

De Warmteuitwisselaar.(Brown. Marco, Introduction to het  
Stamminion, 1942

Mc Adams, Heat Stamminion 1942

Perry, Chemical Eng. Handb. )  
1941Aangenomen een pijp met uitwendige diameter van 1,900 in  
in - " " " 1,610.

binnendwarsdoorsnede 0,01414 sq. ft

binnen oppervlakte per ft 0,422 sq. ft

buiten " " " 0,490 " "

(Perry pag 074)

Voor de stroming van het gas door de pijp aangenomen een Reynold-  
getal van 4000. Er is dan een turbulente bewegings toestand. Het kri-  
tische Reynold getal (turbulent  $\rightarrow$  laminair) is 2300, zodat de stro-  
mings toestand ( $Re = 4000$ ) ruim hier boven ligt. De gas snelheid  
(lineaire) wordt berekend uit de formule

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu} \quad (\text{Marco pag 40 en})$$

Hierin  $Re = 4000$  (zie boven)

$$D = \frac{1,610}{12} \text{ ft (zie boven)}$$

$$\rho = 0,0673 \text{ bij de gemiddelde lucht temperatuur van } (65 + 200) \frac{1}{2} = 133^\circ \text{ F, } \rho \text{ in lb/cu ft.}$$

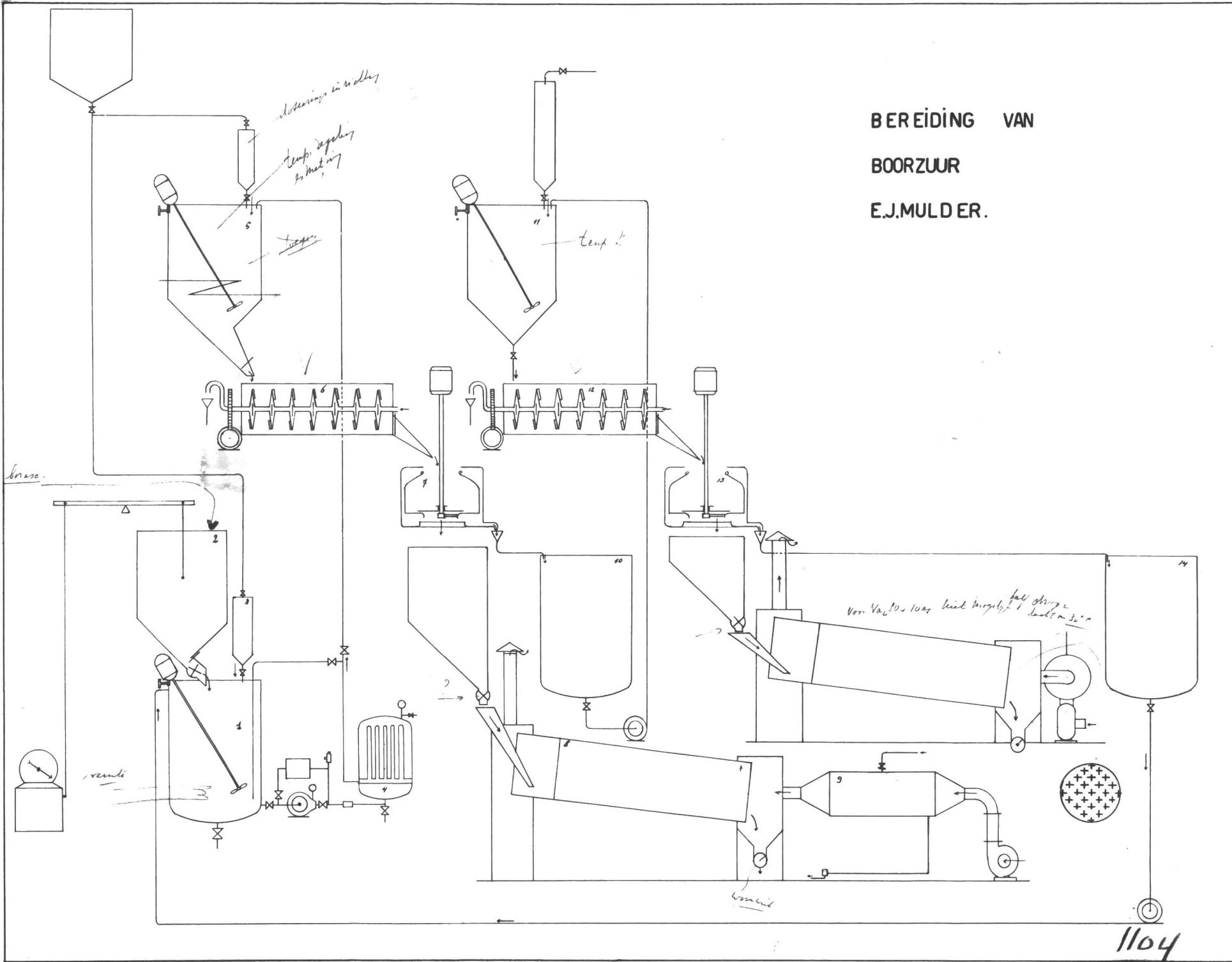
$$\mu = 0,0475 \text{ lb/ft-hr, ook bij } 133^\circ \text{ F.}$$

$$v = \frac{Re \cdot \mu}{D \rho} = \frac{4000 \times 0,0475 \times 12}{1,610 \times 0,0673} = 21020 \text{ ft/hr.}$$

Hieruit is nu de Mass. Velocity te berekenen. De lineaire lucht-  
snelheid bedraagt 21020 ft/hr, de dwars doorsnede der pijp  
0,01414 ft<sup>2</sup>, Per uur gaat door de pijp, gezien de dichtheid der  
lucht bij 133° F  $\rho = 0,0673$ :

$$21020 \times 0,01414 \times 0,0673 = 20,6 \text{ lb/hr.}$$

BEREIDING VAN  
BOORZUUR  
E.J.MULDER.



Voor het drogen van het boormuur is per uur 5520 lbs lucht nodig. Gezien nu 1 pijp per uur. 20,6 lbs lucht onder de gegeven omstandigheden verwerkt, zijn er nodig  $\frac{5520}{20,6} = 268$  pijpen.



Voor het berekenen der pijplengte dient men de "Overall heat coefficient" te kennen. Aan de buitenkant der pijpen bevindt zich stoom, met op de pijpe een waterfilm. Het pijpmateriaal zelf is staal, aan de binnenkant der pijpen schoomt lucht, met aan de pijpwand een gasfilm. Voor de berekening der "Overall heat coefficient" geeft Marco, pag 144

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1,151 D_i \log \frac{D_o}{D_i}}{K} + \frac{D_i}{D_o h_o}}$$

waarin

$$D_o = 1,900/12 \text{ ft}$$

U in Btu/sq/ft/hr./°F

$$D_i = 1,610/12 \text{ ft}$$

K = de thermische geleidbaarheid van staal (Marco p 13) bedraagt 26.

d, de wanddikte komt in de vergelijking mit voor. Deze is vervangen door  $1,151 D_i \log \frac{D_o}{D_i}$ , de equivalent dikte. (Marco pag 25 e 145).

$$\frac{h_i}{K} = \mu$$

$h_i$  = de oppervlakte coefficient der gasfilm wordt gegeven door Brown - Marco pag 101

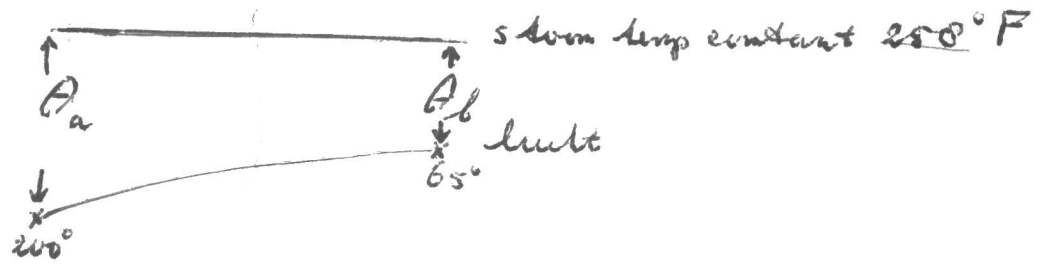
$$h_i = 0,0202 \frac{K}{D} \left( \frac{D V \rho}{\mu} \right)^{0,8} \quad (11)$$

$h_o$  = de oppervlakte coefficient der waterfilm wordt gegeven door de Nusseltse vergelijking (Brown - Marco p 129)

$$h_o = 103,4 \left( \frac{K^3 \rho^2 \alpha}{D \mu \theta} \right)^{1/4}$$

Nu is de buiten temperatuur die van verzadigde stoom van 1,2 ata, nl 258° F (stoomtabel Mc Adams p 397). Deze is over de gehele pijplengte constant. De binnen temperatuur varieert van

65° but 200° F. Vermoende nu de U te berekenen Krist 3.  
 men een gemiddelde temp. en duur. n.l. het logaritmisch gemiddelde  
 temp. en duurverschil (Mancos p 149)



Ghet verloop der curve welke de temperatuur der lucht als functie van de plaats in de huis aangest is een kromme zijn. Vandaar dat het rekenkundig gemiddelde fout is. Ghet logaritmisch gemiddelde temp. en duurverschil benadert de ware doestant. heden

$$A_m = \frac{P_a - P_b}{\ln \frac{P_a}{P_b}}$$

$$A_m = \frac{(250 - 200) \cdot (250 - 65)}{\ln \frac{250 - 200}{250 - 65}} = \frac{112^\circ F}{1.07} = 104^\circ F$$

De waterfilm efficiënt der stoom:

temp = 250° F. Ghierby behaagt de:

thermische geleidb.h. van water  $K = 0,396$  Btu/hr./sq ft / °F

de dichtheid van water.  $\rho = 58,54$  lbs/cu ft

de verdampingswante  $r = 940,1$  Btu/lb.

de viscositeit  $\mu = 0,53$  lbs/ft-hr.

het temp. verschil stoom - water en de want genomen:  $\theta = \frac{250 - 104}{2} = 72,5^\circ F.$

de buisdiameter de pijp  $D = 1,900/12$  ft.

Inzulle is  $h_o = 103,7 \left( \frac{K^3 \rho^2 r}{D \mu \theta} \right)^{1/4}$  levert  $h_o = 1690$

Over de gas film zijn de waarden behaagt op  $104^\circ F$ ,  $200^\circ F$  en  $65^\circ F$   
 $h_i = 0,0202 \frac{K}{D} \left( \frac{D \nu \rho}{\mu} \right)^{0,8}$

4)

Er worden dan 2. oppervlakke coëfficiënte verkregen, die  
 lig 200° en 1 bij 65° F. Deze h's worden dan gemiddeld.  
 Op deze wijze is dan ook de gemiddelde overall coëfficiënt te  
 berekenen. Gezien de meeste coëfficiënte lineair met de  
 temperatuur verlopen kan men een gemiddelde temperatuur van 133° F  
 nemen om de coëfficiënte te berekenen.

$$K = 0,0151 \text{ Btu/hr/sqft/}^\circ\text{F}$$

$$D = 1,6102/12 \text{ ft}$$

$$V = 21020 \text{ ft}^3/\text{hr}$$

$$\rho = 0,0670 \text{ lbs/cuft}$$

$$\mu = 0,048 \text{ lbs/ft-hr}$$

Van h is bekend met dan  $1,51 \text{ Btu/hr/sqft/}^\circ\text{F}$

Invalle van al deze waarden in de vergelijking voor U, dan 2 levert

$$U = \frac{1,71}{1,51} \text{ Btu/hr/sqft/}^\circ\text{F}$$

Per uur moet aan de lucht 181000 Btu worden toegevoerd

Yedere ft. pijp heeft een binnenoppervlakte van, zie Perry lbs 874,

$$0,422 \text{ sqft} \quad \text{De } U = \frac{1,71}{1,51} \text{ Btu/hr/sqft/}^\circ\text{F}$$

Het logaritmisch gemiddelde temperatuurverschil is, zie boven

$$107^\circ\text{F}$$

De pijp lengte L moet nu, dan een aantal aantal

pijpe van 268 is bekend, zijn

$$268 \times L \times 0,422 \times \frac{112}{12} \times 1,71 = 181000$$

$$\text{waaruit } L = 5,22 \text{ ft. } \underline{8,38 \text{ ft}}$$

$$L = \frac{181000}{268 \times 0,422 \times \frac{112}{12} \times 1,71}$$

5) Aangenomen een toelaatbaar warmteverlies van 4%

In de uitwinlaan bevindt zich 260 pijpen, gecombineerd is de figuur van een Chinese ruit met een stuk van 2,09 in bechagt de diameter der warme uitwinlaan ongeveer 3 ft.

Als isolatiemateriaal hier glaswol te gebruiken, waarvan  $k = 0,022 \text{ Btu/sq ft/hr/}^\circ\text{F}$  (Brown-Marco p. 15).

Gehruik is gemaakt van de formule

$$q = \frac{2,429(t_1 - t_2)}{\frac{1}{k} \log \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{k_i} \log \frac{D_3}{D_2}}$$

(zie Brown pag. 36)

Door de grootte der warme uitwinlaan is de verhouding  $D_2/D_1$  zeer klein, deze term wordt hier dus verwaarloosd.

$t_1$ , de binnentemperatuur  $250^\circ\text{F}$

$t_2$ , de buitentemp.  $80^\circ\text{F}$

$k_i$ , de therm. geleidh. van glaswol  $0,022 \text{ Btu/sq ft/hr/}^\circ\text{F}$

$D_2$ , de diameter der uitwinlaan  $3 \text{ ft}$

$q$ , de door gelate warmte per uur  $\frac{7}{100} \times 181000 = 12650 \text{ Btu/hr}$

~~Bekend van  $D_3$~~  dit is per hr/sq ft  $\frac{12650}{\rightarrow \times 3 \times 5,22} = 248$

Voor  $D_3$  moet men aldus 3,31 ft, waardoor de

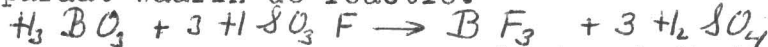
dikte der isolatie  $\frac{0,31 \text{ ft}}{2}$  of  $\frac{3,9 \text{ in}}{2} = \underline{1,95 \text{ inch}}$ .

## De Bereiding van BORIUM FLUORIDE

Voor de bereiding van Boriumfluoride,  $BF_3$ , werd gekozen een bereiding van Young, U.S.P. 2416133. Dit is een continu proces, waarvoor de grondstoffen zijn Boorzuur, of Boriumtrioxyd, of Meta-boorzuur en Fluorsulfonzuur,  $HSO_3F$ ; deze stoffen laat men reageren in een verhouding boorzuur/Fluorsulfonzuur = 1/5 of kleiner bij  $100^\circ C$ . in de aanwezigheid van 100% zwavelzuur als verdunningsmiddel. Men dient er voor te waken dat de boorzuurconcentratie in het zwavelzuur niet hoger wordt dan 20-25%. Daar er een continu proces is beschreven, worden de grondstoffen ook continu ingevoerd. Het verdunningsmiddel zwavelzuur wordt steeds rondgepompt, en in dit zwavelzuur wordt het boorzuur gedistribueerd.

De concentratielimiet van 25% wordt bepaald door de viscositeit van het zwavelzuur-boorzuur mengsel. Deze dient nog zodanig te zijn dat het mengsel gemakkelijk te verplaatsen is door de doseringspompen.

Het apparaat waarin de reactie:



plaats vindt dient van zodanig

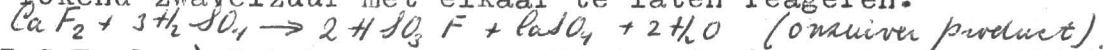
staal te zijn, dat aantasting tot een minimum beperkt blijve.

Het rendement der reactie wordt opgegeven te zijn 80-90%, berekend op Fluorsulfonzuur.

Dit proces werd gekozen, omdat het continu werkt en omdat de reactie geheel in de vloeistoffase plaats vindt, in tegenstelling tot andere voorschriften welke de reactie doen plaats vinden in geheel of gedeeltelijk vaste fase, iets wat uit den aard der zaak gemakkelijk aanleiding tot verstopping kan geven.

Het verkregen Boriumfluoride wordt gekoeld en onder hoge druk in stalen cilindres opgeslagen.

De bereiding van Fluorsulfonzuur vond vroeger plaats door calciumfluoride en rokend zwavelzuur met elkaar te laten reageren:



(Br. 479450, I.G. Farben). Ook kan men zwaveltrioxyde in vaste vorm bij koeling door een ijs-calciumchloride mengsel met fluorwaterstof laten reageren. Het bezwaar hiervan is dat de reactie explosief kan verlopen. De uitvinding der I.G. Farben berust er op dat men een der componenten (i.c.  $SO_3$ ) in vloeibare vorm bij  $30-35^\circ C$ . laat reageren met HF in de gasvormige fase. Omgekeerd is het mogelijk om beneden  $19^\circ C$ . gasvormig  $SO_3$  met vloeibaar HF te laten reageren. De reactie is op deze wijze goed in de hand te houden. Als voorbeeld wordt gegeven:

In een Aluminium reactor brengt men 80 kg  $SO_3$  bij  $30-35^\circ$ , waarbij men er voor zorgt dat het zwaveltrioxyde niet vast wordt. Door een Chromstalen buis brengt men 20 kg gasvormig HF in de reactor. De inwerking vindt ogenblikkelijk plaats zonder explosie.

Br. 496658, I.G. Farben, geeft voor dit proces een continu werkend voorschrift. Door een Aluminium buis, Al is resistent ten opzichte van Fluorsulfonzuur, voert men 80 kg.  $SO_3$ . De buis wordt met behulp van koelwater boven  $20^\circ C$ . gehouden. De buis heeft twee inleidbuizen. Met het  $SO_3$  laat men 20 kg HF reageren in dezelfde stroomrichting. Het  $SO_3$  voert men in bij een temperatuur van  $40^\circ$ , het HF bij  $-10^\circ$ , dus in vloeibare toestand. De reactie verloopt zeer vlot.

De bereiding van het  $BF_3$  is uitgewerkt door den Heer J. H. J. Janssen,

H. J. J.

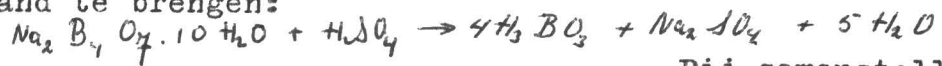
Het fabrieksschema van Boorzuur  
E.J. Mulder  
4 November 1948

Boorzuur,  $H_3BO_3$ , Mol. Gew. 61,8 kristalliseert uit waterige oplossingen in witte, glasachtige, tri-  
klienere plaatjes. De oplosbaarheid in water, uitgedrukt in gew. delen per 100 gew. dln water luidt:  
0° 20° 40° 60° 80° 100° C.  
2.65 5.04 8.71 14.81 23.62 40.25  
(Kirk en Othmer, Encyclopedia of Chem. Technology)

Boorzuur wordt gemaakt uit boraathoudende mineralen. Een der eerst bekende was het Ulexite,  $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$  (Boronatrocalcite). Later voegden zich daarbij het Colemanite,  $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ ; Kernit (Razortite)  $Na_2B_4O_7 \cdot 4aq$ ; Boracite,  $Mg_6Cl_2B_{14}O_{26}$  en Borax (Tincal)  $Na_2B_4O_7 \cdot 12aq$ . alsmede een groot aantal minder belangrijke mineralen. Belangrijke vindplaatsen der boraathoudende grondstoffen zijn U.S.A. (Z. California), U.S.S.R., Turkije, Tibet, Italië en Duitsland (de zoutlagen bij Staszfurt bevatten veel K- en Mgboraten. (Kirk en Othmer)  
Bij de winning van Borax is het Trona proces van veel belang. De zoutbedden, welke doorgaans enkele honderden meters onder het aardoppervlak zijn gelegen worden met heet water geëxtraheerd, ofwel men gebruikt het water der zoutmeren (California) op welke wijzen men een sterk geconcentreerde zoutoplossing verkrijgt, welke aan een gecompliceerd kristallisatieproces wordt onderworpen, waarbij zich onder anderen (KCl, NaCl,  $Na_2SO_4$ ,  $Na_3PO_4$  en NaF) het Borax afscheidt. Eventueel wordt het Borax hierna nog gedehydrateerd. (Norris Shreve, "The Chemical Process Industries")

Indien men een grondstof voor de bereiding van Boorzuur kiest, zal in Nederland de keuze op Borax vallen, daar deze stof per gewicht eenheid een grotere hoeveelheid  $B_2O_3$  bevat dan de andere bovengenoemde mineralen. Dit is van groot belang bij het transport en de kosten welke dit met zich meebrengt. Daarnaast is Borax door zijn eenvoudige samenstelling een zeer gemakkelijk te verwerken grondstof. Vanzelfsprekend dienen deze voordelen te worden afgewogen tegen de ongetwijfeld hogere kostprijs van Borax, vergeleken met die van boraathoudende mineralen van mindere kwaliteit.

C. Franke, Berlin-Grünau heeft een werkwijze voor de bereiding van Boorzuur gepatenteerd, U.S.P. 1950106, waarbij wordt uitgegaan van Natriumtetraboraat, al of niet met kristalwater. De bij dit proces ontstane afgewerkte moederloog wordt steeds opnieuw gebruikt om de grondstof in op te lossen. Deze moederloog wordt verwarmd tot 90-100°C. waarna men de boraatcharge toevoegt, tezamen met een corresponderende hoeveelheid zwavelzuur teneinde de volgende ontleding tot stand te brengen:



Bij samenstelling van deze oplossing scheidt zich allereerst Natriumsulfaat (0aq) af. Bij verdere afkoeling, tot 30-33°C., volgt de uitkristallisatie van het Boorzuur. De na afscheiding hiervan ontstane moederloog wordt nu weer naar het begin van het proces teruggevoerd. Een voordeel van deze werkwijze is dat de afscheiding van het Boorzuur plaats vindt beneden het omzettingpunt (33°) van Natriumsulfaat, 0aq in  $Na_2SO_4$  7aq. Daar de oplosbaarheid van het Natriumsulfaat bij deze temperatuur groter is dan bij 100 is het gevaar van co-precipitatie niet aanwezig

*Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10aq  
— 32.4°C  
Dit kan niet*

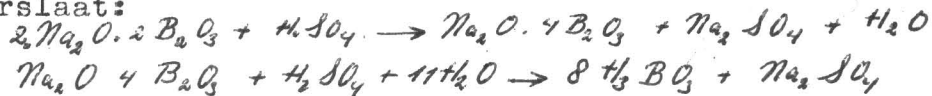


Het zo verkregen Boorzuur is practisch sulfaatvrij. Veel lager dan 30° kan men met de afkoeling niet gaan, eerstens omdat bij verdere afkoeling de Boorzuoeropbrengst niet veel vergroot wordt, dus dit alleen calorienverlies veroorzaakt, verder omdat de oplosbaarheid van Natriumsulfaat 7aq snel vermindert, dus dan wel coprecipitatie kan ontstaan.

A. Kelly, Ger. 584702 vond, dat indien naast Natriumsulfaat ook Natriumbisulfaat aanwezig is de oplosbaarheid van beiden sterk vergroot wordt. Men kan in dit geval dan ook grotere Boraxcharges verwerken. Uit een oplossing met Natriumsulfaat kan men onder gegeven omstandigheden 9% (gew.) Boorzuur verkrijgen, uit dezelfde oplossing, nu echter in de aanwezigheid van Natriumbisulfaat kan men 36% Boorzuur verkrijgen.

Heeft men te doen met mineralen welke Magnesiumboraat bevatten dan is de methode om eerst een gedeelte van het boorzuur te laten uitkristalliseren, waarna men de oplossing bij hogere temperatuur indampst, teneinde een afscheiding van magnesiumsulfaat te bewerkstelligen. Dit proces beschrijft C. Franke, U.S.P. 1944598, en in Ger. 504825.

Een moeilijkheid bij de bovenstaande processen is de verwijdering van vaste onzuiverheden in de grondstof. Dit immers brengt een filtratie bij hogere temperatuur met zich mee, zeker boven de kristallisatie temperatuur. Newman, U.S.P. 2089406 bracht hierin een belangrijke verbetering door uit het tetraboraat eerst het zeer goed oplosbare octoboraat te vormen. De oplosbaarheid hiervan is zeer groot, men kan bij lage temperatuur 20% oplossingen bereiden. Hieruit kan men na filtratie bij lage temperatuur teneinde de onzuiverheden te verwijderen, meer zwavelzuur toevoegen waarna het boorzuur neerslaat:



De voordelen van een dergelijke werkmethode zijn:

- 1) dat het boorzuur in zeer geconcentreerde oplossingen wordt neerge-slagen, waardoor slechts een zeer klein gedeelte van het boorzuur in de moederloog achterblijft. (dit voordeel is slechts betrekkelijk, daar Newman de moederloog niet opnieuw in het proces gebruikt) Wel is het een voordeel, dat indien een dergelijk principe in een "recycle" proces, b.v. als dat van Franke (zie boven) wordt toegepast men per cycle een groetere boorzuoeropbrengst verkrijgt.
- 2) De oplossing van het orthoboraat is practisch neutraal, wat de corrosie aan het filter sterk vermindert.
- 3) De zuiverheid van het uiteindelijk verkregen boorzuur kan geregeld worden door de oplossing minder geconcentreerd te maken; de concentratie aan natriumsulfaat beïnvloedt de zuiverheid van het boorzuur ten zeerste.
- 4) Doordat men het boorzuur in geconcentreerde oplossing neerslaat is bij een cyclisch proces het per kg. toe te voeren aantal calorien minder dan bij een zuiver kristallisatieproces.

Ter illustratie geeft Newman de volgende cijfers:

Normaal kristalliseert men uit 16-17% (gew.) oplossing, tot de oplossing nog 6-7% boorzuur bevat. Door nu via het octoboraat te werken kan men uit een 27% oplossing gaan tot 6-7% boorzuur, waardoor men per cycle 10% meer opbrengst aan boorzuur verkrijgt. De zuiverheid van het boorzuur kan, al naar gelang de omstandigheden variëren van 95-99,5%. De gegevens van Newman hebben betrekking op de verwerking van Razorite, verontreinigd met een soort puimsteen.

Een soortgelijke werkwijze wordt, met in plaats van het octoboraat

*ten eerste  
Londen  
phases die op  
omhoog te zijn*

*vermindering  
met Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*

toegepast met het pentaboraat door W. Burke, U.S.P. 2104009. Deze auteur bespreekt een geheel cyclisch proces. Door de grote oplosbaarheid van het pentaboraat is een geconcentreerde oplossing bij lagere temperatuur uitstekend te filtreren, de zo verkregen oplossing wordt behandeld met zwavelzuur, waarna boorzuur neerslaat. De temperatuur bedraagt dan ca 28° C. Afkoeling tot ca 23° doet dan Natriumsulfaat 12 aq. uitkristalliseren. Dit product wordt afgefiltreerd en het filtraat wordt weer gebruikt om een nieuwe hoeveelheid Borax in op te lossen tot het pentaboraat, waarna de zelfde bewerkingen als boven beschreven weer worden uitgevoerd. Een uitvoerige bespreking van dit patent volgt hieronder.

J. Peterson, U.S.P. 2102126, laat Borax met ammoniumsulfaat reageren volgens de vergelijking:



ammoniak en natriumsulfaat. Peterson laat Borax en ammoniumsulfaatoplossing in een gesloten tank reageren, waarbij verwarming plaats vindt door stoom in het reactiemengsel te blazen. De gevormde ammoniakdamp wordt boven uit de reactor weggevoerd, geconcentreerd en opgeslagen. Is de reactie afgelopen, dan wordt de oplossing door een kristallisator gevoerd, gekoeld tot 35°, waarna boorzurich afscheidt tot 85% van de theoretische opbrengst, berekend uit de bovenstaande vergelijking. Het boorzuur wordt hierna afgecentrifugeerd, gedroogd en opgeslagen. De moederloog, welke nu nog een kleine hoeveelheid boorzuur en nog de gehele portie natriumsulfaat bevat wordt ingedampt en gecentrifugeerd. Bij het indampen scheidt zich uit de oplossing tenslotte bij de indamptemperatuur het natriumsulfaat af. Er wordt dan direct, zonder extrakoeling, gecentrifugeerd, waarbij men er zorg voor draagt dat de temperatuur niet beneden dat punt komt waar natriumsulfaat en boorzuur tezamen neerslaan. Het afgecentrifugeerde natriumsulfaat wordt gedroogd en naar de opslagplaats gevoerd; De moederloog wordt weer door een kristallisator gevoerd waar zich boorzuur afscheidt, wat weer gedroogd wordt en wordt opgeslagen. In het door Peterson beschreven proces wordt de afgewerkte loog of geheel niet, of slechts gedeeltelijk gerecycled. De indamptemperatuur wordt opgegeven zijnde 75°, deze geschiedt dus onder vacuum. De totaal in dit proces verkregen hoeveelheid boorzuur bedraagt 94% van de theoretische, die van natriumsulfaat 59%. Dit proces is er dus op gericht om per pass de maximumopbrengst aan boorzuur te bewerkstelligen.

In U.S.P. 1642535 wordt boorzuur bereid uitgaande van Borax met behulp van zwaveldioxyde. Bij dit proces ontstaan dan Natriumsulfiet en bisulfiet als bijproducten.

De bereiding van speciaal SO<sub>2</sub> vrij boorzuur wordt beschreven in Ger. 510421. Deze voorwaarde is echter voor de bereiding van boriumfluoride niet nodig. De verontreinigingen welke normaal in boorzuur kunnen voorkomen zijn arseen, zware metalen, chloriden, sulfaten en borax. Door rekristallisatie uit een oplossing welke een zeer kleine hoeveelheid van een anorganisch sterk zuur bevat (0.05%) kan men vrij zuiver boorzuur verkrijgen. (U.S.P. 2113248)

Heeft men te maken met calciumboraathoudende mineralen, b.v. Panderite, dan komt de moeilijkheid naar voren dat men na de omzetting met zwavelzuur ook calciumsulfaat, wat neerslaat, moet verwijderen. Een dan te volgen voorschrift geeft de Chem. Fabr. Grünau, Berlin, Ger 643879. Bij de verwerking van zuiver Panderite krijgt men het calciumsulfaat als een dik, volumineus, moeilijk te filtreren neerslag. Dit moet boven de kristallisatietemperatuur worden afgefiltreerd, wat grote moeilijkheden met zich mede brengt. Regeling van de pH in zekere grenzen kan verbetering brengen. Het ge-

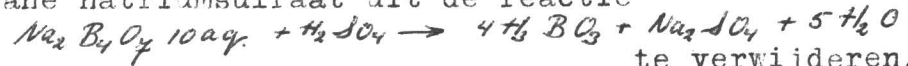
Z.R.P.

5

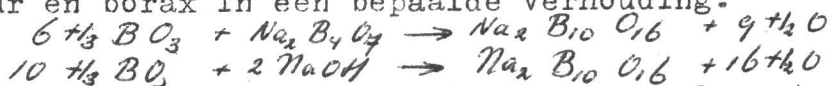
noemde patent echter raadt aan om om het Panderite te verwerken in de afgewerkte loog van het procedé waarin Borax wordt omgezet tot boorzuur. Het calciumsulfaat wordt dus geprecipiteerd in een verzadigde natriumsulfaatoplossing.

De bereiding van Boorzuur volgens W.E.Burke, U.S.P. 2104009, Trona, California.

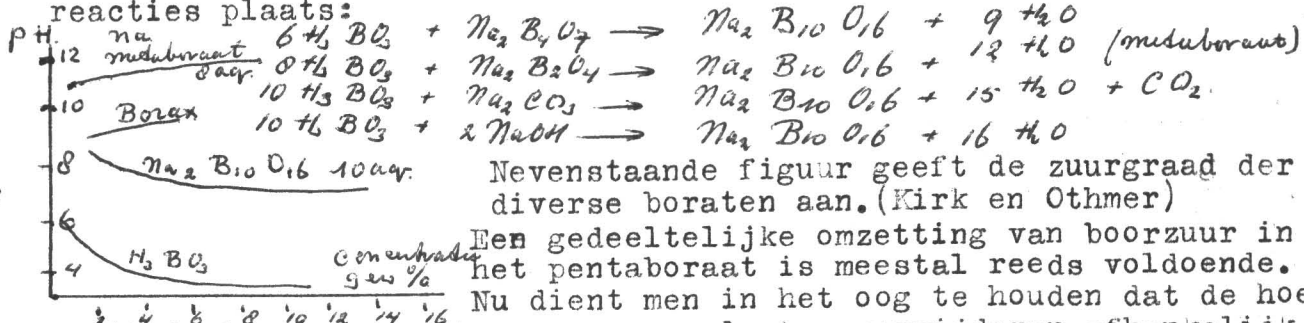
Men dient bij de bereiding van boorzuur zodanig te werk te gaan dat de oplossing bij de kristallisatietemperatuur van het boorzuur nog niet verzadigd is aan natriumsulfaat, m.a.w. met dient in minimale hoeveelheid water in het systeem aanwezig te hebben. In dit geval kan men een maximale opbrengst aan boorzuur verkrijgen. Indien men het na de filtratie ontstane filtraat na het proces afvoert, heeft men niettemin met een aanzienlijk verlies aan boorzuur te maken. Het zal dus, indien men economisch wil werken, de aangewezen weg zijn de moederloog te recyclen. Men dient dan echter eerst het ontstane natriumsulfaat uit de reactie



te verwijderen. Daarbij ontstaat tevens de moeilijkheid, dat met het aantal malen dat men de cyclus is rond geweest, de hoeveelheid water in het systeem groter wordt. Burke introduceert nu het pentaboraat, een "verbinding" van boorzuur en borax in een bepaalde verhouding:



De oplosbaarheid van deze verbinding is veel groter dan die van ieder der componenten afzonderlijk. Dit heeft de volgende voordelen: 1) Bij alle voorgaande processen moest men het natriumsulfaat na de boorzurafscheiding door afkoeling tot uitkristallisatie brengen, waarbij men er angstvallig op dient te letten dat de temperatuur der oplossing niet beneden het punt komt waar zowel natriumsulfaat als boorzuur beiden neerslaan. Bij het proces, door Burke beschreven voegt men na de precipitatie van het boorzuur borax, of soda, of natronloog toe, waardoor het boorzuur weer wordt "geneutraliseerd", omgezet tot het pentaboraat. Hierdoor is het gevaar voor een gezamenlijk neerslaan niet meer aanwezig, en er kan dus een veel grotere hoeveelheid natriumsulfaat uit de oplossing door afkoeling worden verwijderd. Bij de neutralisatie tot pentaboraat vinden de volgende reacties plaats:



figuur 3

Nevenstaande figuur geeft de zuurgraad der diverse boraten aan. (Kirk en Othmer) Een gedeeltelijke omzetting van boorzuur in het pentaboraat is meestal reeds voldoende. Nu dient men in het oog te houden dat de hoeveelheid boorzuur, welke men per cycle kan verwijderen afhankelijk is van de hoeveelheid natriumsulfaat in de oplossing aanwezig, en dus ook afhankelijk is van de hoeveelheid natriumsulfaat welke men per pass verwijderd. En deze hoeveelheid is op zijn beurt weer afhankelijk van de hoeveelheid vrij boorzuur in de oplossing aanwezig. Bij het gebruik van boraatvrije neutralisatiereagentia bij de vorming van het pentaboraat, waardoor de oplossing wezenlijk minder boorzuur en boraat bevat kan men dus voor de kristallisatie van het natriumsulfaat dieper koelen, dus meer natriumsulfaat doen afscheiden dan bij neutralisatie met borax, orthoboraat e.d. Per cycle kan dus een grotere hoeveelheid boorzuur worden geproduceerd, waardoor de bewerkingskosten lager worden. Daartegenover staat als nadeel de kosten van het natronloog e.d. en de ekstrakosten van de hiermee corresponderende hoeveelheid zuur welke extra per pass dient te worden toegevoegd.

\*) behalve dat met orthoboraat

2) Doordat het pentaboraat zeer goed oplosbaar is, is de oplossing na de toevoeging van borax, en de vorming van het pentaboraat hieruit zeer goed bij lagere temperatuur te filtreren teneinde de onzuiverheden uit de grondstof te verwijderen

3) Het kan voorkomen dat men de oplossing doet kristalliseren in buizenkoelers, teneinde de boorzuurafscheiding te bewerkstelligen. Er vindt dan steeds een boorzurafzetting op de wanden plaats, welke de warmteoverdracht niet ten goede komt. Oplossing van deze afzetting in heet water geschiedt zeer slecht. Laat men echter een deel der pentaboraatoplossing door de buizen circuleren, dan de boorzurafzetting zeer snel opgelost.

4) Doordat hier sprake is van een cyclisch proces kan het boorzur met een maximum rendement uit borax, of uit een ander natriumboraat worden bereid. De hoeveelheid boorzur immers, welke na de precipitatie van het boorzur in de oplossing blijft tengevolge van de oplosbaarheid ervan in water, wordt bij de volgende cyclus weer neergeslagen. Tenslotte zal er natuurlijk een moment komen, dat de hoeveelheid verontreinigingen, welke zich in de circulerende hoeveelheid vloeistof ophopen, zo groot zijn geworden, dat geen redelijk zuiver boorzur meer kan worden geproduceerd. Men zal dan de oplossing of hiervan moeten zuiveren, of geheel moeten wegwerpen.

Een ander punt van belang in dit proces is de hoeveelheid water in de vloeistof. Men verwijdert natriumsulfaat als een decahydraat, waarmee tevens een zekere hoeveelheid water uit het systeem wordt verwijderd. Voegt men de grondstof, borax, toe in de vorm van decahydraat, dan bestaat de mogelijkheid dat de hoeveelheid water in de oplossing steeds groter wordt. Men zou dit kunnen tegen gaan door steeds een hoeveelheid water uit de oplossing te verdampen, doch beter is om een geheel of gedeeltelijk gedehydrateerde grondstof toe te voegen. Voegt men gedurende de cyclus, zoals boven reeds is vermeld, natronloogoplossing toe, dan kan men de hoeveelheid water in het systeem regelen door de natronloogoplossing minder of meer geconcentreerd toevoegen. Een later te geven waterbalans aan de hand van het voorschrift zal dit duidelijk maken. Immers zal, zoals reeds in het voorgaande is besproken, het gebruik van natronloog, doordat een verhoogde natriumsulfaatafscheiding mogelijk is, en dus corresponderend hiermee een grotere hoeveelheid boorzur kan worden gewonnen, per cycle een grotere hoeveelheid water worden onttrokken dan wanneer men gebruik maakt van een boraat als neutralisatiereagens. Daardoor kan dus per cycle ook een grotere hoeveelheid water worden toegevoegd, en behoeft men in dat geval dus geen gebruik te maken van geheel of gedeeltelijk gedehydrateerd borax.

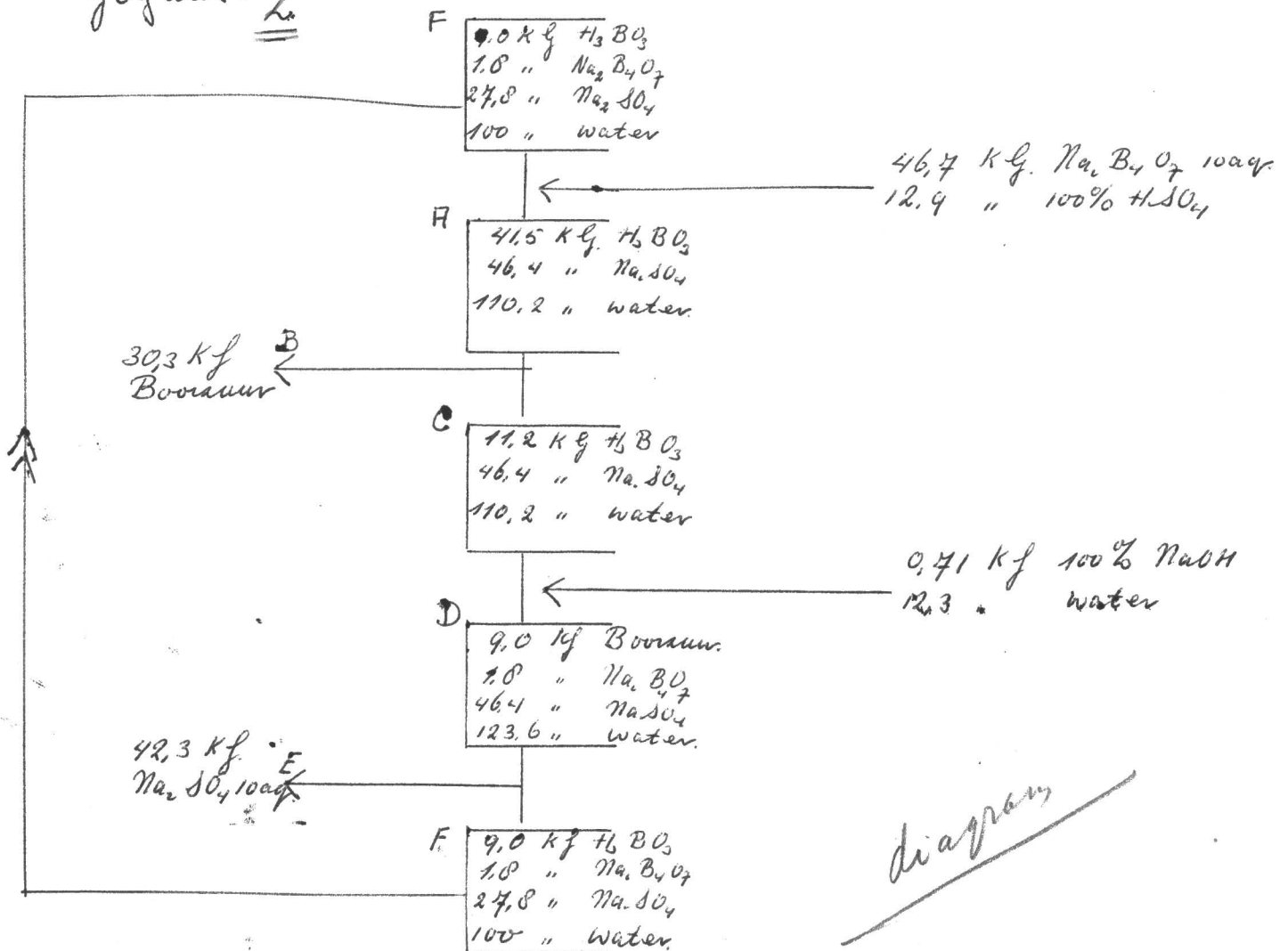
Burke geeft in zijn patent twee werkvoorbeelden, een betrekking hebbend op een procedé, waarin de neutralisatie tot pentaboraat plaats vindt met borax (noem dit voorschrift I) en een waarin de neutralisatie plaats vindt met natronloog (noem dit voorschrift II) Voorschrift I (zie figuur 4) De oplossing F, afkomstig van een vorige cycle, bevat 10.1 kg boorzur, 2 kg tetraboraat, 33.3 kg natriumsulfaat en 100 kg water. Aan deze oplossing, zijnde op een temperatuur van 24,2° C wordt 17.4 kg natriumtetraboraat 10aq en 5.44 kg 100% zwavelzuur toegevoegd. De resulterende oplossing, bevattende 23.9 kg boorzur, 41.2 kg natriumsulfaat en 103.2 kg water, wordt gekoeld tot 27.7° C, waarbij zich 13.8 kg boorzur afscheiden. Men dient er hier dus op te letten dat hier natriumsulfaat niet mee neerslaat. Mocht men eventueel gedurende de cyclus water moeten verwijderen, dan kan men dat het best tussen de stadia F en A doen. De oplossing, overblijvend na de afscheiding van het boorzur bevat 10.1 kg boorzur, 41.2 kg natriumsulfaat, 103.2 kg water. Aan deze oplossing wor-

*gaat met borax*

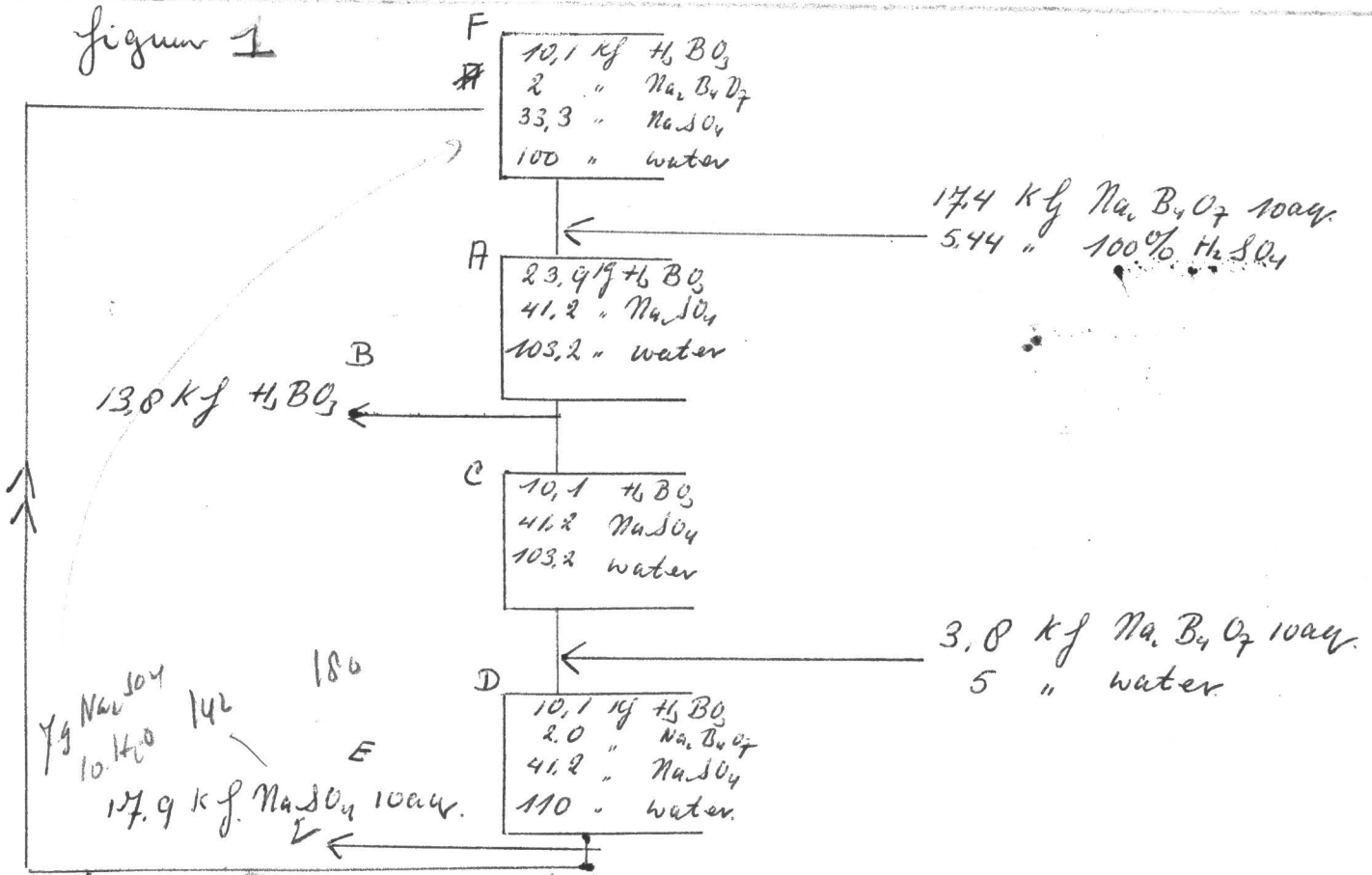
*maakt met borax  
natrium.*

*[Handwritten signature]*

figuur. 2



figuur 1



*tetraboraat.* 8

den ter neutralisatie 3.8 kg natriumsulfaat 10 aq in 5 kg water toegevoegd. De volgende reactie vindt hier plaats:

De resulterende oplossing D bevat 10.1 kg boorzuur, 2.0 kg natrium-tetraboraat, 41.2 kg natriumsulfaat en 110.0 kg water. Deze oplossing wordt nu geloed tot 24.2° C. waarbij zich 17.9 kg natriumsulfaat 10 aq afscheiden. Na filtratie wordt de resulterende oplossing F weer naar het begin van het proces teruggevoerd.

Vergelijkt men deze gegevens met de resultaten van het hieronder te bespreken voorschrift II, dan valt de veel grotere hoeveelheid boorzuur, welke per zelfde gewicht water wordt verkregen direct in het oog. Daarbij is het logisch dat de hoeveelheid water in het systeem gemakkelijk geregeld kan worden door de hoeveelheid water waarin de natronloog is opgelost te variëren.

Voorschrift II ( zie figuur 2.) De oplossing van het eind van het proces afkomstig, F, bevat 9.0 kg boorzuur, 1.8 kg natriumtetraboraat, 27.8 kg natriumsulfaat en 100 kg water en heeft een temperatuur van 22.3° C. (F) Aan deze oplossing worden 46.7 kg borax (10 aq) en 12.9 kg zwavelzuur toegevoegd. Moet men nu de oplossing filteren van onzuiverheden in de grondstof, dan doet men het beste om eerst slechts 40% van de aangegeven hoeveelheid zwavelzuur toe te voegen waarbij zich het pentaboraat vormt. Deze oplossing is nu bij lage temperatuur zeer gemakkelijk te filteren, zonder dat men gevaar loopt dat zich boorzuur uit de oplossing afscheidt. Aan de heldere, gefiltreerde oplossing voegt men dan de rest van het zwavelzuur toe. De verkregen oplossing, A, wordt gekoeld tot 28.5° C., zijn de de laagst mogelijke temperatuur waarbij men boorzuur kan laten uitkristalliseren zonder dat natriumsulfaat mee neerslaat. Men doet goed tussen dit punt van gezamenlijke precipitatie en de koeltemperatuur een marge te houden ter wille van de veiligheid van 1.5° C. Door filtratie of centrifugeren kan men 30.3 kg boorzuur verkrijgen. (vergelijk dit met het bij voorschrift I aangegeven getal van 13.8 kg boorzuur). Het filtraat, C, bevat 11.2 kg boorzuur, 46.4 kg natriumsulfaat en 110.2 kg water. Ter neutralisatie voegt men hier aan toe 0.71 kg 100% natriumhydroxyde in 12.3 kg water. De volgende reactie vindt nu plaats:



De verkregen oplossing, D, bevat nu 9.0 kg boorzuur, 1.8 kg natrium-tetraboraat, 46.4 kg natriumsulfaat en 123.6 kg water. Deze oplossing wordt nu gekoeld tot 22.3° C., waarbij zich 42.3 kg natriumsulfaat decahydraat afscheiden. Het filtraat, ontstaan na centrifugeren der oplossing (F) wordt weer naar het begin van het proces teruggevoerd.

Dit laatste proces is gekozen voor het opzetten van een fabrieksschema. Dit om de volgende redenen:

1) Borax is een grondstof welke voor Nederland zeer geschikt zal zijn in verband met de hoge transportkosten welke de aankoopkosten verhogen. Borax is een grondstof welke van alle andere grondstoffen per kg de grootste hoeveelheid boorzuur bevat. Eventueel zou het aanbeveling verdienen gedehydrateerd boorzuur aan te kopen, daar het water, als kristalwater gebonden, alleen de vrachtkosten verhoogt.

2) Er is bij dit proces practisch geen verlies aan boorzuur, bij een zeer zuivere grondstof kan men alle borax tot boorzuur verwerken.

3) Er zijn hier geen problemen omtrent de filtratie van kleine onzuiverheden bij hogere temperatuur, zeker ver boven de kristallisatietemperatuur.

4) Het boorzuur wordt neergeslagen, borax is zeer goed oplosbaar in de pentaboraathoudende oplossing F. Dit voorkomt dus de noodzakelijkheid van het opwarmen der oplossing tot hogere temperaturen. Dit is dus gunstig gezien uit warmte-economisch oogpunt.

De water balans, behorende bij voorschrift II luidt:

<u>water uit:</u>	30.3 kg boorzuur bevatten Chemisch gebonden:	water
	$\frac{30.3}{62} \times \frac{3}{2}$ geeft	0.73kg.mol
	natriumsulfaat, 42.3 kg, decahydraat bevatten:	
	$\frac{42.3}{322} \times 10$ geeft	0.132kg.mol
		Total: 2.04 ,,
<u>water in</u>	46.7 kg natriumtetraboraat 10aq bevatten:	
	$\frac{46.7}{359} \times 10$ geeft	1.30 ,,
	12.3 kg water bevatten $\frac{12.3}{18}$ geeft	0.68 ,,
	12.9 kg zwavelzuur bevatten de mogelijkheid tot vorming van $\frac{12.9}{98}$ geeft	0.13 ,,
		Total: 2.11 kg.mol

*verschil 2%*

*is te veel*

Dit is berekend met behulp van de gegevens van Burke. Water in en water uit kloppen niet geheel met elkaar. Duidelijk blijkt hieruit echter wel dat de regeling van de waterhoeveelheid in het systeem is te regelen met de hoeveelheid toe te voegen verdunde loog.

Het fabrieksschema

Het schema is getekend op een schaal van ongeveer 1/20. De capaciteit der diverse reactoren en wachtbakken bedraagt dan ruim 1 kubieke meter, zodat de tienvoudige hoeveelheden, gegeven in voorschrift II zijn aan te houden.

In de reactor (1) wordt de oplossing (F) (zie voorschrift II en figuur 2), afkomstig van de vorige cycle toegelaten. Uit een weegtank (2) worden 467 kg borax toegelaten. De oplossing wordt geroerd, daarna laat men 40% van de benodigde hoeveelheid zwavelzuur (129 kg) toevloeien. Nu wordt dus uit het borax het pentaboraat gevormd. Na stopzetten van het roerwerk laat men de grove onzuiverheden bezinken en filtreert de kleine onzuiverheden over een filter van metaalgaas af. Uit figuur 3 blijkt dat de pentaboraatoplossing neutraal rrageert. Men hoeft dus niet te vrezen voor overmatige corrosie van het filter. (merk filterinstallatie "Niagara") Voor het overbrengen der vloeistof uit de reactor 1 in het filter 4 zijn aangebracht een centrifugaalpomp met injectiepomp, ontluchter en kijkglas. De gefiltreerde vloeistof wordt nu overgebracht naar een tweede reactor, waar de rest van het zwavelzuur wordt toegevoegd. (5). Van hieruit komt de suspensie, het boorzuur is immers door het zwavelzuur neergeslagen, in een kristallisator (6). Deze is voorzien van een roerwerk, waarin door de schoepen koelwater circuleert. Hier wordt de temperatuur op 28.5° C. gebracht. (De temperatuur was immers door de toevoeging van zwavelzuur gestegen door de oploswarmte; mocht de temperatuur in (5) niet hoog genoeg zijn dan is hiervoor een stoomspiraal aangebracht).

Het in de kristallisator afgescheiden boorzuur wordt in de centrifuge afgezonderd. (7). Doordat de bodem hiervan lossend is gemaakt kan het boorzuur via de bodem worden verwijderd. Het boorzuur wordt in een verzamelaar toegelaten, komt van hieruit in de droger (8), in welke met stoom indirect verwarmde lucht (9), in tegenstroom passeert. Het gedroogde boorzuur wordt door een schroeftransporteur naar de opslagplaats hiervoor getransporteerd.

De moederloog uit de centrifuge (7) wordt toegelaten in een wachtbak (10-) van waaruit ze wordt verpompt naar de reactor (11), alwaar onder roeren de verdunde loog wordt toegevoegd. De oplossing, welke nu het pentaboraat bevat wordt gekoeld in de kristallisator



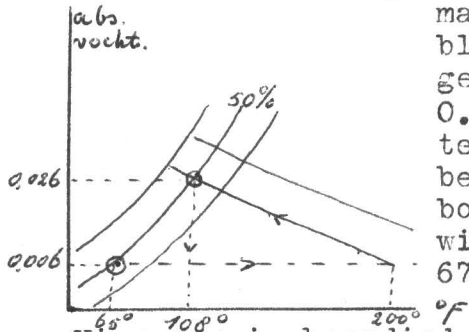
(11) tot 22°. Het afgescheiden Natriumsulfaat 10aq wordt in de centrifuge (12) verwijderd, gedroogd en opgeslagen. Het filtraat wordt naar een wachtbak (14) gevoerd, en van daar weer naar de reactor (1) gepompt.

Berekening van de warmteuitwisselaar (g), voor de boorzurdroger.

Teneinde de warmteuitwisselaar te kunnen berekenen, dient men aller eerst de benodigde hoeveelheid te calculeren.

Aangenomen, te produceren 306 kg (677 lbs) boorzur per uur.  
inlaattemperatuur van de lucht in de warmteuitwisselaar 65° F.; uitlaattemperatuur 200° F.  
vochtigheid van de inlaatlucht der w. uitwisselaar 50%  
Verondersteld een adiabatisch werkende droger.

De berekening kan worden uitgevoerd met behulp van de lichteigenschappen figuur, zie Perry, Chem. Eng. Handbook, 1941, pag 1515.  
De absolute vochtigheid der lucht (65° F, 50% rel. vocht.) blijkt 0.006 lbs/cu. ft te zijn. Deze lucht verlaat de w. uitwisselaar met een temp. van 200°, passeert de droger en komt er uit met een aangenomen rel. vochtigheid van weer 50%. Het hiernaast gegeven kleine sche-



ma verduidelijkt de operatie in de grafiek, Het B blijkt nu dat de uitlaattemperatuur uit de droger 108° F. is en de absolute vochtigheid hierbij 0.026 lbs/cu. ft. bedraagt. De verdamping aan water per uur uit het boorzur moet dan per uur bedragen, indien men een beginvochtigheid van boorzur uit de centrifuge aanneemt van 15%, en wil gaan tot een eindvochtgehalte van 1%:

677x0.99x(  $\frac{15}{85} - \frac{1}{99}$  ) geeft 110 lbs water/hr

Hiervoor is benodigd een hoeveelheid lucht van  $\frac{110}{(0.026-0.006)} = 5520$  lbs lucht per uur.

Uit de grafiek vindt men voor het sp. vol. van lucht van 65° F. en 50% rel. vocht. 13.3 cu. ft. droge lucht.

Het volume lucht per uur benodigd is dan 13.3x 5520=72600 cu. ft/hr  
De s.w. van deze lucht bedraagt, zie de grafiek, 0.243.

Aan de voorverwarmer der lucht dient dus per uur door de stoom te worden afgeleverd een hoeveelheid warmte, gelijk aan :  
0.243x5520x(200-65)= 181000 Btu/hr.

De warmteuitwisselaar zie Perry blz (4ft. 7)  
Brown-Marco, Introduction to heat transfer  
Mc Adams, Heat transmission.

Aangenomen is een gebruikelijke pijpdiameter van 1.900 in. buitendiameter, 1.500 in. binnendiameter, zie Perry blz 874.

1) De kritische snelheid, de snelheid waarbij laminaire stroming in turbulente overgaat:

Brown geeft voor de berekening van  $v_{crit}$  de formule;  $\frac{2,300 \mu}{\rho D}$   
ingevuld verkrijgt men

$$\frac{2300 \times 0.0475}{0.0671 \times 0.125} = 13000 \text{ ft/hr}$$

de diameter D wordt uitgedrukt in ft. D is 1.500/12  
de viscositeit  $\mu$  wordt gevonden uit de tabel Brown p. 213  
evenals de dichtheid  $\rho$  der lucht .

Het Reynoldsgetal is dan

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu} = \frac{0.125 \times 13000 \times 0.0673}{0.0475} = 2300$$

Kiest men dus een Reynoldsgetal van 4000 dan heeft men voldoende marge om een turbulente bewegingstoestand te handhaven. De lineaire snelheid bedraagt dan, berekend uit de Reynoldformule:

$$4000 = \frac{D v \rho}{\mu} = \frac{0.125 \times v \times 0.0673}{0.0475}; v = 22600 \text{ ft/hr}$$

De binnendwarsdoorsnede wordt gegeven door Perry 0.01225 sq. ft  
Per pijp is dus de "mass velocity"

$$0.01225 \times 22600 \times 0.0671 = 18.7 \text{ lbs/hr/sq. ft}$$

0.0671 is de dichtheid der lucht

*Warmte*

2) Aantal pijpen

Voor deze droger is dus per uur nodig een quantiteit lucht van 5520 lbs. Iedere pijp kan per uur bij een Reynoldsgetal van arbitrair 4000 en een binnen pijp diameter van 1.500 inch 18.70 lbs lucht/hr/φ transporteren. Er zijn dus nodig  $\frac{5520}{18.7} = 296$  pijpen.

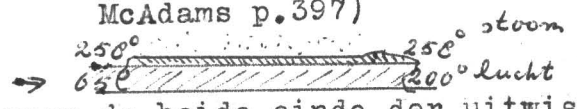


Construeert men deze pijpen in de vorm van een Chinese ruit, zie figuur, en stelt men een steek van 53mm vast, dan brengt dit een diameter der warmteuitwisselaar met zich mee van 1 m.

3) De gemiddelde "overall heat coefficient" van de pijpen. stoom, 1.2 ata, temp 258°F. (zie stoomtabel Brown p.216; McAdams p.397)

*Oppervlakte*

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{d}{k} + \frac{1}{h_i}}$$



Deze coefficient werd berekend voor de beide einde der uitwisselaar, teneinde de waarde bij een juiste gemiddeld temperatuurverschil te verkrijgen.

A, het temperatuurverschil bij het "begin" bedraagt

$$\theta = \frac{(258 + 65)}{2} = 162^\circ\text{F}$$

Voor het berekenen der warmteoverdracht door een waterfilm maakt men gebruik van de Nusseltse vergelijking, geldend voor condenserende dampen:

$$h_c = 103.7 \left( \frac{k^3 \rho^2 r}{D \mu \theta} \right)^{1/4} \quad \text{Brown p.129}$$

- waarin  $k$  de thermische geleidbaarheid  $162^\circ$  (0.384 (Brown p212)
- $\rho$  de dichtheid van water bij  $162^\circ$  (60.97) ,,
- $r$  de verdampingswarmte bij  $162^\circ$  (1001.0) stoomtab.
- $D$  De buitendiameter der pijp (1.9/12 ft)
- $\mu$  de viscositeit van water  $162^\circ$  (0.96)

Berekening van de  $h_c$  geeft  $h_c = 1018$

De coefficient  $k$ , de thermische geleidbaarheid der stalen wand, bedraagt (Brown p.13) 26. De wanddikte bedraagt 0.400/12 ft.

De oppervlakte coefficient der gasfilm wordt gegeven door door Brown p.101

$$h = 0.0202 \frac{k}{D} \left( \frac{D V \rho}{\mu} \right)^{0.8}$$

Voor lucht, berekend op  $162^\circ$  is de waarde van

- $k$  de thermische geleidbaarheid 0.0159 Btu/hr/sqft
- $D$  de binnendiameter 0.125 ft
- $V$  de lin. snelheid 22600 ft/hr
- $\rho$  de dichtheid 0.0635 lbs/cuft
- $\mu$  de abs. viscositeit 0.050 lb/ft-hr

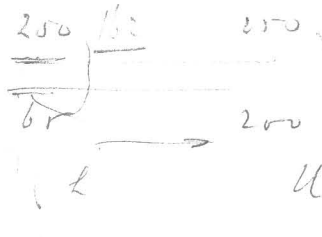
Berekening van  $h$  levert dan  $h = 2.25$

Berekening van de  $U$  geeft  $U = 2.25$ , waaruit volgt dat de  $h$  der gasfilm de enige toonaangevende factor is, de gasfilm controleert.

Dezelfde berekening werd nu aan het andere einde der uitwisselaar, alwaar het gemiddelde der temperatuur  $(258 + 200)/2 = 229^\circ\text{F}$ . bedraagt. Hier wer nu alleen de  $h$  der gasfilm berekend. Dezelfde formule als boven gegeven wer gebruikt met behulp van de volgende gegevens:

- $k$  0.0171 Btu/hr/sq.ft/°F/ft.
- $D$  0.125 ft
- $V$  22600 ft/hr
- 0.0575 lbs/cu.ft
- 0.054 lbs/ft.hr

*Waarom k berekend bij gemiddelde temp?*



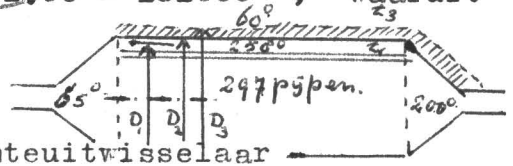
Hieruit volgt voor h, en ook voor U=1.67

4) De pijplengte

De gemiddelde U bedraagt  $(2.25 + 1.67)/2 = 1.96$  Btu/hr/sq.ft/°F.

Per uur moet nu worden toegevoegd aan de lucht 181000 Btu. Iedere ft pijp heeft een binnenoppervlak, zie tabel Perry, van 0.393 sq.ft. Stel de pijplengte gelijk aan L, dan moet:

$297 \times L \times 0.393 \times (200-65) \times 1.96 = 181000$ , waaruit volgt voor de pijplengte 5.85 ft.



5) De dikte der isolatie om de warmteuitwisselaar

- Afmetingen : lengte 5.85 ft
- doorsnede 1 m. *3 ft*
- Aangenomen een toelaatbaar warmteverlies van 1%
- Materiaal : glaswol, k gelijk aan 0.022, Brown p.15.

Berekening, zie Brown p 36.

Gebruik is gemaakt van de formule  $q = \frac{2.729 (t_1 - t_3)}{\frac{1}{k} \log \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{k_i} \log \frac{D_3}{D_2}}$

Door de grote diameter van de uitwisselaar is de verhouding  $D_2/D_1$  zeer klein, deze term wordt hier dus verwaarloosd.

- $t_1$  de binnentemperatuur 258°F.
- $t_3$  de buitentemperatuur 60°F.
- $k_i$  de th. geleidb.h. glaswol 0.022 Btu/hr/sq.ft./°F./ft.
- $D_2$  de diameter der warmteuitwisselaar, 3.28 ft
- $k$  de thermische geleidb.h. van de stalen wand der uitwisselaar
- $q$  de doorgelaten warmte per uur, per ft,  $1810/5.85 = 311$  Btu/ft. *x 7 x 3.28*

Berekening der formule met deze gegevens geeft voor  $D_3 = 3.58$  ft. De dikte der glaswolisolatie wordt dan  $(3.58 - 3.28)/2 = 0.15$  ft

0.29

3.31 ft.

*Verschillen 4 ft  
to groot  
log gemiddelen*

*Veel te dik  
Kans om gulf  
1/2 200 °F*