

De Onderste Steen Boven (versie 3¹)

Wiard Beek

Gevonden maalstenen

Tussen 2005 en 2008 zijn er naast tientallen fragmenten van maalstenen ook twee complete (hele) maalstenen gevonden in waterputten van de Romeinse stad Forum Hadriani te Voorburg. Ook werd een gefragmenteerde (hele) maalsteen in het veld aangetroffen, dat brengt het totaal op drie hele maalstenen. Afdankte maalstenen werden vaak gebruikt als bodem voor een waterput. Na stampers en mortieren (in vijzelvorm) zijn maalstenen duizenden jaren lang gebruikt, onder meer voor het vermalen van graan tot meel. Eerst gebeurde dat handmatig met wrijfstenen, daarna ontstonden maalstenen die handmatig rond werden gedraaid (kweerns). Vanaf het einde van de ijzertijd tot ver na de middeleeuwen werden in Nederland maalstenen in molens toegepast, die door ezels, water, paarden en wind werden aangedreven. Een hoogtepunt met ongeveer tienduizend molens (samen met de poldermolens vanaf 1407) werd bereikt in de negentiende eeuw. Ten slotte waren weer 90% van al deze molens in de twintigste eeuw verdwenen door de industrialisatie omdat ze onder meer werden vervangen door de huidige stalen walsen in onze meelfabrieken. Voor het malen van graan met een maalkoppel zijn altijd twee maalstenen nodig, de onderste (stilliggende) maalsteen wordt liggersteen genoemd en de bovenste (ronddraaiende) maalsteen wordt lopersteen genoemd.



Afb. 1. Grote maalsteen van onderen gezien toont het maalvlak. Het linksdraaiend recht panscherpsel (groevenpatroon) is zichtbaar. Twee inkepingen naast het kropgat geven de positie van de rij aan.

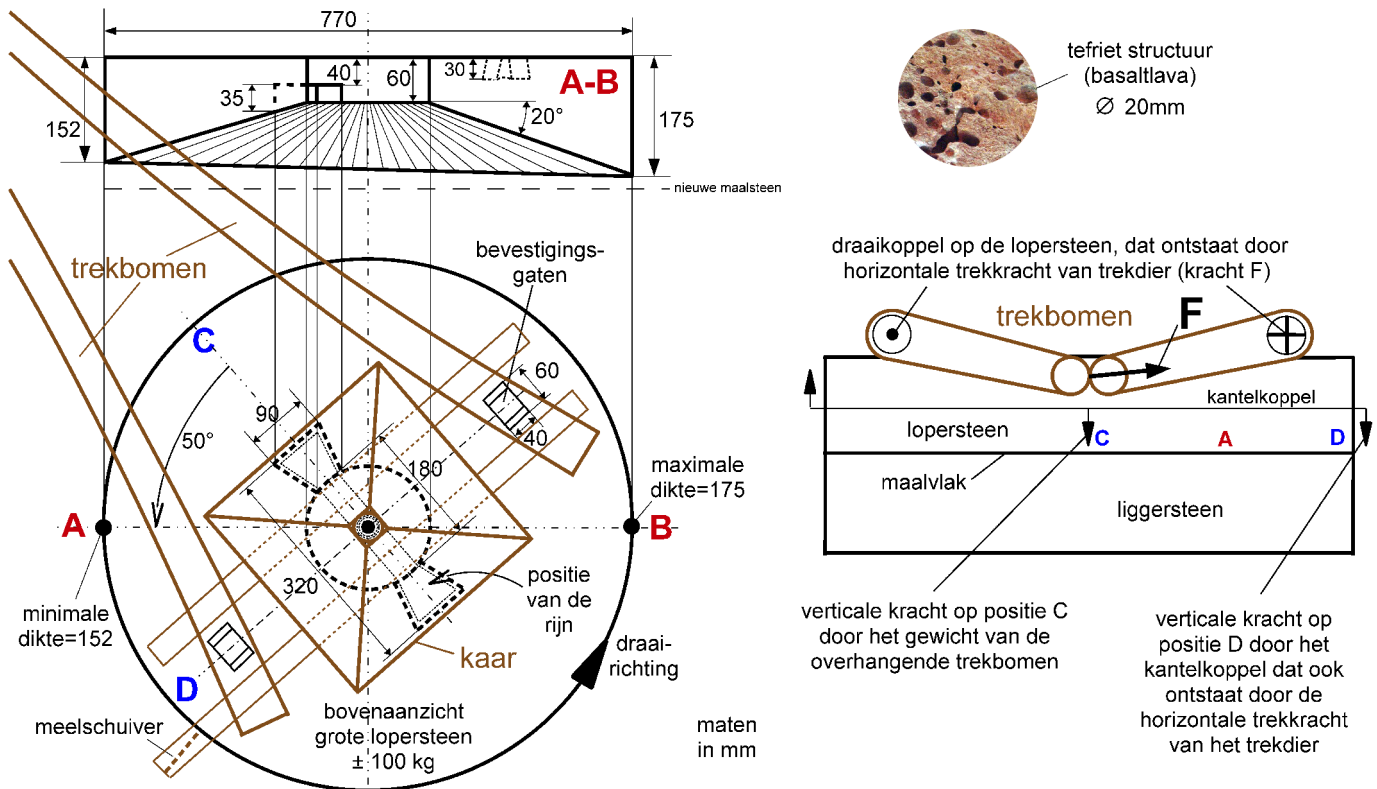


Afb. 2. Dezelfde maalsteen, zij- en onderaanzicht van de werkende positie van deze lopersteen. Goed is de concave vorm van het maalvlak te zien, die moet aansluiten op het convexe maalvlak van de eronder te plaatsen (ontbrekende) liggersteen.

Grote maalsteen

Afbeeldingen 1 en 2 tonen de grote maalsteen, die op 5 december 2007 werd gevonden op de bodem van één van de tien waterputten, in werkput 3. Het spoornummer van de waterput waarin deze maalsteen is gevonden, is 4199. De waterput bestaat uit een putschacht die opgebouwd is uit een of meer (gebruikte) houten tonnen. Het hout van deze tonnen kon niet dendrochronologisch gedateerd worden, maar aan de hand van het aardewerkspectrum (de sluiting van) de (water)put waarin de maalsteen werd aangetroffen is gedateerd in het laatste kwart van de 3e eeuw (kort na 275 na Chr.). De diameter van de maalsteen bedraagt 77 cm en we kunnen hier toch wel spreken van een relatief unieke vondst. We kennen meer van dergelijke Romeinse maalstenen, maar eigenlijk nooit in deze staat. De bekende exemplaren zijn over het algemeen intensief gebruikt en afdankt, iets wat van deze maalsteen niet echt te zeggen is. Tefriet vergaat daarnaast gemakkelijk in de bodem en veel bekende maalstenen brokkelen uit elkaar, zeker wanneer ze worden aangetroffen op de Pleistocene zandgronden (denk hierbij aan de Napoleonshoeden, wrijfstenen uit de ijzertijd). De bijbehorende onderste steen werd (nog) niet gevonden (zie ook het hoofdstukje 'Proefschrift over Forum Hadriani' verderop in dit artikel). De twee inkepingen aan weerskanten van het kropgat en de concave vorm van het maalvlak maken duidelijk dat het hier een lopersteen betreft, de bovenste, draaiende maalsteen. De bovenzijde van de lopersteen is vlak en voorzien van twee gaten (Afb. 5) voor de bevestiging van de trekboomen voor de aandrijving en de kaar, die het te malen graan bevatte. Uit onderzoek van het Amsterdams Archeologisch

Centrum (AAC) bleek dat het materiaal van de maalsteen tefriet is (basaltlava, ook wel Duitse of blauwe steen genoemd) en uit het dichtbijgelegen Mayen in de Eifel afkomstig was (Kars, 1983). Andernach (Antunacum), aan de Rijn gelegen nabij Mayen, was toen een Romeins fort met een haven en functioneerde als handelscentrum in maalstenen als onderdeel van de Limes. Tefriet is bij uitstek geschikt voor maalstenen omdat de structuur is opgebouwd uit goed bewerkbare harde vulkanische steen vermengd met minuscule luchtbelletjes. Tijdens het slijten komen telkens nieuwe gaatjes aan het poreuze maaloppervlak, waardoor het maalvlak scherp blijft (De Wit, 2003). Deze grotere Romeinse maalstenen worden in het Duits: *Kraftmühlsteine* genoemd. De functie van het koppel maalstenen voor de graanvermaling was om de Romeinse soldaten van Forum Hadriani te voorzien van een broodmaaltijd, zie het recept voor Romeins soldatenbrood².



Afb. 3. Afmetingen van de grote lopersteen, detail van tefriet en de optredende krachten en koppels.

Aandrijving van de grote lopersteen

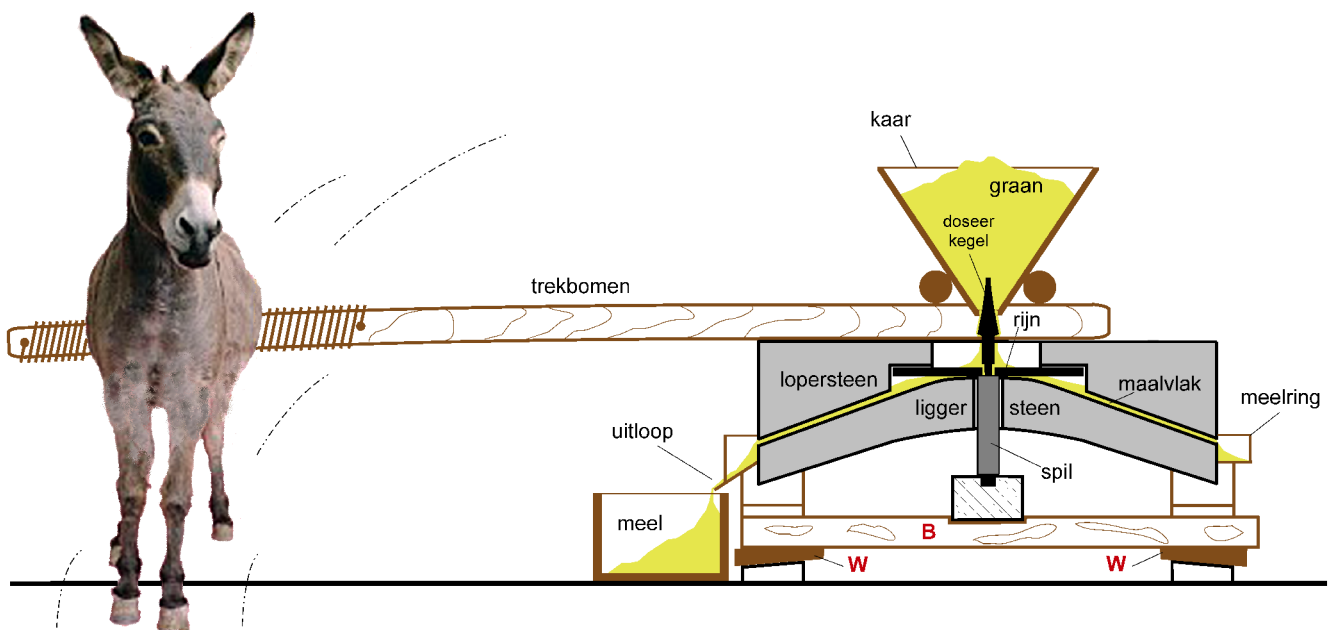
Op basis van de kenmerken van de lopersteen uit de afbeeldingen 1 en 2 trachten we de aandrijving te reconstrueren. De schuine vorm van het maalvlak duidt op een lage omwentelingssnelheid van de lopersteen, waarbij het maalproduct door de kerven van het scherpstel en de zwaartekracht naar de buitenrand van de maalstenen werd gedreven. De grote maalstenen van de latere watermolens, en vanaf de twaalfde eeuw de windmolens, hadden – door hun mechanische aandrijving – een veel hogere omwentelingssnelheid met diameters tot 1,5 m. Die konden daarom nagenoeg vlak gemaakt worden, waarbij de vorm en beweging van de kerven en de middelpuntvliedende kracht het meel naar de buitenrand van de maalstenen dreef. Door de eeuwen heen is de maalsteenverhouding van 1:4 aangehouden (Hörter, 1994) waarbij de oude maat werd aangegeven in ‘duimen’ van 2,46 cm. Deze oude ‘duim’ week iets af van onze huidige duim van 2,54 cm. De diameter van 77 cm komt dan overeen met 32 ‘duim’ en de dikte 8 ‘duim’ (19 cm) waardoor we kunnen vaststellen, dat deze maalsteen dus slechts voor minder dan 25% in dikte is versleten. Het huidige gewicht van de lopersteen wordt geschat op 100 kg met een oorspronkelijk gewicht van 115 kg. Diameter en gewicht maken het onwaarschijnlijk, dat deze lopersteen door één persoon – zoals bij een kweern – met de hand werd rondgedraaid.

Een ander aspect is dat loperstenen vanaf de Romeinse tijd van onderen of van boven konden worden aangedreven. De eerste door water aangedreven molens bezaten een horizontaal waterrad. De Romeinse ingenieur Vitruvius (± 85-20 voor Chr.) beschreef een watermolen met verticaal waterrad, die was voorzien van een mechanische overbrenging om de horizontale asdraaiing om te zetten in een verticale voor aandrijving van de lopersteen. In beide ontwerpen werd de lopersteen altijd van onderen aangedreven. Het gebied van Forum Hadriani was vlak. Aandrijving door stromend water wordt daarom uitgesloten. Door

het gebruik van een rij (molenijzer) in de lopersteen kan het niet helemaal worden uitgesloten dat een mechanische aandrijving van bovenaf met kamrad en spoorwiel toen al werd toegepast. Bij een dergelijke aandrijving moest de verticale boomspil met kamrad zowel boven als onder zijn gelagerd, net als het – er aan gekoppelde – spoorwiel met steenspil voor het aandrijven van de lopersteen.

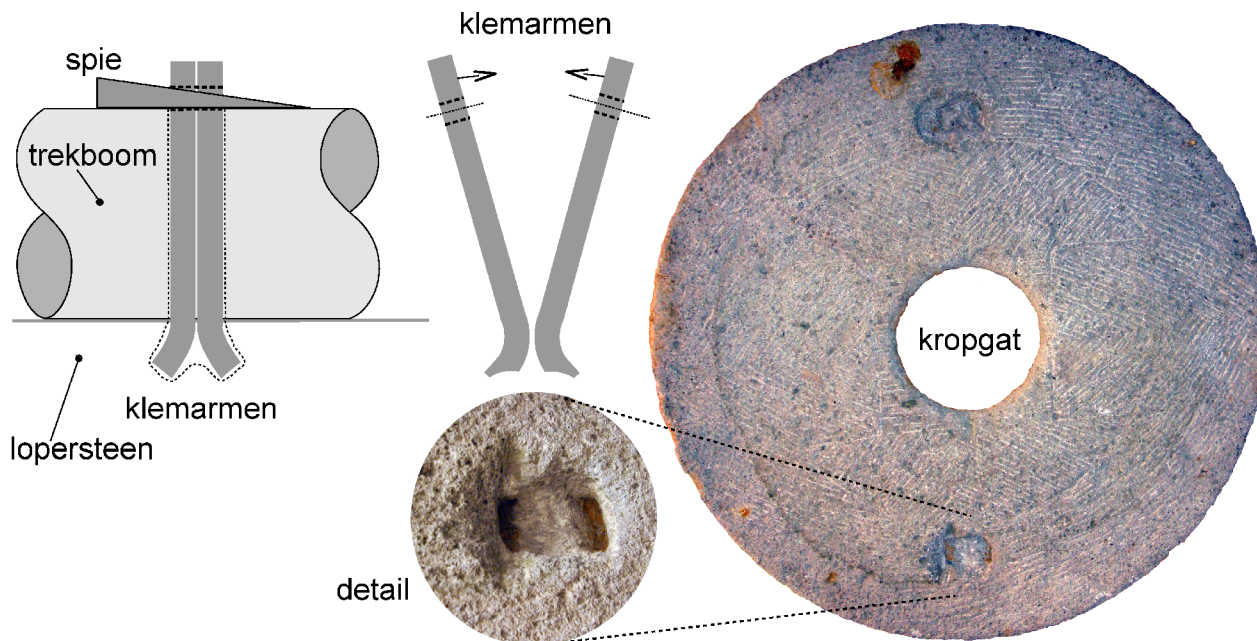
Bij deze vorm van aandrijving mag verwacht worden dat de lopersteen gelijkmatig zal slijten tijdens het maalproces. Uit het maximale verschil in hoogte aan de buitenrand van 23 mm blijkt dat de lopersteen aan één kant door het malen veel meer is afgesleten, wat duidt op een asymmetrische aandrijvingskracht. Een mechanische aandrijving met kamrad en spoorwiel wordt daarom uitgesloten. De lopersteen moet dus asymmetrisch door een trekdiër zijn aangedreven. Op afbeeldingen uit de Romeinse tijd zijn voorbeelden te vinden van door een ezel of paard (ros) aangedreven maalkoppel met een zandlopervorm. Deze techniek hadden de Romeinen van de Grieken overgenomen (Broes, 2007). Voordat de Romeinen ons land binnentrokken bestonden ezelmolens al. Er zijn aanwijzingen voor het gebruik van ezelmolens in de Romeinse samenleving vanaf de eerste helft van de tweede eeuw voor Chr. (Harsema, 1979).

De spil en de rij moeten van metaal zijn geweest (Mangartz, 2008). Mogelijk steunden ze via een lagersteen op een houten balk **B** onder de liggersteen (Afb. 4). De lopersteen rustte op de rij en vermoedelijk bestond er een primitieve mogelijkheid om via de wiggen **W** onder balk **B** de geringe afstand tussen de lopersteen en de liggersteen te verstellen. Dit mechanisme was een voorloper van de verfijnde regelingen zoals die vanaf de middeleeuwen werden toegepast om de juiste fijnheid van het meel te bereiken. De kaar werd aan de onderzijde ‘afgesloten’ met een doseerkegel (Bockius, 2000) waar het graan langs stroomde tot op de liggersteen, waarna het geleidelijk tussen de maalstenen terecht kwam. Door de kaar in verticale richting te verstellen kon de hoeveelheid graantoevoer worden ingesteld. Na het maalproces viel het meel rondom de maalstenen in een meelring, dat is de houten bak rondom het koppel maalstenen. De meelschuiver, die vast zat aan de steunbalken voor de kaar, schoof het meel door de meelring in de richting van de uitloop (Afb. 3, linksonder).



Afb. 4. Doorsnede reconstructie van de Romeinse graanmolen in Forum Hadriani te Voorburg.

Afbeelding 5 toont de bevestigingsgaten in de vlakke bovenzijde van de grote lopersteen met een uitvergroting van een van de gaten als detail. In dit detail is duidelijk te zien dat er per gat twee sleuven schuin in de steen zijn gehakt. Het ligt voor de hand aan te nemen, dat er per gat twee klemarmen onder een hoek werden ingebracht. Nadat de beide sets klemarmen in beide gaten waren ingebracht werden de trekbomen er over geschoven. Daarna werden de trekbomen aan de bovenzijde elk vastgezet met een spie door de klemarmen in de lengterichting van de trekbomen. We nemen aan dat ook de klemarmen en spieën van metaal waren. Beide gaten aan de bovenzijde van de lopersteen zijn uitgebroken. Dit kan de reden zijn geweest dat de lopersteen onbruikbaar werd. De gaten kunnen zijn uitgebroken door het gebruik van een grotere of kleinere ezel, verzakking van de maalstenen of inklinking van de grond waarover de ezel zijn rondjes liep. De bevestigingsgaten werden ook telkens belast tijdens het op gang komen van de ezel.



Afb. 5. Bovenzijde grote lopersteen met de twee bevestigingsgaten voor de trekbomen.

Looprichting van de ezel en de slijtage van de lopersteen

Het scherpstel is bepalend voor de draairichting van de lopersteen en daardoor de looprichting van de ezel. Duidelijk is te zien, dat hier sprake is van een zogenaamd linksdraaiend recht pandscherpsel (Afb. 1).

Om een schaarbeweging van beide scherpstels te verkrijgen op het maalvlak, moet de lopersteen – van bovenaf gezien – dus linksom hebben gedraaid (zie eventueel de uitleg bij afbeelding 16). Mogelijk droeg de ezel ook enkele eeuwen na Chr. al een blinddoek – zoals gebruikelijk was in de middeleeuwen – om duizeligheid te voorkomen tijdens het langdurig lopen rond de maalstenen.

Twee belangrijke asymmetrische krachten werkten op de lopersteen. De eerste asymmetrische kracht ontstond door het gewicht van het overhangende deel van de trekbomen (Afb. 3, punt **C**). De tweede asymmetrische kracht ontstond doordat de ezel aan de trekbomen trok met trekkracht **F** (Afb. 3) op een punt, dat hoger lag dan het maalvlak. Als gevolg van deze kracht ontstond een kantelkoppel op de lopersteen. De plaats waar deze laatste kracht op de lopersteen aangreep was 90° voorlopend op het uitstekende deel van de trekboom (Afb. 3, punt **D**). Indien beide krachten van dezelfde orde van grootte waren, mag worden aangenomen dat het punt waar de meeste slijtage optrad midden tussen de punten **C** en **D** op 45° moet hebben gelegen. Vastgesteld is, dat het punt met de meeste slijtage (minimale dikte) op 50° voorlopend ligt ten opzichte van de trekboom (Afb. 3, punt **A**) en komt dus redelijk met de uitleg overeen.

Naarmate de steen meer aan één kant afsleet ging de massaverdeling de slijtage weer iets tegenwerken als gevolg van de zwaartekracht, ook een verkeerd gemonteerde of afgestelde rijl kon de slijtage beïnvloeden.

Scherpsel

Het moet bekend zijn geweest dat de kerven van het scherpstel het maalproces en het uitdrijven van het gemalen meel positief beïnvloeden. Voor de archeologen bleef wel de vraag waar het eerste scherpstel werd aangebracht, in Mayen of in Voorburg. Uit recent onderzoek over Romeins basaltlava blijkt dat maalstenen al in Mayen werden voorzien van het scherpstel (Mangartz, 2008 p.74-76). Tijdens het malen sleten de kerven van het scherpstel en na verloop van tijd moesten de beide maalstenen worden gebild (bilden is het herstellen van de kerven in het scherpstel). In Forum Hadriani moest deze technische vaardigheid dus van tijd tot tijd op beide maalstenen van het maalkoppel worden toegepast. Vermoedelijk werden de kerven in de drie gevonden maalstenen ook toen al met een bilhamer hersteld, naar voorbeeld van de fabrikanten in Mayen.

De lopersteen met trekbomen – met een totaal geschat gewicht van ongeveer 150 kg – moest daarvoor van de liggersteen worden gelicht en ondersteboven ernaast worden neergelegd. Rondom de maalstenen was overigens voldoende ruimte om met vier mensen het gehele draaiende deel te lichten en na het bilden weer terug te plaatsen.

Gezien de asymmetrische slijtage kunnen we concluderen dat onze grote maalsteen in Forum Hadriani aan de bovenzijde, zijwaarts werd aangedreven door een trekdier, die – van bovenaf gezien – tegen de wijzers

van de klok in liep, zoals is getekend in afbeelding 4 (*Taschenbuch des Müllers*, 1927; Van Bussel, 1981). Mogelijk is de vondst van deze maalsteen het bewijs van de eerste Romeinse korenmolen in deze omstreken en – naast Nijmegen – wellicht een van de eerste korenmolens op het huidige Nederlandse grondgebied. Om hierover meer zekerheid te verkrijgen is verder onderzoek nodig.

Kleine maalsteen

Afbeeldingen 6 en 7 tonen de kleine complete (hele) maalsteen, die in 2005 in waterput 9 (S 1082) werd gevonden en in gebruik moet zijn geweest in de periode 190-200 na Chr. of iets later.



Afb. 6. Bovenaanzicht van de kleine liggersteen waarvan het rechtsdraaiend recht pandscherpsel nog te zien is⁵. De spil werd vastgezet in het steengat³ om de (ontbrekende) lopersteen te centreren.

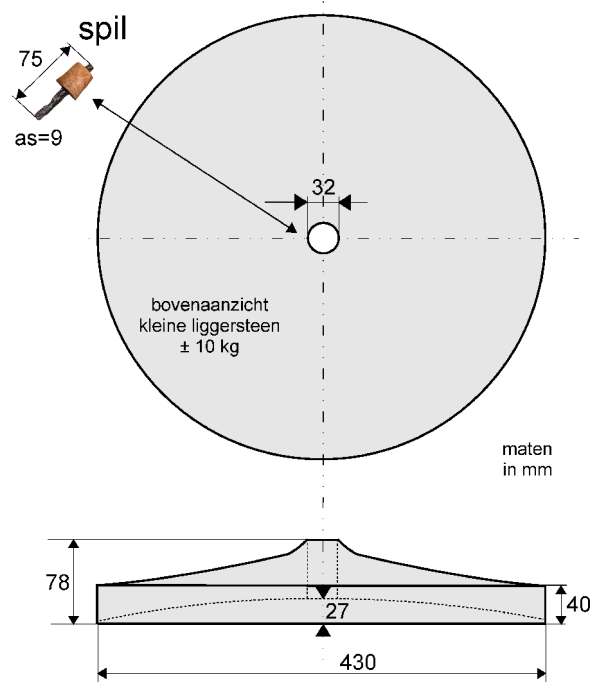


Afb. 7. Zijaanzicht van de kleine liggersteen in werkende positie. Het convexe maalvlak sloot aan op de er boven draaiende concave (ontbrekende) lopersteen.

Het convexe maalvlak bewijst dat dit een liggersteen is geweest: de onderste, stilliggende maalsteen. De onderzijde van deze liggersteen is hol en ruw afgewerkt; het ontbreken van een maalvlak aan die zijde geeft aan dat deze steen geen lopersteen kan zijn geweest. De afmetingen in afbeelding 8 en het geschatte gewicht van 10 kg duiden op een handmolen of kweern (internet zoekwoorden, Engels: quern, Duits: Hand(dreh)mühle of Querne, Frans: “romain” “moulin à bras”)⁴. Ook zijn er geen gaten of inkepingen langs de omtrek waargenomen. Het materiaal van deze kleine maalsteen is ook tefriet (basaltlava).

Ook werd een metalen spil of asje, gevat in een houten plug, aangetroffen in het steengat³. Vaak was er sprake van biconcave lopers (zowel hol van boven als hol van onder), waardoor het graan gemakkelijk aan de bovenzijde kon worden ingevoerd. Via de ruimte tussen de spil en het kroggat van de lopersteen zakte het graan tussen de maalstenen om te worden vermalen.

Op basis van de eerder besproken maalsteenverhouding van 1:4 moet de dikte van deze liggersteen voor ongeveer 60% zijn afgesleten. Waarschijnlijk heeft deze ‘afgedankte’ liggersteen een afdekfunctie gehad, omdat er twee stuks bronzen vaatwerk onder werden aangetroffen op de bodem van waterput 9. Ten tijde van onrust of oorlogsdreiging werd dergelijk waardevol vaatwerk vaak verstopt.



Afb. 8. Afmetingen van de kleine maalsteen en spil.

Mayen, waar deze maalsteen ook vandaan kwam, lag in het midden van het centrale Keltische gebied (Norton-Taylor, 1975 p.12) en produceerde sinds ± 800 voor Chr. (Major, 1982, p.354) maalstenen, dat waren eerst Hallstatt wrijfstenen, later Napoleonsoeuden en daarna de kweerns en grote maalstenen. De kweern was mogelijk een Keltische uitvinding uit de tweede eeuw voor Chr. en werd door de Kelten verbreid over Europa (Houwaard, 1991, p.11). Handmolens zijn dus niet benoorden de Alpen verbreid door de Romeinen (Harsema, 1979).

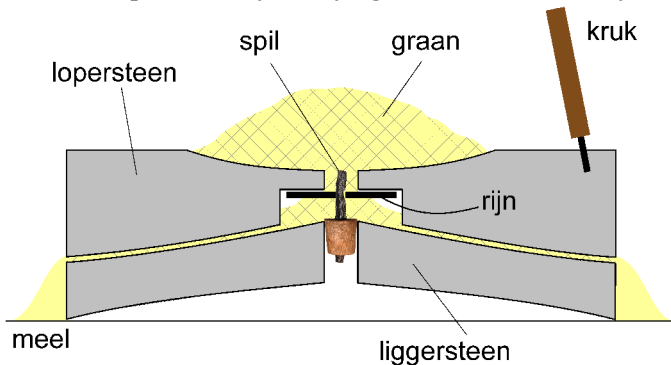
Aandrijving van de kleine liggersteen

We hebben ook getracht de aandrijving van de kleine gevonden liggersteen te reconstrueren. De bijbehorende lopersteen werd (nog) niet gevonden en dat maakt de reconstructie er niet minder eenvoudig op omdat juist de lopersteen de meeste informatie geeft over de constructie van de aandrijving.



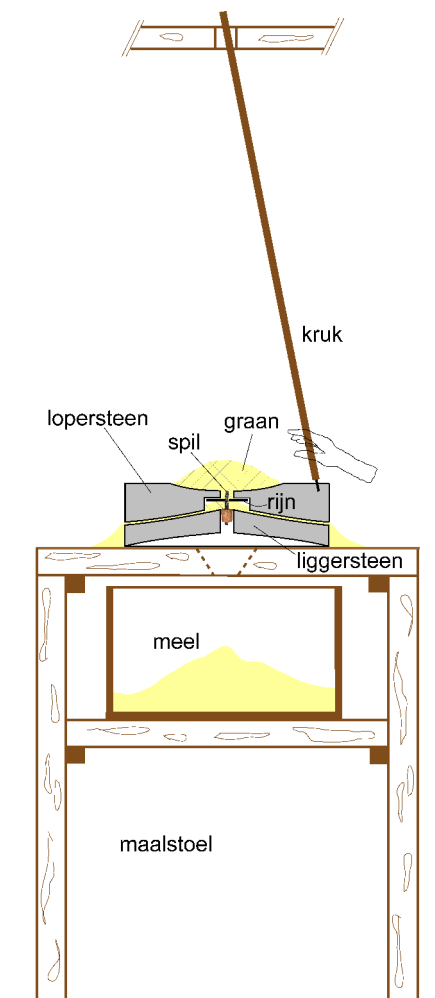
Maar er werd wel een zeer unieke spil klemmend aangetroffen in het steengat³ van deze liggersteen. Afbeelding 9 geeft deze spil weer en opmerkelijk is de slijtage van het metalen asje op het punt waar de rijs moet hebben gezeten. In afbeelding 10 is te zien, dat de spil en (draaiende) rijs het lager vormden ter centrering van de lopersteen. *Loperstenen waarbij de rijs aan de bovenkant was geplaatst kwamen ook voor in de Romeinse tijd zoals we verderop zullen zien bij de gevonden gefragmenteerde maalsteen.* Gezien de afmetingen van de spil met slijtagepunt is het uitgesloten, dat de rijs in dit geval aan de bovenkant van de lopersteen heeft gezeten; de lopersteen zou dan wel erg dun zijn geweest. Indien de loper- en liggersteen in gelijke mate afsleten bleef de slijtage van het asje van de spil op hetzelfde punt plaatsvinden.

Afb. 9. De spil, waarbij de slijtage van het metalen asje de positie van de rijs verraadt.



Afb. 10. Maalkoppel reconstructie van de kleine liggersteen met daarin de spil geplaatst alsmede de posities van de (nog niet gevonden) rijs, lopersteen en kruk.

Afbeelding 11 geeft de doorsnede aan van de vermoedelijke constructie van de complete handmolen. De convexe vorm van de gevonden maalsteen en de afmetingen maken het aannemelijk dat de omwentelingssnelheid ook hier laag moet zijn geweest, zoals het geval is bij handmolens. Als gevolg van het rechtsdraaiend recht pandscherpsel was de draairichting van de lopersteen klokgewijs van boven af gezien. Vermoedelijk werd hier geen mechanisme gebruikt voor het regelen van de (geringe) afstand tussen de loper- en liggersteen om de juiste fijnheid van het meel te verkrijgen zoals vermoedelijk bij de grote maalsteen wel het geval is geweest. Geen meelring is getekend, het meel viel op het bovenblad van de maalstoel en kon met een losse handmeelschuiver naar een gat in het bovenblad worden geschoven om te worden opgevangen in de opvangbak. Verder is onzeker of een kruk werd gebruikt voor de handaandrijving. In de geraadpleegde literatuur komt deze handaandrijving met kruk in de Romeinse tijd wel voor.



Afb. 11. Doorsnede reconstructie van de kleine lopersteen als Romeinse handmolen in Forum Hadriani te Voorburg.

Gefragmenteerde maalsteen

Afbeelding 12 toont de gefragmenteerde maalsteen (V2008), die op 9 januari 2008 in werkput 1 in een vullinglaag van de haven: spoor 38 werd aangetroffen. Deze vullinglaag en de ermee samenhangende sporen heeft tijdens de uitwerking een contextcode gekregen: Geul4-I. Deze complete ('hele') maalsteen was in zeer slechte staat en werd in een kluit aangeleverd aan restauratieatelier Restaura voor behandeling. De getoonde afbeeldingen zijn genomen na de behandeling. De zeer slechte staat van de maalsteen is o.a. het gevolg van de diepte waarop de maalsteen is gevonden. Maalstenen, die op de bodem van waterputten werden aangetroffen zijn beter bewaard gebleven zoals uit de beide andere maalstenen is gebleken. Aan het convexe maalvlak is te zien, dat het hier ook een liggersteen betreft. Volgens Hörter (2000, p.58-59) hadden Keltische maalstenen diameters van 30-40 cm met hoogten van 13-18 cm en Romeinse maalstenen diameters van 40-50 cm met hoogten van 10-12 cm. De eerder besproken maalsteenverhouding van 1:4 geeft aan, dat deze maalsteen voor de helft is afgesleten. Hörter komt voor Romeinse maalstenen op een verhouding van 1:4 echter voor Keltische maalstenen op een verhouding van 1:2,25. Wat de diameter betreft moet dit één van de grotere kweerns zijn geweest.



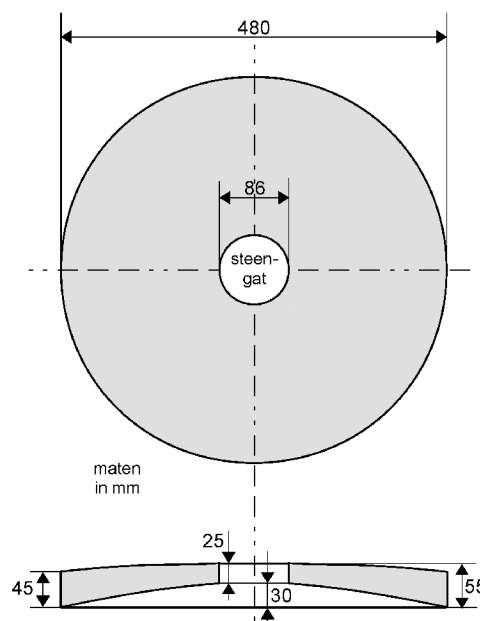
Afb. 12. Gefragmenteerde maalsteen in drie aanzichten (na behandeling), het centrisch recht stralenscherspel is goed zichtbaar. Het convexe maalvlak duidt op een liggersteen.

In vergelijking met de kleine liggersteen zijn er twee opmerkelijke verschillen. Het eerste verschil is, dat het scherspel in afbeelding 6 uit zes rechtsdraaiende pandsels bestaat⁵ en omdat het daar een liggersteen betreft moet de

lopersteen dus van bovenaf gezien met de klok meedraaien om de schaarbeweging van beide scherspels te veroorzaken. Als we naar het scherspel in afbeelding 12 kijken, blijkt het *niet* uit een aantal gedraaide pandsels te bestaan. We noemen dit een centrisch recht stralenscherspel waarbij de draairichting van de lopersteen zowel links- als rechtsom was. Mogelijk was de schaarwerking van gedraaide scherspels toen nog niet bekend. De reden achter de scherspels in de oudheid blijft tot op heden grotendeels onbekend (Lepareux-Couturier, 2011 summaries p.17).

Het tweede verschil is, dat de diameter van het steengat³ in afbeelding 13 opvallend groter is, dan die van de kleine maalsteen uit afbeelding 8. Beide verschillen laat ons vermoeden, dat de gefragmenteerde liggersteen uit afbeelding 12 ouder moet zijn geweest, dan de kleine maalstenen uit afbeelding 6. Hörter (2000, p.58-59) meent, dat de maalstenen uit de afbeeldingen 6 en 12 voldoende capaciteit hadden om in de dagelijkse broodbehoefte van 8-10 Romeinse soldaten te voldoen.

Afb. 13. Afmetingen⁶ van de gefragmenteerde maalsteen. Opmerkelijk is het veel grotere steengat³ in vergelijking met de kleine maalsteen uit afbeelding 8.



Aandrijving van de gefragmenteerde liggersteen

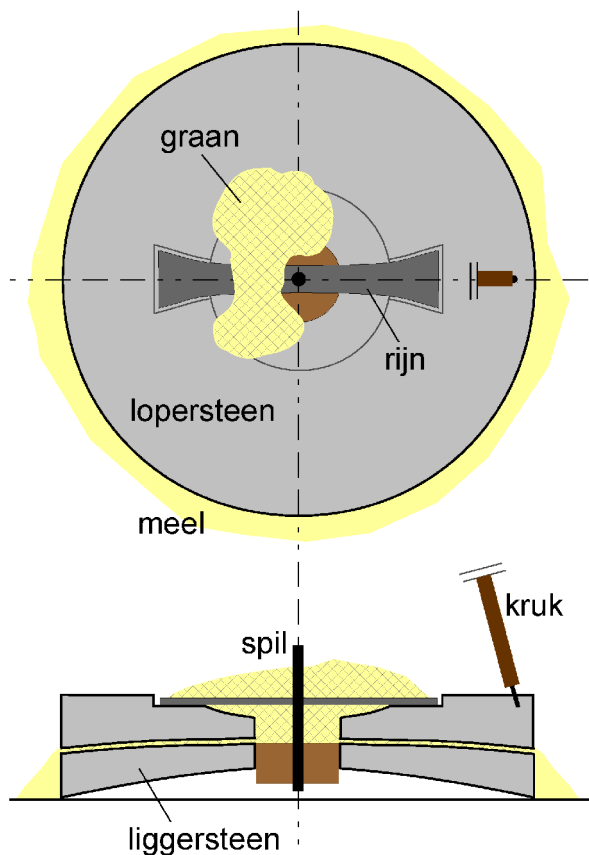
Afbeelding 14 toont de mogelijke maalkoppel reconstructie waarvan de gefragmenteerde liggersteen deel uit maakte. Volgens Hörter (2000, p.58-59) kwamen eerst lagers voor waarbij de rijnen aan de bovenzijde van de loperstenen werden gemonteerd, pas in latere tijden aan de onderzijde. Omdat we denken, dat deze liggersteen ouder is hebben we in dit geval gekozen voor een rijn aan de bovenzijde van de bijbehorende (ontbrekende) lopersteen. Volgens Mangartz (2008, p.278, 3.69, Tafel 15,69) werden rijnen met vloeibaar lood in loperstenen verankerd.

Ook bij deze maalkoppel reconstructie kon de afstand tussen de maalvlakken vermoedelijk niet worden ingesteld, de graankorrels, die werden vermalen bepaalden de afstand tussen de stenen. Bij nieuwe, gebilde of schoongemaakte maalkoppels ontstond er in het begin van het maalproces steen-op-steen contact met maximale steenslijtage. Ter voorkoming daarvan stel ik mij voor, dat de lopersteen werd gelicht om wat graankorrels op de liggersteen te strooien. Daarna werd de lopersteen teruggeplaatst en gevuld met graan waardoor het malen kon worden gestart. Bij dagelijks gebruik werkte het maalkoppel in zekere mate zelfreinigend door de doorstroming van het maalproduct tussen beide maalstenen.

Afbeelding 14 toont ook een kruk en de complete aandrijving van deze kweern zou dus net zo kunnen zijn geweest als in afbeelding 11. Het centrisch recht stralenschepseel duidt er op, dat de lopersteen zowel rechts- als linksom kon malen en als gevolg daarvan de aanwijzing zou kunnen zijn voor een heen-en-weer gaande maalbeweging van de lopersteen waarbij slechts over een kwart van de cirkel werd bewogen (Houwaard,

1991 p.11). In dat geval zou het handvat ook horizontaal kunnen hebben uitgestoken. Het veel grotere steengat³ in vergelijking met de kleine maalsteen zou een aanwijzing kunnen zijn voor het gebruik van een massieve houten spil zonder rijn.

Voor beide besproken liggerstenen (maar vooral voor de gefragmenteerde maalsteen) blijven een aantal onzekerheden bestaan over de juiste constructie en aandrijving van de Romeinse kweerns waarin ze werden toegepast. De beide (ontbrekende) loperstenen zouden hierover meer uitsluitsel moeten kunnen geven. De kans dat de bijbehorende loperstenen compleet en heel terug worden gevonden is klein. Belangrijk kan het in dit verband ook zijn om alle tussen 2005 en 2008 gevonden tefrietfragmenten nader te onderzoeken. Mogelijk worden dan de restanten van deze loperstenen gevonden. Nader moet ook onderzocht worden of de eerder door Reuvs en Holwerda gevonden maalsteenfragmenten van de bijbehorende loperstenen van deze handmolens kunnen zijn geweest (zie ook het hoofdstukje 'Proefschrift over Forum Hadriani' verderop in dit artikel).



Afb. 14. Maalkoppel reconstructie van de gefragmenteerde maalsteen. Hier is de rijn aan de bovenzijde van de (ontbrekende) lopersteen getekend.

In de literatuur (Kamphuis, 2009) wordt vermeld, dat het eten van ongemalen granen tot slijtage van het gebit zou hebben geleid. Het malen met stenen zou hier een einde aan hebben gemaakt. Het is echter ook bekend, dat door het malen van graan de maalstenen sleten, waarbij het vrijgekomen basaltgruis zich mengde met het meel. Dit zou weer tot extra slijtage van het menselijk gebit moeten hebben geleid. Hoewel deze beide veronderstellingen aannemelijk lijken, is er geen wetenschappelijk bewijs voor gevonden. De industrialisatie met het gebruik van de huidige walsen heeft deze discussie achterhaald.

Archeologisch onderzoek

Het onderzoek waarbij de getoonde grote maalsteen en de gefragmenteerde maalsteen werden gevonden (afbeeldingen 1, 2 en 12), werd in 2007-2008 uitgevoerd door het Amsterdams Archeologisch Centrum (AAC) van de Universiteit van Amsterdam (code: VB-FH-07). Dit onderzoek stond onder leiding van dr. ir.

Mark Driessen en wordt in 2012 afgerond met de publicatie van het definitieve opgravingsverslag. Het AAC had overigens ook al in de periode 1988-2005 onderzoek verricht. Beide maalstenen worden bewaard in het Provinciaal Bodemdepot Zuid-Holland te Alphen aan den Rijn.

Het onderzoek, waarbij de getoonde kleine maalsteen werd gevonden (afbeeldingen 6 en 7), werd in 2005 uitgevoerd door onderzoek- en adviesbureau Bouwhistorie – Archeologie – Architectuurhistorie – Cultuurhistorie (BAAC) en is afgerond met de publicatie van M. Bink & P.F.J. Franzen (eds): Forum Hadriani Voorburg; Definitief Archeologisch Onderzoek, 's-Hertogenbosch (BAAC rapport A-05.0125). Deze kleine maalsteen is te bezichtigen in het Stadsmuseum Leidschendam-Voorburg.

Proefschrift over Forum Hadriani

Eind 2010 promoveerde Ton Buijtdorp aan de Vrije Universiteit op zijn proefschrift *Forum Hadriani, de vergeten stad van Hadrianus*. De 1500 pagina's lange tekst van dit proefschrift is te downloaden van: <http://dare.uvu.nl/handle/1871/16369> In het proefschrift wordt op verschillende plaatsen naar de eerste versie van dit artikel 'De onderste steen boven' verwezen. Het proefschrift meldt, dat de archeoloog Reuvs – naast vele fragmenten van maalstenen – in november 1833 onder het Romeinse maaivlak op het terrein van Forum Hadriani een complete maalsteen met een diameter van 82 cm, een dikte van 9 cm, een centraal gat van 3,3 cm diameter en een gewicht van 100 Kg heeft aangetroffen. Uit Reuvs dagboek blijkt, dat deze maalsteen bij de berging "schilfert en brokkelt in duizend stukken" en vermoedelijk verloren is gegaan. Opmerkelijk is, dat Reuvs toen al een relatie legde met het gebruik van maalstenen in waterputten. Daarnaast vond Reuvs op Forum Hadriani ook een fragment met een dikte van 5 cm en een diameter van ongeveer 40 cm. Archeoloog Holwerda vond daar in de jaren 1910-1915 ook een deel van zo'n handmolen met een vergelijkbare diameter van 38 centimeter. Mogelijk zijn dit de ontbrekende maalstenen van de afbeeldingen 1,2 en 6,7. Uit het proefschrift blijkt ook, dat het in het castellum in Valkenburg opgegraven tredpad een diameter had van drie meter en was gemaakt uit straalsgewijs gelegde platte, wigvormige houten balkjes. In Valkenburg stonden binnen het tredpad ook nog de vier houten hoekpalen van de molenconstructie zelf. In het proefschrift van Buijtdorp komt de zoekterm 'molen' vijftig keer voor, de zoekterm 'maalsteen' vijftientig keer. Voor een vervolgstudie zal het dus belangrijk zijn dit proefschrift nader te bestuderen. Ook de locaties waar mogelijk door Reuvs en Holwerda gevonden maalstenen liggen moeten nog nader worden onderzocht. In een vervolgonderzoek moeten de gevonden fragmenten nog nader worden onderzocht op dikte, vorm en diameter van de oorspronkelijke complete maalstenen. Ook in Woerden en in het Museum van Oudheden in Leiden bevinden zich Romeinse maalstenen. Ook binnen de PUG-Collectie in het "Centraal Museum Utrecht" liggen een aantal maalstenen opgeslagen. Deze zouden ook nog aanwijzingen kunnen geven over de manier van aandrijven. Ook een bezoek aan de Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed zou nog nadere inzichten kunnen verschaffen.

Proefschrift over maalstenen

Tijdens het academische jaar 2009-2010 van de Universiteit van Gent verscheen er op internet een proefschrift Archeologie over maalstenen van Tacco Van Geertruyen: *Maalstenen door de eeuwen heen: een industrieel archeologische kijk op de productie, evolutie en toepassing van maalstenen*. [Download](#)⁷.

Internationale belangstelling voor maalstenen

- Sinds 2002 vonden er vier "International Colloquium on Millstones" plaats in La Ferté-sous-Jouarre, Grenoble, Rome en Bergen (Noorwegen) waar presentaties werden gehouden door deelnemers uit tientallen landen. Voor colloquium in 2011, zie: <http://www.kvernstein.no/documents/Seenthroughamillstone0001.PDF> Inmiddels zijn er twee proceedings verschenen: *Meules à grains: Actes du colloque international, La Ferté-sous-Jouarre*, 16-19 mai 2002 en *Bread for the people: The Archaeology of Mills and Milling Proceedings of a colloquium held in the British School at Rome* 4th - 7th November 2009. [URL-1](#)⁸ [URL-2](#)⁹ [URL-3](#)¹⁰
- Binnen de molinologie is er een kleine groep molinologen, die zeer benieuwd zijn wat archeologen op molinologisch gebied in onze aardbodem vinden zoals maalstenen en fragmenten of onderdelen daarvan. Het bijzondere nu is, dat de techniek van het malen van graan met maalstenen heden ten dagen nog steeds kan worden bewonderd op een wijze zoals dat toen ging in de Romeinse tijd. Van die hedendaagse techniek weten molinologen alles waardoor hun kennis kan bijdragen aan het inzicht hoe de Romeinse molens geconstrueerd werden. Om samenwerking te bevorderen hierbij de gegevens van twee organisaties, die zo nu en dan publiceren over het gebruik van maalstenen. De titels van eerdere publicaties zijn te vinden op beide websites. De internationale vereniging: TIMS, The International Molinological Society www.molinology.org De Nederlands-Vlaamse vereniging: TIMS-Nederland en Vlaanderen www.molenkunde.eu

Dankbetuiging

Dank aan Peter Pouwels, Mark Driessen, Erik Tijman, Lieven Denewet, Leo den Engelse en Han Lut voor hun leerzame aanvullingen en discussie. Dank ook aan Frits Kleinhuis voor de hulp bij het maken van de foto's in het Provinciaal Bodemdepot Zuid-Holland en Jolanda Zonderop voor het maken van de foto's in het Stadsmuseum Leidschendam-Voorburg. Dank aan restauratieatelier Restaura, Windmolenven 45, Haalen voor het maken van foto's van de gefragmenteerde maalsteen en de hulp van de heer Har Heijmans bij het vaststellen van het gewicht van deze maalsteen.

Bronvermelding

- Broes, Karel, 'Van Tribulum tot Rosmolen' in: *Molenecho's, Vlaams tijdschrift voor Molinologie*, 2007 nr. 1.
- Buijtendorp, T.M., *Forum Hadriani, De vergeten stad van Hadrianus / Ontwikkeling, uiterlijk en betekenis van het 'Nederlands Pompeji'* Academisch Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam, 15 december 2010.
- Bussel, P.W.E.A. van, *Korenmolens van Ambacht tot Industrie* (Eindhoven 1981)
- Gilde van vrijwillig molenaars, *Basiscursus Vrijwillig Molenaar*, het maalproces, hoofdstuk 12.6, 1994-heden.
- Harsema, O.H., 'Handmolens' in: A. Bicker Caarten e.a. (redactie), *Molens in Drenthe* (Meppel 1979) ISBN 907007253x.
- Hörter, Fridolin, *Steinbruch und Bergwerk, Denkmäler Römischer Technikgeschichte zwischen Eifel und Rhein*, artikel: Vom Reibstein zur römischen Kraftmühle, Mainz 2000, ISBN 3-88467-048-4.
- Hörter, Fridolin, *Gertreidereien und Mühlesteine aus der Eifel*, Mayen 1994.
- Houwaard, Frank, *Bibliografie van de korenmolen in Europa, van Neolithicum tot middeleeuwen*, werkstuk Opleiding tot Wetenschappelijk Bibliothecaris, Universiteit Amsterdam, 1991, derde druk, + vier supplementen, ISBN 90-800221-1-X.
- Junkelmann, Marcus, *Panis Militaris, die Ernährung des Römischen Soldaten oder der Grundstoff der Macht*, (Mainz 1997) ISBN 3-80532332-8.
- Kamphuis, J.J., *Spieren water wind, 23.000 jaar malen en molens*, (in eigen beheer uitgegeven 2009), verkrijgbaarheid via: www.industriemolens.nl
- Kars, H., 'Het maalsteenproductiecentrum bij Mayen in de Eifel' in: *Grondboor en Hamer* (1983, 3/4, p.110-120).
- Lepareux-Couturier, Stéphanie, *Seen through a millstone, geology and archeology of quarries and mills*, artikel: Intricate Dressing Patterns on Grinding Surfaces of Rotary Millstones from Antiquity in the Paris Basin (France): State of Research and Perspectives, summaries from the International Colloquium on Millstones, Brijggens Museum, Bergen, Norway 19-21th of October 2011.
- Major, J. Kenneth, *TIMS, 5th Symposium Transactions France 1982*, artikel: Eifel millstone production, p.343, The International Molinological Society, published by: Fédération Française des amis des moulins.
- Mangartz, Fritz, *Römischer Basaltlava-Abbau zwischen Eifel und Rhein* (Mainz 2008) ISBN 978-3-88467-115-3.
- Norton-Taylor, Duncan, *Het ontstaan der mensheid, De Kelten*, TIME-LIFE boeken, 1975, ISBN 906 182 057 x.
- Taschenbuch des Müllers*, (Braunschweig 1927) uitgever: Mühlenbau und Industrie A.G.
- Wit, M.J.M. de e.a., *ARC-Publicaties 64*, p. 106-107 (Groningen, 2003) ISSN 1574-6879 (arcpublicatie-64.pdf).
- nl.wikipedia.org/wiki/Molensteen - nl.wikipedia.org/wiki/Basaltlava
- nl.wikipedia.org/wiki/Kweern - de.wikipedia.org/wiki/Obergermanisch-Raetischer_Limes

Vervolgonderzoek

Hoewel dit een 'afgeronde' versie is van het onderzoek, blijven er toch vragen bestaan over de juistheid van de conclusies. Naarmate er nieuw inzicht ontstaat over dit onderzoek zal ook deze versie een vervolg krijgen, dat via een PDF te downloaden is van: www.molinoloog.nl/downloads (wiardbeek@gmail.com)

Noten

1 De eerste versie van dit artikel is gepubliceerd in de reeks 'Historisch Voorburg' van de Historische Vereniging Voorburg, jaargang 15, 2009, nummer 2. De tweede versie werd op onderdelen aangepast en uitgebreid met het hoofdstukje 'Proefschrift over Forum Hadriani' en in het tijdschrift *Molinologie* nr. 34, 2010 van TIMS-Nederland en Vlaanderen gepubliceerd. Deze derde versie is geheel herzien en uitgebreid met de beschrijving van de gevonden gefragmenteerde maalsteen uit dezelfde opgravingsperiode. Ook is de reconstructie van het maalkoppel van de maalsteen uit de afbeeldingen 6 en 7 aangepast op basis van nieuwe inzichten zoals blijkt uit de afbeeldingen 9, 10 en 11.

2 Recept voor Romeins soldatenbrood of Panis Militaris: 1 kg grof gemalen spelt (of tarwe), ca. 1/2 liter

water en wat zout. Kneed dit alles goed door elkaar en maak hiervan platte koeken die gebakken kunnen worden (Junkelmann, 1997).

- 3 Het centrale gat in een lopersteen wordt door molinologen ‘kropgat’ genoemd. Het centrale gat in een liggersteen wordt ‘steengat’ genoemd.
- 4 Indien “romain” “moulin à bras” als gehele zoekterm – inclusief de dubbele aanhalingstekens en spaties – wordt gebruikt verkrijgt je een meer gericht zoekresultaat.
- 5 Dit is goed te zien in een uitvergroting op het beeldscherm van een computer of met schaduwwerking van schuin invallend licht op de maalsteen zelf.
- 6 De afmetingen door de auteur gemeten verschillen iets van de afmetingen, die door Restaura zijn gemaakt.
- 7 http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/457/541/RUG01-001457541_2011_0001_AC.pdf
- 8 <http://per-storemyr.net/?s=conference+on+millstone>
- 9 <http://millstone.no/Nyheter-fra-Millstone/internasjonalt-kvernsteinskongress-i-bergen.html>
- 10 http://www.moleriae.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=103%3Acompte-rendu-du-colloque-sur-les-meules-a-bergen-et-hyllestad-&catid=58%3Anorvege&Itemid=94&lang=en
- 11 <http://www.angelfire.com/journal/millrestoration/millstones.html>



Afb. 15. Maalstenen uit archeologisch onderzoek – Forum Hadriani – Voorburg, 2005-2008.

Summary

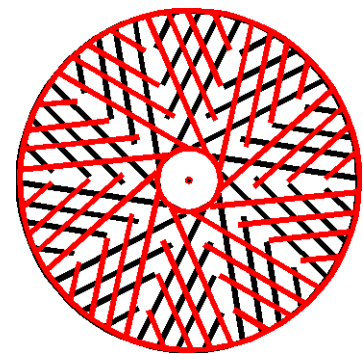
This article deals with the excavation of three millstones in the former Roman city Forum Hadriani at Voorburg, Netherlands. A large runner stone (77 cm) and a fragmented bed stone (48 cm) in 2007-2008 found by the AAC (Amsterdam Archaeological Centre) from the University of Amsterdam and a smaller bed stone (43 cm) found in 2005 by the research and consulting firm BAAC (Building History – Archaeology – Architecture History – Cultural History). The fragmented bed stone had to be conserved for several years. The runner stone shown in figures 1 and 2 was found at the bottom of a well used in the second half of the second century (just after 275 AD) and is made of bluestone and carved in Mayen (Germany). Figure 3 shows the dimensions and locations of forces at the runner stone. In figure 5 two holes at the top can be seen in the runner stone for connecting the driving beams. Because of the steep angle of the grinding zone, the turning speed of this runner stone should have been low. Due to the wear at one place (difference in thickness around the edge of the runner stone) it is likely that it was driven from the top in an asymmetrical way. It is most likely that the mill was driven by a donkey and due to the pattern of the millstone dress, we can conclude that the turning direction (seen from top view) was counter clockwise as is drawn in figure 4. It is not likely that it was driven by water because the wide area is flat low land. The reason for the use of two driving beams can be explained as follows. First of all the dressing pattern proves that the direction of rotation of the running stone was counter clockwise as seen from the top. Secondly, the location of the two holes at the top of the running stone in relation to the location of minimal thickness of the running stone at **A** – due to the wear as a result of the two vertical forces at locations **C** and **D** (figure 3). If only one driving beam across the two holes was used the minimum thickness should have been 90 degrees shifted. From the literature we learn that the runner stones were initially dressed in Mayen. Several times a year the runner and the bed stones should have been redressed. It is quite possible that four people lifted the runner stone together with the driving beams and put it upside down for sharpening both stones. It is also quite possible that this runner stone belonged to one of the first grain mills in the western part of The Netherlands. The large bed stone is missing and further investigation of the thesis of Tom Buijtenorp has to be made if the millstone found by Reuvens (1833) is this missing bed stone. Figures 6 and 7 show the much smaller bed stone also found at the bottom of a well and dated 190-200 AC. Very interesting is the small metal shaft surrounded by a wooden plug, which formed the spindle (figure 9) for centring the runner stone by means of a rhynd. This spindle together with the wooden plug was located in the centre hole when the bed stone was found. Figures 8 and 9 show the dimensions and spindle and figures 10 and 11 illustrate the way this smaller bed stone was part of the quern and how it was possibly driven. Figures 12 and 13 show the fragmented bed stone and figure 14 the centring construction by the spindle and rhynd. The Romans used both positions of the rhynd as can be seen in figures 10 and 14, the one on top of the running stone earlier in time than the one at the bottom of the running stone. Interesting are the much bigger eye compared to the small bed stone and the different dressing! During the 2nd century BC querns were probably invented by the Celts and distributed around Europe. The Romans above the Alps to the rest of Europe did not distribute querns! The small runner stone possibly found as fractions by Reuvens (1833) or Holwerda (1910-1915) as mentioned earlier has still to be investigated. The way of driving the runner stones is difficult to reconstruct because they both are missing. Succeeding research on this publication can be found (as pdf's) in future at www.molinoloog.nl/downloads

Rechtsdraaiend recht pandscherpsel

In afbeelding 16 kijken we van boven af op het doorzichtige steenkoppel naar het maalvlak. Daarop is te zien hoe de draairichting kan worden bepaald van de rode lopersteen uit de scherpsel structuren van de ligger- of lopersteen. Het zwarte scherpsel is van de stilliggende liggersteen. Concluderend moet in dit geval de rode structuur van de lopersteen klokgewijs bewegen om de schaarbeweging tijdens het malen met de liggersteen te verkrijgen.

Als de lopersteen wordt omgekeerd en naast de liggersteen wordt gelegd zien de scherpsels er altijd symmetrisch uit. We noemen het groevenpatroon van beide maalstenen in dit geval rechtsdraaiend recht pandscherpsel.

NB. Op internet is de (draaiende) animatie te [downloaden](#) van deze afbeelding 16, met dank aan © Ted Hazen¹¹.



Afb. 16. Maalvlak van steenkoppel.

Wiard Beek, maart 2012.