

Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på
www.tekniskkulturarv.dk/about

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

AMMONIAKSYNTESEN PAA GRUNDLAG AF ENORMTRYK

FOREDRAG HOLDT DEN 23. MAJ 1922 I DANMARKS NATURVIDENSKABELIGE SAMFUND

AF

DIREKTØR G. CLAUDE

(«L'AIR LIQUIDE», PARIS)

SÆRTRYK AF »TEKNISK TIDSSKRIFT« NR. 31

DANMARKS
TEKNISKE BIBLIOTEK

KØBENHAVN
J. JØRGENSEN & Co. * IVAR JANTZEN
1922

AMMONIAKSYNTESEN PAA GRUNDLAG AF ENORMTRYK

FOREDRAG HOLDT DEN 23. MAJ 1922 I DANMARKS NATURVIDENSKABELIGE SAMFUND

AF

DIREKTØR G. CLAUDE

(»L'AIR LIQUIDE«, PARIS)

SÆRTRYK AF »TEKNISK TIDSSKRIFT« NR. 31

DANMARKS
TEKNISKE BIBLIOTEK

KØBENHAVN

J. JØRGENSEN & Co. * IVAR JANTZEN

1922

DANMARKS
TEKNISKE BIBLIOTEK

661.5 cla
1922 T.B. gl.

DANMARKS
TEKNISKE BIBLIOTEK

DANMARKS

TEKNISKE BIBLIOTEK

Mine Herrer!

De har beredt mig en stor Ære ved at bede mig komme hertil for at tale for Dem om Ammoniak-syntesen.

Med Hensyn til det Land, som her modtager mig, er jeg ganske klar over, hvor meget større dets Betydning er, end man skulde vente efter Betragtning af Verdenskortet. Jeg ved, hvorledes Folket, der bebør det, har forstaaet sine Opgaver, og at det ved stadigt fortsat Anspændelse er blevet et Foregangsland med Hensyn til Landbrug og de dertil knyttede Omraader. Jeg ved, at dette Lands Kunst og Litteratur i Verdens Omdømme indtager et Standpunkt, højt hævet over det, som tilkom det efter dets Indbyggerantal. Jeg ved, paa hvor mange Omraader indenfor Industri og Videnskab De ikke staar tilbage for nogen: naar jeg erindrer om Navne — blandt mange andre — som: Finsen, Poulsen, Petersen, Bohr, behøver jeg ikke at gaa nærmere ind paa dette Punkt, men lad mig dog sige — fordi jeg ved, at det vil glæde Dem — at baade min berømte Landsmand *Le Chatelier* og min gode Ven *Guillaume* med Beundring har fortalt mig om de smukke Ting, de har set her, f. Eks. om de Fabrikker, Deres Selskabs Præsident, Hr. *Foss* har skabt, disse Virksomheder, der med Hensyn til Cementovnskonstruktion er Verdens førende, og som anvender de allernyeste videnskabelige Metoder og de mest fuldendte Arbejds- og Kontrolredskaber.

Jeg kender ogsaa, mine Herrer, Deres Sympati for mit kære Fædreland, der har lidt saa haardt ved det ufortjente Angreb, som traf det halvt afvæbnet, mit Land, som ogsaa er blevet saa bittært skuffet ved Tilintetgørelsen af Drømmen om i det mindste at opnaa én Løn for sin med Smerte vundne Sejr: at der skulde oprinde en Fredens og Broderskabets Tid. Og lad mig tro, at det for en stor Del er mit Fædreland, den Modtagelse gælder, som jeg langt fra fortjener, den Modtagelse, som jeg igaar fik af Hr. Direktør Hannover og Frue, og som jeg idag faar af Dem alle her, og hvorover jeg i Sandhed er dybt rørt.

Desuden, mine Herrer, er det mig en saa meget større Ære at være blevet anmodet om at fortælle Dem om mine Arbejder, som Ammoniaksyntesen fra den tyske Industris Side har fremkaldt en Anstrængelse, hvis Resultat jeg uden Betænkning kalder beun-

dringsværdigt, — og som maaske i Deres Øjne kunde gøre ethvert Forsøg paa Forbedring af Sagen haabeløst.

Og dog er dette store Problem om Kvælstoffets Binding, som ved en storstilet og farlig Forret berører Folkenes Liv baade gennem Gødningsmidlerne og gennem Eksplosionsstofferne saa paatrængende, at intet Land kan undlade at interessere sig derfor. Hvor fortrinlige de af Tyskerne opnaaede Resultater end er, har jeg dog ikke opgivet Haabet om at faa endnu bedre. Jeg var saa meget mere i min gode Ret, da jeg begyndte denne Væddestrid, som den tyske Industris glimrende Resultater ikke kan bringe den Kendsgerning i Forglemmelse, at Spørgsmaalet for en stor Del oprindeligt er fransk.

De første Undersøgelser over Jærnets Rolle ved Kvælstoffets Binding, skyldes vor store Kemiker, *Fremy*. Vor geniale *Tellier*, Køleindustriens Skaber, paaviste først de vidunderlige, senere virkeliggjorte Muligheder for Problemets Løsning — hvis De tvivler, hør saa i hvilke helt profetiske Udtryk, han¹⁾ fremsætter sin Anskuelse:

»Kort sagt,« skriver *Tellier*, Fabrikation af Ammoniak under de af mig angivne²⁾ Vilkaar er ret simpel. Der er til dette Stofs Produktion uendelige Raastofkilder til Raadighed, da de anvendte Raamaterialier er Luft og Vand. Endvidere vil Produktets Fremstillingspris blive en saadan, at denne Fabrikation, hvad enten den arbejder for Industri eller for Landbrug, vil faa en saa at sige ubegrænset Udvikling. Den økonomiske Tilvirkning af dette Stof berører saaledes de dybeste Interesser: den hører hjemme blandt de Tilvirkninger, som har Chancen for at blive den mest lønnende af alle, der i Øjeblikket kan forsøges«

Disse Linier, som godt kunde være skrevne igaar, er 50 Aar gamle!

Det er endeligt *Le Chatelier*, man kan takke for de Tanker, der maatte føre til Resultatet, og for de Love, som gælder for Ammoniaksyntesen.

Disse var mine Forgængere paa den Vej, jeg slog ind paa.

Jeg skal her minde om, at Ammoniaksyntesens

¹⁾ L'Ammoniaque par Ch. Tellier, Paris 1867.

²⁾ Brints og Kvælstofs langsomme Forbinden sig med hinanden over reduceret Jern.

Princip bestaar i at underkaste Blandingen $N + H_3$ en samtidig Tryk- og Temperaturpaavirkning ved Tilstedeværelse af et passende, katalytisk virkende Stof. Ved *Haber's* Fremgangsmaade er Trykket 200 Atmosfærer, Temperaturen omkring 600° , og Katalysatoren er hovedsageligt Jærn. Det er denne Proces, der er sat i System af »Badische Anilin« og af dette Selskab udnyttet i en enorm Maalestok i de berømte Oppau-Værker, og som har muliggjort det for de fra Omverdenen ved Blokaden afskaarne Ty-skere at undvære Chilisalpeteret og at forlænge Kri-gen 3 dødbringende Aar.

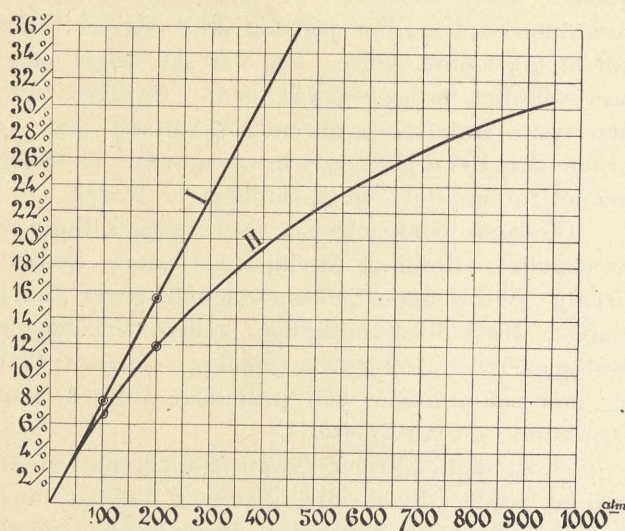


Fig. 1.

Det var indlysende, at jeg ikke kunde kappes med det mægtige »Badische«, hvad Storstiletheden angaar. Mine Bestræbelser maatte udelukkende gaa ud paa at se ved Hjælp af kraftigere Midler at faa, hvad »Badische« opnaar gennem den storstilede Arbejdsmaade. Jeg rettede min Opmærksomhed mod Anvendelsen af meget høje Tryk — som jeg kalder Enormtryk (hyperpressions).

Tilvejebringelsen af Enormtryk. — De kemiske Ligevægtsligninger viser, at Ammoniakholdet til at begynde med vokser proportionalt med Trykket. Dette kan imidlertid ikke vedblive uendeligt, thi selv ved uhyre Tryk er det i hvert Fald udelukket at faa over 100 pCt. Ammoniak.

Men hvor begynder den uundgaelige Formindskelse i Stigningens Størrelse? Hvis det er i Nærheden af de 200 Atm., som *Haber* benytter, vil det være unyttigt at gaa højere. Men skulde denne Frygt bekræftes, maatte Ekstrapolering af *Haber's* sidste Resultater vise, at der ikke var nogen stor Gevinst

ved at lade Trykket stige til 1000 Atm., — hvilket jeg havde i Sinde at prøve. Kurven i Fig. 1 viser, hvor meget Udbyttet afviger fra Proportionaliteten. Det er utvivlsomt denne relativt mindre Gevinst ved de

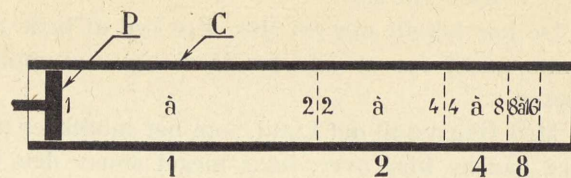


Fig. 2.

meget høje Tryk — i Forbindelse med de Forestillinger, man havde og for Resten endnu har om, at Vanskelighederne vokser enormt hurtigt med Trykket — der har standset *Haber* og hans dygtige Medarbejdere.

Det ved Kurven viste, endnu meget store Merudbytte var derimod tilstrækkeligt kraftig Opmunt-ring for mig, der var overbevist om, at den meget store Trykstigning let lod sig iværksætte.

Lad os betragte et Stempel *P*, der i en Cylinder *C* sammentrykker en Luftart, som til at begynde med har Atmosfærens Tryk. Gaar man trinvis frem og lader hver Stempelforskydning være halvt saa stor som den foregaaende, faar man, naar Stemplet første Gang vandrer den halve Cylinderlængde, de følgende Forskydninger: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ o. s. v.¹⁾.

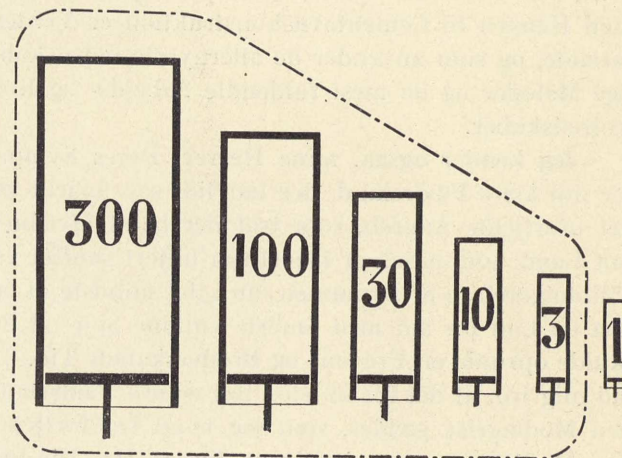


Fig. 3.

For hver Forskydning fordobles Trykket. Dette sidste gaar fra 1 til 2 Atm., fra 2 til 4, fra 4 til 8 Atm. o. s. v.; man vinder altsaa: i det første Trin

¹⁾ Cylinderen forudsættes anbragt i det tomme Rum og Forskydningerne af Stemplet saa langsomme, at Sammentrykningen bliver temperaturkonstant.

1 Atm., i det andet 2, i det tredje 4, i det fjerde 8 Atm. o. s. v. Trykket fordobles altsaa i hvert Trin, medens den af Stemplet tilbagelagte Vej halveres; det udførte Arbejde bliver saaledes det samme i de enkelte Trin. Hvis *Mariotte's* og *Boyle's* Lov antages at være fuldt nøjagtig, vinder man ved samme Ar-

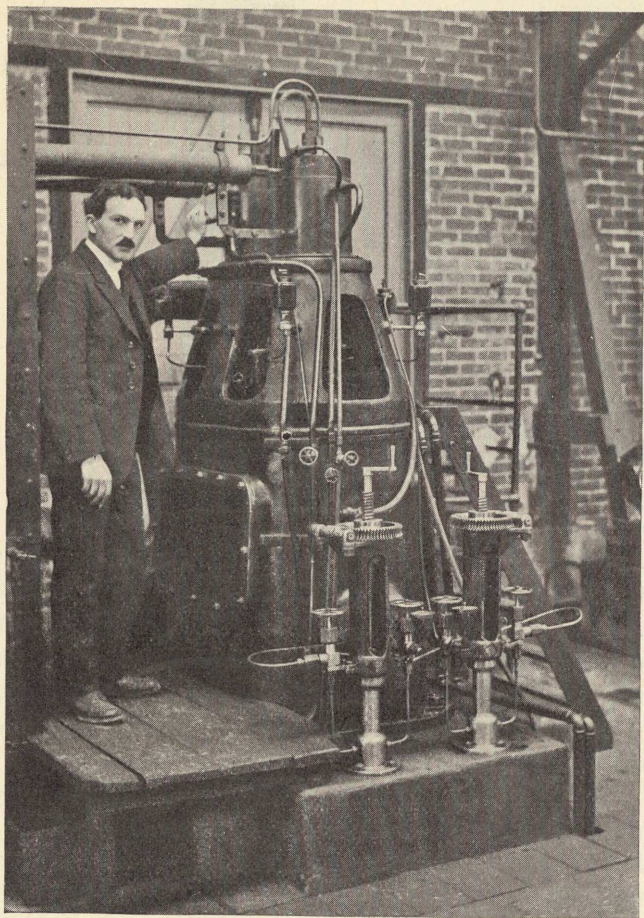


Fig. 4.

bejde hver Gang: 1 Atm. ved første Stempelforskydning, 2 ved anden, 4 ved tredje, 8 ved fjerde og 100 Atm. ved ellefte Forskydning!

Ved Luftarter koster altsaa en vis Trykstigning mindre, jo højere Trykket er. Teorien opmuntrer derfor i høj Grad til industriel Anvendelse af høje Tryk.

Og dog har Udviklingen paa dette Punkt været meget langsom¹⁾.

¹⁾ Jeg taler her udelukkende fra et industrielt Synspunkt og glemmer langt fra, at videnskabelig set, men i ganske lille Maalestok og ved statiske Forsøg har *Tammon's*, *Parson's* og *Bridgman's* udmærkede Arbejder udvidet vort Forsøgsfelt til over 20 000 Atm.s Tryk.

Thi medens den franske Sporvognsindustri — paa *Mekarski's* Tilskyndelse — meget dristigt allerede i 1885 fastsætter 45 Atm.'s og senere 80 Atm.'s Tryk for de paa Vognene anbragte Trykluftbeholdere, og medens Fabrikationen af komprimeret Luft er naaet til 150 Atm. i 1890, gaar man faktisk i 1922 i »Oppau«- og »Merseburg«-Værkerne ikke højere end til 200 Atm., hvilket Tryk man ganske vist anvender i en storstilet Maalestok. Grænsen for den fabrikmæssigt anvendte Luftsammentrykning er saaledes kun flyttet 33 pCt. opefter igennem 30 Aar af en særlig bevæget og udviklingsrig Tidsepoke.

Hvad min Metode angaar, drejer det sig om en Forøgelse paa 400 pCt.

Hvilke Undskyldninger har man nu haft for denne Frygtsomhed? Ingeniørerne svarer: Sikkerheden. Vanskelighederne ved Opnaaelsen og Vanskelighederne ved Benyttelsen af meget høje Tryk.

Sikkerheden? — Man er dog altid i Stand til at bruge Metal af tilstrækkelig Godstykkelse, til at der i Almindelighed ingen Risiko skulde være, i hvert Fald indtil Tryk paa 10 000 Atm. — og saa langt er vi dog ikke! Selv ved en Temperatur af 600°, hvortil vi her maa gaa op, er der Metaller, som fuldstændigt modstaar 1000 Atm.'s Tryk. Skønt man har anset mit Haabs Opfyldelse for usandsynlig, er det dog lykkedes mig at fremstille Katalysatorrør, som allerede har holdt over 5000 Timer. Dette Argument er altsaa imødegaaet.

Vanskeligheden ved Brugen? — Det store Spørgsmaal er først og fremmest Samlingernes Tæthed. Men en Samlings Tæthed er mere afhængig af dens Størrelse end af det Tryk, den er udsat for. Men ved Enormtrykkene er Luftvoluminerne saa fantastisk stærkt formindskede, at en Samling ved 1000 Atm. — alt andet lige — er overordentligt meget mindre end ved 100 Atm. Den er altsaa lettere at fremstille!

Der er slet ingen Vanskeligheder ved Tilvejebringelsen af Enormtrykkene. De pressede Læderpakkninger i mine Hyperkompressorer virker des bedre, jo højere Trykket er. Og hvis man tror, at disse Hyperkompressorer er effektfulde og indviklede Apparater, tager man fejl, thi en almindelig Kompressor med 5 Cylindre af Volumen henholdsvis: 300, 100, 30, 10 og 3, der komprimerer fra 1 til 300 Atm., kan omdannes til en Hyperkompressor til 900 Atm. blot ved Tilføjelsen af en ganske lille Cylinder af Volumen 1. Den Maskindel, der fuldstændigt forandrer hele Ap-

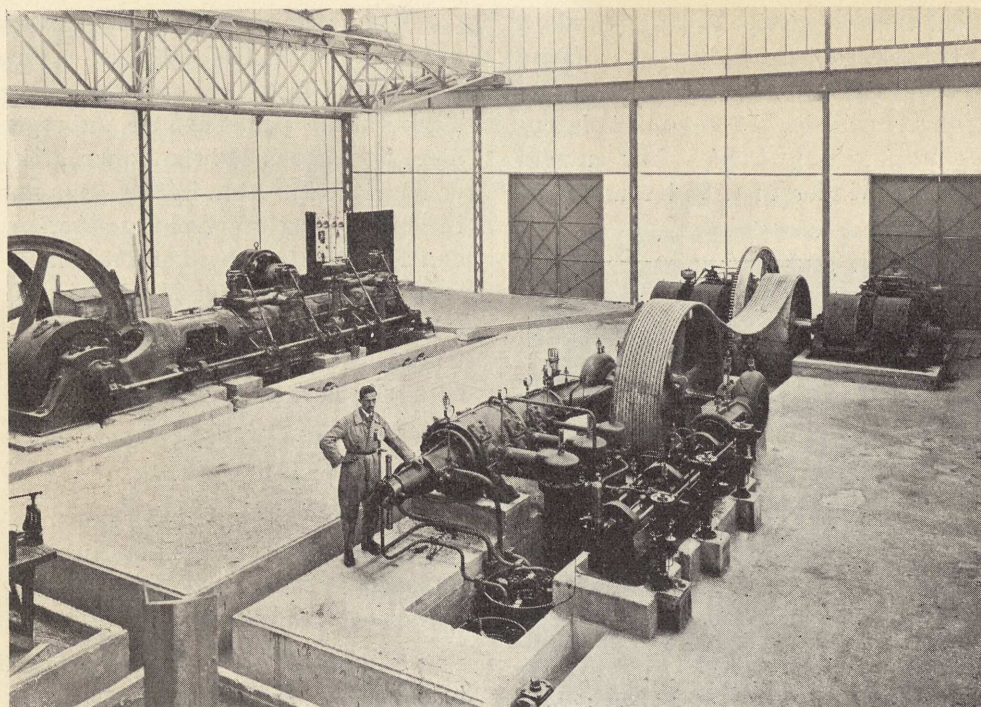


Fig. 5.

paratets Karakter og Økonomi, er saaledes ganske lille og ubetydelig.

Først fremstillede vi en Hyperkompressor i 2 Trin (900 Atm.), som kan forsyne et Anlæg, der producerer 5 tons Ammoniak eller 25 tons Ammoniumsulfat dagligt.

Disse Maskiner viste sig at fungere saa godt, at vi ikke mere gør os den Ulejlighed at fremstille et særligt Apparat til Opnaaelse af Enormtrykket: Kompressor og Hyperkompressor er nu forenede i et

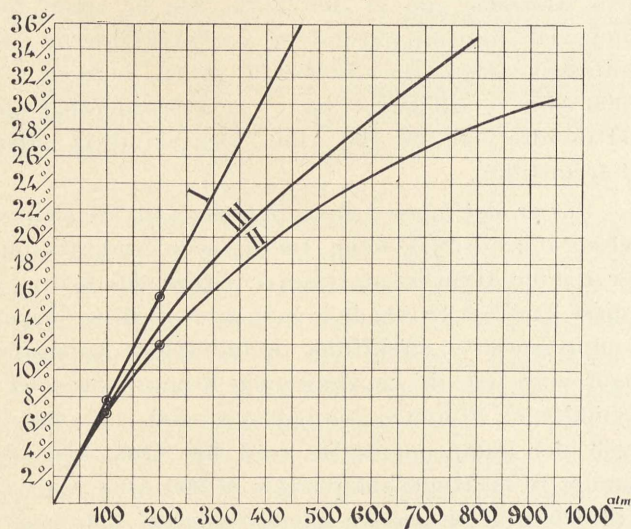


Fig. 6.

Apparat, som ses paa Fig. 4. Dette Apparat sammentrykker i 8 Trin 700 m³ Luftmængde fra 1 til 900 Atm. ved Hjælp af 300 HK. Det er bestemt for en daglig Fabrikation af 5 tons NH₃, som vi er i Færd med at iværksætte i *Grande Paroisse*, hvor vi desuden har vor Forsøgsfabrik, hvis Kapacitet er 2 tons, og som ses paa Fig. 5.

Der er saaledes, mine Herrer, til Trods for hvad man tidligere har kunnet tro — og hvad der endnu bliver sagt — ingen Vanskeligheder ved den fabrik-mæssige Fremstilling af meget høje Tryk og heller ingen Vanskeligheder ved at arbejde med saadanne.

Der er her — bortset fra selve den Sag, der har bragt mig til at beskæftige mig dermed — aabnet et helt nyt Felt med Arbejdsvilkaar, hvis Simpelhed kommer overraskende for mange Ingeniører. Uden Tvivl vil Anvendelserne heraf snart være talrige.

Nogle Ejendommeligheder ved Ammoniaksyntesen under Enormtryk. — Hvilke Fordele er der i det foreliggende Tilfælde ved disse Enormtryk?

Jeg sagde før, at *Haber's* Kurve ikke var meget opmuntrende. Men en Kurve, hvis bestemte Punkter kun gaar til 200 Atm., giver ikke nogen sikker Besked ved en Ekstrapolering op til 1000 Atm. Saa snart det var mig muligt, gik jeg — i de sidste Dage af 1917 — det direkte Forsøgs Vej. Jeg maatte, viste

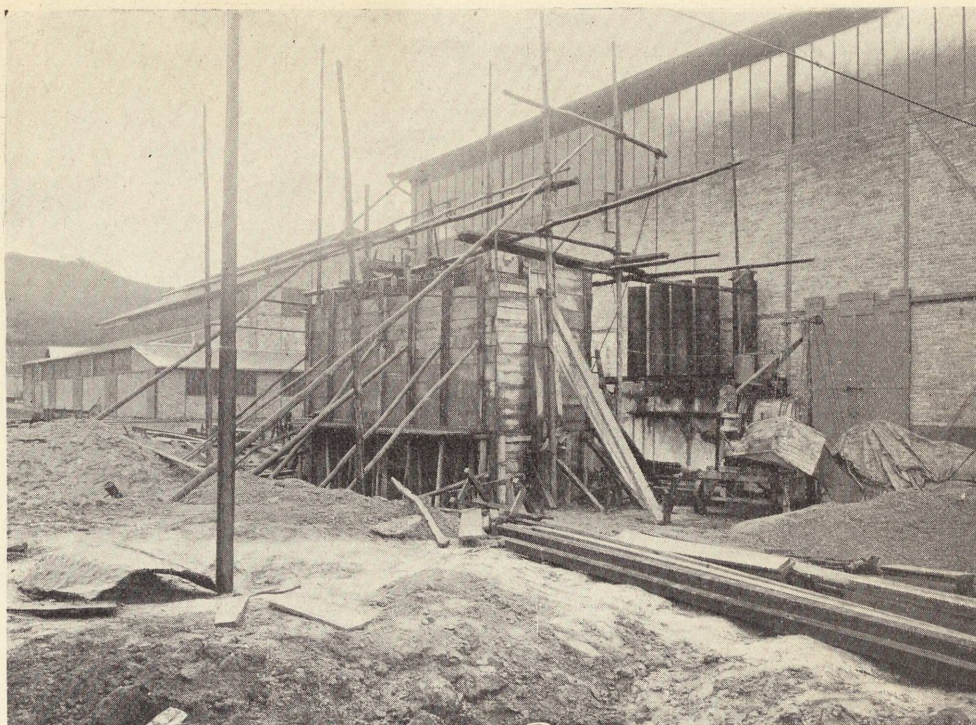


Fig. 7.

det sig snart, give Afkald paa at se to af mine Forhaabninger opfyldte. Først og fremmest er en Katalysator — i Modstrid med hvad ogsaa Hr. *Le Chatelier* ventede — lige saa uundværlig som ved 200 Atm. Uden Katalysator faar man ingen Reaktion. Dernæst er Reaktionstemperaturen ikke kendeligt nedsat — en Nedsættelse vilde i høj Grad have lettet Løsningen af den vanskelige Opgave: at skaffe holdbare Reaktionsrør — ved 1000 Atm. saa vel som ved 200 Atm. maa man med almindelige Katalysatorer anvende Temperaturer mellem 500 og 700°.

Ligevægtsindholdene er derimod (Fig. 6) gunstigere, end man skulde vente det efter *Haber's* Kurve. I Praksis opnaar jeg 25 pCt. medens *Badische* faar 6 pCt. Disse mægtige Udbytter er allerede en meget stor Fordel, som forøvrigt ikke er ret dyrt købt, thi Sammentrykningsarbejdet, der kun stiger med Trykkets Logaritme, koster ikke mere end 3, naar man gaar til 1000 Atm., hvis det koster 2,3 at naa til 200 Atm.

Men hvis dette var det hele, vilde min Fremgangsmaade ikke kunne retfærdiggøres. Det er Dem sikkert bekendt, at *Haber* lader Luftblandingen passere et stort Antal Gange over Katalysatoren, idet han hver Gang fjerner den dannede Ammoniak. Naar 200 Atm. — takket være dette Kunstgreb — er

tilstrækkeligt til at sikre en praktisk talt fuldstændig Forbindelse mellem Luftarterne, hvorfor skulde man saa gøre sig den Ulejlighed — lad den være aldrig saa ringe — at gaa op til 1000? Svaret er ikke vanskeligt: fordi man derved opnaar en Mængde Fordele.

De høje Tryk bevirker nemlig ikke blot store Reaktionsudbytter. De foraarsager ogsaa, at Reaktionens Intensitet stiger uhyre stærkt. Ved disse Tryk og under Katalysatorens hemmelighedsfulde Medvirkning er Brintens og Ammoniakkens klassiske, gensidige Upaavirkelighed fuldstændigt overvunden; Strømme af Ammoniak danner sig i ganske smaa Rum: ved Behandling af 100 m³ Luftmængde pr. Liter Katalysatorrum og pr. Time har jeg faaet mere end 5 kg Ammoniak pr. Time for hvert kg Katalysator — i Stedet for 0,5 kg Ammoniak.

En ny og væsentlig Ejendommelighed for Enormtrykkene er saaledes, at alt er ganske smaat, meget mindre end man skulde vente ved simpel Udregning efter Trykforøgelsen, og dette er øjensynligt en mægtig Fordel med Hensyn til, hvad det koster at bygge, vedligeholde og drive Anlægget. Jeg omtalte før en Hyperkompressor til et Anlæg med en daglig Produktion af 5 tons Ammoniak; De ser paa Fig. 7 det Blokhús, der rummer de 5 Katalysatorrør

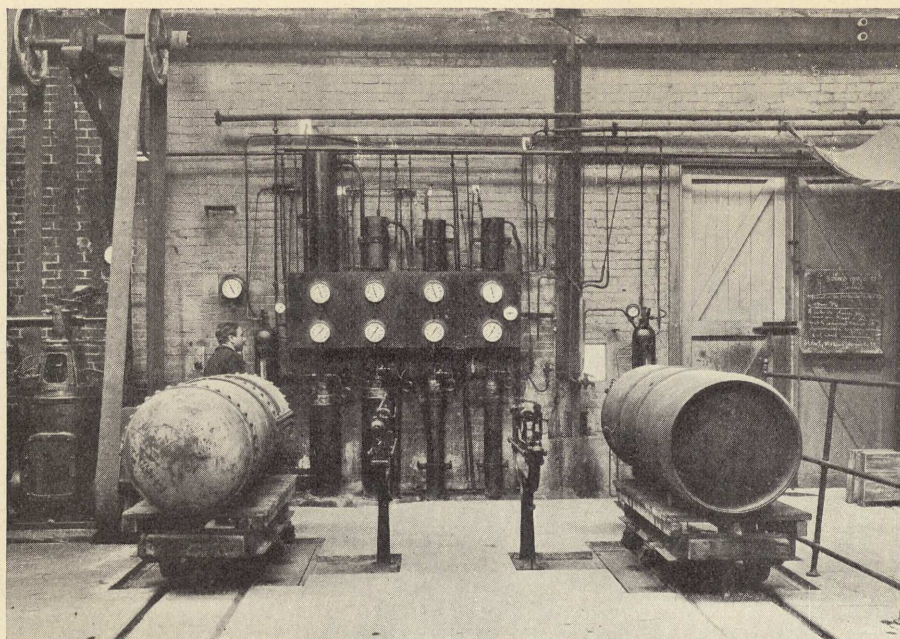


Fig. 8.

til et saadant Anlæg: hvert af disse Rør vejer kun 750 kg; Tilledningsrør, der ikke er en Tomme tykke, tilfører dem 700 m³ Brint. Paa Fig. 8 ses Kondensations-, Ekstraktions- og Lagringsapparaterne for den dannede Ammoniak. Man ser, hvor smaat det hele er, og flere Forsøgskommissioner har konstateret, at det altsammen fungerer fuldstændigt regelmæssigt.

Man maa nu erindre, at ved 1000 Atm.'s Tryk svarer de saa let opnaaede 25 pCt.s Indhold til et Tryk paa 250 Atm. af selve Ammoniakken: da Ammoniakkens Damptryk ved almindelig Temperatur kun er 7 Atm., er det tilstrækkeligt at lade den fra Katalysatoren kommende Gasblanding passere en Slange, der er omgivet af Kølevand, for teoretisk at faa mere end $\frac{250-7}{250}$ af den dannede Ammoniak gjort draabeflydende.

Tyskerne er langt fra denne simple Arbejdsmaade: 6 pCt.s Indhold under 200 Atm.s Tryk giver selve Ammoniakken et Tryk af kun 12 Atm. mod vore 250! Thi faktisk vokser dette Egetryk omtrent med Kvadratet paa det samlede Tryk. Da Ammoniakkens Damptryk ved almindelig Temperatur er 7 Atm., er de 12 Atm. ikke i Stand til at bevirke en rigtig Kondensation, og man maa enten afkøle meget stærkt — hvad der er dyrt — eller lade den dannede Ammoniak indsuges af Vand, indsprøjtet under 200 Atm.s Tryk, hvad der kræver en vidtløftig Apparat

og megen Kraft; alt dette undgaas ganske ved min Metode.

Tyskerne opnaar saaledes i Stedet for den koncentrerede, flydende Ammoniak kun en vandig Op-løsning, af hvilken de maa udvinde Ammoniakken ved Hjælp af Destillationsapparater, Arbejds- og Varmeforbrug, hvilke spares ved min Metode. De faar derved heller ikke det værdifulde Biprodukt: Kulden, hvoraf jeg ved Ammoniakkens Fordampning vinder 350 000 negative Kalorier pr. ton.

Jeg undgaar desuden *Haber's* gentagne Passager af Luftarterne gennem Katalysatorerne, hvorved der bruges en stor Del Energi: i Stedet for 11 pCt. faar jeg hver Gang 40 pCt. af Luftblandingen til at forbinde sig¹⁾, og derfor kan jeg nøjes med at lade Luftarterne efterhaanden passere 3 eller 4 Katalysatorer, som er indbyrdes forbundne med Rørslanger, hvori den dannede Ammoniak gøres draabeflydende.

Haber's Temperaturudvekslere sparer vi ogsaa, fordi der her finder en kraftig Varmefrigørelse Sted.

Der er allerede nu nævnt vigtige Fordele, men jeg maa omtale en til, som maaske er endnu vigtigere. Som bekendt har *Badische* haft stort Besvær med

¹⁾ Ammoniakinholdet X og Mængden af den sig forbindende Del af Luftblandingen Y staar nemlig i følgende indbyrdes

$$\text{Relation: } Y = \frac{2X}{1+X} \quad \text{Hvis f. Eks. } X = 25\% = 0,25, \text{ bliver} \\ Y = 0,40 = 40\%$$

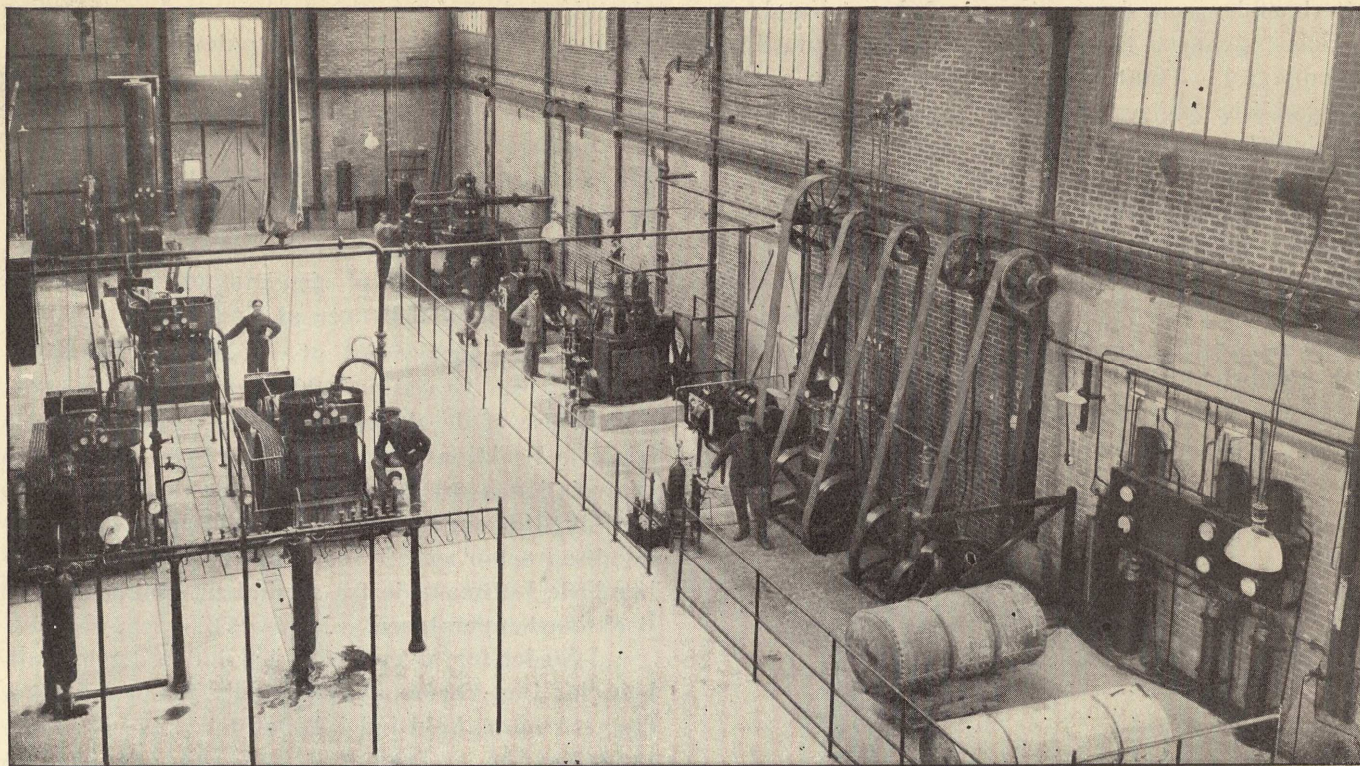


Fig. 9.

Luftarernes nøjagtige Rensning, der er absolut paa-krævet ved den dér benyttede Fremgangsmaade: Absorptionstaarne, Pumpebatterier, Indsprøjtning — under 200 Atm.s Tryk — af Kobberformiatopløsning og Natriumhydroksyd, Regenerering af disse Stoffer o. s. v. Men hele denne Apparatur er ganske unødvendig for mig. Vel havde jeg troet, at det meget høje Tryk vilde begunstige Luftarternes Rensning. Men da mine ganske smaa Katalysatorrør indeholder en meget ringe Mængde Katalysatormasse, og da denne Smule Stof skal præstere et uhyre Arbejde, havde man god Grund til at frygte for, at uendeligt smaa Spor af Urenheder skulde kunne forgifte Katalysatoren meget snarere end hos *Haber*. Det var derfor et mægtigt Held, at det viste sig, at man kun behøver at lade den stærkt sammentrykkede Luftblanding passere et enkelt Rør, der er ophedet til 300 á 400°, og som f. Eks. indeholder reduceret Jærn, for at kunne arbejde fuldstændigt sikkert med Luftarter, der indeholder 3 á 4 pCt. Kulilte: Ilten forbinder sig med Brint til Vand, Kulilten med Brint til Metan og Vand; Metanet er uskadeligt, og Vandet fjernes med passende Mellemrum. Ved denne simple Arbejdsmaade varer en Katalysator over 200 Timer, hvilket er tilstrækkeligt, da Katalysatormassen saa ikke ko-

ster 1 Centime pr. kg produceret Ammoniak, og Massens Udveksling er — som jeg siden skal vise Dem — meget let.

Jeg nævnte før, hvor overordentligt enkelt det er at frembringe meget høje Tryk: men man maa nu ikke tro, at alt vedrørende Ammoniaksyntesens Teknik har været lige saa let, man har tværtimod ofte maattet kæmpe med store, tit ganske uforudsete Vanskeligheder. Den værste af disse var Bortskaffelsen af Reaktionsvarmen. Medens en af Ulæmpene ved den praktiske Udførelse af *Haber's* Metode stammede fra, at der kun kom en saa ringe Varmemængde ved Reaktionen, fordi blot 11 pCt. af den foreliggende Luftblanding deltog deri, er det en mægtig Varmemængde, de 40 pCt. af Luftarterne frigør i det ganske lille Katalysatorrum: 60 000 Kalorier pr. Time i et Rør, der er 2 m langt og har 10 cm's Udboring!

Men denne Varme maa bortskaffes, nøjagtigt indtil den gunstigste Temperatur er naaet, ellers løber man Fare for: enten at sprænge Rørene — hvis man afkøler for stærkt — eller at udsætte dem for en for høj Temperatur, hvorved ogsaa den kemiske Ligevægt vilde forrykkes.

Opgaven bestaar i at bortlede Reaktionsvarmen,

efterhaanden som den opstaar, saaledes at Katalysen forløber gennem hele Massen ved den gunstigste Temperatur — omtrent 550° — saa at man opnaar en god Ligevægtsværdi og en passende Reaktionshastighed.

Luftblandingen maa øjensynligt tilføres (Katalysatormassen) opvarmet til Reaktionstemperaturen: jeg varmede den derfor ogsaa — ligesom *Badische* — først ved Hjælp af de bortgaaende Reaktionsprodukter. Jeg skaffede mig dernæst af med Reaktionsvarmen — med den Nøjagtighed, jeg angav — idet jeg afkølede Røret i et Bad af smeltet Bly, en besynderlig Kølevædske, der cirkulerede langs Røret ifølge Varmvædskehævertprincippet.

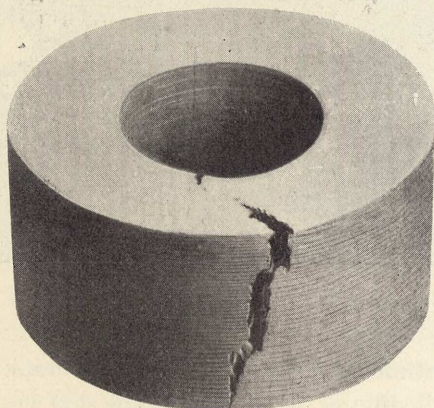


Fig. 10.

Det gik rigtigt godt, indtil en uforudset Vanskelighed opdukkede. Saa snart jeg forsøgte at forøge Produktionen, gav Rørene sig til at revne — for Resten uden at det medførte nogen Fare, thi det er en yderligere Ejendommelighed ved Enormtrykkene, at Sprængningerne derved i Almindelighed kun er lidet voldsomme; hvis der var Tid dertil, vilde jeg gaa nærmere ind herpaa —. Mærkværdigt nok gik Sprængningerne altid udefra og indefter, saaledes som det ses paa Fig. 10. Forklaringen er følgende: Ledningen af den stærke Varmestrøm fra Rørets Indre mod Yderfladen foraarsager et stærkt Temperaturfald gennem den tykke, daarligt ledende Rørvæg, ligesom en kraftig elektrisk Strøm bevirker et Potentialfald: de inderste, meget varme Lag udøver paa de ydre Lag et Tryk, der uheldigt nok arbejder sammen med Arbejdsstrykket og bevirker Brud i disse yderste Lag, hvorefter hele Rørvæggen revner.

Saa snart man har fundet Ulæmpens Aarsag, frembyder der sig et Middel derimod: man maa for

at undgaa denne Fare hindre enhver Varmeledning fra Rørets Indre til Yderfladen; dette er ikke vanskeligt, thi det er tilstrækkeligt at omgive Røret og dets elektriske Igangsætningsledninger et passende Isolationsstof som Asbest eller Kiselgur. Værre er det, at man da ikke kan bortlede Reaktionsvarmen gennem Rørvæggen.

Det lykkedes mig at komme ud af denne Vanskelighed ved at udnytte et ejendommeligt, ganske tilfældigt Forhold ved Brugen af Enormtryk.

Det viser sig nemlig, at ved den Luftartsmængde, som reagerer ved ca. 1000 Atm.s Tryk og under Anvendelse af de almindelige Katalysatorer, vil den frigjorte Reaktionsvarme — naturligvis bortset fra Dissociationen — kunne opvarme den reagerende Luftblanding omtrent 500° : den udviklede Varme vilde altsaa netop være i Stand til at opvarme den behandlede Luftmængde fra almindelig Temperatur til Reaktionstemperaturen.

I Stedet for at opvarme den indtrædende Luftblanding i en Varmedveksler lader jeg derfor Blandingen komme kold ind i Apparatet (Fig. 11). Katalysatormassen er fyldt i et indre Rør, der har en tynd Væg, langs hvilken Luftarten stryger, førend den — ved B — naar til Katalysatormassen. Paa sin Vej opvarmes Luftblandingen efterhaanden ved Reaktionsvarmen og i samme Maalestok, som denne selv opstaar. Det indre Rør er i dette Øjemed dækket med et isolerende Lag, der aftager jævnt bort fra Indgangen, og som paa hvert Punkt har en saadan Tykkelse, at den indtrædende Luft dér optager netop den Varme, som Reaktionen frigør. Saaledes forløber Reaktionen hele Vejen ved den bedst egnede Temperatur, idet Luftarterne kommer til Katalysatormassen netop med denne Varmegrad.

Denne Arbejdsmaade, der planlagdes til Overvindelse af en alvorlig Vanskelighed, har saaledes vist sig at være ovenikøbet meget værdifuld.

For det første sparer man Varmedvekslerne.

Dernæst er det ydre Rør, der beskyttes mod den indvendigt i Katalysatoren herskende Varme ved den indtrædende Luft, som opvarmes lidt efter lidt, kun udsat for den høje Temperatur i den ene Ende, hvor man kan gøre Væggen tykkere, saaledes at Røret bliver meget holdbart.

Endeligt og navnlig er enhver Vanskelighed med Hensyn til Samlingen med det bevægelige Hoved, der lukker Røret, fjernet, idet Rørenden, der hvor Luften træder ind, har almindelig Temperatur. Det indre Rør, som indeholder Katalysatormassen, er

i fast Forbindelse med det nævnte Hoved og kan derfor let udtages sammen med dette, naar Katalysatormassen er blevet gammel og trænger til Fornyelse. Ved Hjælp af en lignende Anordning som ved et Kanonbundstykke kan man ved en Drejning paa 90° slutte eller løsne Samlingen, medens det svære, ydre Rør bliver paa sin Plads i Isoleringen og bevarer sin Temperatur. Udvekslingen af Katalysatormassen foregaar lige saa let som Ladningen af en Kanon med svært Kaliber.

Saaledes er i grove Træk Ammoniaksyntesen ved Enormtryk.

Ved den Kraftbesparelse, der finder Sted ved hver Del af Processens Udførelse, er det til den ekstra Sammenpresning af Luften medgaaede Energiforbrug nogenlunde opvejet, og Kraftforbruget¹⁾ beløber sig til 1,5 HK.-Time pr. kg Ammoniak for Katalysen alene mod 1,25 HKT. for *Haber's* Metode. Merforbruget er ikke stort, og iøvrigt er dette en ikke overvejende betydningsfuld Side af hele Spørgsmaalet, thi det er Enormtrykkenes uvurderlige Fortrin, at en hel Række Operationer undgaas, en Mængde Apparater overflødiggøres, og de, der bliver tilbage, formindskes i en overordentlig Grad. Det er indlysende, at Driftssikkerheden derved forøges, og at Anlægsomkostningerne nedsættes meget betydeligt. Denne Forringelse kommer naturligvis af Apparatdimensionernes Indskrænkning. For 10 Tons Anlæg vil Nedsættelsen, i Sammenligning med »Oppau«, være ikke under 25 pCt.

Rigtignok vilde »Badische« — fordi *Haber* i sine Patentbeskrivelser har anført 200 Atm. og derofter — gøre Krav paa Enormtrykkene. Men alle »Badische«s og *Haber's* Beskrivelser viser tydeligt, at man dermed har tænkt paa de højeste, dengang industrielt fremstillede Tryk og ikke paa Tryk af en hel anden Størrelsesorden. Nu at ville gøre Krav paa Fordele ved Enormtrykkene, der dengang slet ikke eksisterede, som man ikke forudsaa, der har maattet fremstilles af en anden, og at fremkomme med Kravet uden nogensinde — af gode Grunde — at have ytret et eneste Ord enten om Vanskelighederne, de fremkaldte, eller om Hjælpemidlerne, de kræver, det vilde være ret stift, selv om *Haber's* Opfindelse — ligesom den antikke Minerva — var fløjet fuldt rustet ud af hans enestaaende Hjerne. Og det, ved man dog, er ikke Tilfældet: *Tellier's* og *Le Chatelier's* Ideer og bl. a. *Nernst's* Undersøgelser har givet Syntesens principielle Grundlag i offentligt Eje; man kan kun patentere Udførelsesformerne, hvoraf *Haber's*

Proces repræsenterer en, min Metode en anden. Gid jeg har kunnet overbevise Dem om denne sidstes Fordele!

Brintspørgsmaalet. — Jeg kommer nu, mine Herrer, til det, der er det vigtigste i hele Sagen. Naar 1 Atom Kvælstof — som er billigt, fordi det vindes af den atmosfæriske Luft — forener sig med 3 Atomer kostbar Brint, bliver Kvælstofbindings-spørgsmaalet i Grunden et Spørgsmaal om Brinten.

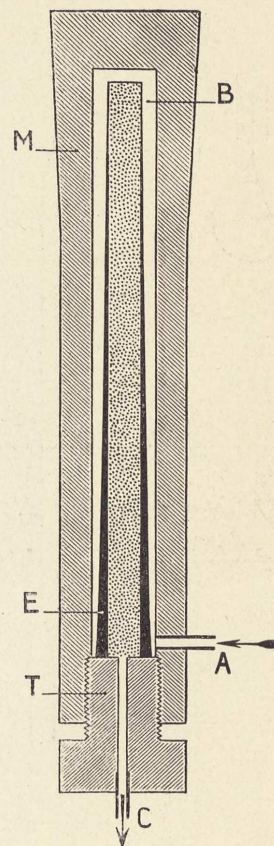


Fig. 11.

I de Lande, der har billig Vandkraftsenergi, som Norge og Island, maa man sandsynligvis tage sin Tilflugt til Elektrolysning af Vand. Men i Lande, der er fattige paa naturlige Kraftkilder, stiller Spørgsmaalet sig ganske anderledes. Ogsaa her har de særlige Lettelser, Enormtrykkene muliggør, tilskyndet til Betrædelsen af en Vej, der er ganske forskellig fra *Haber's*.

De dygtige Udførere af *Haber's* Fremgangsmaade har maattet udarbejde en — forøvrigt meget interessant — Brintfabrikationsmaade, der er tilpasset efter deres Syntesemetodes Fordringer. Denne Metode synes faktisk at kræve mægtige Fabrikker — med i det mindste 100 Tons daglig Produktion — og

saadanne Fabrikker fordrer uafviseligt, at man paa Stedet tilvirker Brinten i den til enhver Tid nødvendige Mængde, med store Omkostninger og under betydeligt Kulforbrug.

Anvender man derimod Enormtrykmetoden, kan Apparaterne være saa smaa, som man ønsker det. Man kan altsaa bygge Anlæg overalt, hvor der i eksisterende Fabrikker dannes Brint som Affaldsprodukt: de smaa Apparaters ringere Præstations-

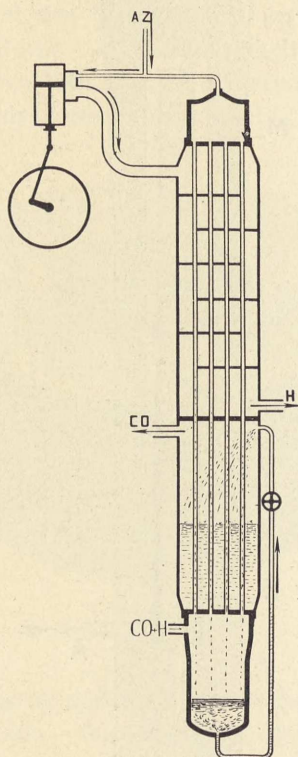


Fig. 12.

evne er da rigeligt opvejet baade ved Brintens Billighed og ved Besparselsen af det til dens Fabrikation nødvendige, vidtløftige Materiel.

I denne Tankeforbindelse tiltrækker en virkeligt usædvanlig Kilde sig Opmærksomheden: det er de i Frankrig, Belgien, England og Tyskland saa udbredte Koksovne, hvis Gas — der indeholder over 50 pCt. Brint — altfor ofte anvendes daarligt. Denne Kilde gav jeg mig til at arbejde med.

Brinten kommer rigtignok her blandet med en Mængde forskellige Forureninger: Kvælstof, Kulilte, Metan, Ætan, Butan, Ætylen, Kulsyre, Svovlbrinte, o. s. v.

Min Plan gik ud paa at udvinde Brinten af denne Blanding ad en dertil egnet, fysisk Vej og at tilbagegive Koksværket den for Brinten befriede Gas,

der i øvrigt — pr. m³ — har større Brændværdi end Raagassen.

Teoretisk set giver Fremgangsmaaderne til Luftartfortætning — paa dette Omraade har jeg, som De maaske ved, nogen Erfaring — en farbar Vej, thi Brinten er den af de nævnte Luftarter, der er absolut vanskeligst at gøre draabeflydende.

Det simpleste Tilfælde, hvori man har en Blanding af lige Rumfang Kulilte og Brint, den saakaldte Vandgas, har jeg beskæftiget mig med siden 1903, og jeg udarbejdede paa Undersøgelsernes Grundlag følgende Fremgangsmaade.

Den sammenpressede og rensede Vandgas afkøles i en Temperaturudveksler med modgaaende Strømme af allerede udskilt Brint og Kulilte. Gassen gaar da ind i et Bundt opad rettede Rør, *F*, (Fig. 12), hvis nederste Del er anbragt i et Bad af flydende, under Atmosfæretryk kogende Kulilte ($\div 190^{\circ}$). Derved bliver allerede en stor Del af den opad stigende Gasblandings Kulilte flydende og samler sig i *C* for gennem *V* at komme op i Badet, hvor den tjener til Erstatning for den bortdampede Kulilte. Gassen fortsætter sin Vej opad i *F*; den møder der, som vi straks skal se, en endnu lavere Temperatur, hvorved Resten af Kulilten fortættes. Foroven gaar altsaa ren, sammenpresset Brint ud af Rørbundtet; denne Brint faar sit Tryk stærkt formindsket ved Hjælp af Motoren *M*, hvorfor denne afkøles yderligere; den sendes derpaa tilbage for at cirkulere om den øvre Del af *F*, som derved faar den lige nævnte, meget lave Temperatur. Ja, det er det hele!

Kun er dette blot Teorien. I Praksis er Resultaterne ikke saa lidt ugunstigere, thi ved de $\div 210^{\circ}$, som man maa ned til for at faa hele Kuliltemængden fortættet, kunde intet Smøremiddel holde sig, saaledes at Motorens Gang sikredes. Jeg kunde ikke komme af Stedet, da jeg fik et ganske pudsigt Indfald, som klarede Sagen: Da Brinten skal bruges til Ammoniakfabrikation, gør det intet, om den indeholder lidt Kvælstof. Der er derfor intet til Hinder for, at man gennem *A* kan blande noget Kvælstof i den Brint, hvis Tryk skal til at formindskes. Dette Kvælstof fortætter sig til Vædske ved Slutningen af hver Trykformindskelse, og da Kvælstof først fryser ved $\div 210^{\circ}$, besørger det Motorens Smøring, og Maskinen fungerer.

Saaledes blev den praktiske Gennemførelse sikret for denne Metode, hvis meget store Præstations-evne De vil faa en Forestilling om ved at høre, at Gasmængden fra det paa Fig. 13 viste, store Genera-

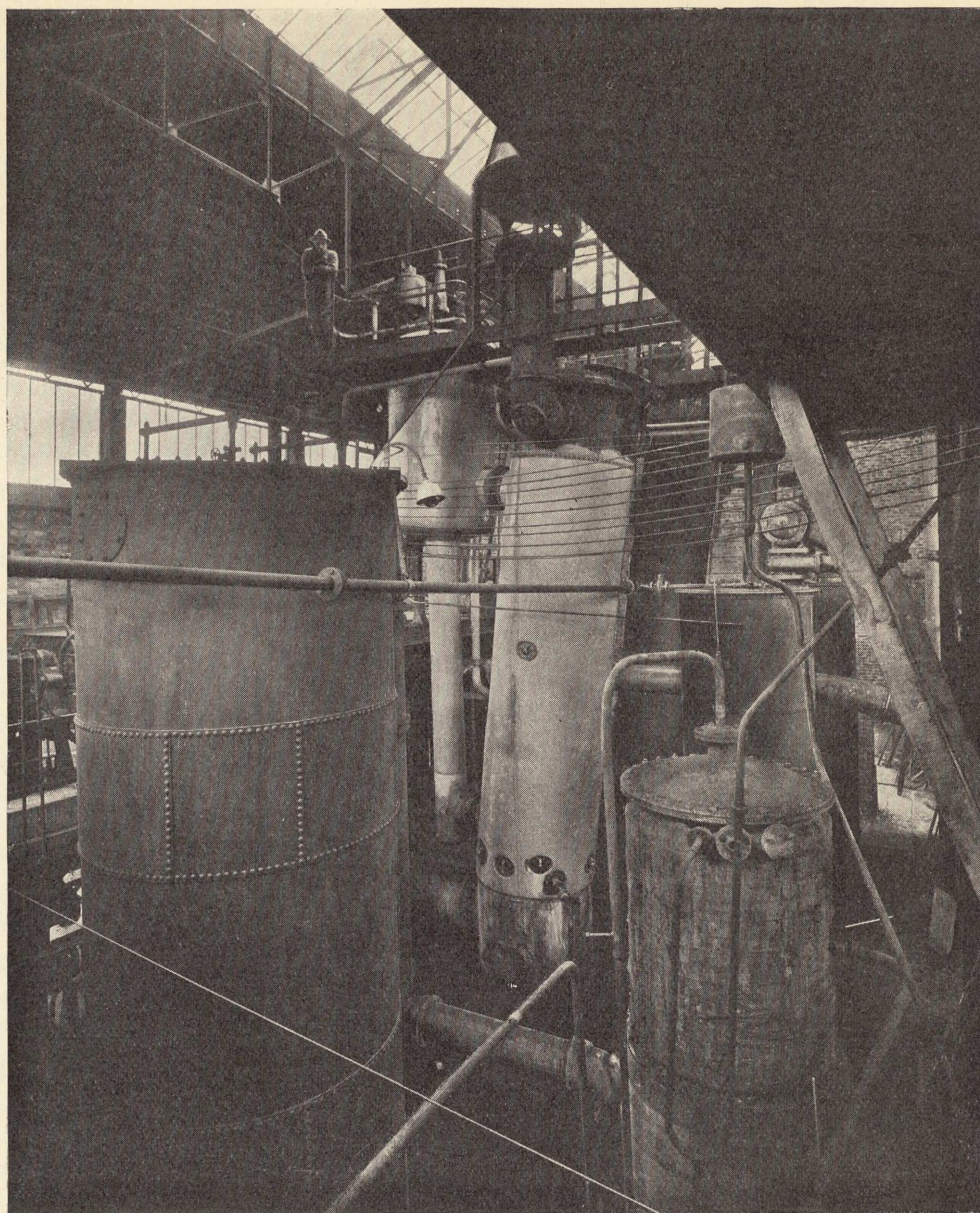


Fig. 13.

torbatteri bliver behandlet i 2 Apparater (paa Fig. 14 ses det ene), der dagligt producerer 24 000 m³ Brint, hvorefter der kan fremstilles 4 Vaggoner à 10 000 kg Ammoniumsulfat!

Men jeg betoner, at dette Arbejde med Vandgasen for mig kun har været Forberedelse til den meget rationellere Løsning af Koksovnsgasproblemet, der ganske vist er mere indviklet hvad Luftartfortættelsen angaar. Da jeg havde løst den lettere Opgave Vandgassen, gik jeg i Lag med det mere indviklede Tilfælde vedrørende Koksovnsgassen.

Takket være den vundne Erfaring løstes Opga-

ven meget hurtigere end ventet: Der har allerede i nogle Maaneder i »Bethune«-Minerne været installeret et Apparat, der behandler 800 m³ Gas i Timen, og som nu fungerer regelmæssigt. Om 2 Maaneder vil et Ammoniakanlæg paa 3 t daglig Produktion behandle Brinten fra dette Apparat. Ved dette, endnu meget beskedne Anlæg vil mine Forhaabningers Kreds være sluttet — uden at jeg har lidt nogen teknisk Skuffelse under mine Forsøg.

Det er ikke alene ved Muliggørelsen af den meget fordelagtige Brintanvendelse, at den nye Fremgangsmaade er egnet til at vække Koksværkernes

Opmærksomhed — der er en Mængde interessante Biomstændigheder.

Man kender f. Eks. de uheldige Vilkaar, hvorunder Benzolets Udskillelse fra Koksovnsgassen foregaar, idet det almindeligt anvendte Opløsningsmiddel, tung Olie kun højst ufuldstændigt fjærner Benzolet. Det er klart, at hvis Benzolfjærnelsen foregaar under Tryk, vil Betingelserne være grundigt ændrede. Fra det Øjeblik da Trykket bliver Grundlaget

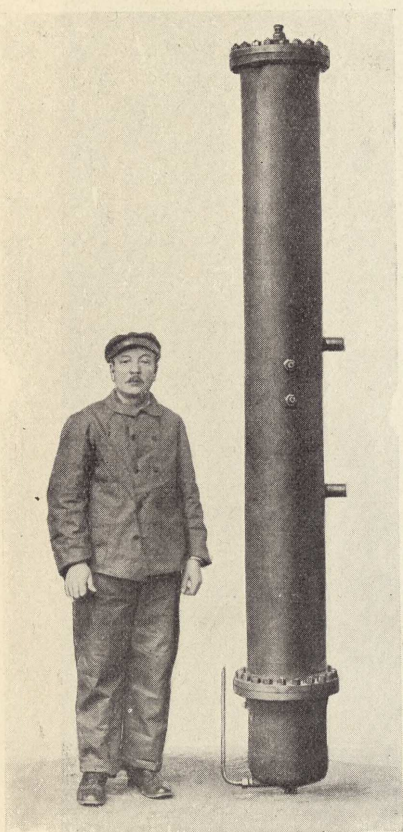


Fig. 14.

for Brintens Udvinning, er det naturligt at benytte sig af Lejligheden. Da vil de 3 à 4 g Benzol, der nu gaar tabt pr. m^3 Gas, kunne udvindes; og saa vil Mængden af Opløsningsmidlet, Tabet, Absorptions- og Destillationsapparaters Dimensioner reduceres til en Tiendedel.

Dette er ikke alt. Koksovnsgassen indeholder værdifulde Bestanddele, f. Eks. Ætylen. Der har tidligere været arbejdet meget paa at finde Metoder til Udvinning af denne Luftart, hvoraf man vilde fremstille Alkohol, men da der kun er 1 à 2 pCt. Ætylen til Stede, er en lønnende Udvinning meget vanskelig med de hidtil anvendte Midler. Vore For-

søg i »Bethune« har vist, at det gaar som en Leg under Fortætningsprocessen at udvinde en god Del af Ætylenet i næsten ren Tilstand.

Da det er saa heldigt, at Brinten er den brændbare Luftart, som pr. m^3 har den laveste Brændværdi, har den efter Brintens Fraskillelse tilbageblevne Gas en højere Brændværdi end Raagassen, og man kan derfor med den brintfrie Gas opnaa meget højere Temperaturer.

Der er ingen Tvivl om, at Koksværkerne vil modtage Ammoniaksyntesen under Enormtryk med aabne Arme, da den vil bevirke, at Værkernes Anlæg bliver i høj Grad simplificeret: De store Klokkegasometre med Jærnstativerne falder fuldstændigt bort, de til hinanden svarende Gasfortætnings- og Katalyseapparater vil med deres mægtige Ydeevne begge være af forholdsvis smaa Dimensioner, og endeligt vil de nævnte, gunstige Biomstændigheder være en yderligere, kraftig Opmuntring. Det er ogsaa utvivlsomt, at man — hvis Landbrugets Aftagning af Kvælstofgødning udvikler sig tilfredsstillende — vil komme til at afbrinte al Gas, deri indbefattet den, der brændes i selve Koksovnene. Min oprindelige, beskudne Plan om at bygge smaa Anlæg, knyttede til alle Fabrikker med Affaldsbrint vil da være langt overfløjet af Virkeligheden, thi der vil kræves mægtige Apparater, der har lav Enhedspris, og som kun fordrer ringe Betjening. Derved vil det eneste der var smaatskaaret ved Planen, forsvinde.

Vi har forøvrigt for ikke at spille Tiden udarbejdet et Fabrikanlæg (for 50 t pr. Dag), hvis første Del vil blive et Apparat, der pr. Time fremstiller 2000 m^3 Brint, som forsyner 2 Stkr. 10 t's Katalysatorer. En Fabrik til en daglig Produktion af 20 t er ligeledes projekteret. Disse Fabrikker vil pr. t daglig Produktion koste mindre end 500 000 Francs. (Ammoniakkens Omdannelse til Gødning iberegnet), medens Haber's koster mere end 1 Million.

Gødningsspørgsmaalet. — Her er alt-saa fuldstændigt planlagt en Industri, der er i Stand til at præstere praktisk talt ubegrænsede Mængder Kvælstof. Men, for at den skal kunne udvikle sig, kræves endnu, at Landbruget skal kunne aftage al den producerede Ammoniak. Ja, mine Herrer, hvis mit Arbejdsfelt skulde være her, vilde jeg ikke have nogen Bekymring i den Retning, for jeg ved, hvilken vidunderlig Udvikling, Deres Landbrug skylder en vidtstrakt Anvendelse af Kvælstofgødning; men for Tiden er det i Frankrig, jeg er beskæftiget, og jeg maa sige, at, selv om jeg i mange Henseender kan

være stolt af mit Land, staar dets Landbrug sørgeligt langt tilbage. Man bruger dér pr. Hektar 10 Gange mindre Kvælstofgødning end i Tyskland. Og det er sandsynligt, at kun et ved en betydelig Prisnedsættelse bevirket, forøget Salg af Kvælstofgødning vil være i Stand til at muliggøre de omtalte Industriers Udvikling. Da de Metoder, jeg agter at praktisere hos os, sandsynligvis vil komme til at faa Virkning andetsteds og ogsaa her, anser jeg det for rigtigt at udvikle dem for Dem.

Nu er praktisk talt — i hvert Fald i Frankrig — den eneste ammoniakalske Gødningsform: Ammoniumsulfat. Men i dette Stof er den af Ammoniak-syntesen resulterende Kvælstofpris forhøjet med 80 pCt., der stammer fra Svovlsyren! Der er altsaa til Trods for Syntesen intet eller lidet at gøre for at faa Ammoniumsulfatprisen kendeligt under Prisen for Sulfatet fra Gasværkerne, hvis Ammoniak næsten kan siges intet at koste.

Men Sagen stiller sig ganske anderledes, hvis man i Stedet for at binde Ammoniakken til den dyre Svovlsyre bruger Kogsaltets Klor, som i store Masser faas som Affaldsprodukt i Sodafabrikkerne efter Solvay's Metode: hvis man altsaa i Stedet for Sulfat fremstiller Klorid.

Her spiller nu en meget vigtig Omstændighed ind: hver Gang man fremstiller 1 t Ammoniumklorid, faar man samtidigt som Biprodukt 1 t Natriumkarbonat.

Denne Arbejdsmaade er saa meget mere fordelagtig, som man med en overordentlig Lethed faar

baade Ammoniumklorid og Natriumkarbonat ved en Proces, vi har bragt til Udførelse paa Grundlag af *Schreib's* Ideer, og hvorved den store Kuldemængde, der faas fra min Fremgangsmaades flydende Ammoniak, spiller en vigtig Rolle, idet Processen bestaar i en Række brudte, vekslende Udfældninger i samme Opløsning; man sparer saaledes baade Destillationer og kostbare Inddampninger.

Paa denne Maade, ved den samtidige Vinding af Soda koster Ammoniakkens Overførelse til Gødningsstof intet.

Man vil altsaa kunne sælge Kloridets Kvælstof billigere end Sulfatets; man kan derfor ved Landbrugets Overgang til Klorid opnaa den nødvendige Prisnedsættelse for Kvælstoffet. Der kan intet indvendes mod Overgangen — udover at man er vænnet til at bruge Sulfatet — thi talrige Undersøgelser har allerede godtgjort, at i de allerfleste Tilfælde er Kloridets Kvælstof akkurat ligesaa virksomt som Sulfatets.

Mine Herrer, jeg er nu færdig og er lykkelig, hvis jeg — til Gengæld for Deres store Taalmodighed — i det mindste har kunnet faa Dem til at beundre følgende vidunderlige Fremtidsperspektiv: Ammoniakken, der selv er blevet et metallurgisk Biprodukt, har ved sin Omformning til Gødning faaet Soda som Biprodukt; der er saaledes — takket være Enormtrykkene — mellem 3 af Menneskevirksomhedens mægtigste Grene tilvejebragt et inderligt Forhold, som er i Stand til at faa de mest gennemgribende Følger.

