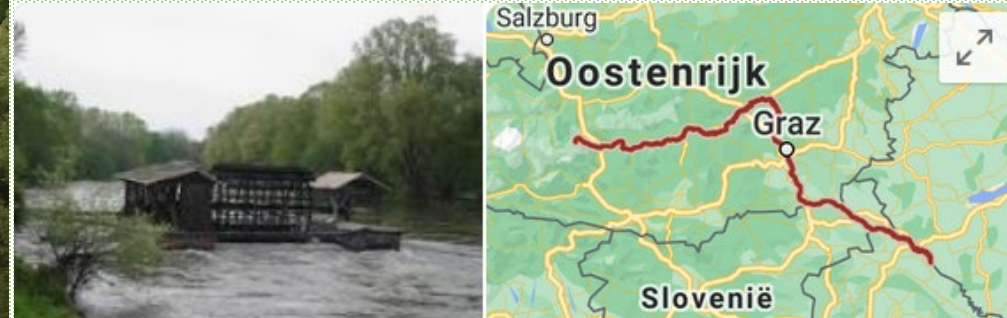




# Schipmolen



## Op de Mur in Oostenrijk



De Mur is een rivier in Oostenrijk, Slovenië, Kroatië en Hongarije. Hij kent zijn oorsprong in de Lungau in de Oostenrijkse deelstaat Salzburg, loopt als belangrijkste rivier door de deelstaat Stiermarken, ... [Wikipedia](#)

**Lengte:** 464 km

**Debiet:** 166 m<sup>3</sup>/s

**Bron:** Hohe Tauern

**Mondt uit in:** Drau

**Steden:** Graz, Gornja Radgona, Radenci

**Bruggen:** Zrinski Bridge



# Getijdemolen

**Eb**

**Vloed**

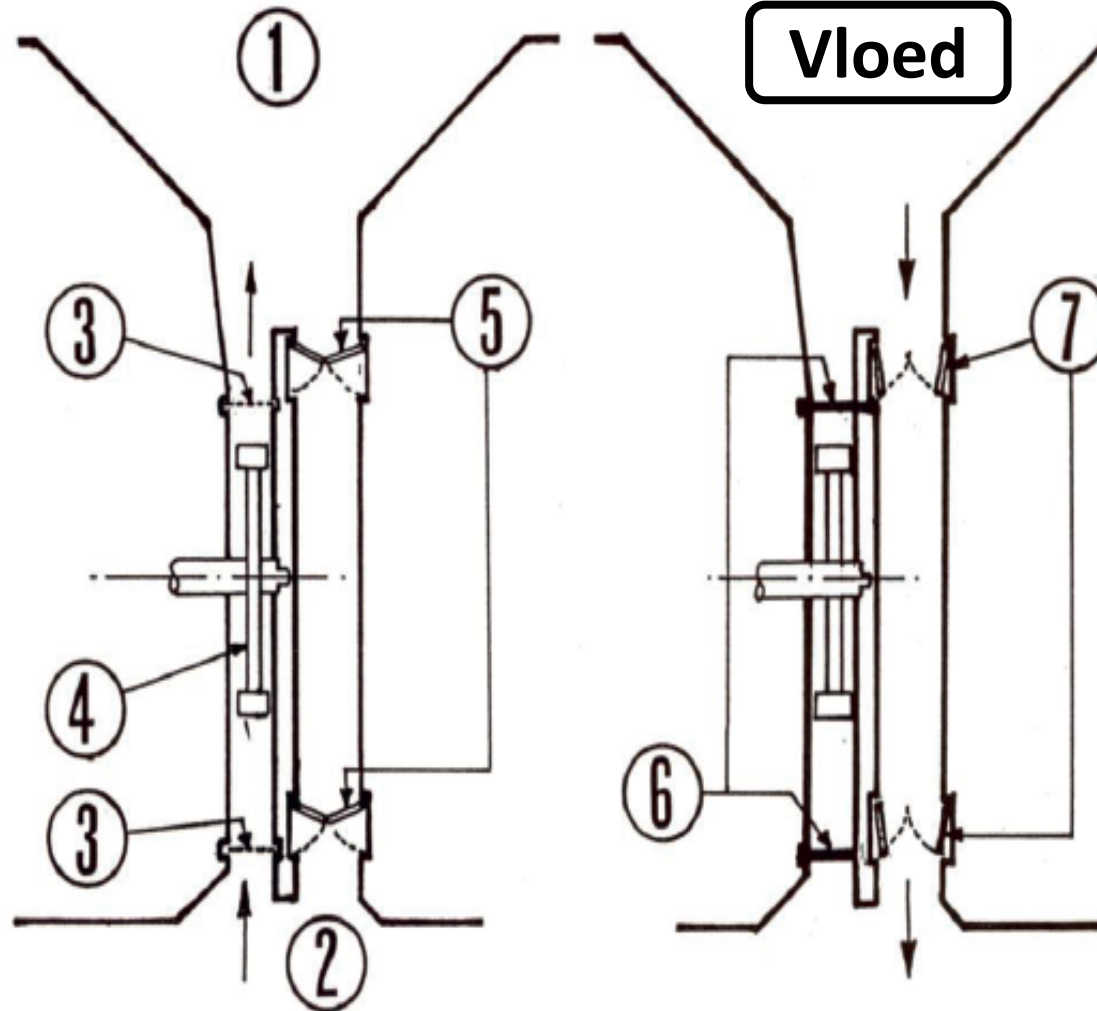


Fig. 4.4.4.1

De enkelwerkende getijdemolen  
(hier een eb-molen)

Links bij afgaand tij: vloeisluis  
gesloten, maalsluis geopend.

Rechts bij opkomend tij: vloeisluis  
geopend, maalsluis gesloten

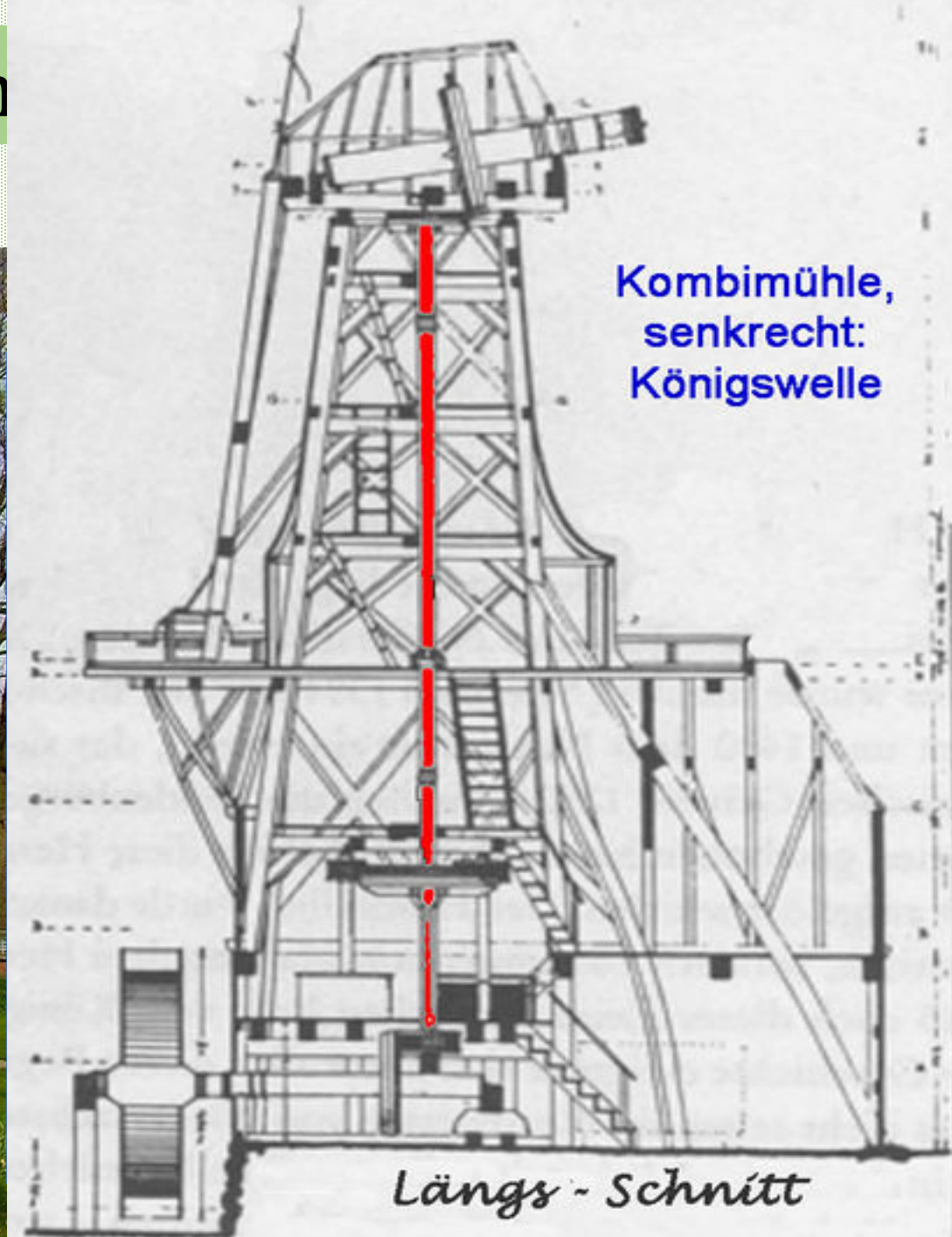
1. zee of buitenwater
2. bekken of binnenwater
3. getrokken maalschuiven
4. waterrad
5. gesloten vloeisluis
6. neergelaten maalschuiven
7. geopende vloeisluis



Aan de Schelde te Rupelmonde



# Watervlucht





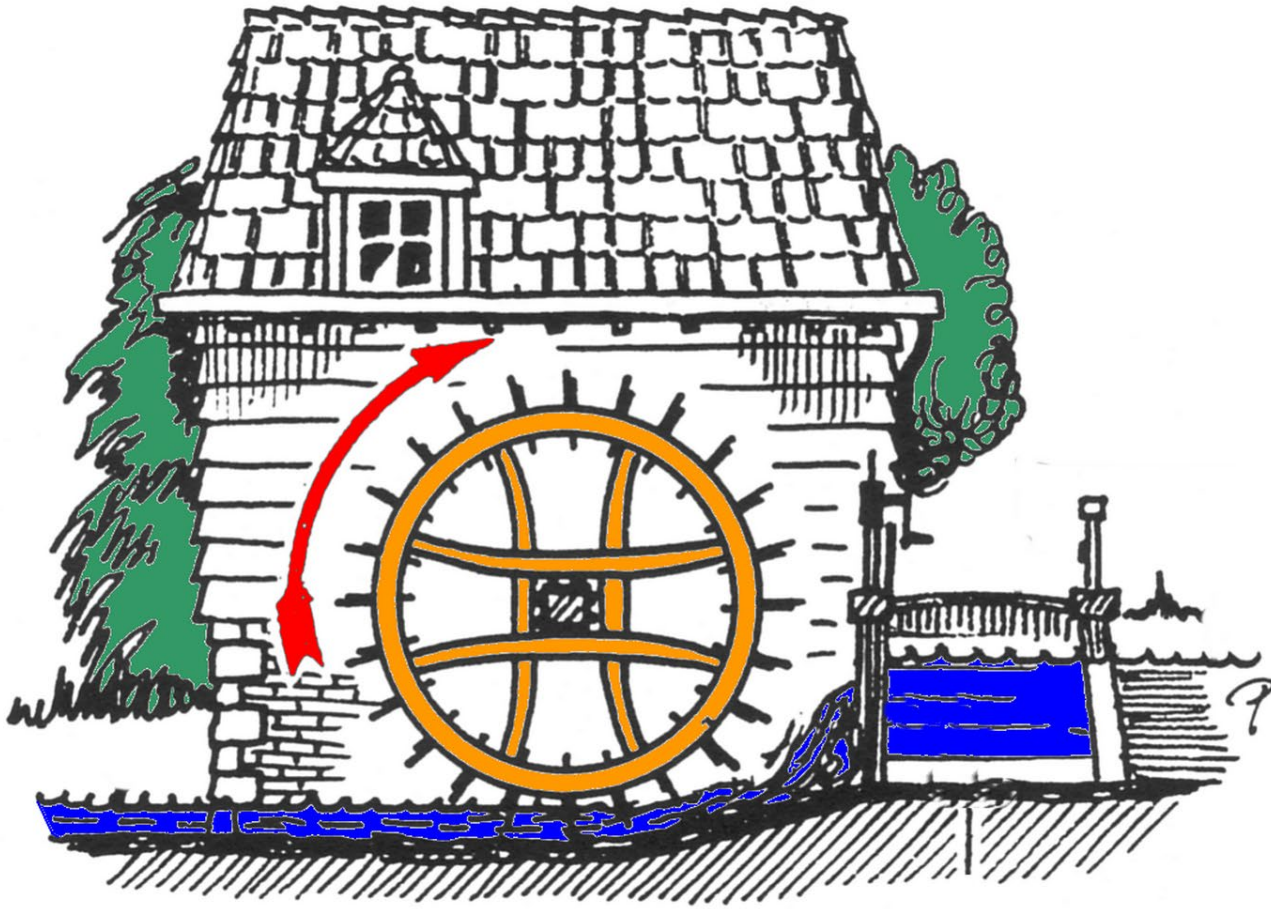


# Watervluchtmolen





# Onderslagrad



Verval tot 1,5 m.

Rad diameter 4 tot 8 m.

24 tot 48 rechte schoepen,

Rendement 25 tot 30%.

Watertoevoer via ark.

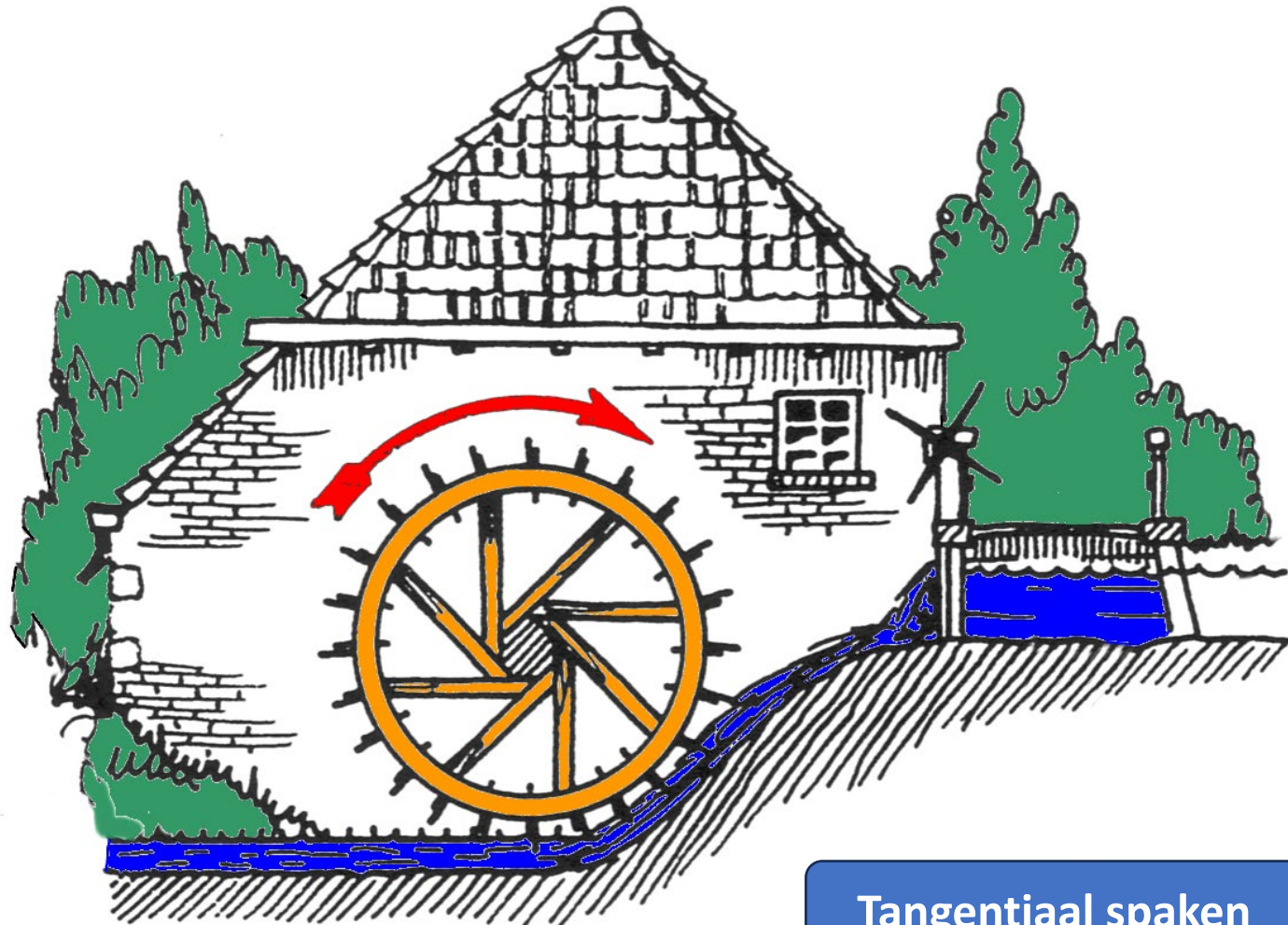
Toerental max 20  
omwentelingen per minuut.

**Basisregel:**

**Hoe groter hoe langzamer hoe  
krachtiger.**



# Middenslagrad



Tangentiaal spaken

Verval 1,5 tot 3 m.

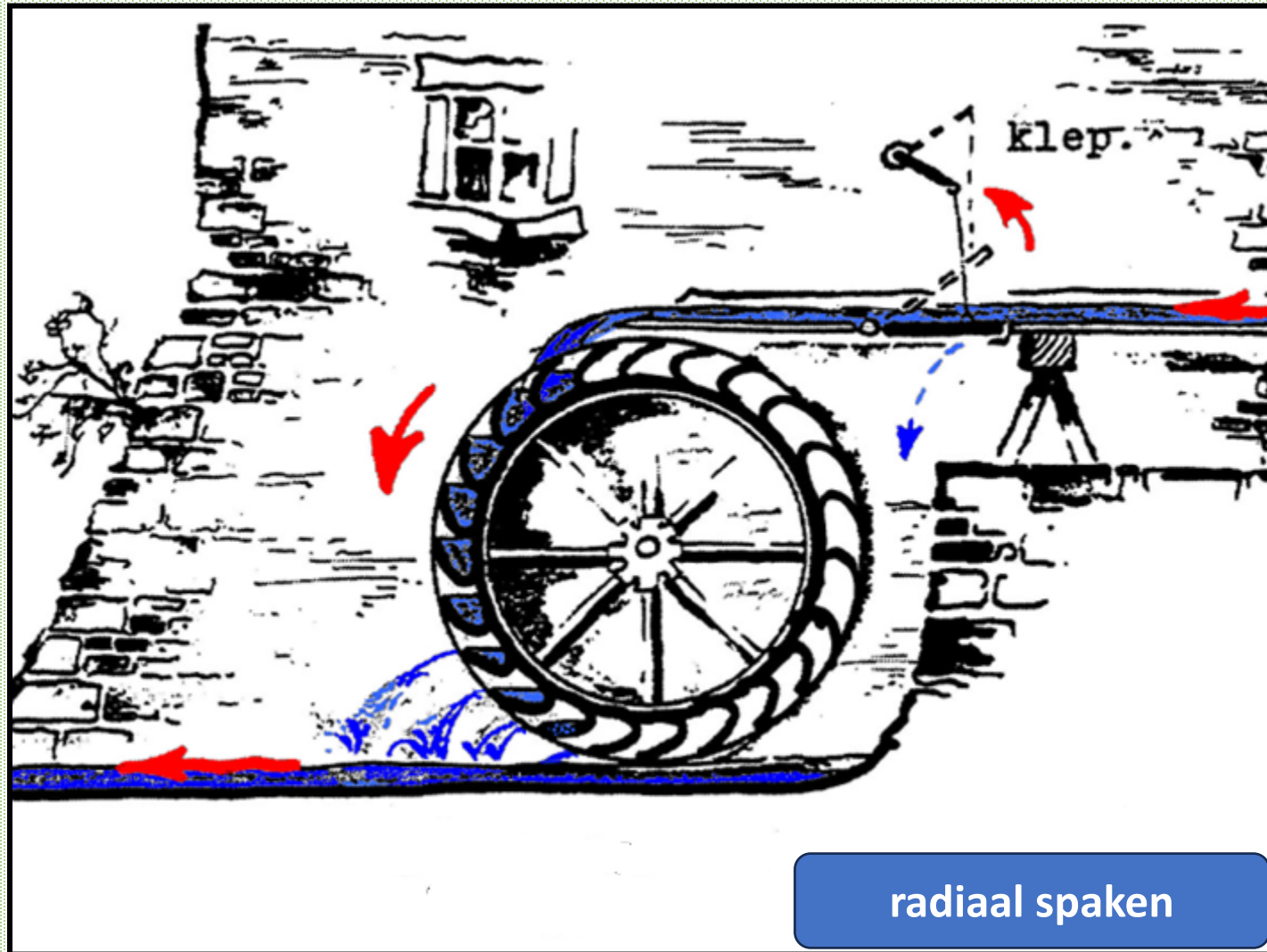
Diameter 3 tot 6 m.

Rendement 70 tot 80%.

Watertoevoer via ark net  
onder ashoogte.



# Bovenslagrad

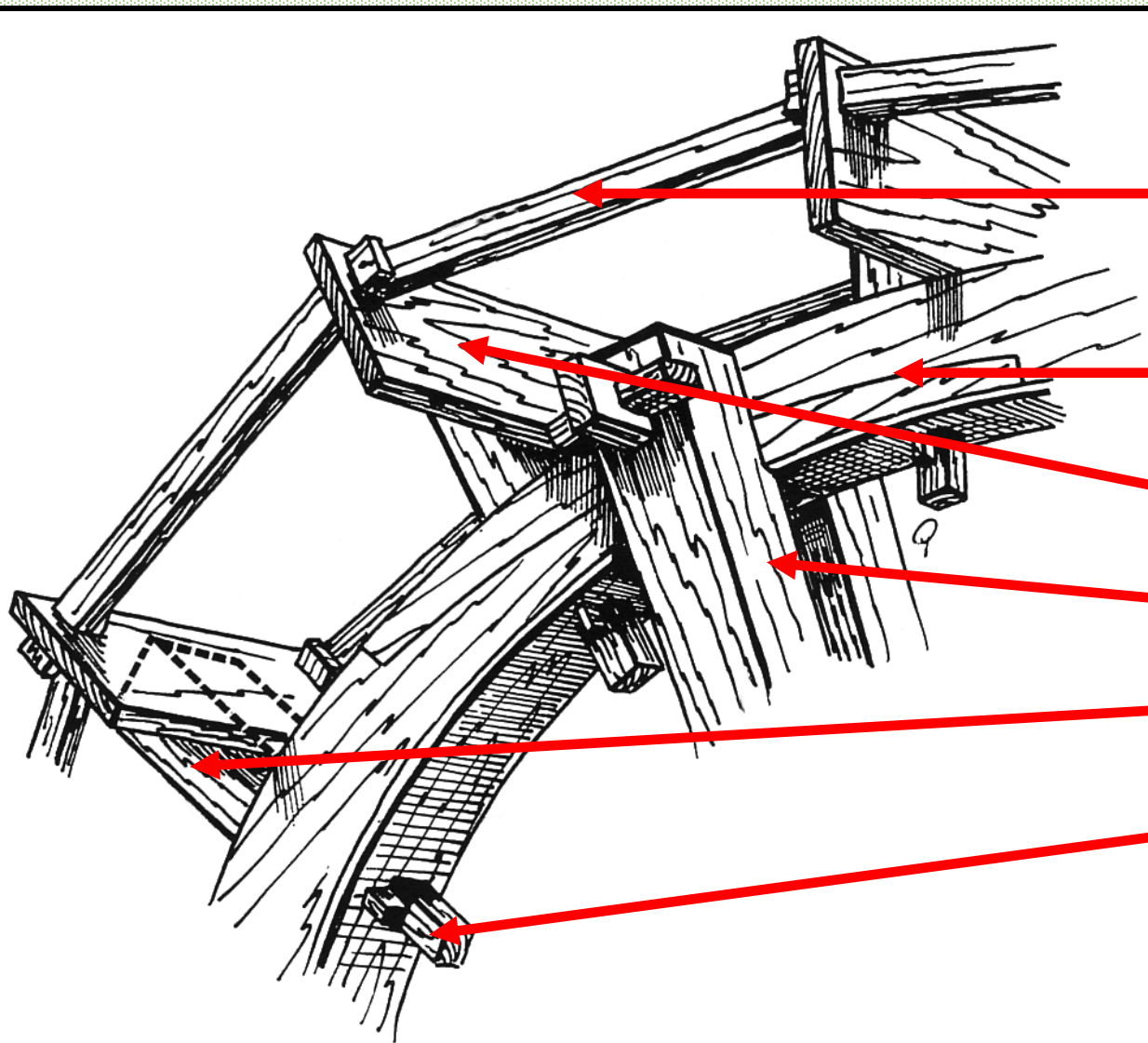


Verval 3,5 tot 5,5 m.  
Diameter 0,3 m. kleiner  
dan verval.  
Rendement 80 tot 90%.  
Draairichting tegengesteld.  
Watertoevoer via kanjel.

radiaal spaken



# Onderdelen onderslagrad



Ringveer /  
reppelhout

Velg

Schoep

Kruisarm (spaak)

Duim

Staart met wig





# Opbouw onderslagrad

- Dubbele rij van elk 4 spaken of kruisarmen met spiegel,
- Dit model komt veel voor in Overijssel
- Enkele of dubbele velg,
- Rechte houten of ijzeren schoepen haaks of iets schuin op de velg,
- Duim achter schoep overgaande in de staart,
- Eventueel een dubbele ringveer / reppelhout tussen de schoepen.

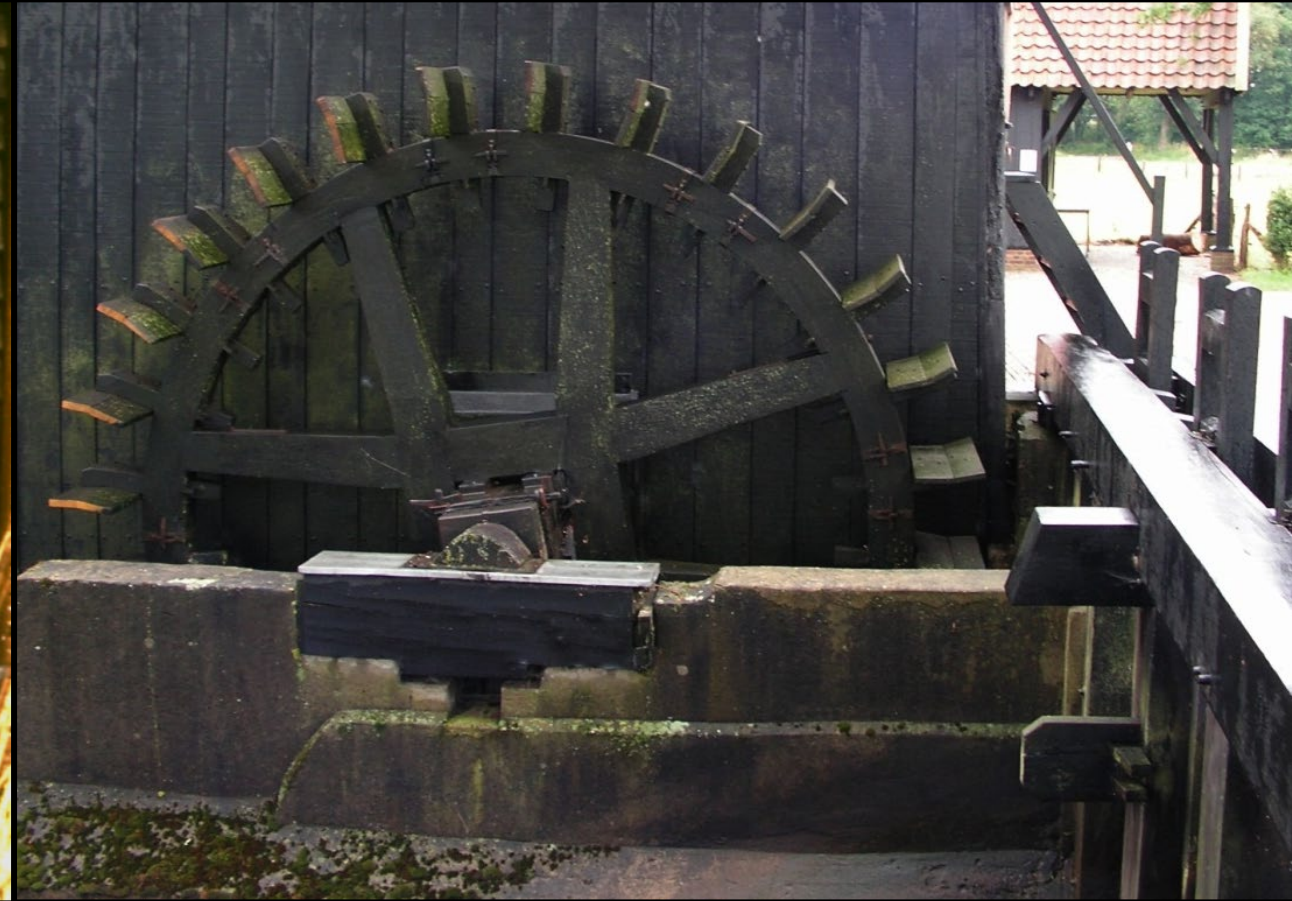
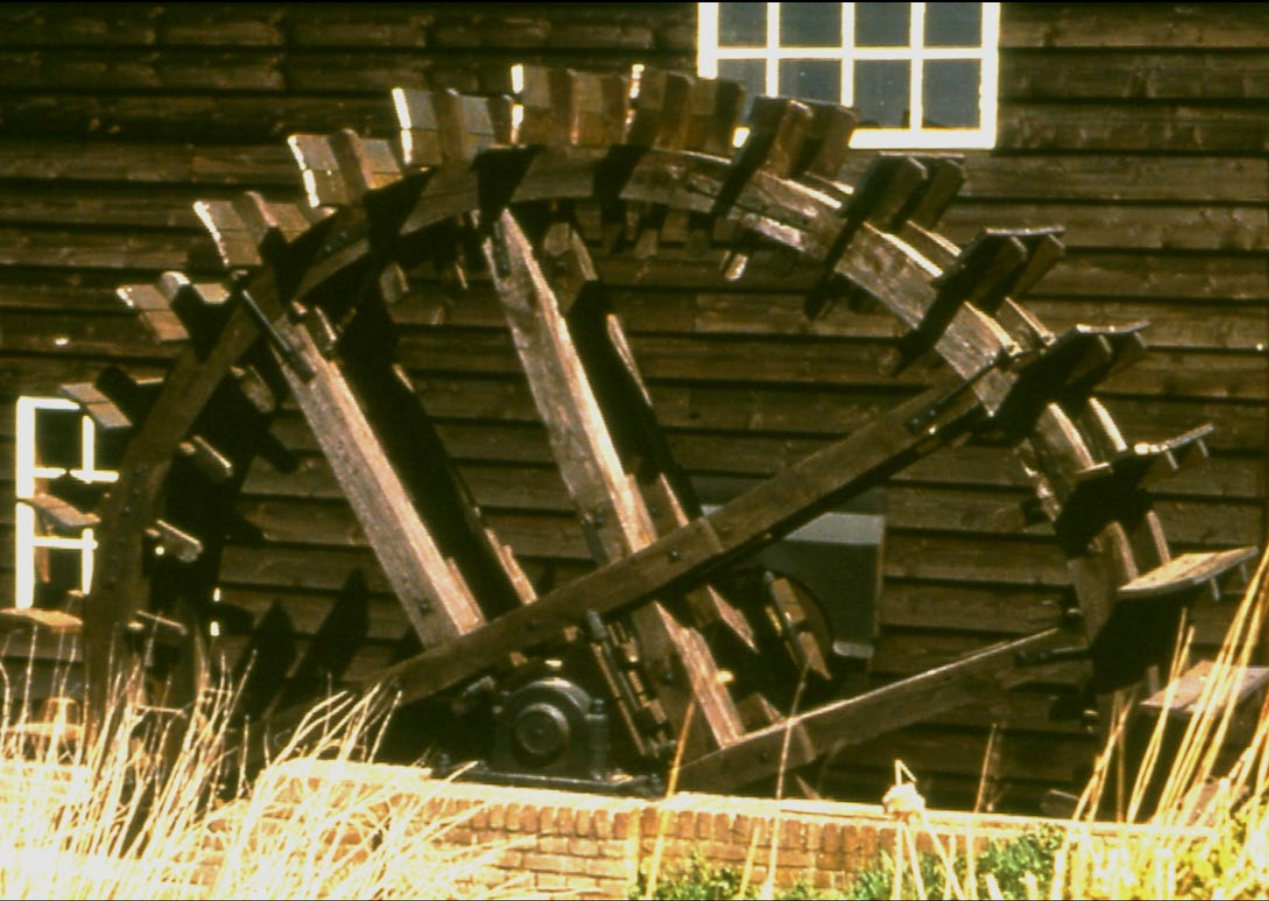




# Opbouw onderslagrad

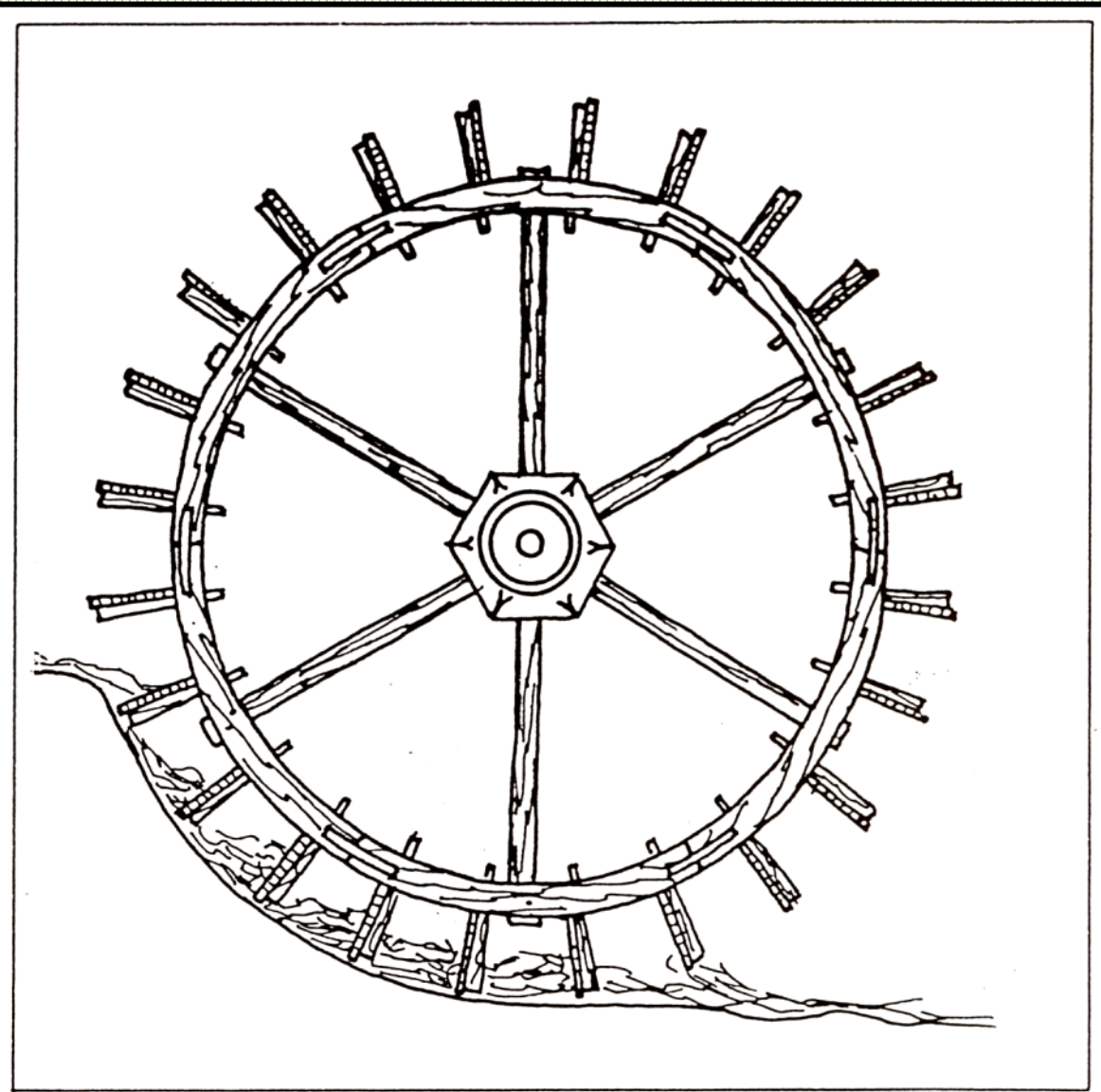
## Kruisarmen.

**Soms dubbele kruisarmen (Links). Vaak gebogen voor een gelijkmatiger verdeling over de velg (Rechts).**





# Opbouw onderslagrad



**6 of 8 houten spaken.**

**Met rozet om de as vastgezet.**

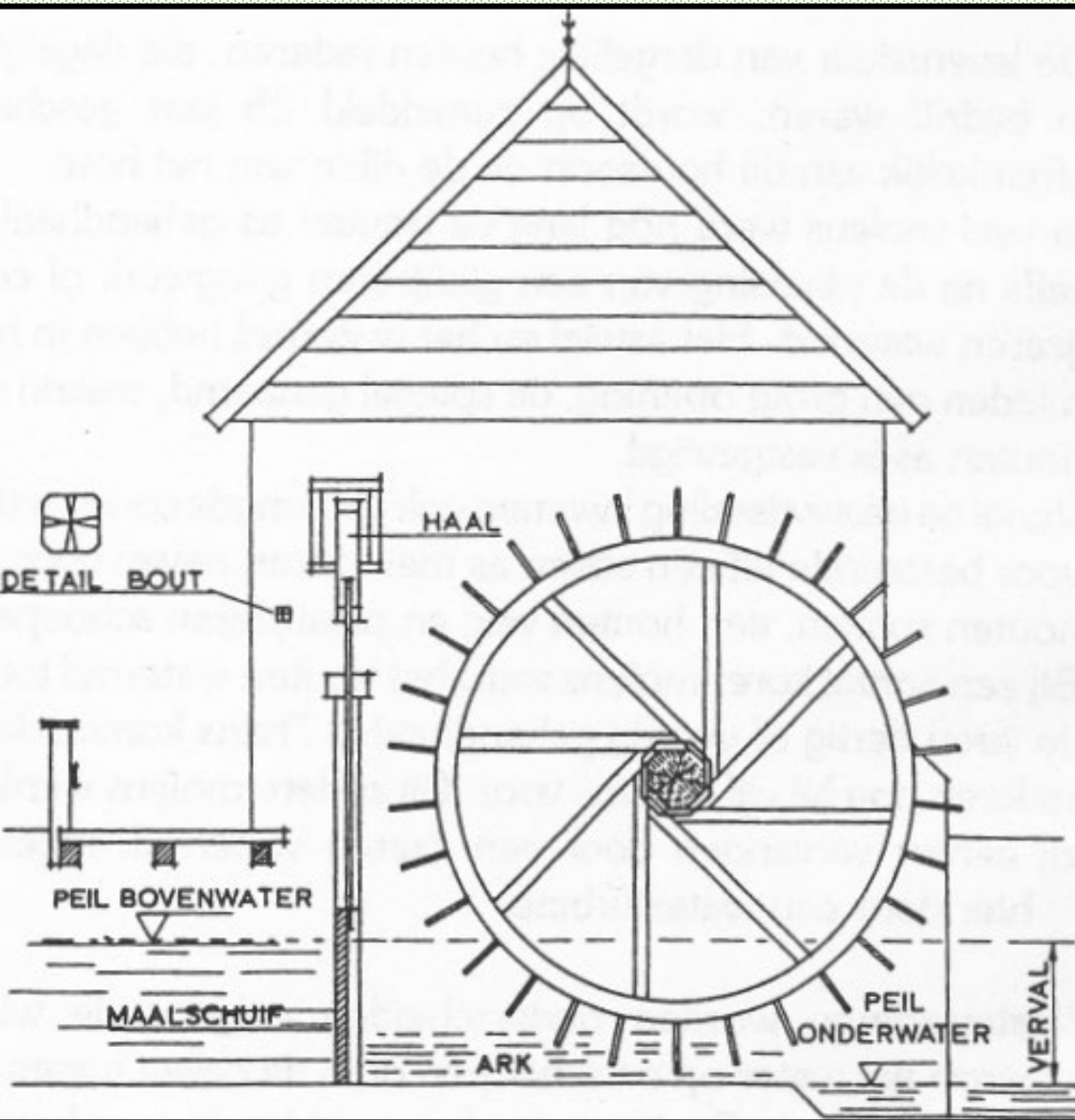
**Soms door de as heen.**







# Opbouw onderslagrad



**Tangentiële spaken.**  
**6 of 8 op 6 of 8 kantige as.**

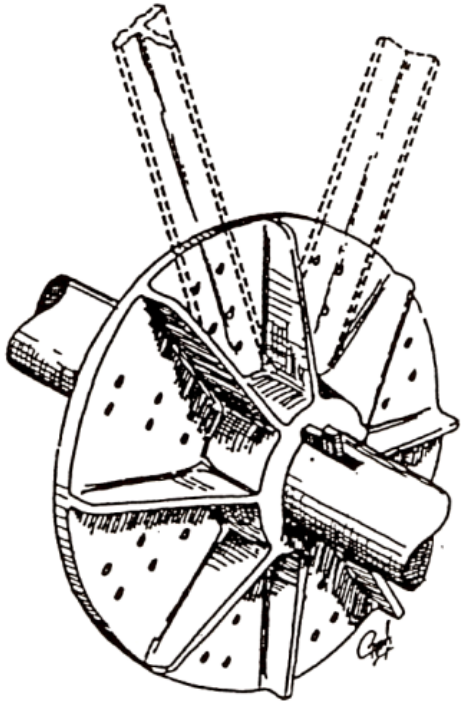




# Opbouw onderslagrad

**Ijzeren onderslagrad met schoepenkrans.**

**De ijzeren spaken zijn met een rozet op de stalen as vastgezet.**



De Nieuwe- of Ijzeren Molen in Meerssen is een karakteristieke Zuid-Limburgse onderslagmolen door het grote ijzeren rad en het gebruik van natuursteen met baksteen.





# Waterraderen Brabant

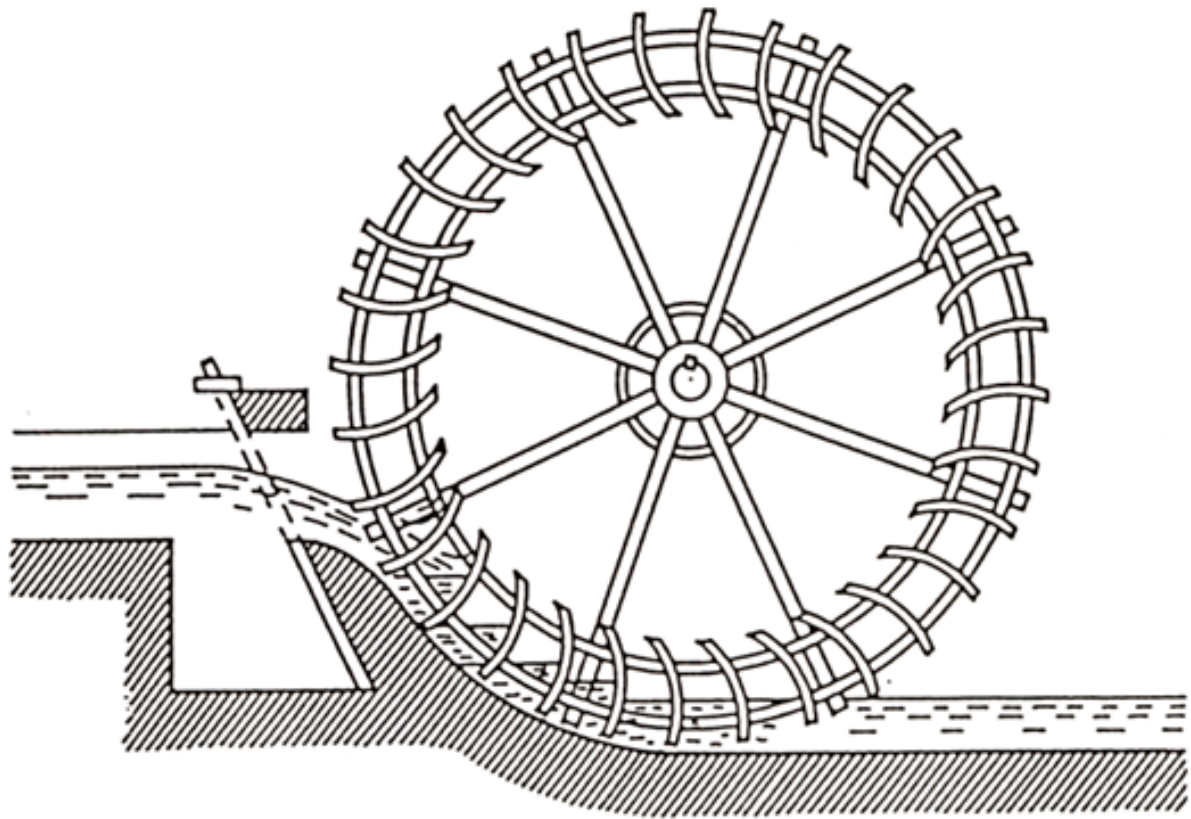
**Ijzeren Rad met houten schoepen.**

**Deze grote raderen komen alleen in Noord Brabant voor.**





# Waterraderen



**Als middenslagrad.**

**Echter de houten of ijzeren schoepen zijn meer gebogen.**

**Ijzeren schoepen zijn aan de binnenzijde van het rad omgezet om het overslaan van water te verminderen.**

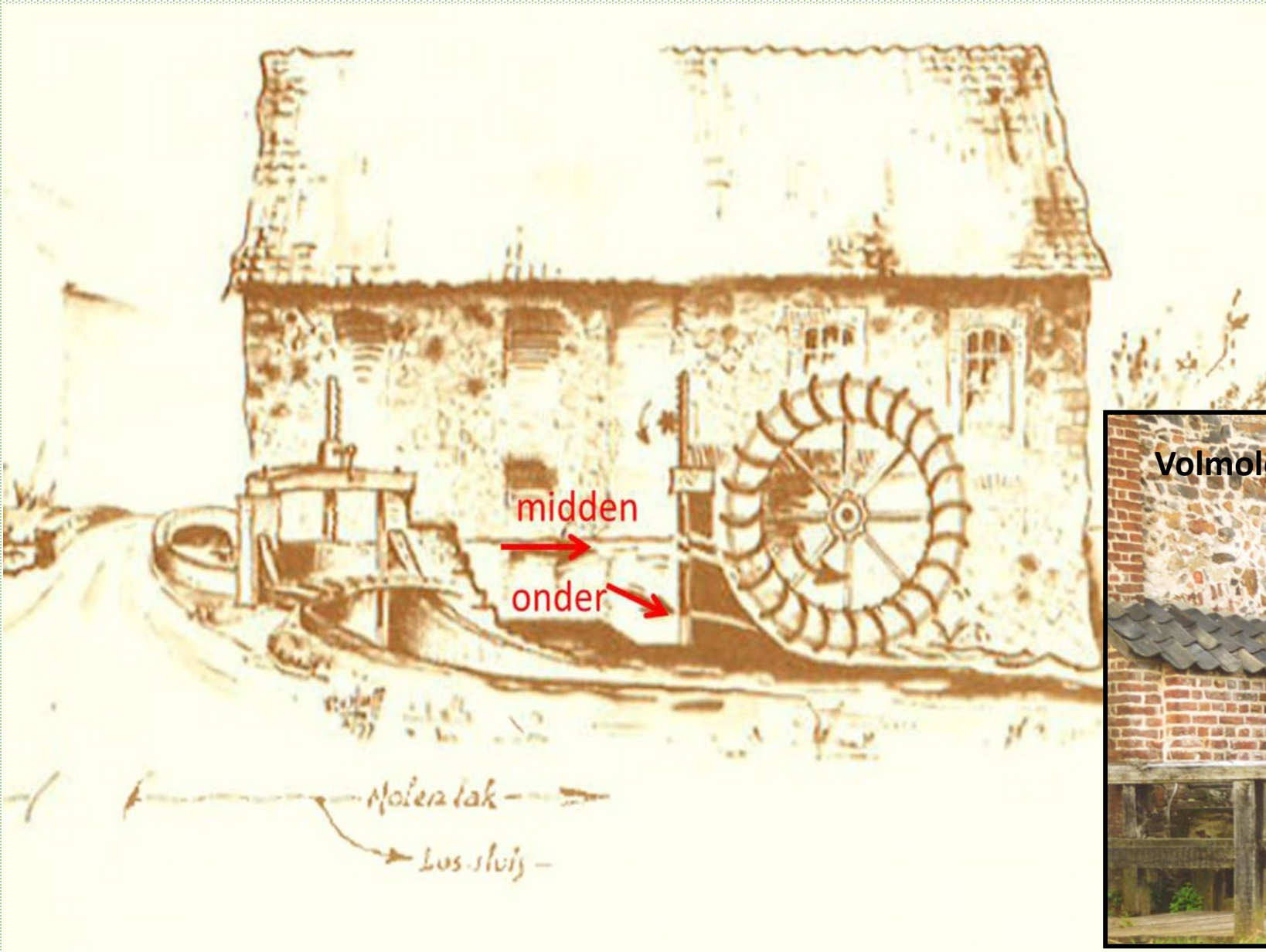


**Volmolen Epen**



# Waterraderen

Combinatie van midden en onderslag. Door de sluis verder te openen wordt middenstuk ook bereikt.





# Waterraderen

**Molen van Roex Gulpen**

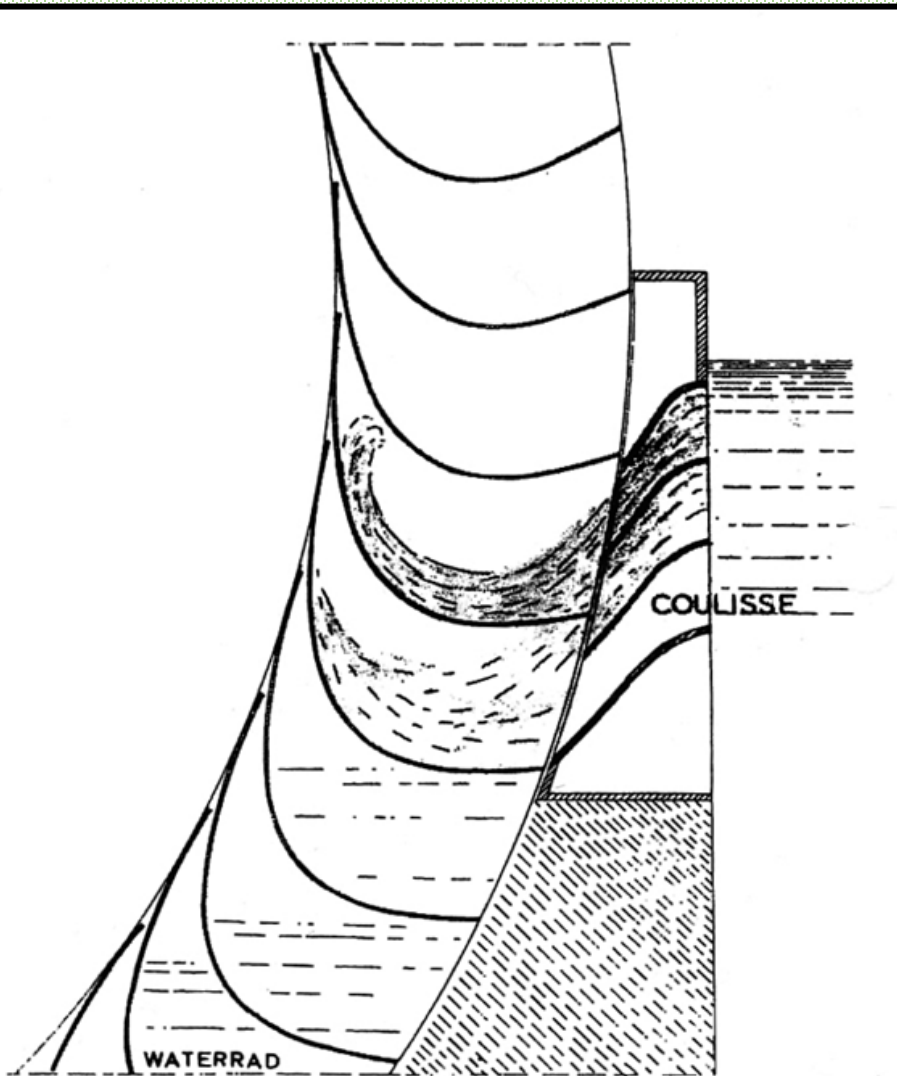


**Detail ijzeren schoepen  
middenslagrad**





# Coulissenrad



Water wordt via geprofileerde coulissen op de schoepen geleid. Hierdoor is de water-stroomlijnen zo weinig mogelijk verstoord.

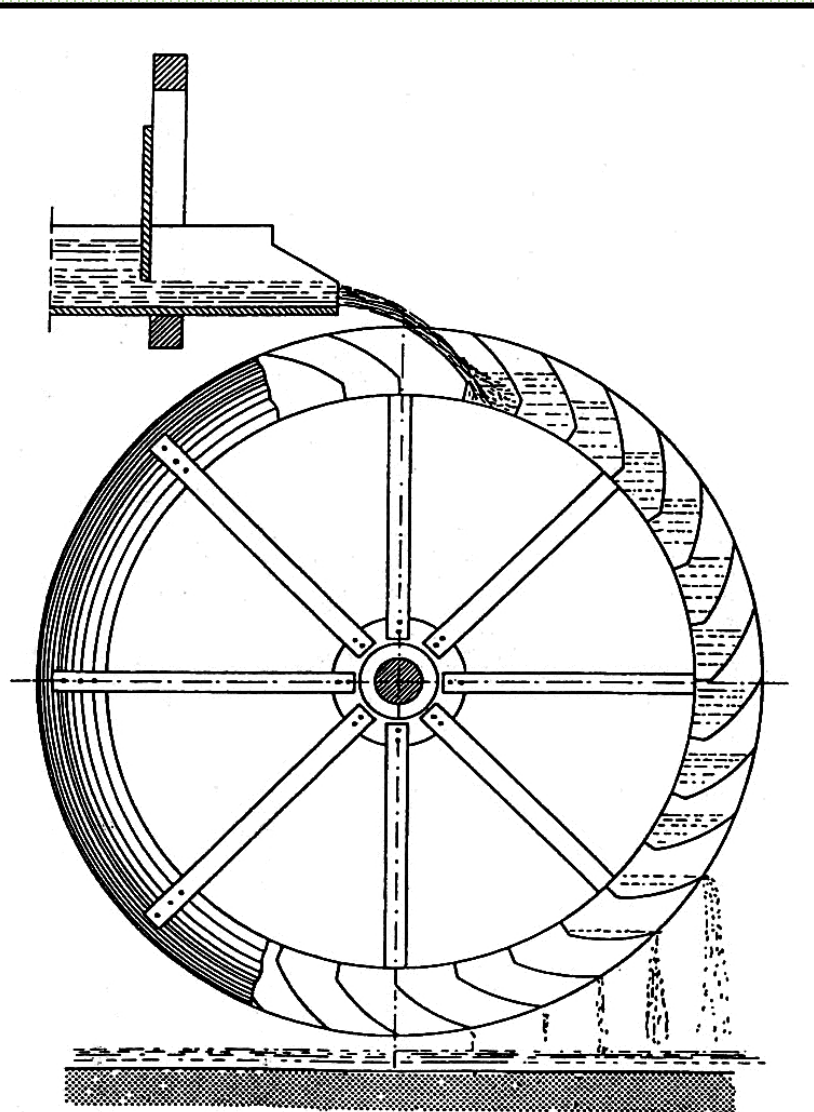
Schoepen en coulissen benaderen de vorm van evolventen = (afwikkelkromme).

Stand schoepen is zo, dat zij rechtstandig uit het onderwater komen.

Door hoge plaats coulissen wordt meer van het gewicht van het water gebruik gemaakt dan van de snelheid.



# Bovenslagrad



**Bij een bovenslagrad zijn de zijkanten van de cellen door twee houten velgen of een beplating afgesloten.**

**Links een ijzeren bovenslagrad.**

**Afsluiting aan de zijkant van de cellen is nodig omdat het rad niet in een ark draait .**

**!!!! Noodzaak is dat onderwater/achterwater lager is dan de onderkant van het waterrad. !!!!!**

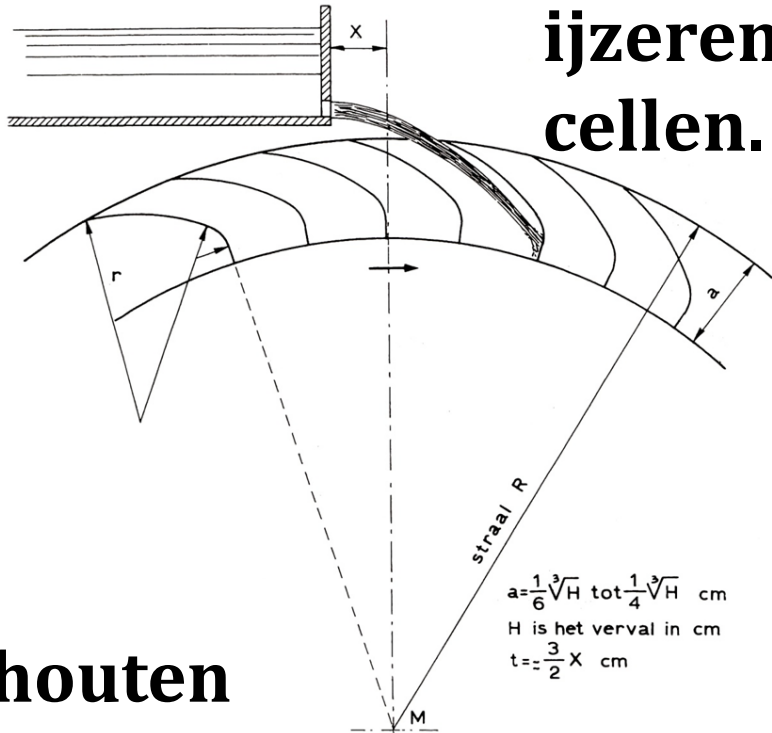
**Dus goede afvoer van achterwater.**





# Bovenslagrad

**ijzeren  
cellen.**

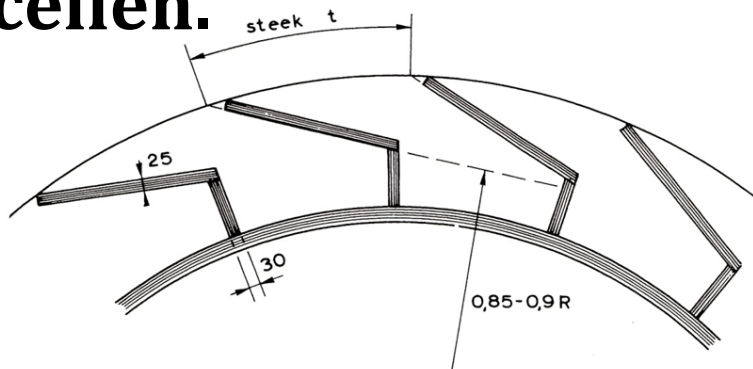


$$a = \frac{1}{6} \sqrt[3]{H} \text{ tot } \frac{1}{4} \sqrt[3]{H} \text{ cm}$$

H is het verval in cm

$$t = \frac{3}{2} X \text{ cm}$$

**houten  
cellen.**



**Houten bovenslagrad met houten kanjel**





# Nekslag



## Bovenste plasmolen.

Ijzeren bovenslagrad tevens middenslagrad.

Om de draairichting gelijk te houden komt het water uit de kanjel voor het hoogste punt op het rad. Hierdoor heet het een nekslagrad. Draait dus als middenslag of onderslagrad.

Spaarvijver en kanjel voor het bovenslagrad.

Aan de onderzijde is ook nog een spaarvijver voor het middenslagrad.





# Woelbak en aalbak



Woelbak en aalbak (in Limburg visvang)  
en rechts ark Oostendorper watermolen



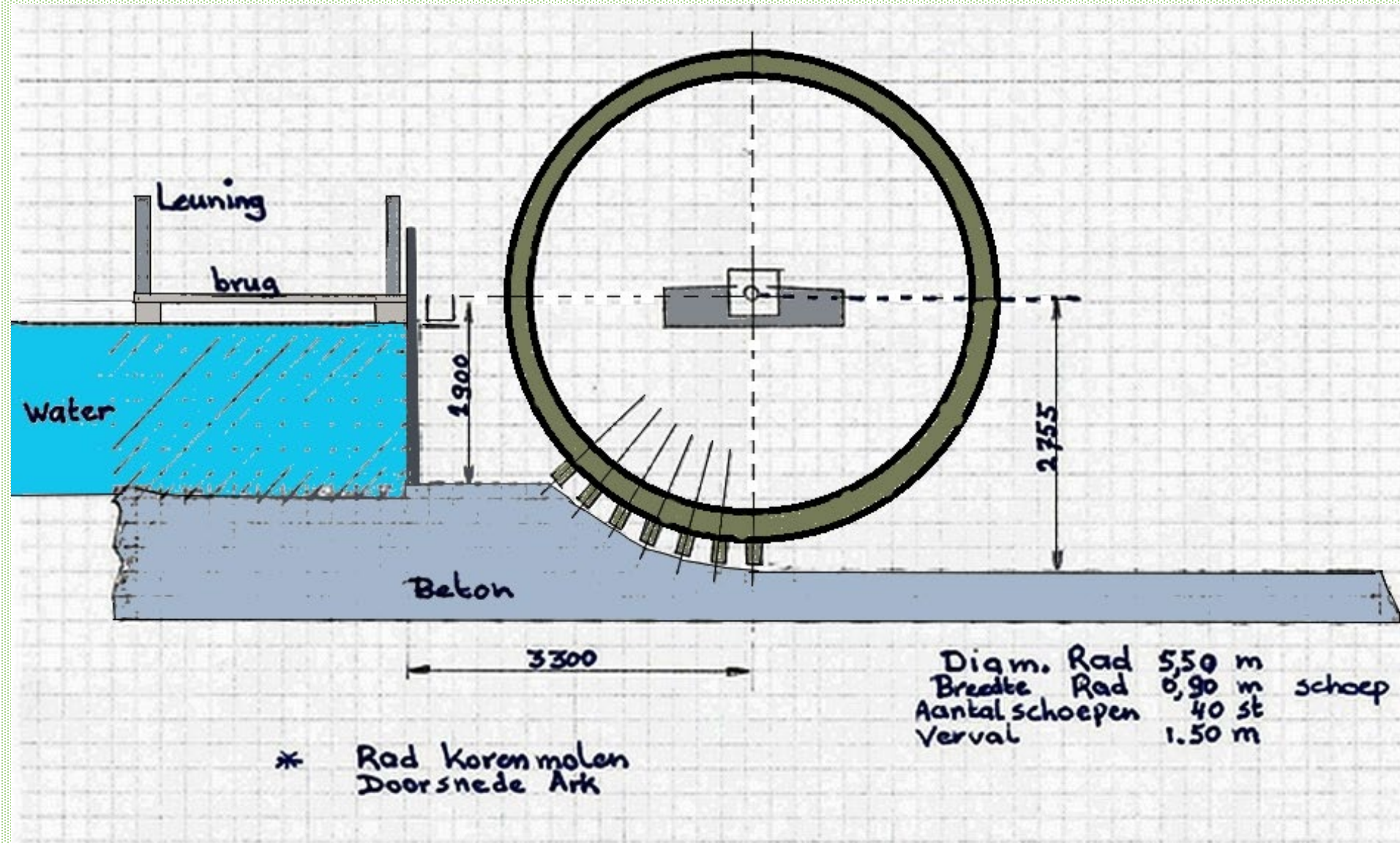


# Ark en Rad korenmolen Singraven

Een groot rad (5,5 m.) heeft meer schoepen.  
Door een kromming in de ark (= krop) komen meer (4 tot 6) werkzame schoepen in de waterstroom.

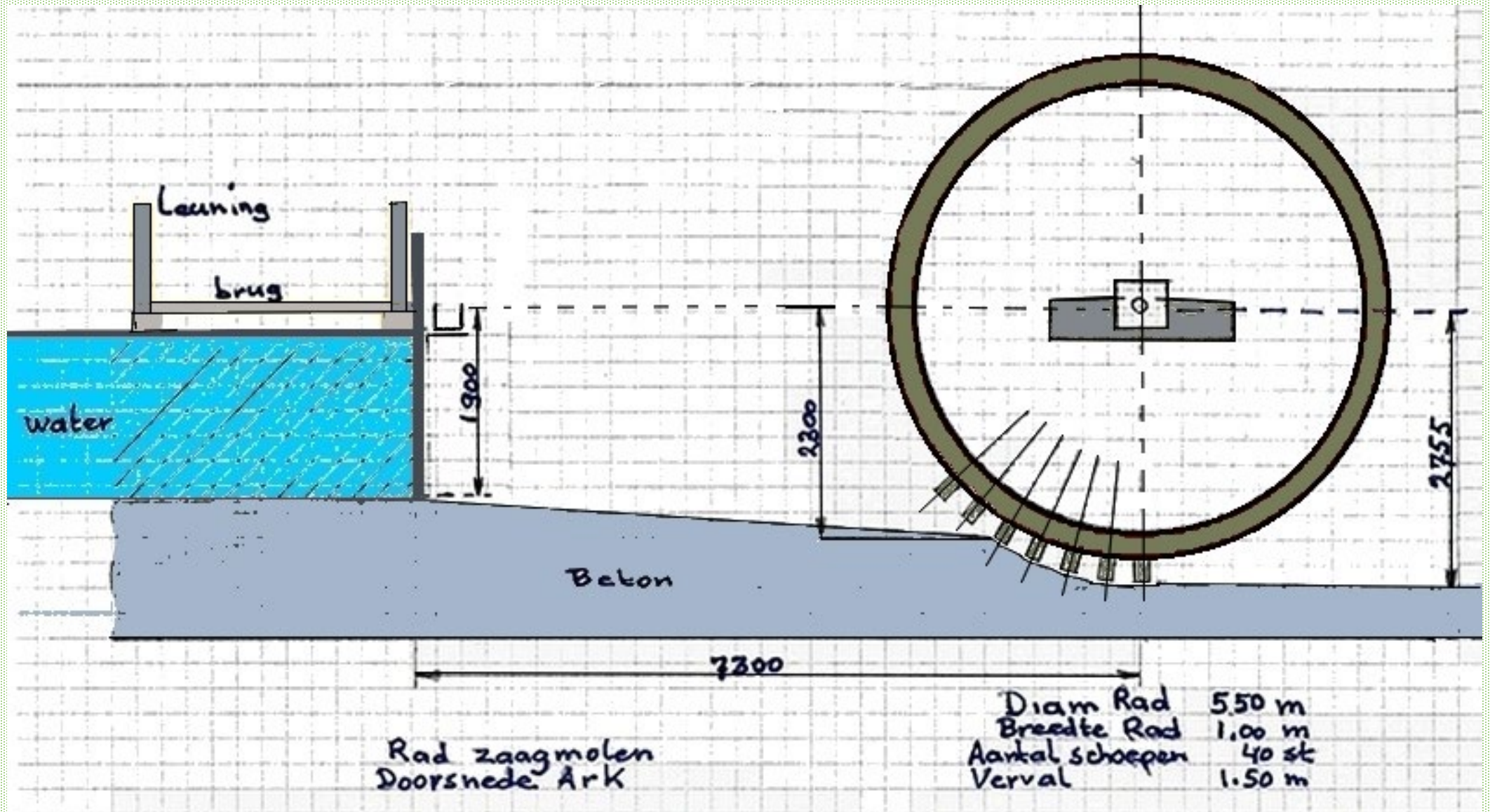
Verticale schuif en rad verder van stuw dan vloer ark onder hoek  $3^\circ$  tot  $5^\circ$ .  
Water botst dan rechter op schoepen.

Bij onderwater, schoepen met knik onder hoek max  $60\%$ , dan rechter uit water.



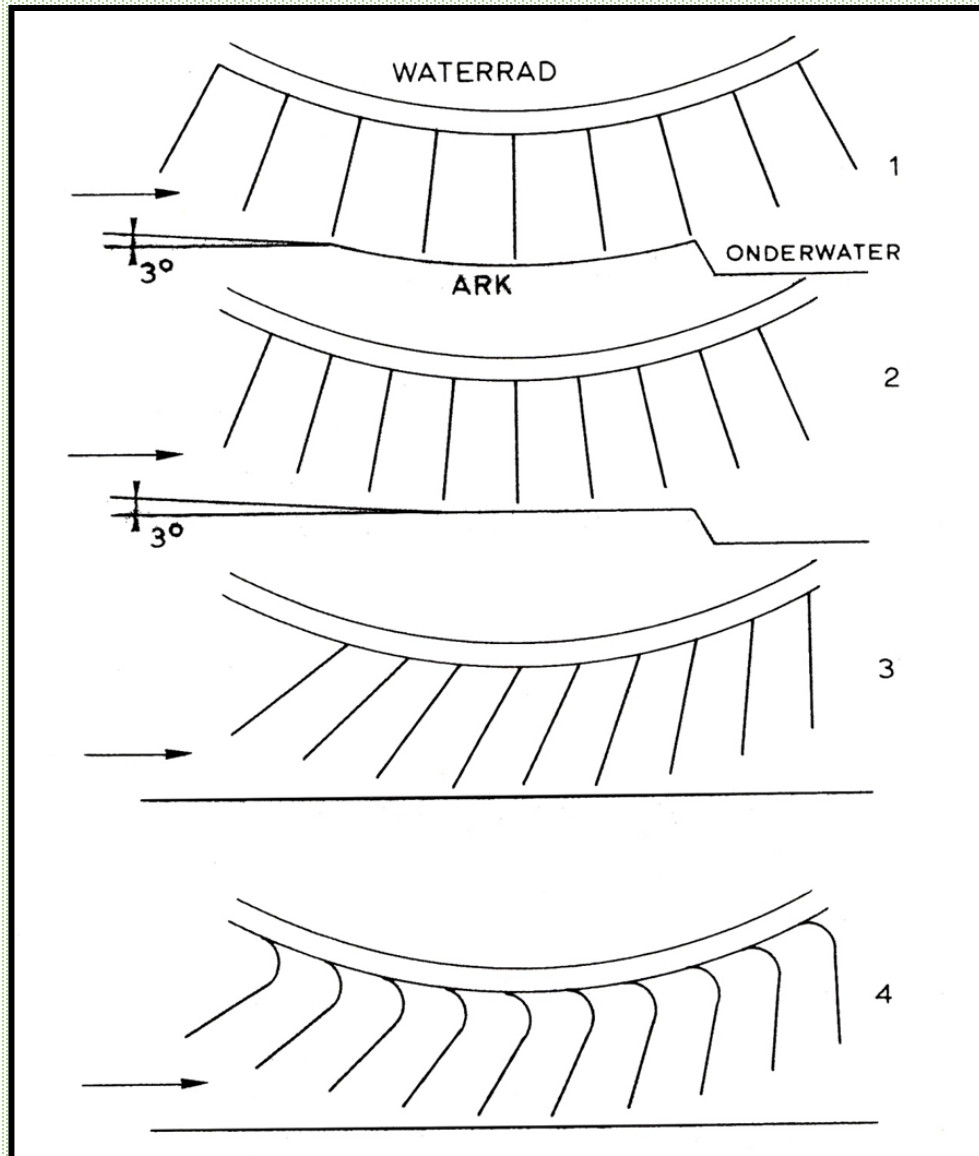


# Ark en Rad Zaagmolen Singraven





# Vormgeving waterraderen en Ark



1. De schoepen bewegen zich in een holle arkvloer (krop).
2. Een vlakke arkvloer; het waterrad heeft meer schoepen.
3. Schuin geplaatste schoepen.
4. Schuin geplaatste schoepen voorzien van een opstand.



# Bovenslag



## Bels te mander

Te openen door plankjes  
Boven rad weg te halen.

Hier ook duidelijk de  
spiegel.  
Tevens een lange as om  
een goed steunpunt te  
krijgen.



# Bovenslag



## Frans te Mander

Te openen door laatste stuk kanjel weg te trekken vanuit de molen (rode touwtje rechter foto).





# Bovenslag

## De Mast te Vasse

Te openen door klep  
weg te halen .  
Kan ook voor het  
rad.





# Vragen tot zover ???





# Verbeterde Waterraderen

De Fransman J.V. Poncelet (1788 – 1867),

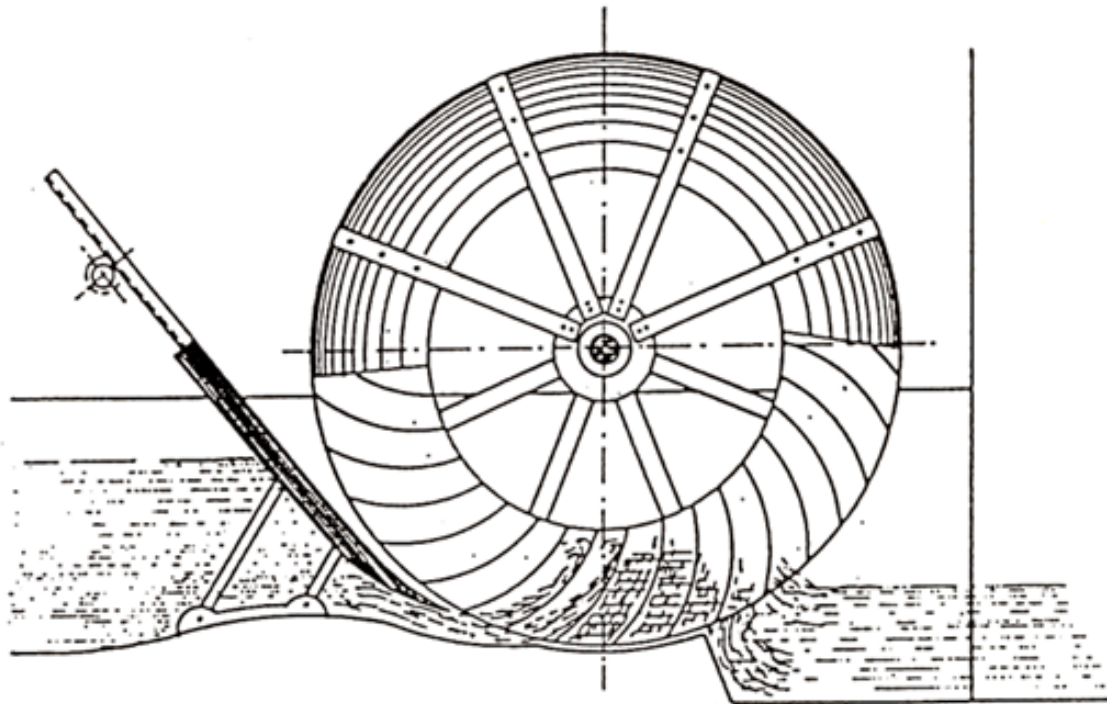
De Fransman A. Sagebien (1807 – 1892),

De Zwitserse ir. W. Zuppinger (1814 – 1889).

**Bach/van Bussel (moderne verbetering vanaf 1965)**



# Ponceletrad



Spleet tussen waterrad en ark is zeer gering.

Schoepen door een ringvormige plaat omgeven.

Het water wordt door een sabelvormige schuif en een welvende ark op de evolvent-vormige schoepen geleid. (Afwikkelkromme).

Rendement ca. 70%

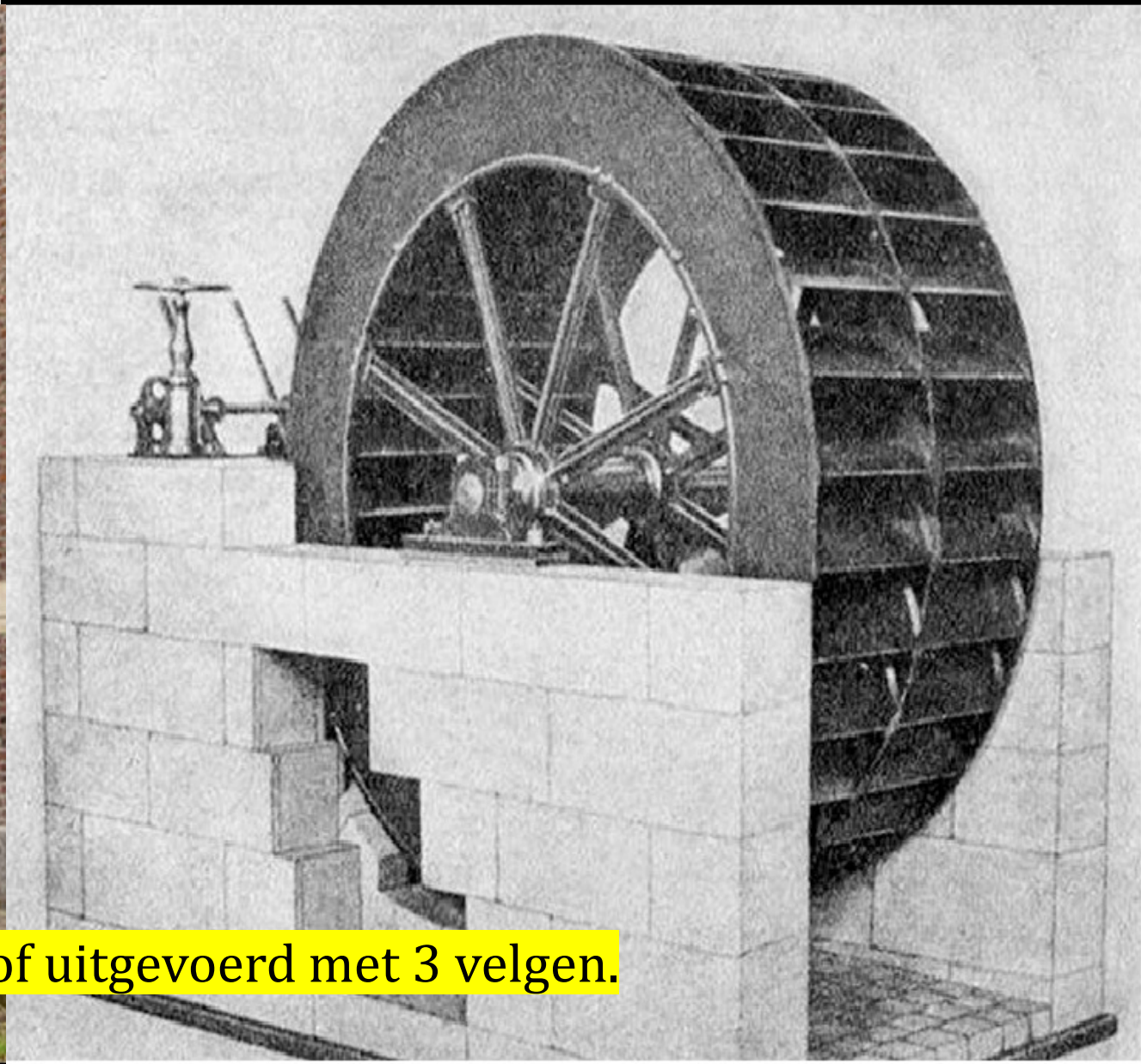


# Ponceletrad





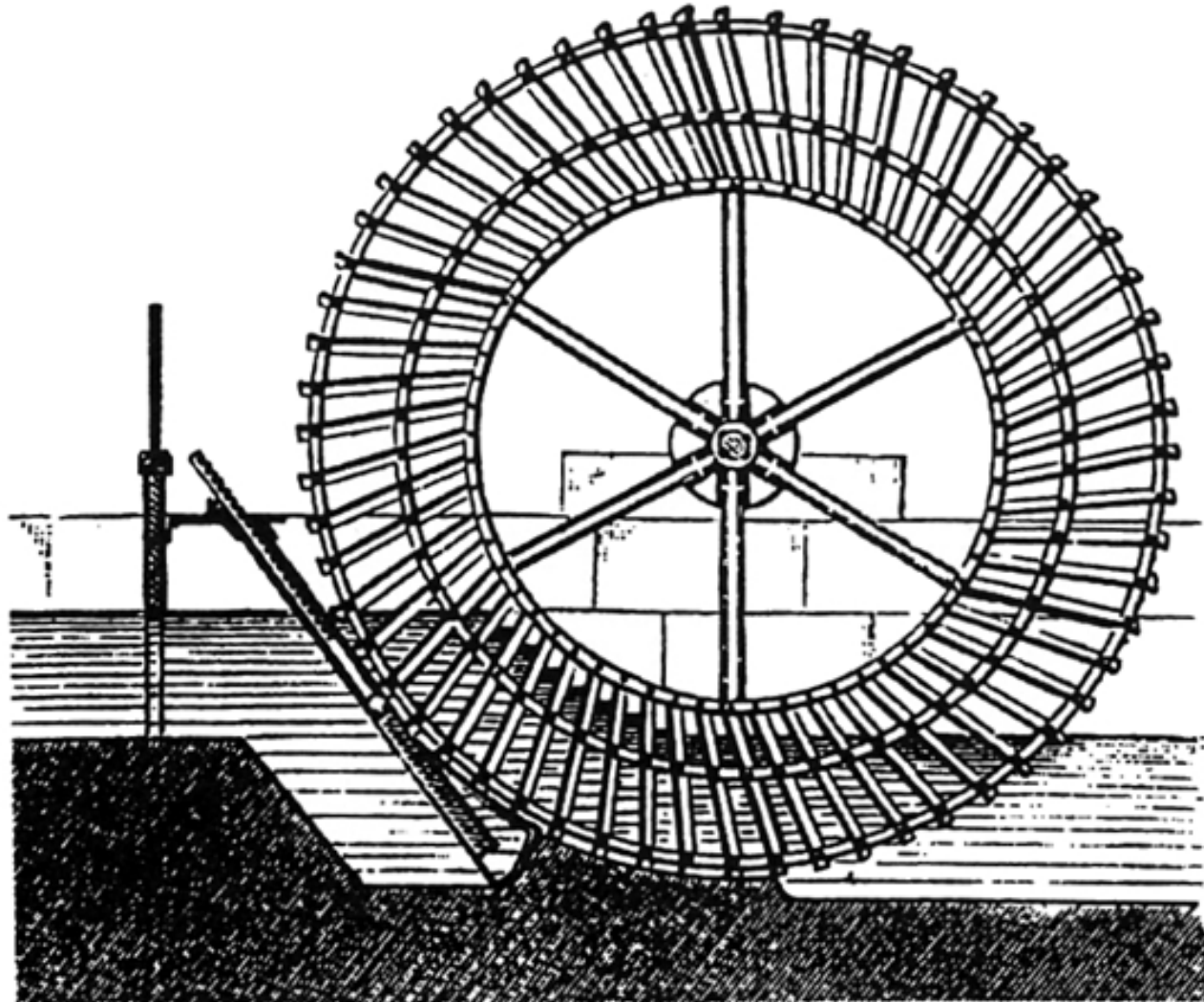
# Ponceletrad



Rothem bij Meerssen of uitgevoerd met 3 velgen.



# Sagebienrad



Een rad met grote middellijn en zeer veel schoepen.

Geschikt voor grote hoeveelheden water, dat in een dikke brede stroom uiterst langzaam in het waterrad komt.

Botsingsverliezen worden hierdoor vermeden.

Ca. 2 omwentelingen per minuut.

Rendement 85 tot 90 %.

## **Sagebien onder en middenslagrad**

Rad staat stekend in het water, zoals ook schepraderen bij poldermolens



# Sagebierenrad



Replica Sagebieren rad, Gietijzer met Robinia houten schoepen.

Weverijmuseum Geldrop





# Sagebierenrad



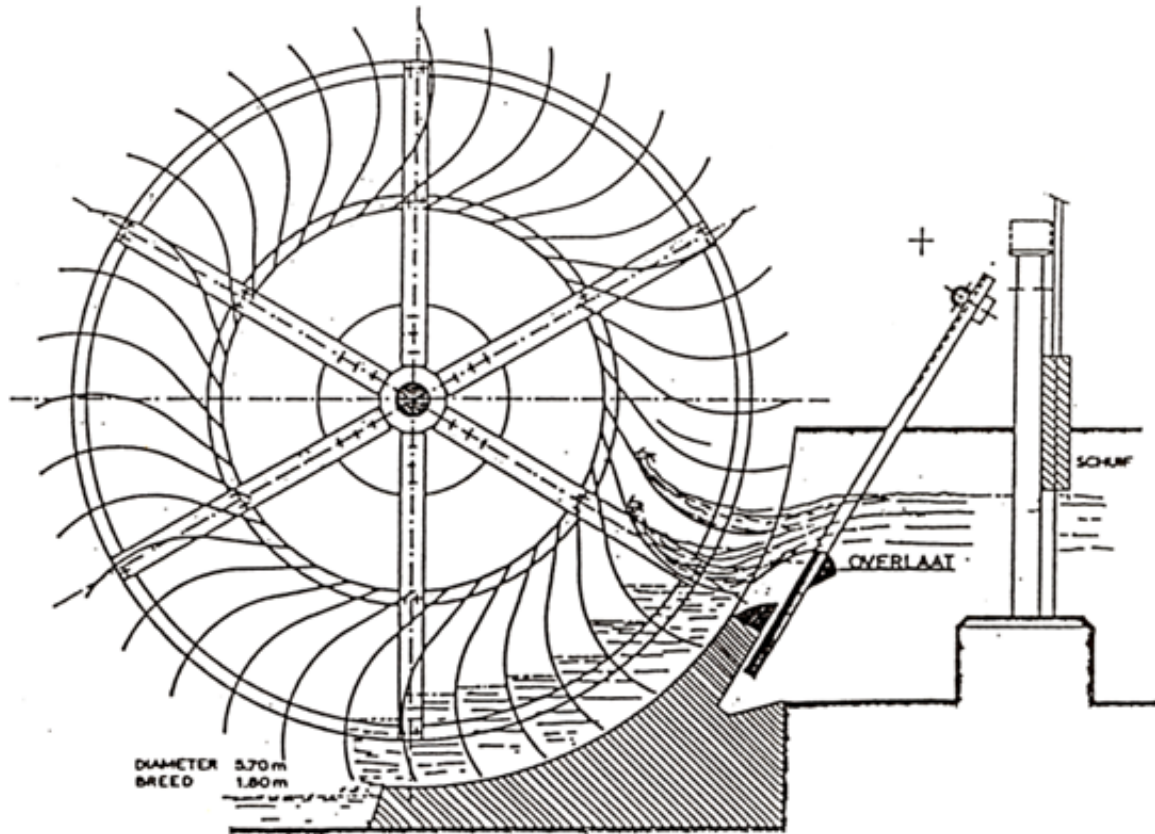
Gietijzer met stalen  
schoepen.

Watermolen Geijsteren  
Oostrumsebeek  
Elektriciteitsproductie

jaaropbrengst wordt geschat  
op 10.500 kWh.



# Zuppingerrad



Ijzer rad met schoepen uit houten delen samengesteld.

Het water stroomt via een overlaat op de schoepen.

Ca. 5 omwentelingen per minuut.

Rendement ca. 75 %.



# Zuppingerrad



Houten schoepen.

Diameter 6,50 m.

Breedte 1,80 m.

Mechelen.



# Bach/ van Bussel

## Onder en middenslag toch efficiënt

C. Bach Polytechnisch instituut Stuttgart

Van Bussel Technische Universiteit Eindhoven

Met name vanaf midden 1965 behoefte om efficiëntie verbeteringen watermolens om toch te blijven concurreren met turbine gebruik en elektrische aandrijving.

Verbetering van de toevoer van water door krop en ark aanpassingen.

Verbetering van de golfvorm van de schoepen

Maatwerk bij elke toepassing, rekening houdend met ter plaatse verval, debiet en breedte

## Neubouger/Roex

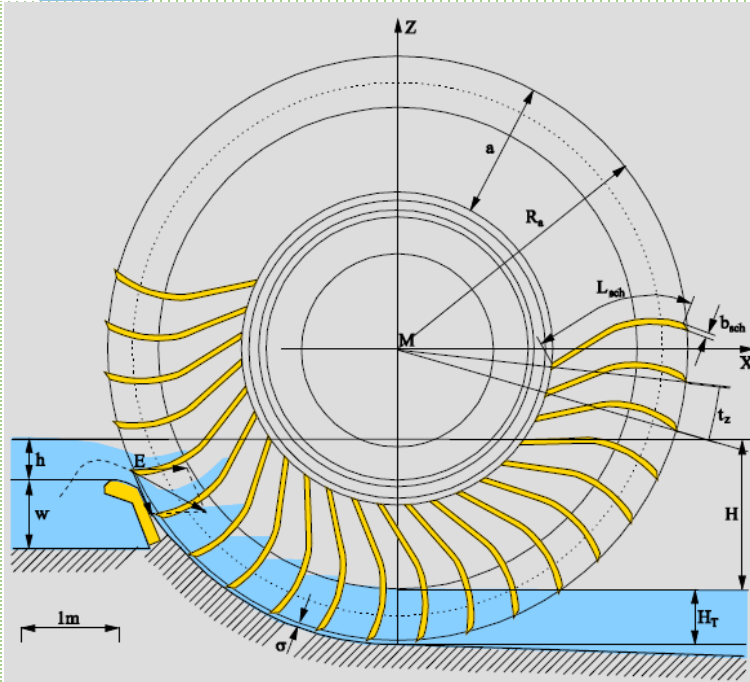
molen Gulpen

- Bach/ van Bussel middenslag
- Evolvente schoepen
- Coulissen ingang
- Krop in de Ark



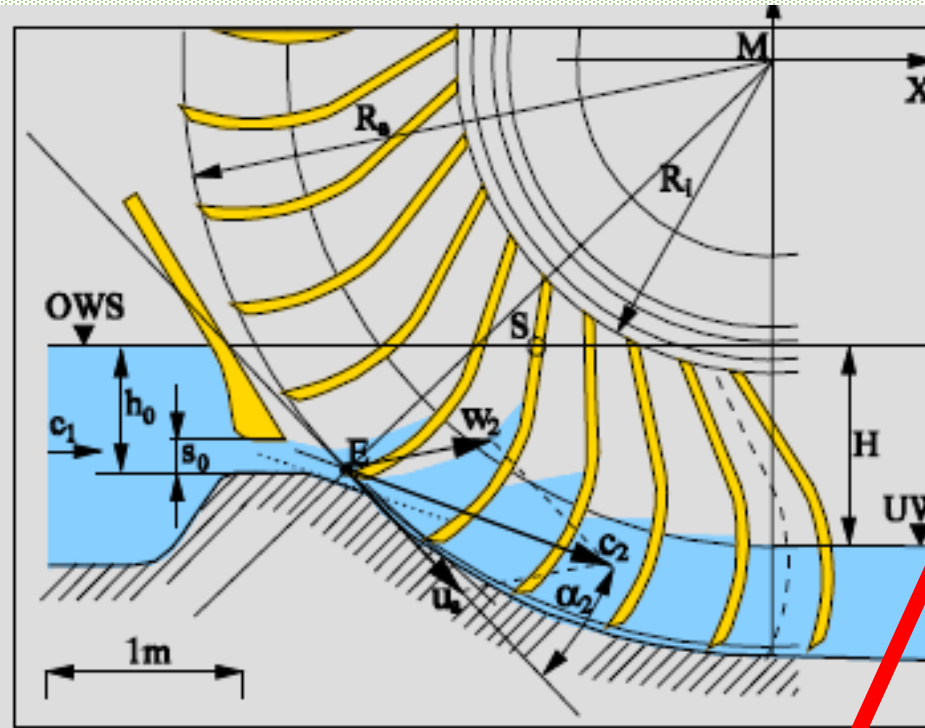


# Bach/van Bussel



## Middenslag

Midden inlaat  
boven de maalsluis

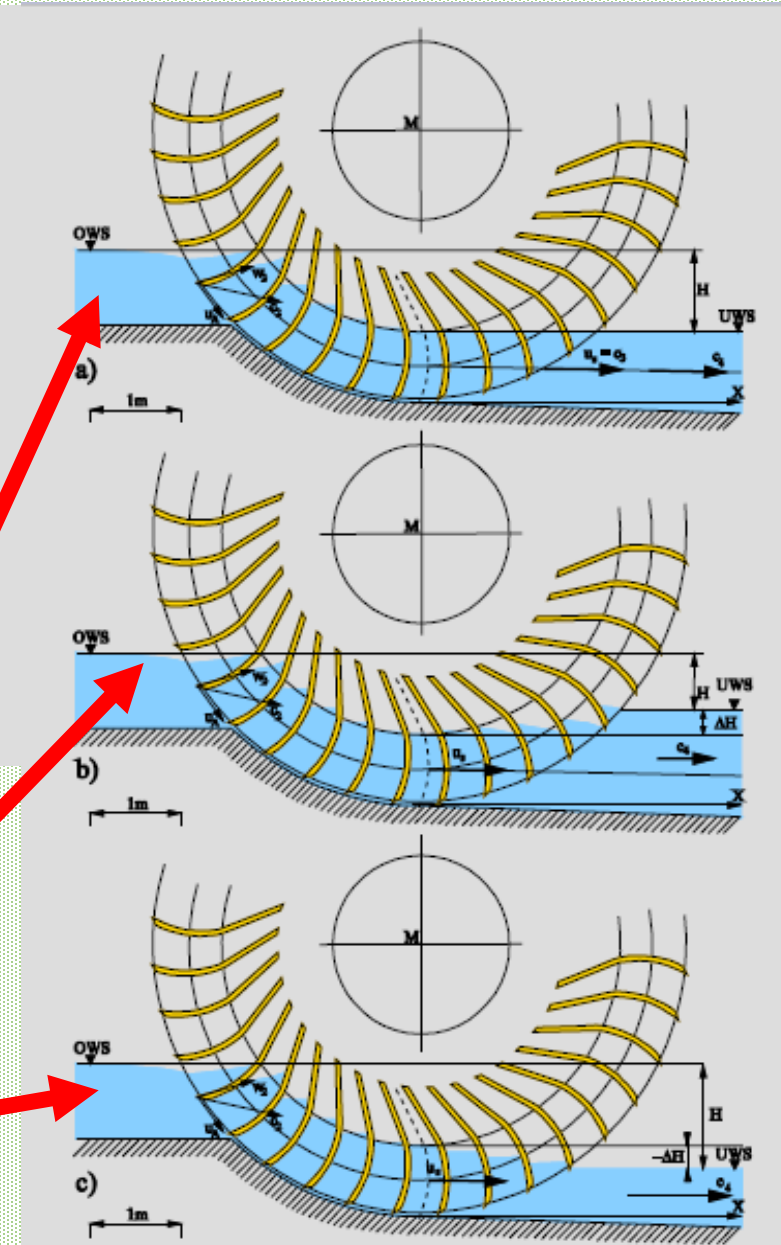


## Onderslag

Onder inlaat  
onder de maalsluis

## Achterwater

Nominaal  
Te hoog  
Te laag





# Wanwichtigheid

Wanwichtig is onbalans.

Oorzaken:

Houten schoepen nemen bij lange stilstand aan onderzijde van het rad water op en worden daardoor zwaarder. Te voorkomen door, na het malen, met houten balken de raderen zo te blokkeren dat het zwaardere deel boven staat en kan drogen.

Door afgebroken houten schoepen. Deze vervangen.

Niet goed gecentreerde Astappen. Centreren door opvullen met stalen platen zodat de astap goed loopt.

Loszittende Astappen opvullen met stalen platen en de stroppen goed aandraaien.



# Wanwichtigheid



Plaatsen balk door rad tegen wanwichtigheid.  
zodat andere drogere schoepen nu in het water staan en de natte eens kunnen drogen.



# Elektriciteit opwekken



## Sint Elisabethmolen, Haelen

Molen drijft generator aan die voor stroom opwekking zorgt voor naast gelegen restaurant.

Omdat de houten schoepen wanwichtigheid veroorzaken, gaf dit problemen op de generator.

Houten plankjes die de schoepen vormen zijn vervangen door metalen platen, zodat er geen wanwichtigheid meer is.





# Elektriciteit opwekken



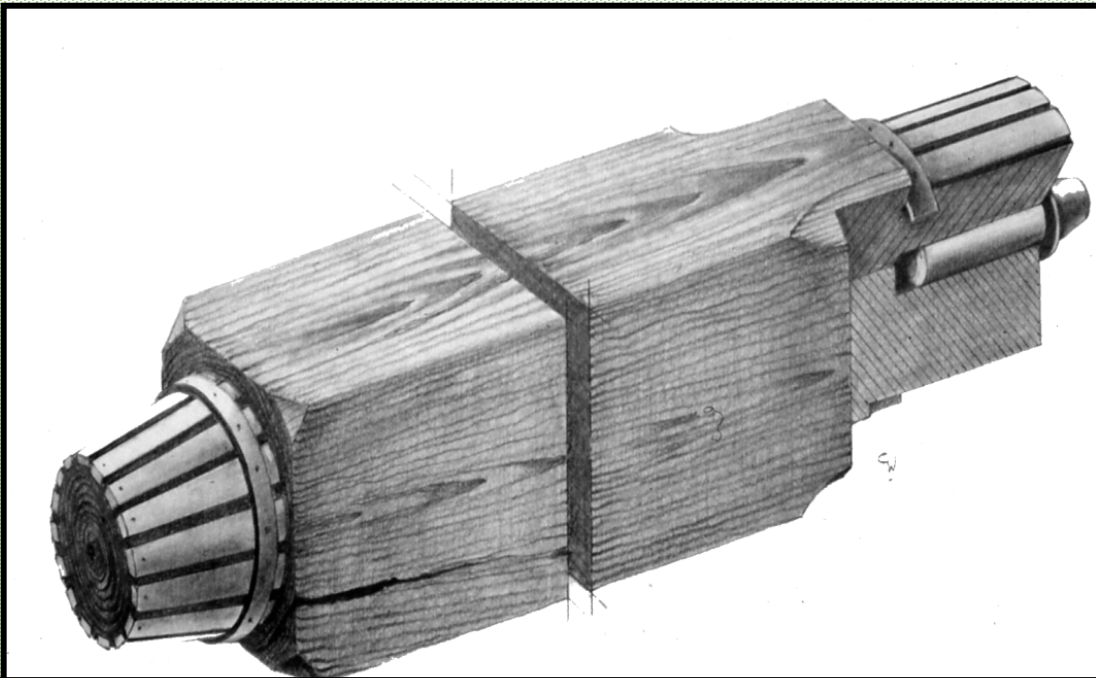
Molen draait onbemand en zou dag en nacht stroom op kunnen wekken.

Toch staat de molen nog regelmatig stil.

- Vistrap
- Onbalans generator
- Bediening elektrische sluizen



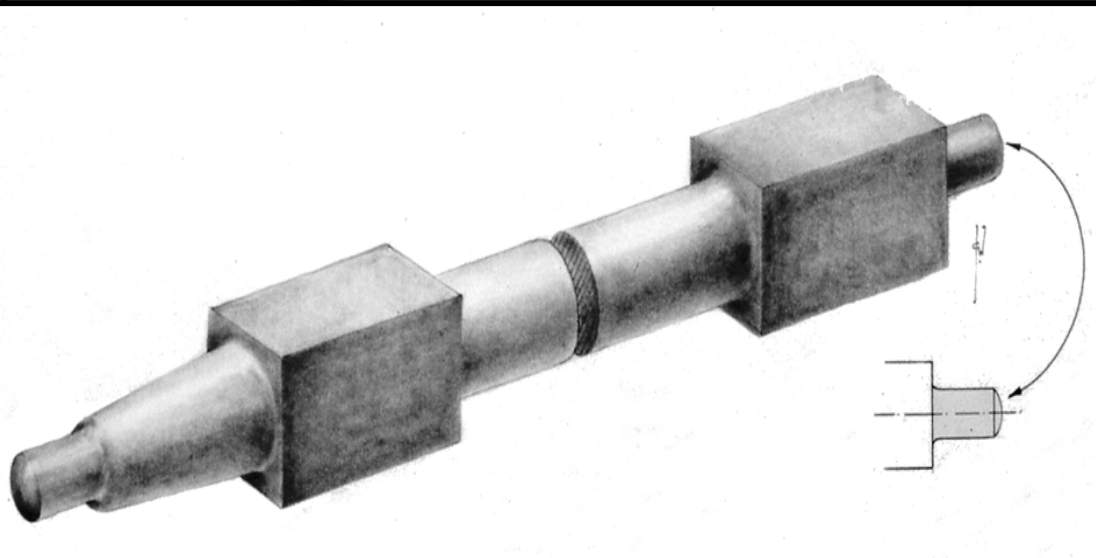
# Assen



Boven houten as met schenen,

links onder ijzeren as,

onder houten as met tap en knuppelstroppen  
arduinstenen lager smeren met (niet gesmolten)  
reuzel.





# Assen

Begin - Assen met lageringsdelen voorzien van schenen. Op hardstenen lagers (arduin). **Smeren met niet gesmolten reuzel.**

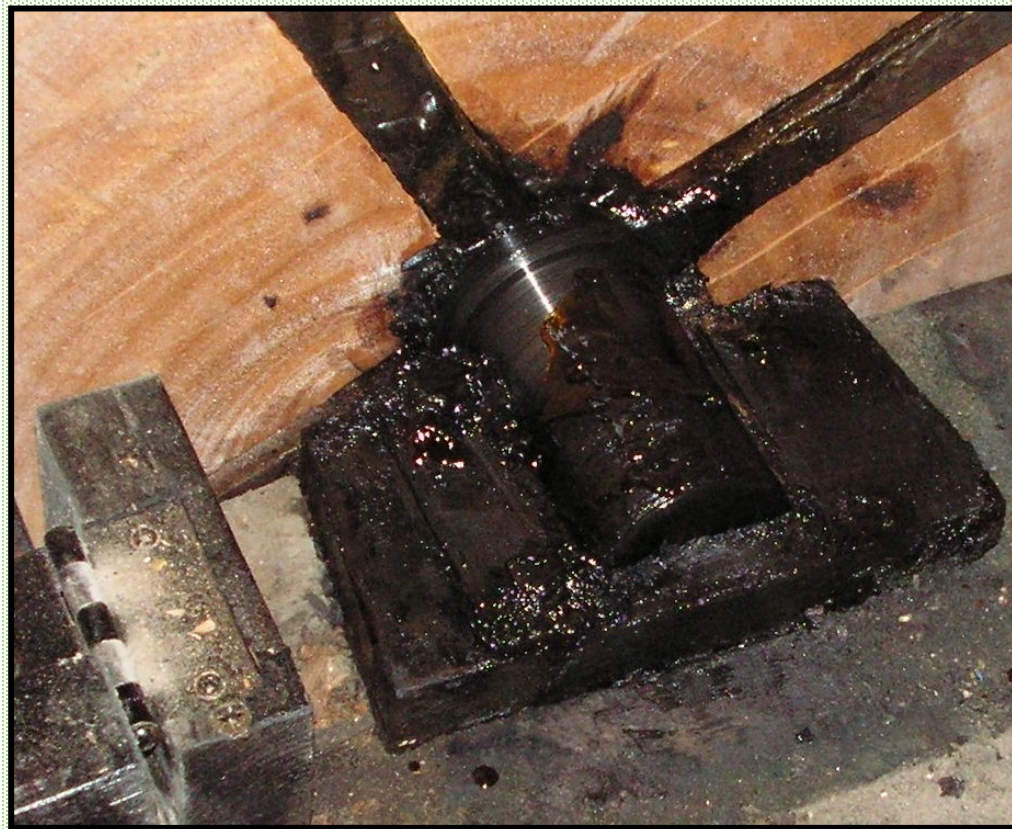
Periode later - ijzeren tappen in de houten assen met knuppelstroppen vastgezet. Gelagerd op hardstenen lagers. **Smeren met niet gesmolten reuzel.**

Nog een periode later - ijzeren tappen in een gietijzeren blok met bronzen schaal. **Smering reuzel of grafietvet.**

Nog later waterdichte lagerblokken met zelfinstellende rollagers. Staufferpot of smeernippel. **Smering grafietvet of consistentvet.**



# Lagering



Links lagering op hardstenen lagers (arduin). Smering met reuzel.

Daarnaast houten as met ijzeren tap gelagerd in een gietijzeren blok met bronzen schaal. Smering reuzel of grafietvet.

Rechts waterdichte lagerblok met zelfinstellende rollagers. Smering via smeernippel met grafiet of consistentvet.



# Van Hout naar IJzer

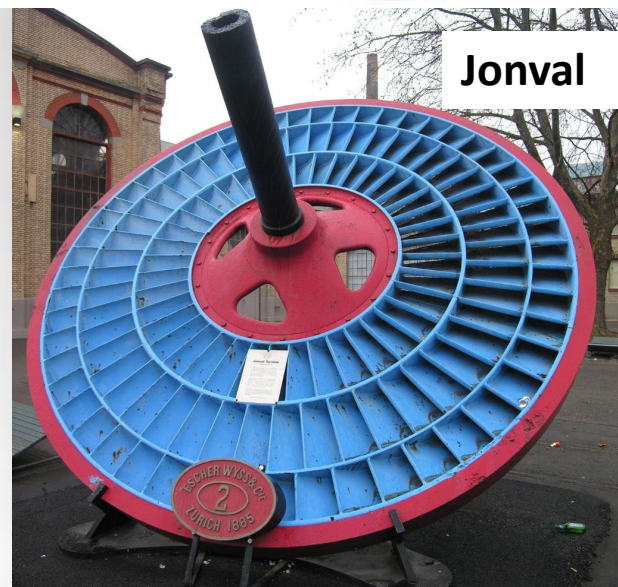
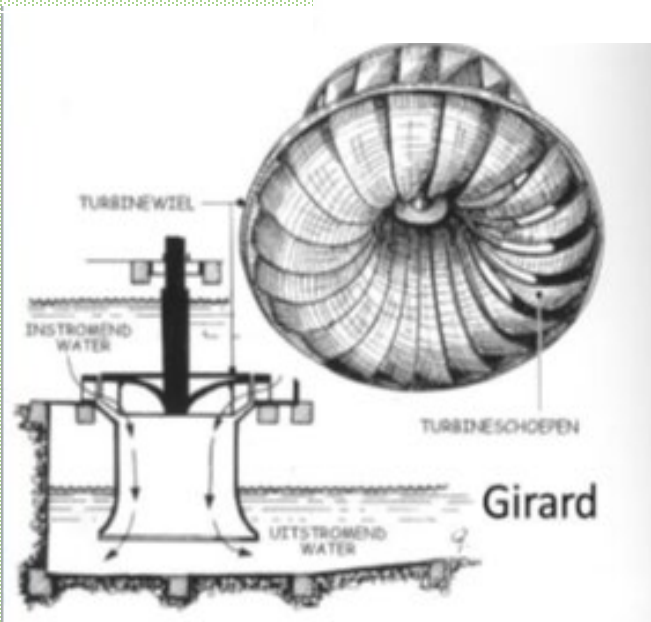
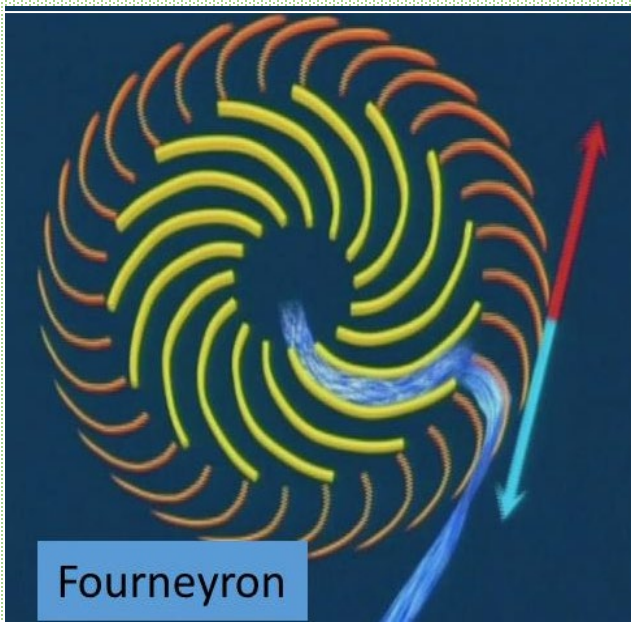
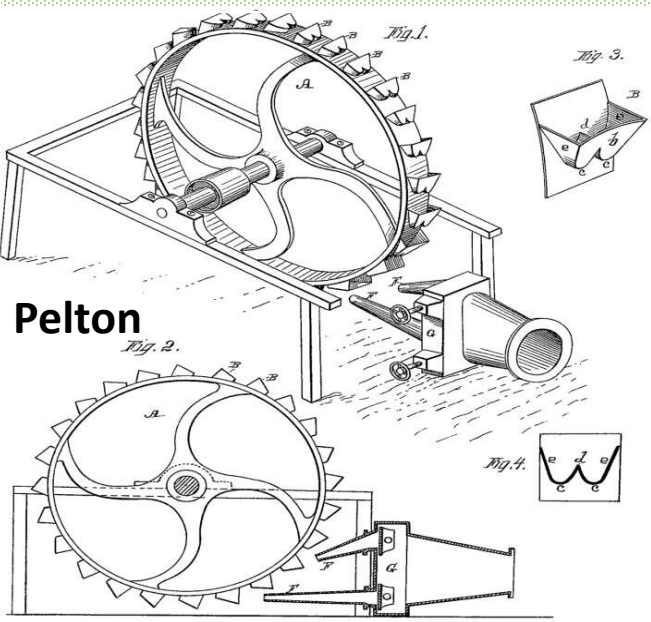
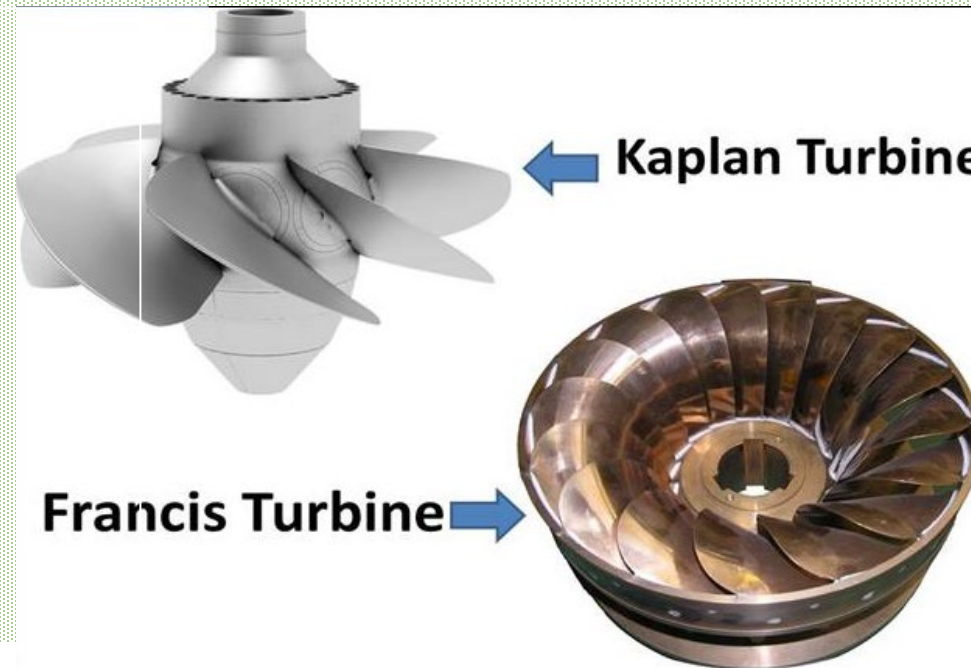
- Stalen raderen zijn duurzamer,
- De schoepen zijn beter te vormen,
- Bij midden en bovenslagraderen zijn stalen cellen dunner waardoor ze meer water kunnen bevatten.



# Turbines

Huidige typen afhankelijk van verval:

Klein: Kaplan,  
 Middelmatic: **Francis, Girard**, Jonval en  
 Fourneyron,  
 Groot: Pelton.



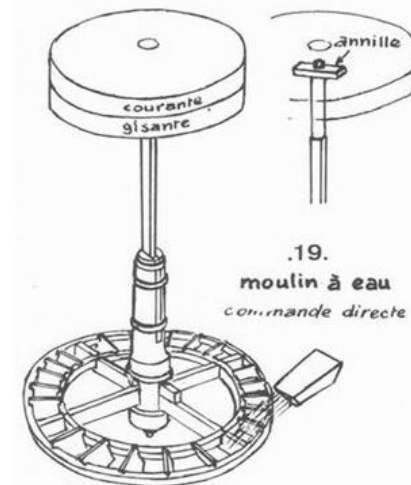


# Turbines

Turbine = Latijns voor draaikolk.

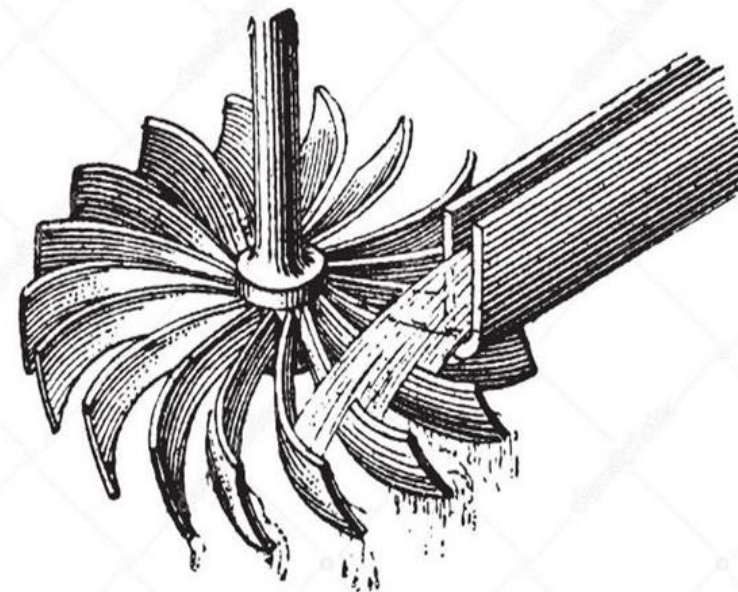
Horizontaal rad in een stromende beek is de voorloper een Brookmill of stockmühle.

Nog steeds in gebruik in bergachtige streken



**Moulin à roue horizontale**

Dessins tirés du livre de Jean Ozatelli "Les Moulins", Editions Jeanne Lafitte





# Turbines

## Principe turbine:

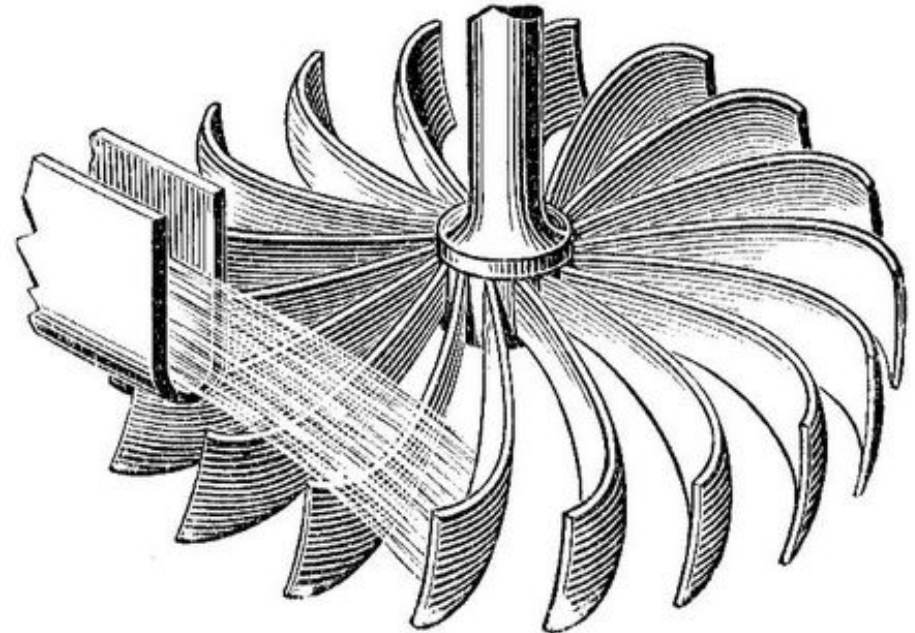
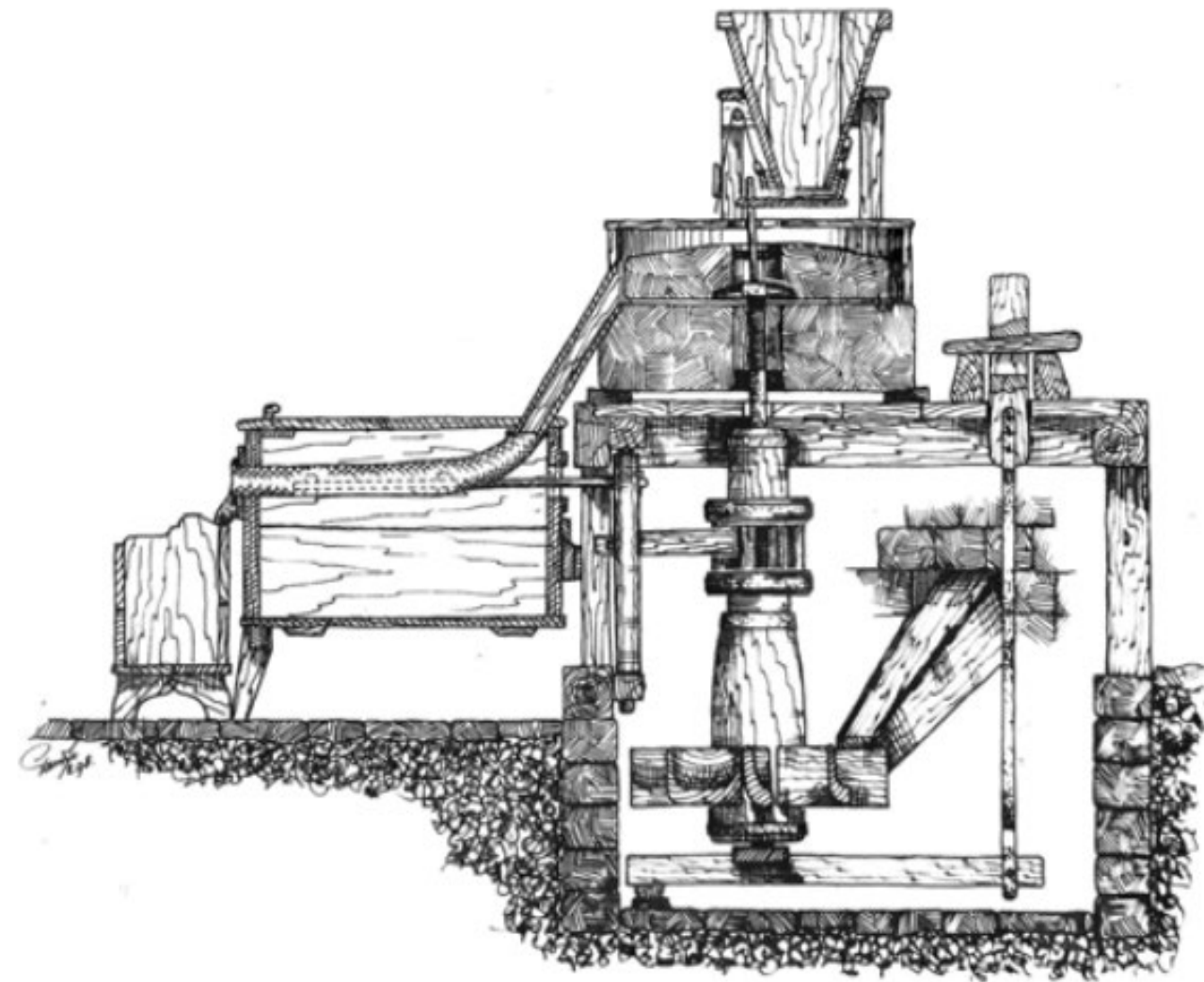
- Horizontaal geplaatst loopwiel met schoepen = rotor,
- Rond gietijzeren turbinehuis = stator,
- Instelbare leischoppen regelen waterstroom op schoepen,
- Geheel onder bovenwater in betonnen/gemetselde schacht enkel as en bediening boven water,
- Boven onderwater m.u.v. einde zuigbuis (Francisturbine),
- Gewicht en snelheid water laat rotor draaien,
- Druk wordt opgenomen door voetlager.





# Stockmühle

Geen turbine maar molen met horizontaal geplaatst schoepenrad.  
Afhankelijk van zeer snel stromend water.  
Daarom enkel in bergachtig gebied.  
Werking: krachtige waterstraal op vlakke of lepel-vormige schoepen.





## Indeling:

**Axiale of vrije straal turbine**, water stroomt evenwijdig aan as: Jonval, Girard.

**Radiale turbine**, water zijwaarts door de turbine:

Fourneyron binnenslagtype

water stroomt van binnen naar buiten.

Francis buitenslagtype

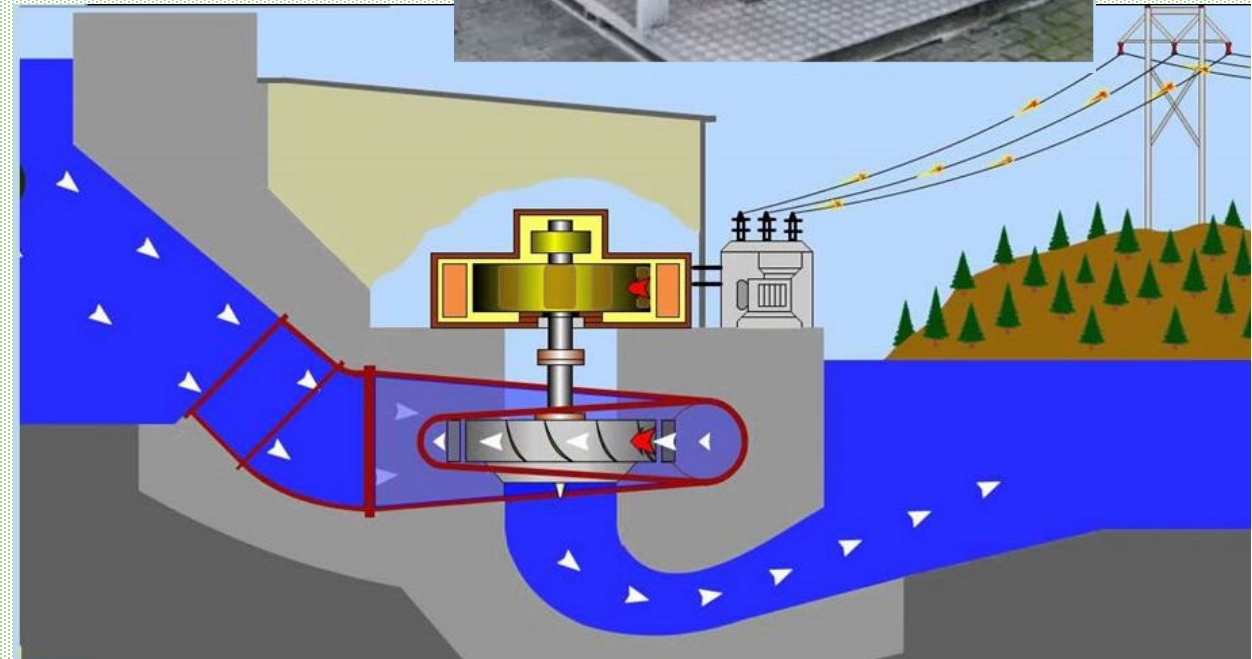
water stroomt van buiten naar binnen.



# Turbines

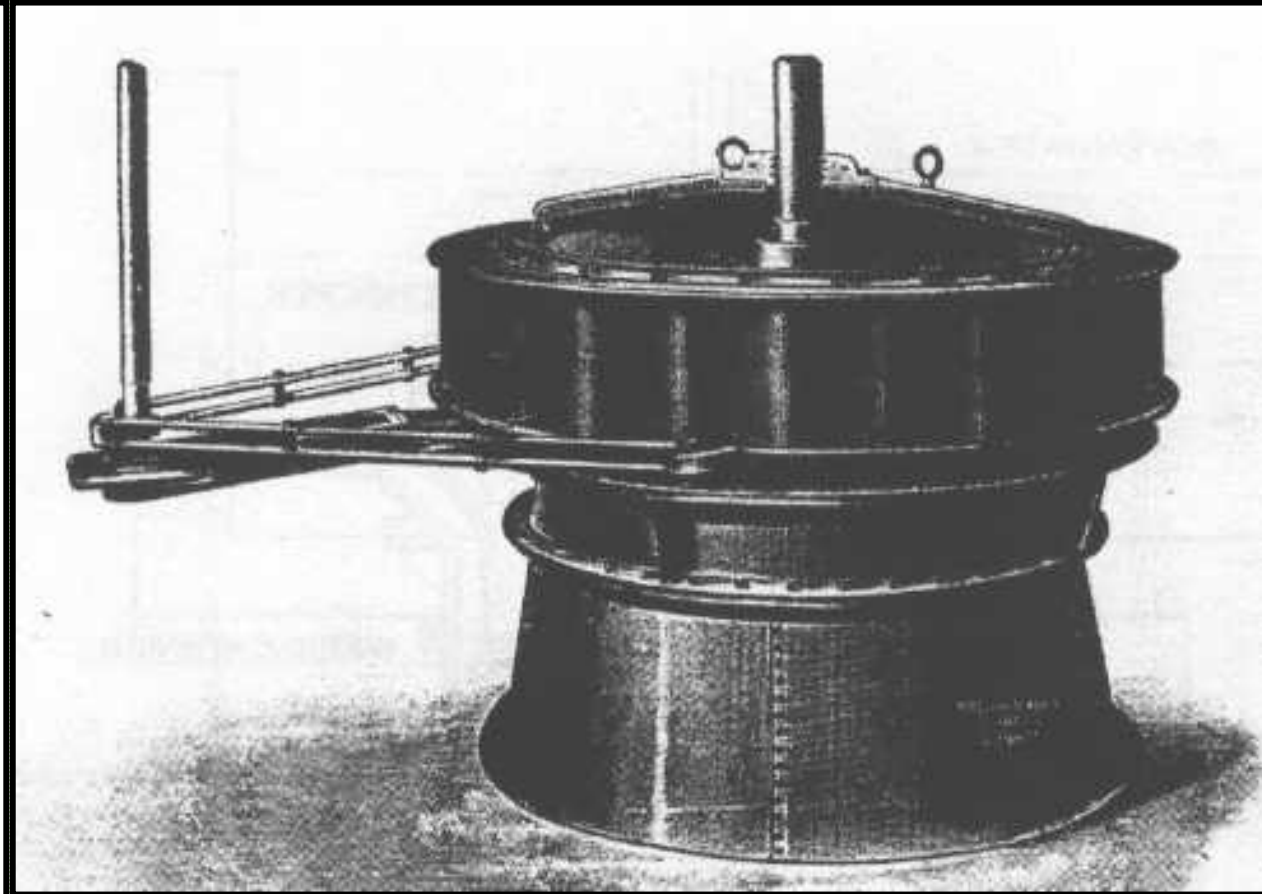
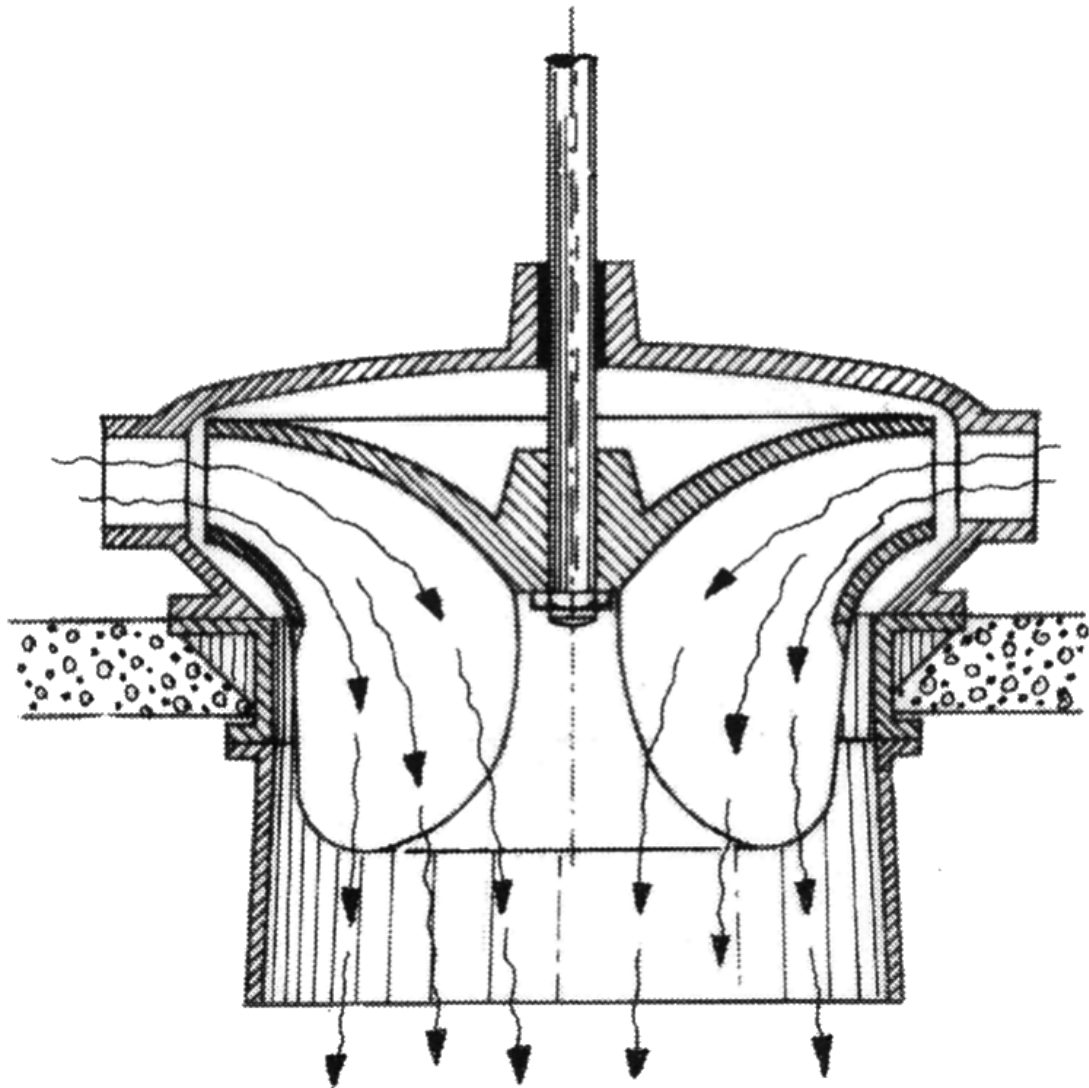
## Francis Turbine

- Het water stroomt vanaf de buitenomtrek via de leidschoepen horizontaal in het loopwiel.
- De schoepen in het loopwiel hebben een gecompliceerde vorm.
- Bij de intredende waterstralen hebben de schuin geplaatste schoepen een rechte vorm die onder in het loopwiel overgaat in een kromming.
- Het water verlaat het turbinehuis door een conische zuigbuis. De waterstroom wekt door zijn gewicht een sterke onderdruk op.
- Door de zuigbuis kan de Francis-turbine zowel verticaal als horizontaal worden toegepast.
- Rendement 90 tot 95%.





# Turbines



**Francis turbine**

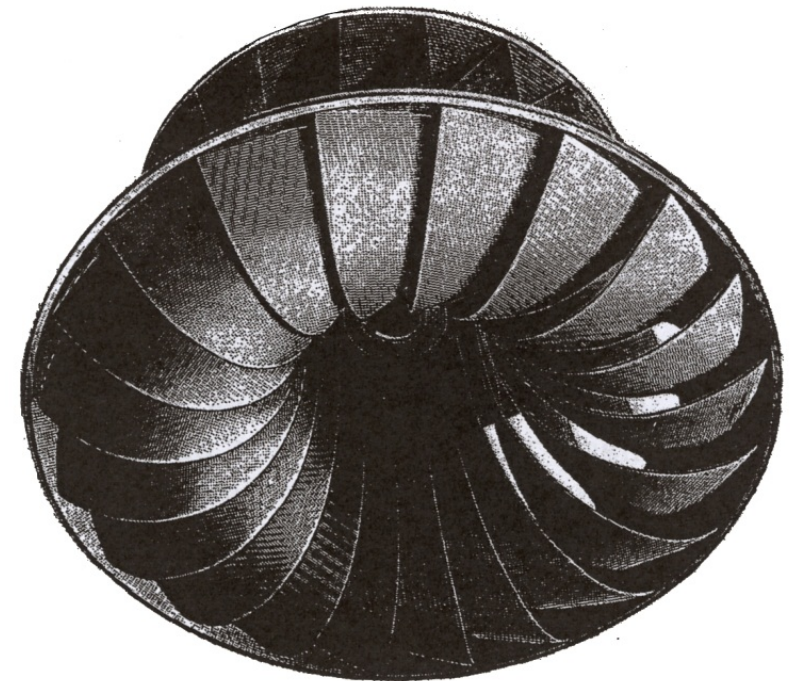
Met verstelling van de leidschoepen



# Turbines



Links de rotor.  
Let op scherpe bocht in onderste  
deel van de schoepen.





# Turbines



Links gesloten en rechts geopende leidschoepen.



# Turbines

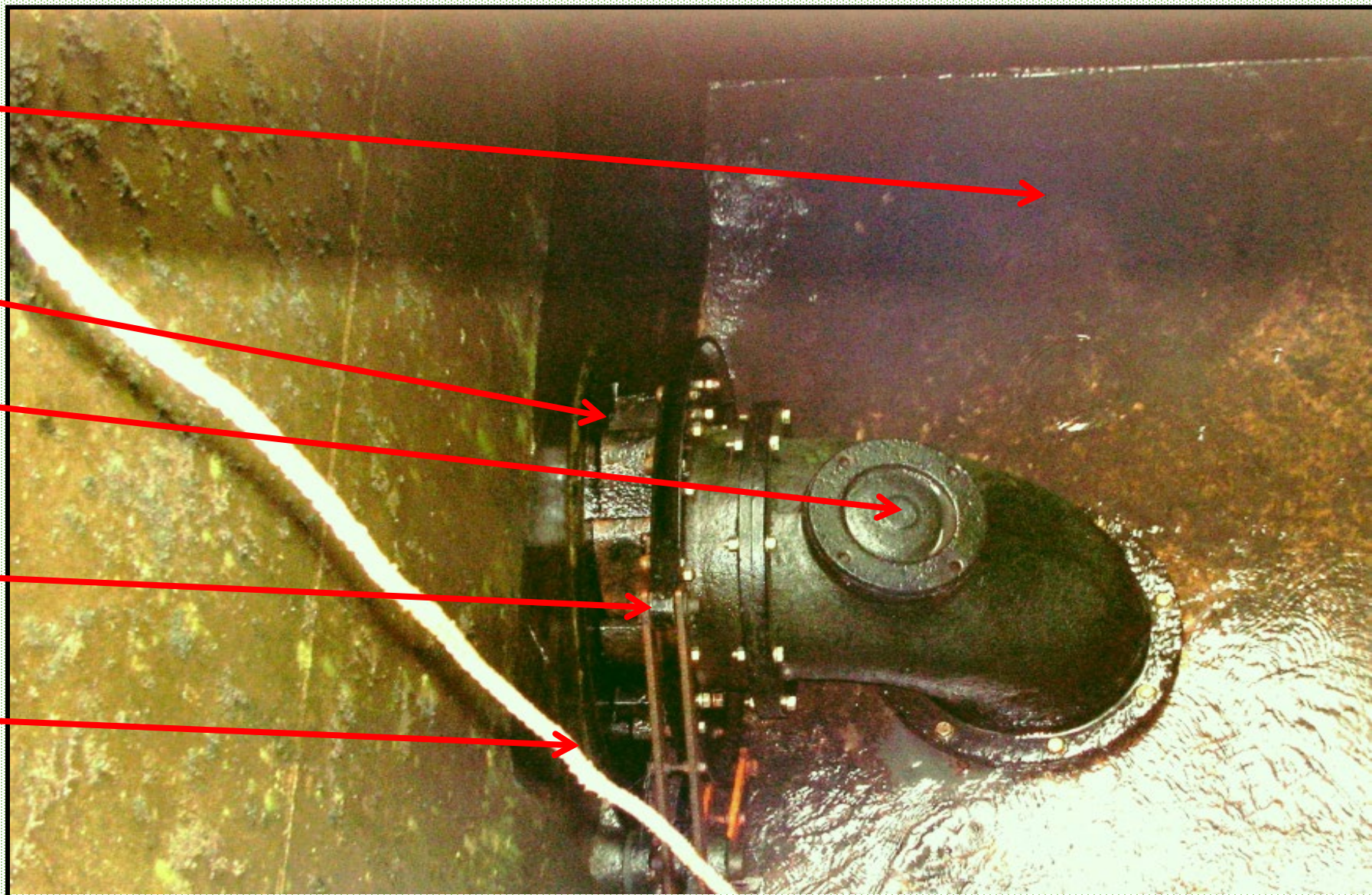
Water oppervlak  
onderwater

Turbine

Zuigbuis

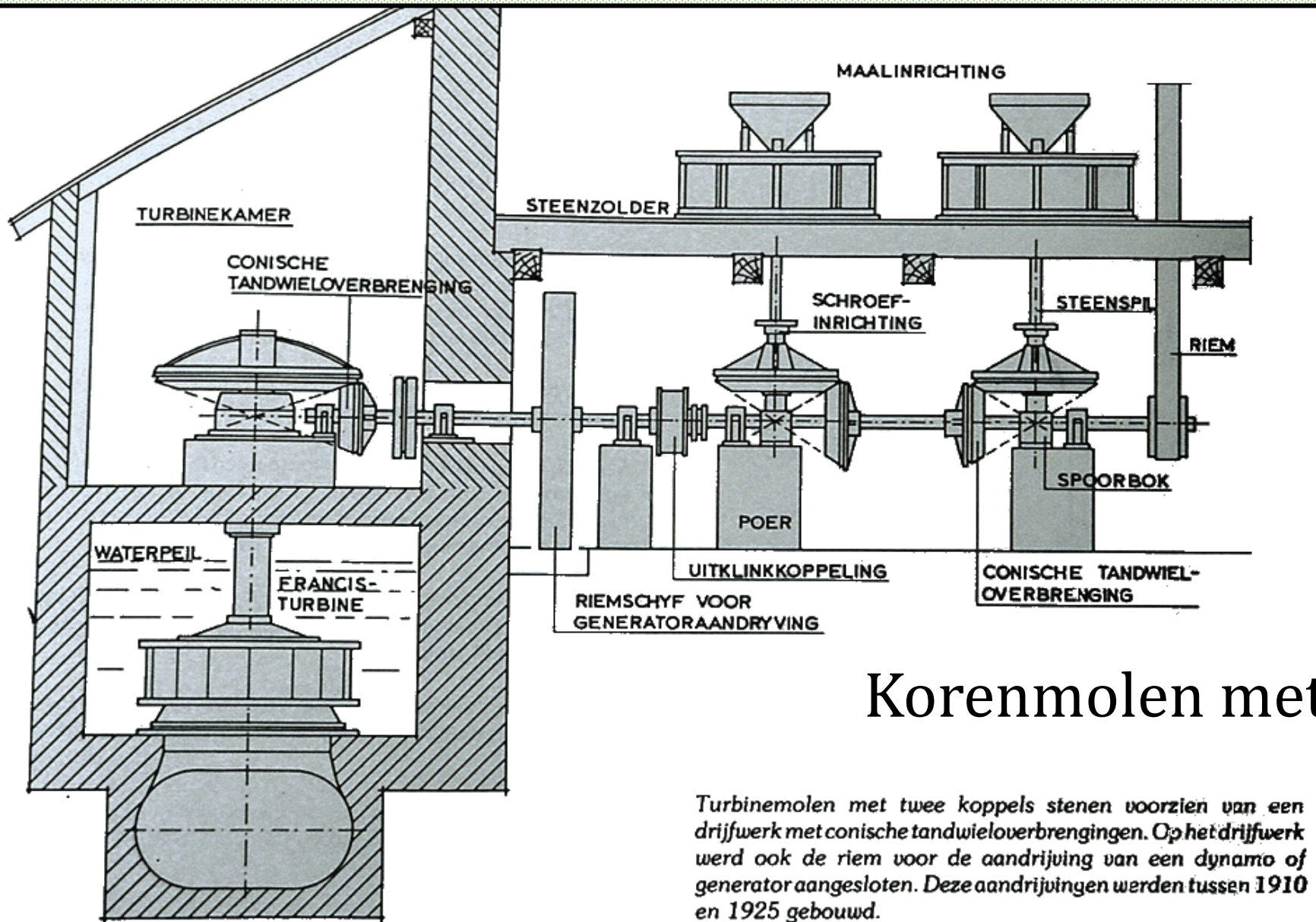
Mechanisme verstellen  
leischoepen

Touw naar stop in  
bodem om bassin leeg  
te laten lopen





# Turbines



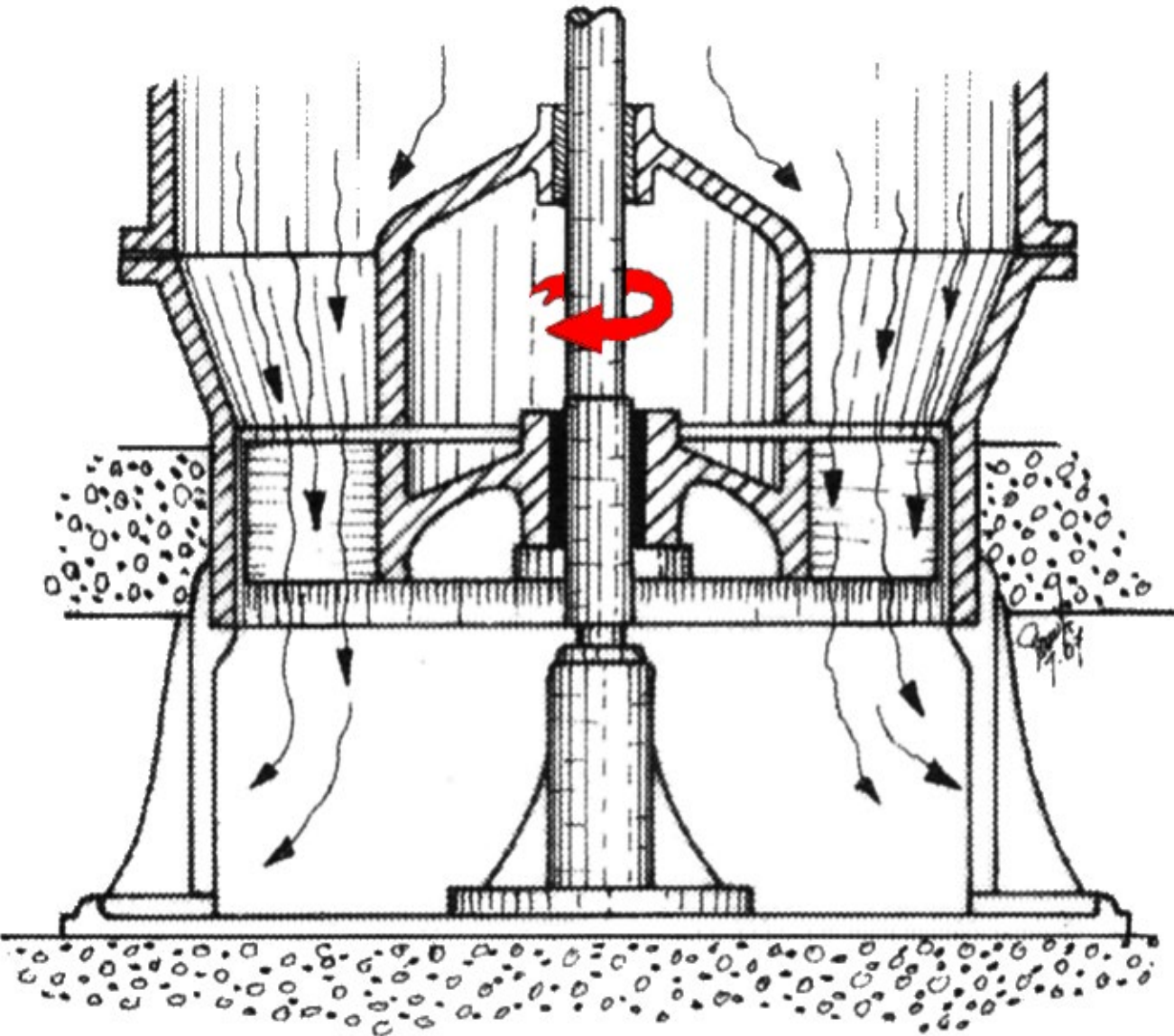
## Korenmolen met Francis turbine

*Turbinemolen met twee koppels stenen voorzien van een drijfwerk met conische tandwieloverbrengingen. Op het drijfwerk werd ook de riem voor de aandrijving van een dynamo of generator aangesloten. Deze aandrijvingen werden tussen 1910 en 1925 gebouwd.*





# Turbines



## Girard turbine

Water stroomt verticaal door de turbine.

Leidschoepen boven turbine.

Watertoevoer geregeld met kleppen.

Turbine moet zich boven het onderwater bevinden.





# Waterraderen en turbines



## Girard Turbine met valpijp

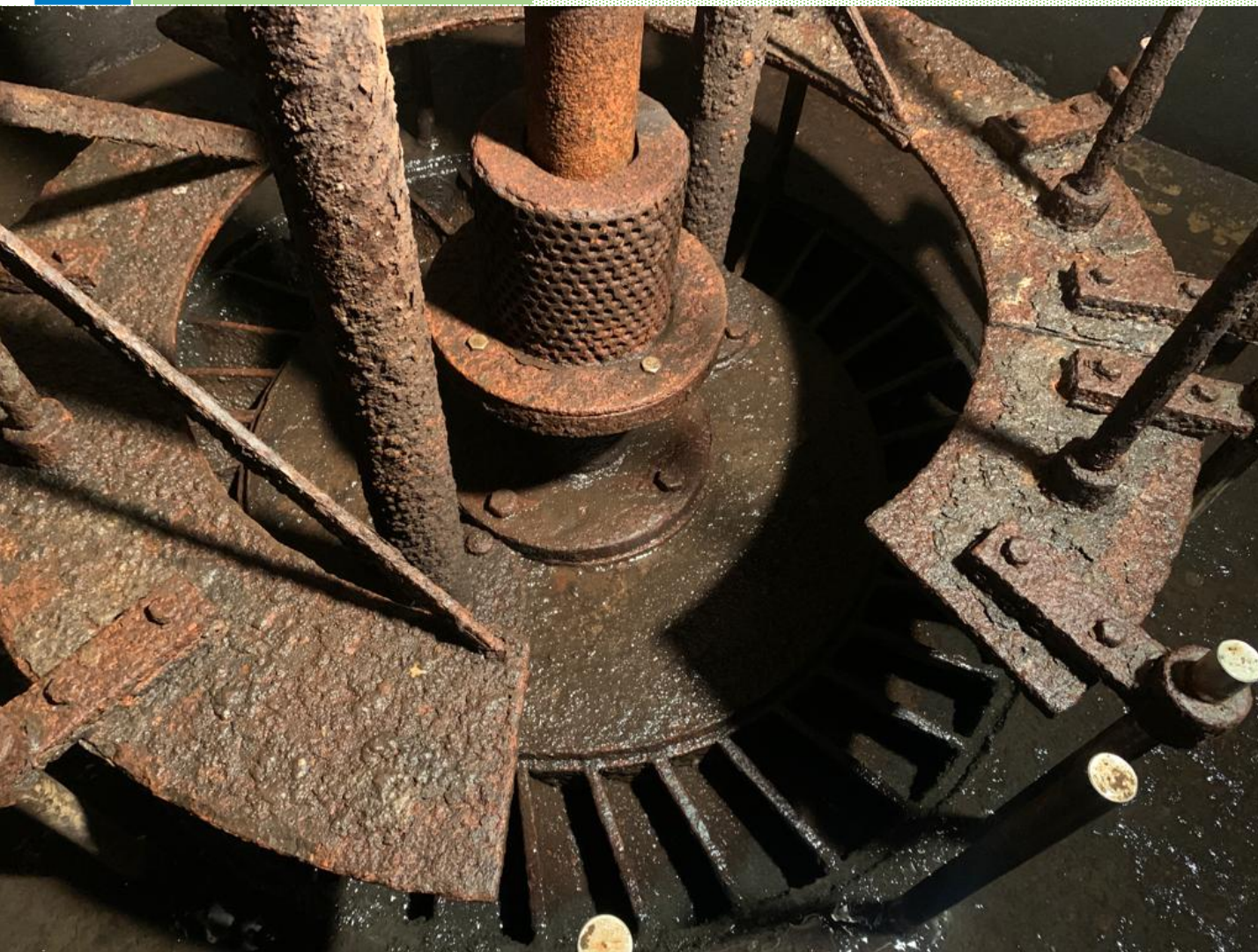
Hier een variant met valpijp, zo is het eigenlijke principe bedoeld.

Het water wordt vanuit de valpijp over ca het halve wiel verdeeld.

Sluitklep ligt er nog af.



# Turbines



**Girard  
turbine  
Grathem**

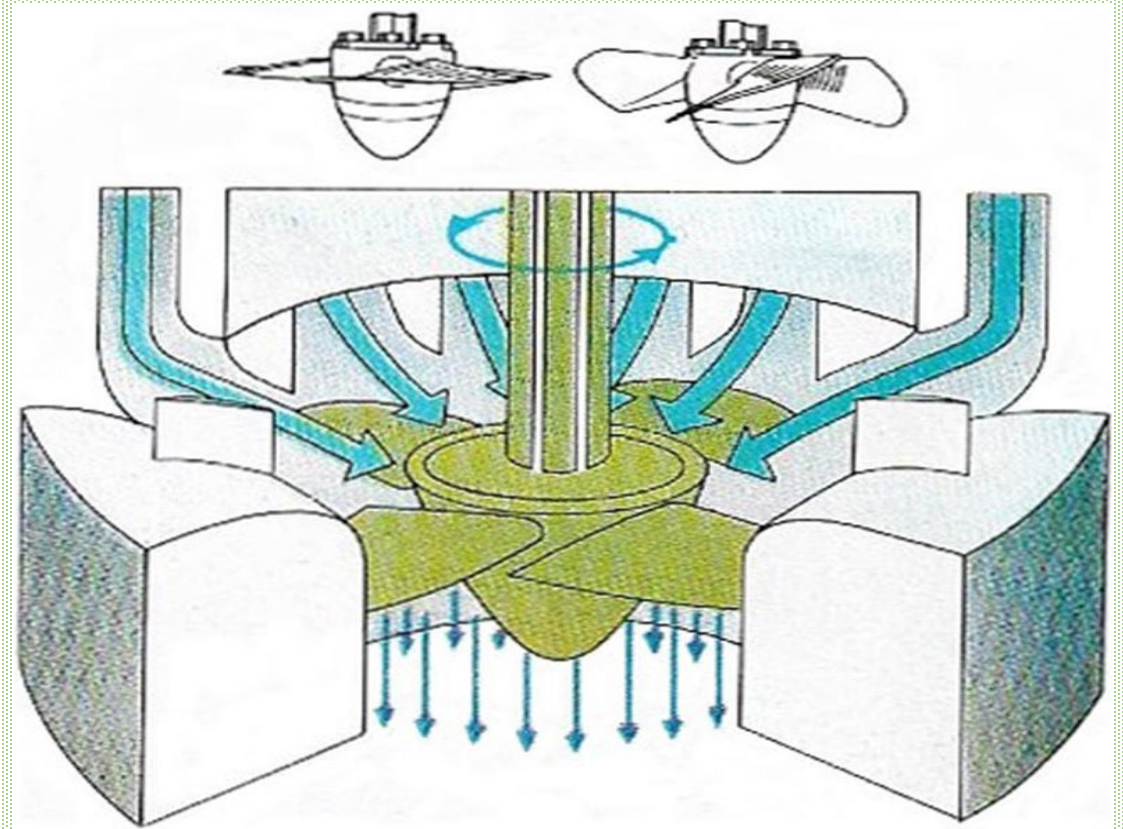
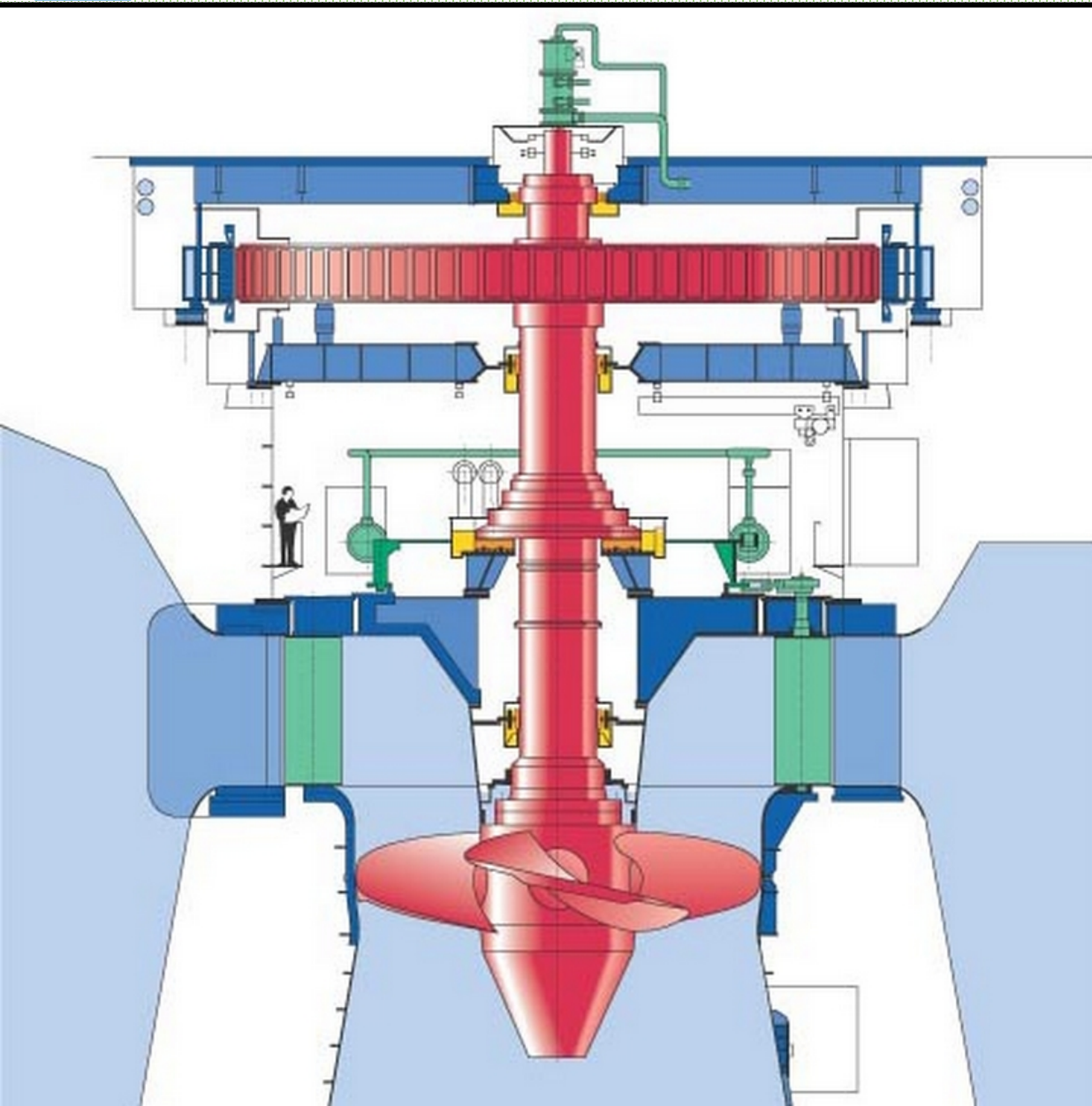
Sluitkleppen  
hier gesloten

Water stroomt verticaal door de turbine. Leidschoepen functioneren als sluitkleppen waardoor je de hoeveelheid water dat op het turbine wiel valt kunt beïnvloeden



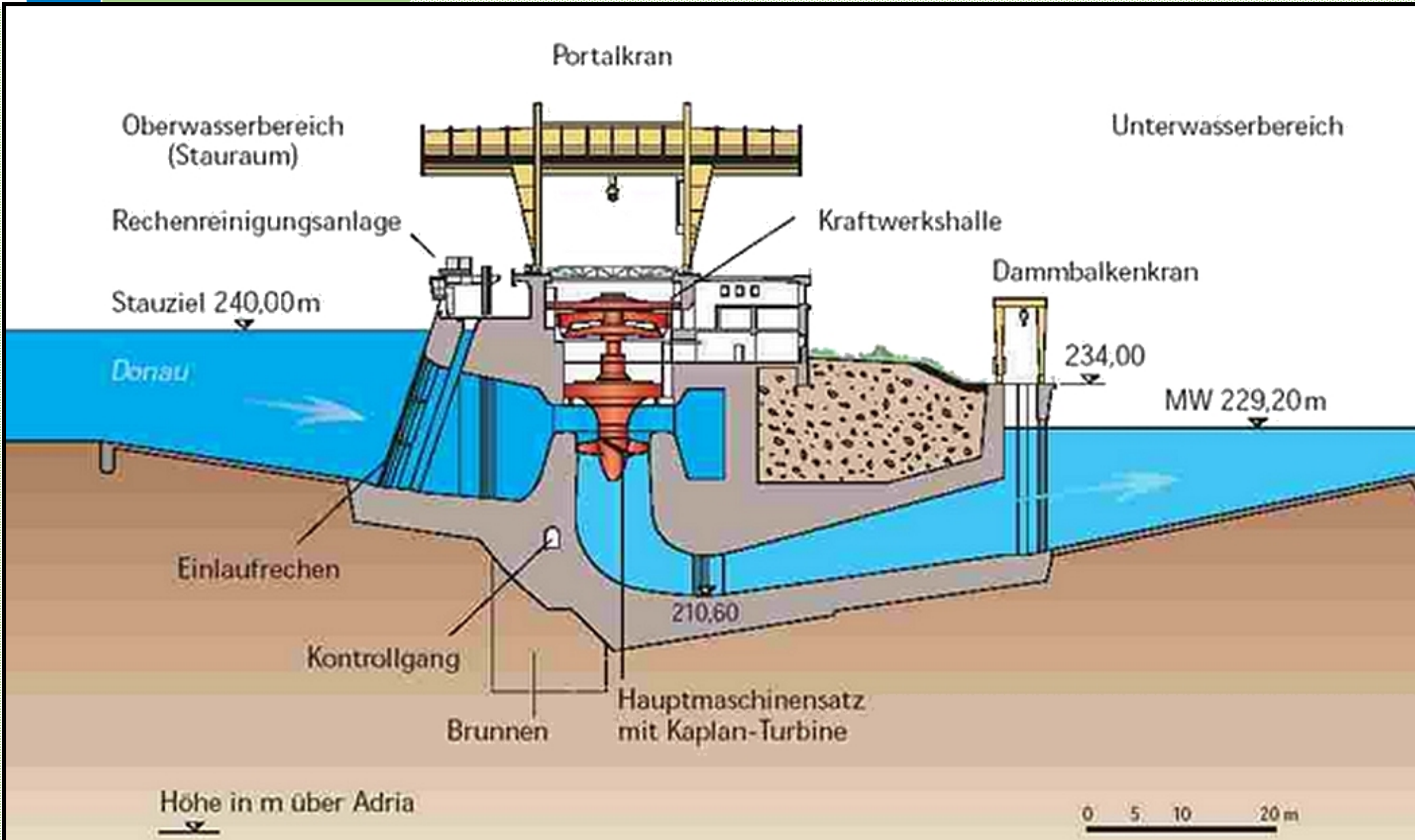
# Turbines

**Kaplan Turbine Verticaal**  
Schroefturbine, Principe  
scheepsschroef, Laag verval,  
Getijdencentrale  
La Róche in West-Frankrijk.





# Turbines Kaplan Verticaal

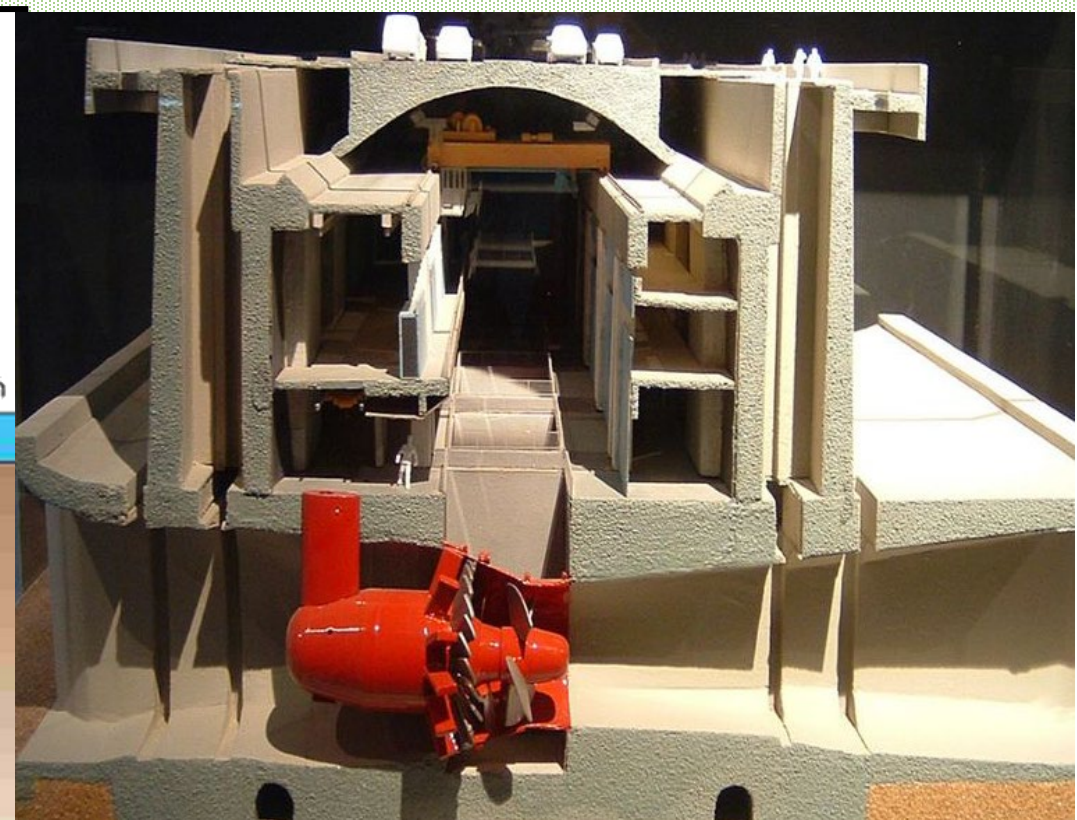
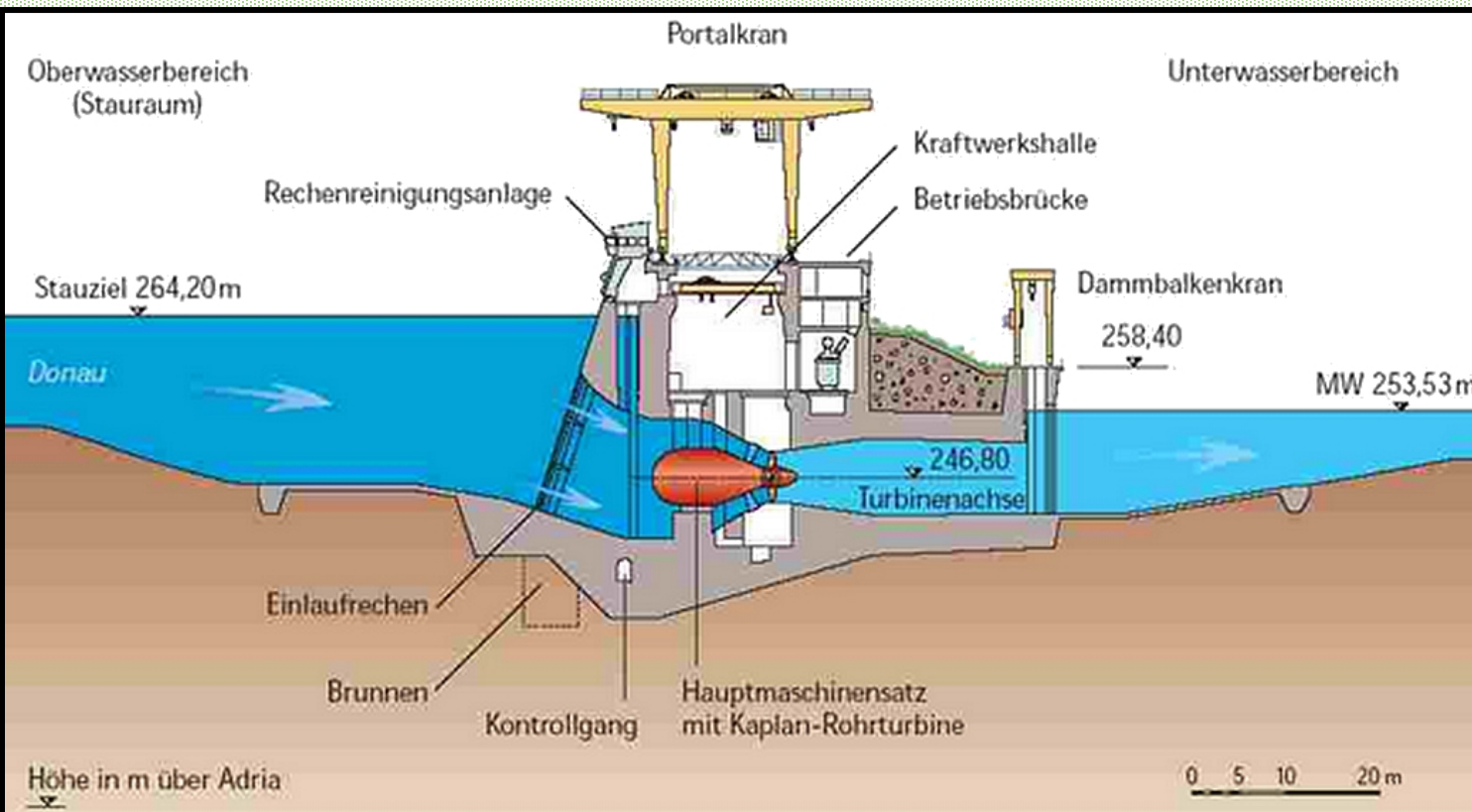




# Turbines

**Kaplan Horizontaal**  
**Plaatsing Kaplan te vinden in stuwdam in**  
**Donau**  
**Ook te vinden bij de stuw Linne**

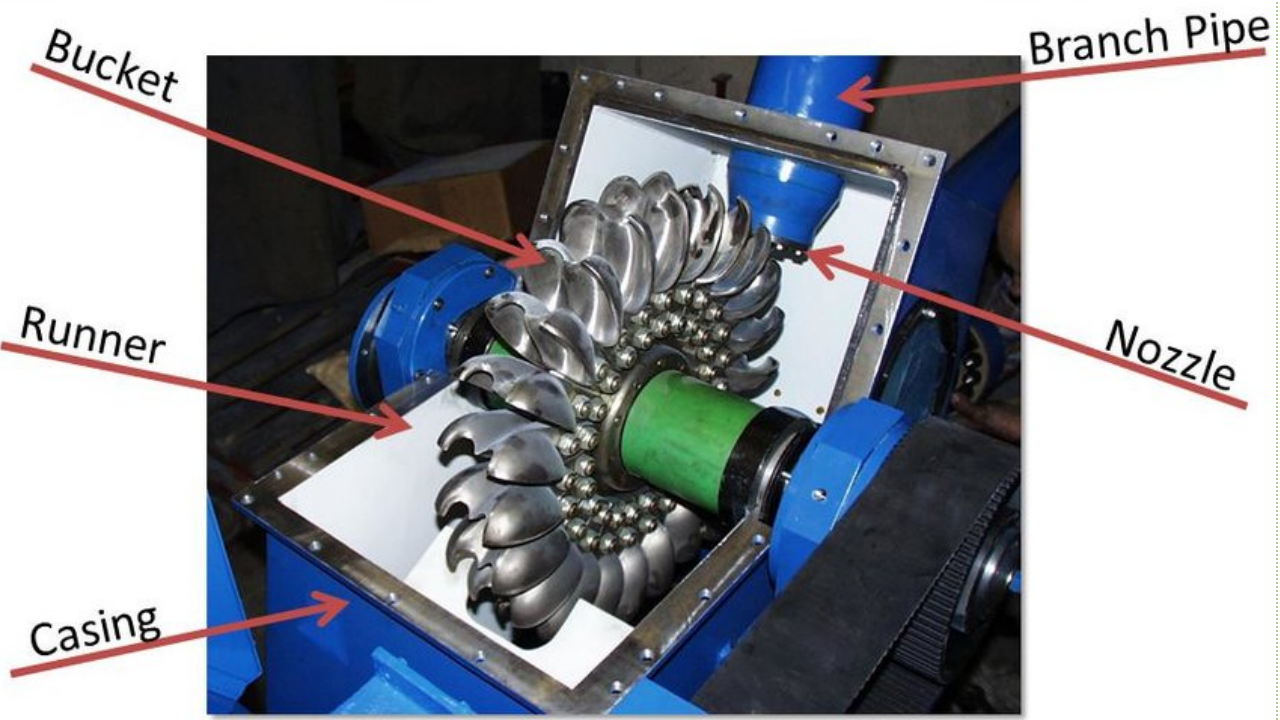
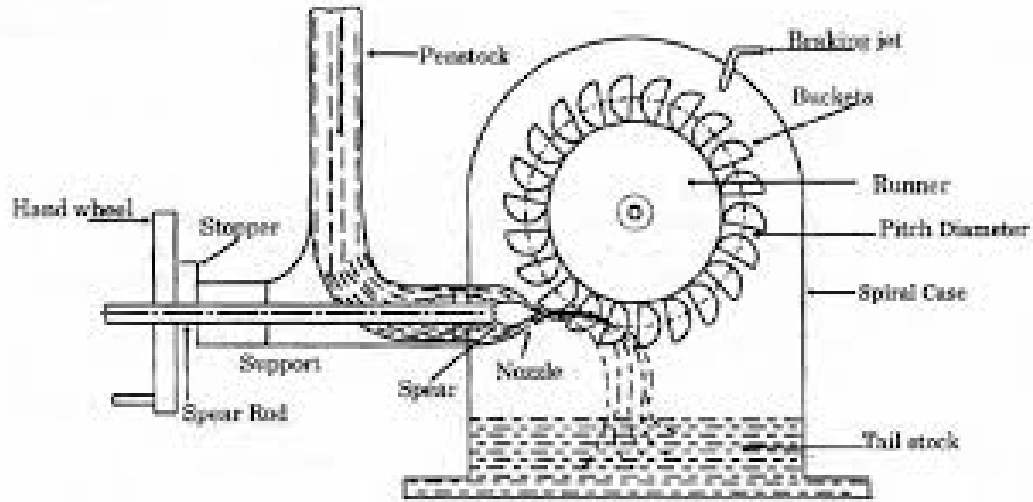
**En in getijde centrale**  
**Rance Normandië**





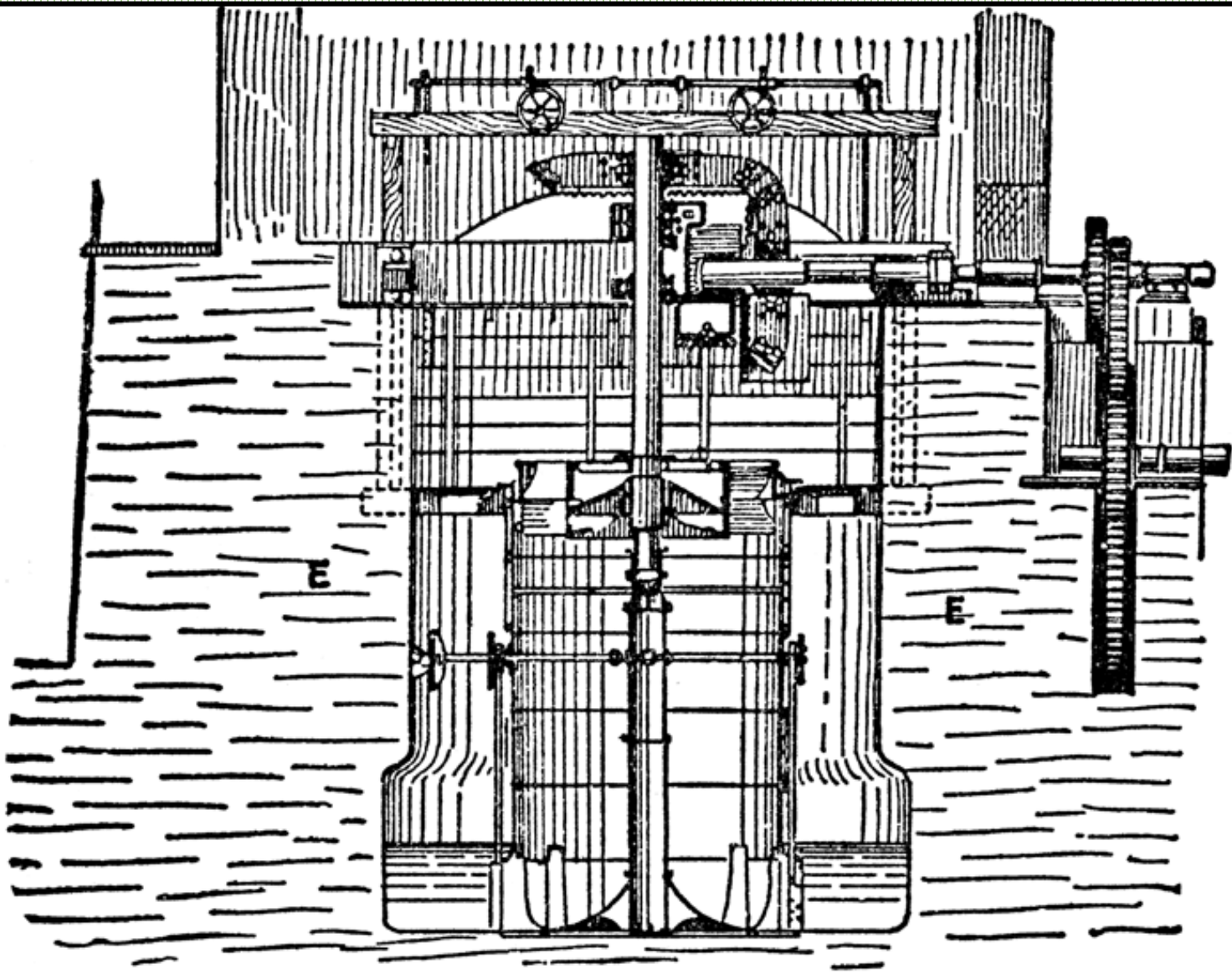
# Turbines

## Pelton turbine





# Turbines



## Jonval Turbine

Water stroomt verticaal door de turbine.

Turbine moet zich boven het onderwater bevinden.

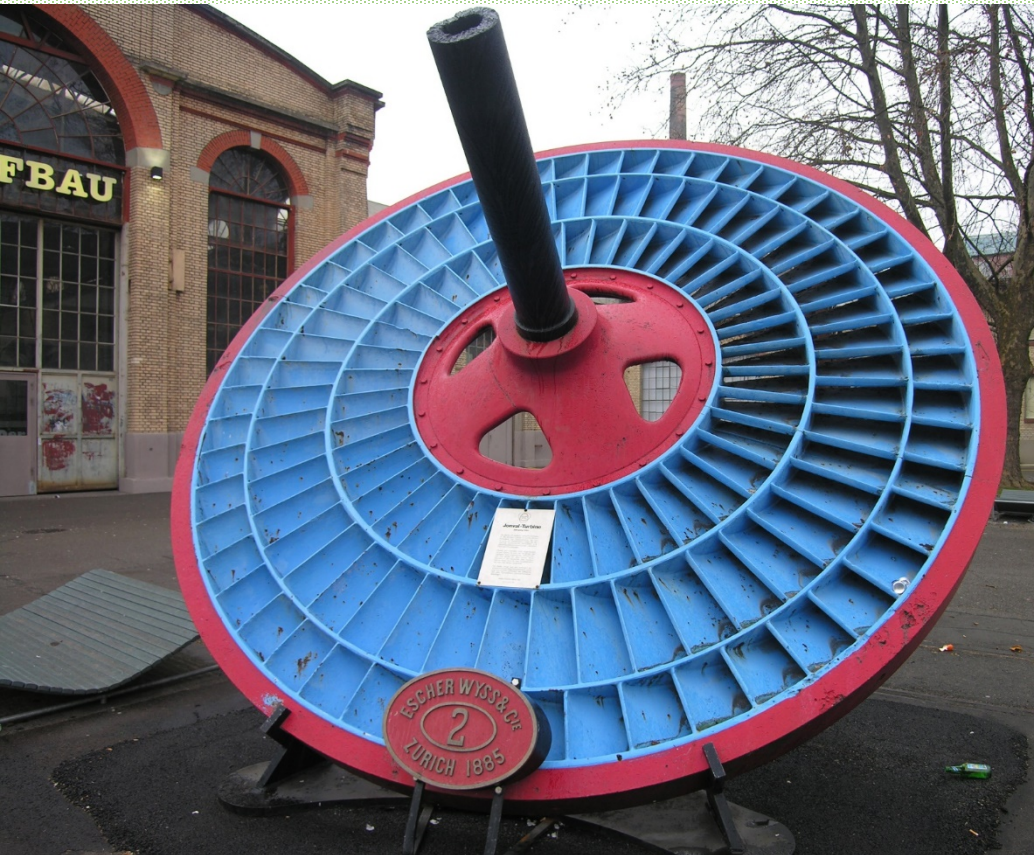
Verdrongen door Francisturbine.





# Turbines

## Jonval-turbine



Een deel van het oude motorhuis werd herbouwd zodat de motorgroep en een Jonval-turbinewiel behouden konden blijven. Het doet nu dienst als een klein museum voor rondleidingen.

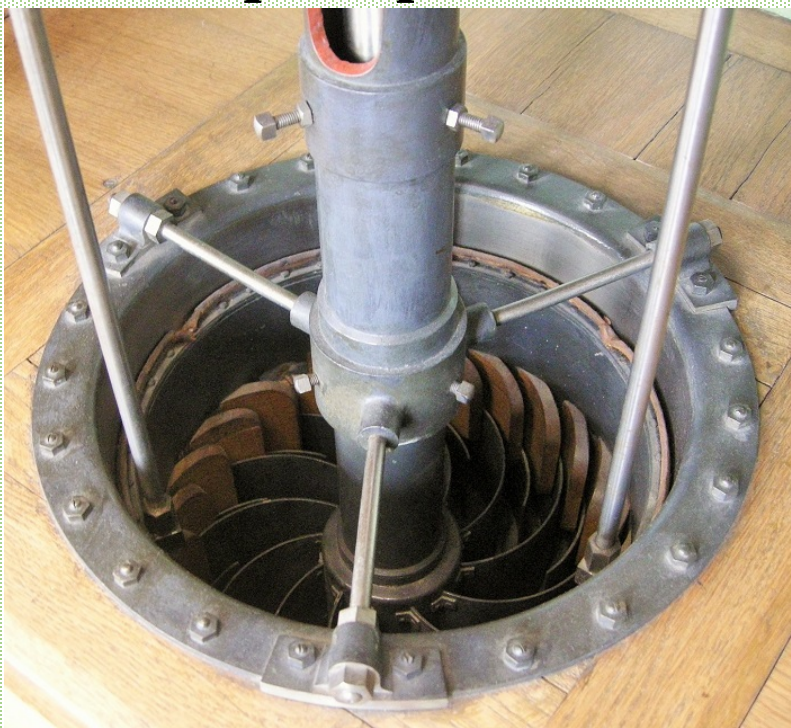


# Turbines

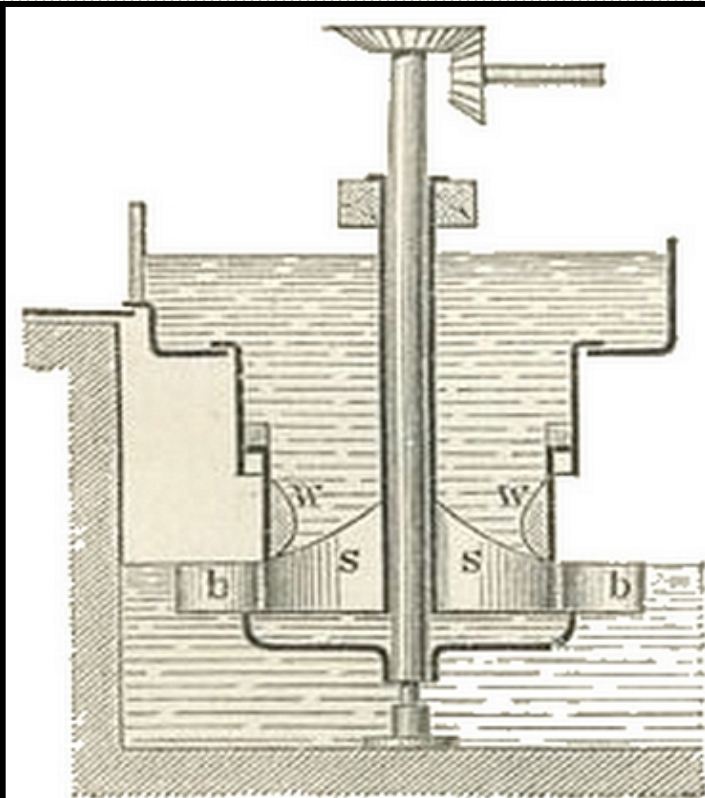
## Fourneyron turbine

Het water stroomt horizontaal vanuit het centrum naar de buitenkant waar zich de rotor bevindt.

Principe op berekening van Poncelet.



Komt in Nederland niet voor





# Turbines

## Voordelen turbine:

- Lange levensduur.
- Hoog rendement.
- Hoog toerental daardoor eenvoudige overbrenging.
- kan bij vorst langer draaien omdat hij onder water zit.

## Nadelen turbine:

- Erg gevoelig voor klein vuil, dus krooshek moet fijn zijn.
- Kan verzanden, vastroesten bij lange stilstand.
- Kan vastlopen en moet dan geheel gemonteerd worden, wat een enorme operatie is, omdat hij onderwater zit.



# Samenvatting waterraderen

## Onderslagrad

Hout / metaal  
Verval tot 1 m.  
(Twente 2,5 m.)  
Diameter 4 - 8 m.  
Rechte schoepen 24 – 48  
Toerental max 20 hoe  
groter hoe lager  
Rendement 25 – 30%

Watertoevoer via ark

## Middenslagrad

Hout / metaal  
Verval 1,5 tot 3 m.  
Diameter 3-6 m.  
Gebogen schoepen  
Toerental max 20 hoe groter hoe lager  
Rendement ca. 75%  
Watertoevoer via ark net onder  
ashoogte  
Verbetering coulissen

## Bovenslagrad

Hout / metaal  
Verval 3,5 tot 5,5 m.  
Diameter 0,3 m. kleiner  
dan verval  
Cellen  
Toerental 6 tot 10  
Rendement 80 – 90%  
Watertoevoer via kanjel



# Samenvatting waterraderen

## Poncelet

Ijzeren onderslagrad  
Toerental hoe groter  
rad, hoe lager toerental  
Rendement 65 – 70%  
Watertoevoer via  
sabelvormige schuif.  
Gewelfde ark  
Evolvente schoepen  
afgesloten met  
ringplaat

## Sagebien

Ijzeren onder- en  
middenslagrad  
Verval 0,5 tot 2 m.  
Toerental ca. 2 per minuut  
Rendement 80 - 90%  
Diameter 4 tot 8 m.  
Watertoevoer via ark net  
onder ashoogte  
Verbetering coulisen  
Zeer veel houten schoepen

## Zuppinger

Ijzeren onder- en  
middenslagrad  
Toerental ca. 5 per  
minuut  
Rendement ca.75%  
Rad 5 tot 6 m. breed  
Watertoevoer via  
instelbare schuif =  
overlaat  
Houten schoepen



# Samenvatting Turbines

## Francis Radiaal

Toerental 60 - 80

(Nordbeckmühle 300  
tpm)

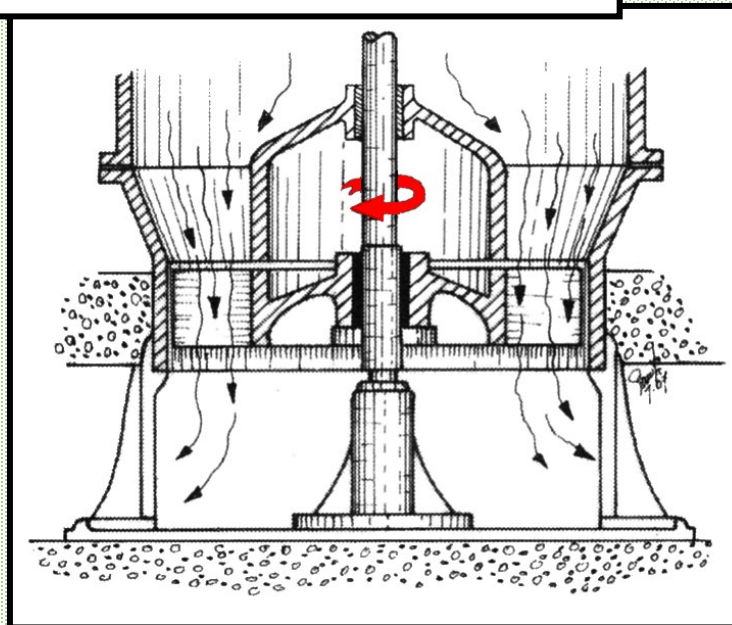
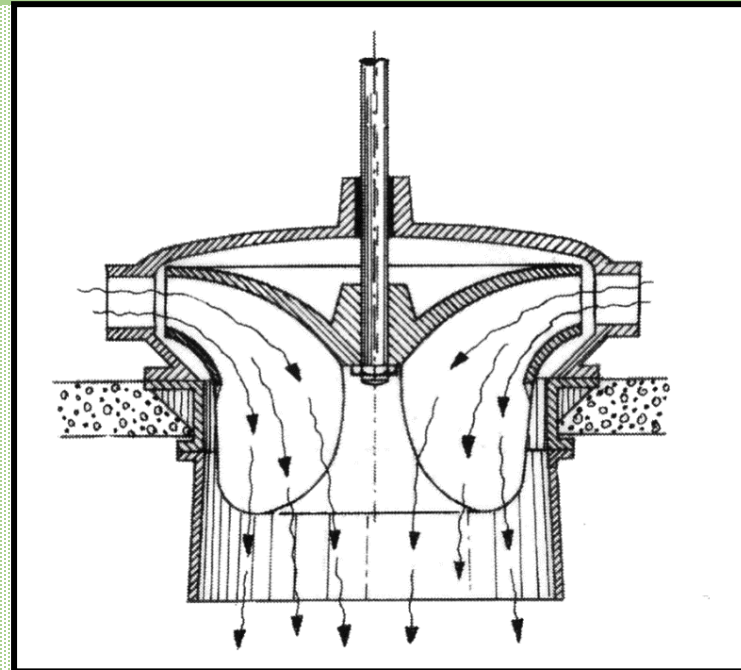
Rendement 85 - 90%

Watertoevoer via schacht

Zijdelingse instroming

Leischoepen

Zuigbuis in onderwater



## Girard Axiaal

Toerental 60 -80

Watertoevoer via  
schacht

Verticale instroming

Leischoepen

Boven onderwater<sup>78</sup>



# Waterraderen en turbines

Bedankt voor uw aandacht, maar denk wel aan uw veiligheid in en om de molen.

Hier een veilig plaatje hoe je een maalsteen uit het werk kunt zetten zonder ergens tussen te komen.

Wees ook ten alle tijden een ambassadeur voor de Nederlandse molens





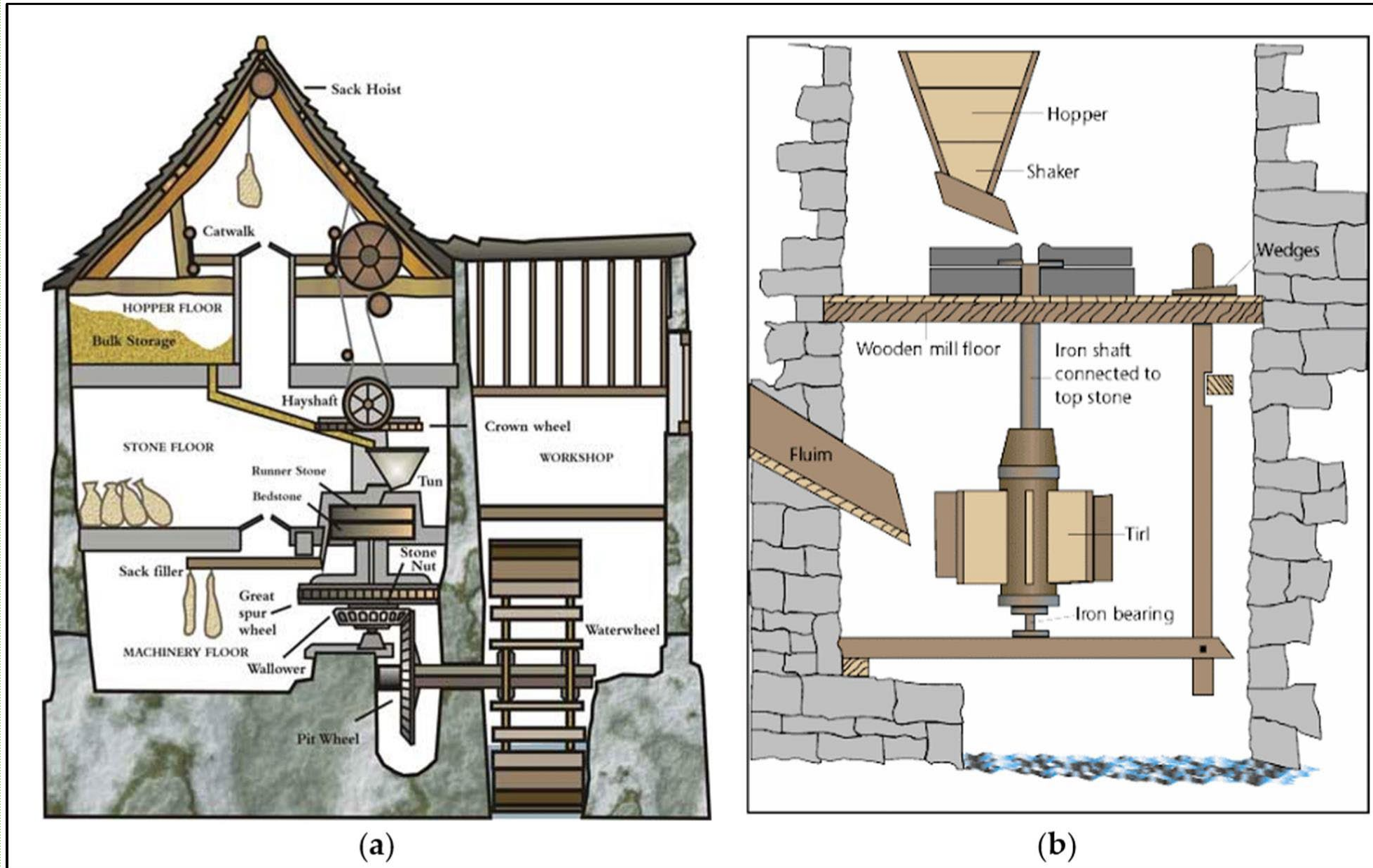
# Diversen







# Diversen





# Duitsland / Oostenrijk



Wardenburg



Warenholz



# Duitsland / Oostenrijk



Bruch



Synthener



# Diversen



Lower Slaughter



Puerto Rico



# Diversen



Onbekend



Vietnam



# Onder / Boven Koren en Electro



Bristol



# Bovenslag



Stanway



Landscape monument