

31026

31196

31026

PART NO. 9
AVIATION GASOLINE IV

Doc.
No.

- 1 An 18-page multicopies paper by K. Dehn of I.G. Farbenindustrie AG, Ludwigshafen, of December 1942 titled: "A few requirements for the preparation of fuels for aircraft" with 12 pictures.
- 2 A 3-page typewritten paper of October 1942 - Ludwigshafen "On the gases of hydrogenation."
- 3 Report #1694 of October 1942 from I.G. Oppau by Dr. Leithe: "Determination of the contents of aromatic, naphthenic, and paraffinic hydrocarbons in gasoline, by means of dispersion, refraction and density" - 9 pages of text, 3 tables, 4 charts.
- 4 A 24-page multicopied paper by K. Dehn of I.G. Farben, of 4 August 1942 titled: "The Development of the aircraft engine" with 16 photographs - Part 1.
- 5 Ditto - Part 2 - 10 pages and 7 photographs.
- 6 A 10-page report by Dr. Nowotny of I.G. Leuna, of March 1944, with 4 graphs: "The catalytic dehydrogenation of propane to propene."
- 7 A 14-page report by Dr. Vogel of IG Oppau titled: "Alkylation with aluminum chloride at low temperatures - Part I i-Butane and N-Butylane."
- 8 Ditto - Part II - Propylene and i-Butane.
- 9 A 9-page report with 7 pictures on the economic condition of the Alkylation plant, personnel, power requirements, etc.
- 10 Blueprint of drawing 001-1 of January 1941 by Friedrich Uhde at Leuna - Proposed Alkylation plant for a 25,000-tons-per-year production of aviation gasoline

15%	60	98°C
70%	98	120°C
10%	120	170°C

 Complete flow sheet with quantities, pressures.
- 11 An unidentified flow sheet (letter-size photostat) of the dehydrogenation-alkylation plant (2 copies).
- 12 Blueprint of drawing M4234-1 of May 1941 by Friedrich Uhde, Leuna - Assembly drawing of the Alkylation plant AT-244 for about 48,000 tons per year of air gas - complete flow diagram with quantities, pressures and temperatures (2 copies).
- 13 Letter-size sketch 0/981 Leuna 1940 - Sketch of butane treatment, containing: Isomerization, dehydrogenation, polymerization and hydrogenation, as one method and: Isomerization, dehydrogenation and alkylation as second method.

Doc.
No.

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

31027

Doc.
No.

- 14 Blueprint of sketch BSK.11 Leuna 1942 - Balance sheet for the alkylation plant with catalytic dehydrogenation; capacity of 5.93 tons per hour coming from the hydrogenation plant.
- 15 A letter-size curve #151243 - Leuna undated - showing relation between the consumption of sulfuric acid in the alkylation process and the temperature of the dehydrogenation showing considerable increase as temperature rises above 590°C (fluegas temperature).
- 16 Letter-size graph #SK101243 - Leuna December 1943 showing relations between the distillation curves and the load in the alkylation process. Constants: Acid concentration at 84-85% and velocity of flow at 120 RPM. Variables=load.
- 17 Photostat of balance sheet P281 Ludwigshafen 1942 for the catalytic dehydrogenation and alkylation.
- 18 Blueprint of drawing M9201-2 Leuna 1941 - Sketch of butane treatment with HCl.
- 19 Blueprint of drawing M-4579-1 Leuna 1941 - Sketch of the alkylation plant in Building Me 1001 with location of valves and instruments.
- 20 Blueprint of drawing M-4507-1 Leuna 1941 - Sketch of the alkylation plant in Buildings Me 1000, 1000a, and 1000ax (2 copies).
- 21 Blueprint of drawing M-11498-2 Leuna April 1943 - Alkylation plant - butane separation Building Me 1002 with location of valves and instruments.
- 22 Blueprint of drawing M-1304-1 Leuna 1936 - Sketch for production of octane with butane - showing: Dehydrogenation; low-pressure gas - washing; oil washing; propylene-butylene-separation; sulfuric acid polymerization; distillation of Di and Tri polymers; cracking of Tri polymers; hydrogenation (2 copies).
- 23 Tracing of drawing 2075-2 from Mineralol-Baugesellschaft, 1937 - Heating furnace for the heating of the catalyst oven system - at Feitz.
- 24 Blueprint of drawing M3956-1 Leuna 1941 - Sketch of the Alkylation plant for 45,000 tons per year of air gas.
- 25 Blueprint of drawing M8115-2 Leuna 1940 - Proposed alkylation plant for 50,000 t/year production.
- 26 Blueprint of drawing M5481-2 Leuna 1938 - Sketch for gasoline tests - appears to be mostly low-pressure separation of products.
- 27 Blueprint of drawing M6759-4 - Flow sheet of a proposed alkylation plant with quantities left blank.
- 28/ Blueprint of drawing M4556-1 Leuna - Sketch of the alkylation plant in Buildings Me 1000, 1000a, and 1000ax (see also Document 19).

31028

Doc.
No.

- 29 Blueprint of drawing M4917-1 Leuna 1942 - same as Doc. 19 and 28 - revised.
- 30 Blueprint of drawing M-9405-2 Leuna 1941 - Balance sheet for treatment of butane.
- The following sketches of 1941 show three variations in the alkylation process, prepared at Leuna:
- 31 Blueprint of drawing M8791-2 - i-Butane with 15.4% n-Butane.
- 32 Blueprint of M8792-2 - i-Butane without n-Butane.
- 33 Blueprint of M8793-2 - with silver nitrate washing.
- 34 Blueprint of sketch BSK12 Leuna 1942 - Balance sheet for alkylation plant with catalytic dehydrogenation of 5.95-tons-per-hour input.
- 35 Blueprint of sketch BSK 14a Leuna 1942 - Balance sheet of alkylation with chlorine dehydrogenation, Bähr process, capacity 48,900-tons-per-year input.
- 36 Blueprint of sketch BSK 17 Leuna 1942 - Balance sheet of alkylation with chlorine dehydrogenation, M-C-process, capacity 48,900-tons-per-year input.
- 37 Blueprint of drawing M9911-4 Leuna 1944 - Balance sheet for alkylation plant with addition of Fischer gas fuel.
- 38 Blueprint of drawing M-8622-4 Leuna 1942 - Balance sheet for alkylation plant without butylene stabilisation.
- 39 Blueprint of sketch O/909/a Leuna 1940 - Comparison of alkylation with isomerization and T52 process.
- 40 Blueprint of sketch M4151-16 of F. Uhde Leuna 1941 - Sketch of the alkylation process.
- 41 Blueprint of M3893-16 undated, by F. Uhde - Sketch of the alkylation process.
- 42 Blueprint of sketch O/1011 of 1940 Leuna - the cracking of the tri-polymers in Building Me 493.
- 43 Blueprint of sketch without number - Leuna 1942 - n-Butane dehydrogenation with chlorine - 1 ton/hour of Butane.
- The six following blueprints of letter-size sketches prepared in Leuna in 1942-43 are balance sheets to compare several alkylation processes, as follows:
- 44 BSK35a - Chlorine dehydrogenation, Bähr process without isomerization - input 47,500 tons per year C₄.

31029

Doc.
No.

- 45 BSK37 - The ET-100 plant with chlorine dehydrogenation, M-C process - data taken from Oppau - input 60,000 tons per year C₄.
- 46 BSK45 - Chlorine dehydrogenation, Bähr process, with isomerization - input 60,000 tons per year C₄.
- 47 BSK46 - with catalytic dehydrogenation for 60,000-ton-per-year input C₄.
- 48 BSK51 - with catalytic dehydrogenation for 45,000-ton-per-year input C₄, as per Dr. Conrad.
- 49 BSK55 - same as Doc. 48 for 60,000-ton-per-year input.

PART II

The four following blueprints of drawings were made in 1941 in connection with the Oppanol plant of I.G. Farbenindustrie, Heydebreck:

- 50 BKQA 133-8 - Water separation Building He 539.
- 51 BKQA 134-8 - Butylene distillation Building He 536.
- 52 BKQA 135-8 - Ethylene column and refrigeration plant Buildings He 536 and 537.
- 53 BKQA 136-8 - Polymerization Building He 538.

Zurück an
Vorzimmer Dir. Dr. Pier

31030
3. Dezember 1942.

Einige Wünsche der Kraftstoffhersteller für die Flugmotoren

K. Dehn

Staatssekretariat im Sinne des
§ 33 Abs. 1 Nr. 1 des Luftwaffen-
gesetzes vom 24. 4. 34 (RGBl. I S. 341 ff.)
1. Weitergabe nur verkleinert, bei Weitergabe
als „Einführer“.
2. Haftbefreiung unter Verantwortung des
Einführers unter gezieltem Beschah.

Im Jahre 1939 hielt Neugebauer in einer Sitzung der Akademie einen Vortrag über "Die Wünsche des Motorenbauers an den Treibstoff". Derartige Vorträge sind für eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Motorfirmer und Kraftstoffherstellern von großem Wert, da vielfach der Kraftstoffhersteller über die schwierigen Probleme und die Entwicklungsrichtung des Motorenbaus nur wenig Bescheid weiß, auf der anderen Seite aber auch der Motorenbauer sich mit den Fragen der Kraftstoffentwicklung nicht genügend befassen kann. In England und Amerika fanden seit Jahren fast regelmäßig Vorträge statt, die in besonderen die Kraftstofffragen im Motor behandelten; es sei nur an die Vorträge von Banks, Bass, Veal u. a. erinnert.

Wenn es in den letzten 10 Jahren möglich war, die Literleistung der Flugmotoren auf mehr als das Doppelte zu steigern, so ist dies zu einem nicht unbedeutenden Teil auf die stetige Verbesserung der Klopfestigkeit der Kraftstoffe zurückzuführen. Es ist jedoch zu bedenken, daß der Kraftstoffentwicklung auch gewisse Grenzen gezogen sind, die insbesondere durch die Rohstofflage bedingt sind. Infolgedessen muß der Motorenbauer bei der Entwicklung seiner Motoren neben den Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Kraftstoffe auch die Beschaffungslage berücksichtigen. Es soll daher bevor über einige Probleme berichtet wird, die in den letzten Jahren im Zusammenhang mit der Motor- und Kraftstoffentwicklung an uns herangetragen wurden, kurz auf die Beschaffungslage und die Eigenschaften der heutigen Hochleistungskraftstoffe für Otto-Flugmotoren eingegangen werden.

Die Entwicklung der Fliegerbenzine und in besonderen der Hochleistungskraftstoffe ergab sich zwangsläufig aus der Rohstofflage. Hierüber hat Herr Dr. Pier vor einem Jahr ausführlich berichtet und es erscheint zweckmäßig, nochmals in Kürze einige wesentliche Punkte zu erwähnen.

Amerika und England haben ihre Versorgung mit Fliegerbenzin auf einen großen Überschuss an Erdöl aufgebaut, aus dem sie sich

POOR
COPY

1

PO
CO

einen kleinen Teil, der für die Herstellung von Flugkraftstoffen besonders geeignet ist, aussuchen können. So wurden z.B. in den Vereinigten Staaten im Jahre 1941 bei einer Kohleförderung von rund 190 Millionen Tonnen nur etwa 2,7 Millionen Tonnen Flugkraftstoff hergestellt. Diese erdölreichen Länder besitzen auch eine große Crack-Industrie, und es ist daher bei ihnen der Weg zur Erzeugung von Hochleistungskraftstoffen ganz natürlich durch die großen Mengen der zur Verfügung stehenden ungesättigten Crackgase gegeben, aus denen sich leicht durch Polymerisation hochklopfeste Isoparaffine, insbesondere Iso-Oktan, herstellen lassen.

Wir in Deutschland sind arm an Erdölen, aber reich an Kohle. Bei uns bilden daher die Hydrieranlagen die Grundlage für unsere Versorgung mit Flugkraftstoffen. Diese Anlagen, die ursprünglich für die Herstellung von Autobenzin und Dieselöl gebaut waren, wurden, als infolge des Kriegsausbruches die Luftwaffe größere Kraftstoffmengen benötigte, auf Fliegerbenzin umgestellt und es konnten sofort 90 % der Autobenzinmengen an Fliegerbenzin hergestellt werden. Die Qualität dieses Benzins ist dem amerikanischen Benzin vom Typ OZ 87 mindestens gleichwertig, bei den Werken, die Steinkohle verarbeiten, sogar überlegen. Von den in Deutschland hergestellten Flugkraftstoffen werden heute über 90 % durch die Hochdruckhydrierung gewonnen.

Als neben den großen Mengen des Fliegerbensins vom Typ OZ 87 auch Hochleistungskraftstoffe benötigt wurden, konnten durch einfache Maßnahmen in den vorhandenen Hochdruckhydrieranlagen schnell auch große Mengen Hochleistungskraftstoffe auf der Basis der klopfesten Aromaten erzeugt werden. Daneben wird Iso-Oktan aus den in den Hydrierwerken anfallenden Gasen in der entsprechenden, größtmöglichen Menge hergestellt und auch in besonderen Anlagen auf dem Weg über den Butyl-Alkohol.

Aus dieser Beschaffungslage her, ist unser heutiger Hochleistungskraftstoff zwangsläufig gegeben, der uns auch in den nächsten Jahren zur Verfügung stehen wird. Er enthält etwa

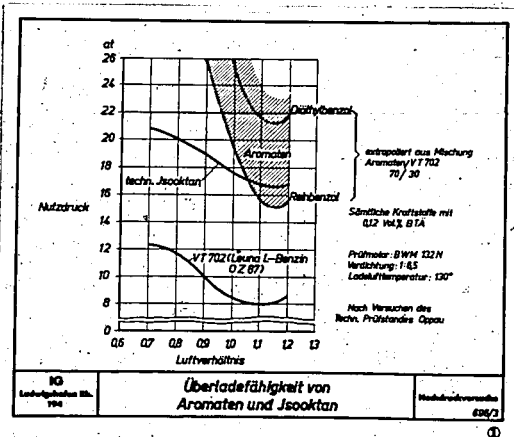
POOR
COPY

1

PO
CO

40 Vol.-% Aromaten, 20 Vol.-% Iso-Oktan oder andere geeignete Isoparaffine und 40 Vol.-% eines Restbenzins, dessen Motor-Oktanzahl je nach dem verwendeten Rohstoff zwischen 65 und 74 liegt. Zur weiteren Steigerung seiner Klopfestigkeit wird der Kraftstoff mit dem heute üblichen Zusatz von 0,12 Vol.-% Blei-tetraäthyl versehen. Demgegenüber steht der Hochleistungskraftstoff der OZ 100 der Feindstaaten, der etwa aus einer 50%igen Mischung von Iso-Oktan und Iso-Pentan mit einem ^{guten} Fliegerbenzin ~~besteht~~ besteht und einen Bleisatz von 0,09 % hat. Der aromatische Hochleistungskraftstoff ist dem vorwiegend isoparaffinischen nicht nur gleichwertig, sondern es läßt sich mit ihm bei Berücksichtigung seiner besonderen Eigenschaften sogar eine wesentlich höhere Motorleistung herausziehen. Im folgenden soll daher kurz ~~zum~~ auf die Eigenschaften der uns zur Verfügung stehenden Hochleistungskraftstoffe eingegangen werden.

Die wichtigste Eigenschaft, die von einem Hochleistungskraftstoff verlangt wird, ist eine hohe Klopfestigkeit. Die Oktanzahl gibt bekanntlich für die Beurteilung von hochklopfesten Flugkraftstoffen vielfach ein falsches Bild und es wurde daher bei uns in Deutschland das DWL-Überladeverfahren eingeführt. Zur Erläuterung der Klopfestigkeit der Hochleistungskraftstoffe ist in Abbildung 1 die Überladefähigkeit von Aromaten und Iso-Oktan dargestellt. Der Bereich für die Klopfgrenzkurven der Aromaten



Zündung: 30° v. o. T.

Abbildung 1

liegt fast durchweg über dem Iso-Oktan, er wird nach unten

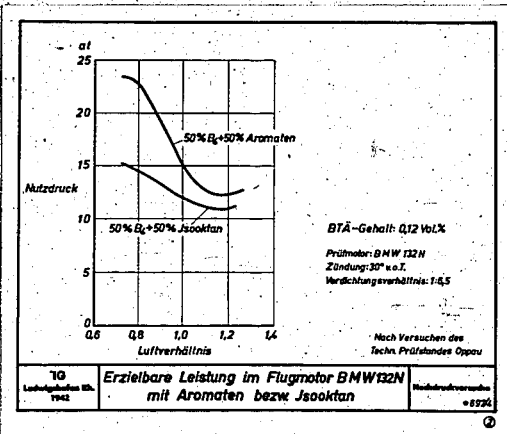
POOR COPY

1

POOR COPY

durch Feinbenzol begrenzt. Darüber liegen Flingbenzol, Toluol und Xylol. Ganz wesentlich besser ist Isopropylbenzol und Diäthylbenzol, doch gibt es nach unseren neuesten Versuchen noch eine größere Anzahl von Aromaten, wie Propyl-Butyl-Benzol, Dipropylbenzol, Tripropylbenzol usw., die in ihrer Überladefähigkeit noch höher liegen, allerdings mit ihrem Siedepunkt nicht mehr in den heute für Fliegerbenzin vorgeschriebenen Siedebereich fallen.

In den technischen Anlagen zur Erzeugung von Hochleistungskraftstoffen werden heute Ringkraftstoffe hergestellt, die etwa 50 Vol.-% Aromaten enthalten. In der Abbildung 2 sind die Überladekurven



Ladelufttemp.
130°C

Abbildung 2

von 50 Vol.-%igen Mischungen aus Aromaten bzw. Iso-Okтан und einem Fliegerbenzin vom Typ OZ 87 aufgezeichnet. Der Aromatenkraftstoff liegt im Gebiet des Kraftstoffüberschusses weit über dem entsprechenden Gemisch mit Iso-Okтан, während im Luftüberschußgebiet seine Überlegenheit kleiner ist. Die Überladekurven für die heutigen Hochleistungskraftstoffe G₃ und G₂, die beide 40 Vol.-% Aromaten und 20 Vol.-% Iso-Okтан enthalten und sich im wesentlichen entsprechend dem zur Herstellung verwendeten Rohstoff nur durch die Klopfestigkeit des Restbensins unterscheiden, sind in Abbildung 3 wiedergegeben. Zum Vergleich sind auch die Kurven für ein Fliegerbenzin vom Typ OZ 87, das mit B₄ bezeichnet wird, und G₁, das dem Hochleistungskraftstoff der Feindstaaten entspricht, eingetragen.

POOR COPY

1

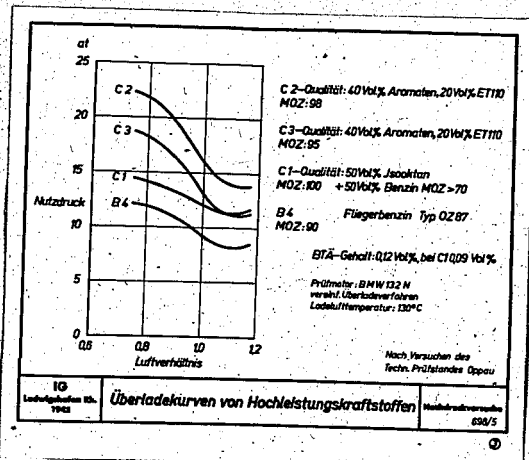


Abbildung 3

Nach dem DWL-Überladeverfahren wird auch die Bleiempfindlichkeit der Kraftstoffe anders beurteilt wie durch die Oktanzahl. Während die Oktanzahl durch den Zusatz von Bleitetraäthyl bei aromatischen Kraftstoffen weniger erhöht wird als bei paraffinischen, zeigt die Überladeprüfung, insbesondere im Gebiet des Kraftstoffüberschusses, das Gegenteil.

Aromatische und paraffinische Kraftstoffe unterscheiden sich auch im Heizwert. Aromatische Kraftstoffe haben einen höheren Literheizwert, während bei paraffinischen der Heizwert pro kg größer ist. Bei Flugzeugen ist ein hoher Literheizwert von Vorteil, wenn die Tankraumfrage von größerer Bedeutung ist als das Gewicht.

Für das Dauerverhalten der Kraftstoffe ist hauptsächlich ihr Einfluß auf das Festgehen der Kolbenringe von Bedeutung. Um ein frühzeitiges Festkleben der Ringe zu vermeiden, ist eine gute Raffination des Kraftstoffs Voraussetzung. Bei Hydrierbensinen ist auf Grund ihres Herstellverfahrens die Raffination stets vollkommen einwandfrei. Von einem gewissen Einfluß auf das Ringstecken sind auch die mittleren Temperaturen im Verbrennungsraum, die bei aromatischen Kraftstoffen etwas höher liegen als bei paraffinischen, was hauptsächlich auf das verschiedene H/C-Verhältnis zurückzuführen ist. Die höheren, wasserstoffreicheren

Aromaten, wie sie vorwiegend in den Hochleistungskraftstoffen enthalten sind, verhalten sich sowohl hinsichtlich der Verbrennungsraum-Temperaturen als auch des Ringsteckens günstiger als die niedrig siedenden Aromaten, insbesondere als Benzol.

Durch Messungen an Flugmotoren wurde festgestellt, daß bei Verwendung der Hochleistungskraftstoffe, die 40 Vol.-% Aromaten enthalten, die mittleren Verbrennungsraum-Temperaturen um etwa 10°C höher liegen als bei paraffinischen Kraftstoffen. Errechnet man unter Berücksichtigung der Dissoziation die Verbrennungshöchst-Temperaturen für einen Kraftstoff mit 40 % Aromaten und ein rein paraffinisches Benzin, so beträgt der Temperatur-Unterschied etwa 40°. Bezogen auf die mittlere Temperatur im Verbrennungsraum während der vier Arbeitstakte ergibt sich dann in Übereinstimmung mit den Messungen am Motor auch rechnerisch ein Temperatur-Unterschied von etwa 10°. Diese geringe Temperaturerhöhung dürfte in praktischen Betrieb kaum eine wesentliche Rolle spielen.

Von besonderer Bedeutung ist bei Hochleistungskraftstoffen ihre Temperatur-Abhängigkeit, d.h. der Einfluß der Temperatur auf die Klopfintensität des Kraftstoffluftgemisches. In Abbildung 4 ist der Einfluß der Ladelufttemperatur auf die Klopfgrenzkurven von G_3 und G_2 dargestellt. Bei Erhöhung der Ladelufttemperatur

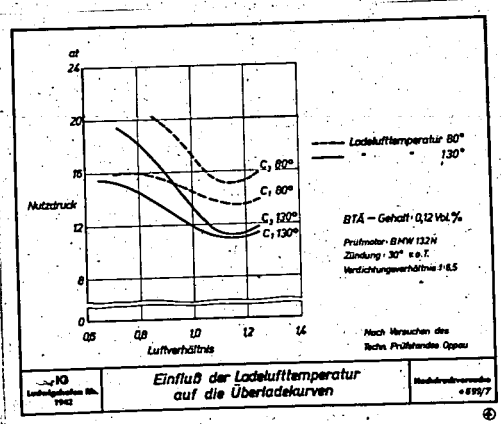


Abbildung 4

von 80° auf 130° sinkt die Klopfestigkeit des Aromatenkraftstoffes im Luftüberschussgebiet stärker ab als bei dem vorwiegend isoparaffinischen G₁. Schon hieraus kann man erkennen, daß die Temperatur und damit auch alle konstruktiven Maßnahmen und Betriebsbedingungen am Motor, welche die Temperatur des unverbrannten Kraftstoffluftgemisches beeinflussen, von wesentlicher Bedeutung sind. Hierauf muß der Konstrukteur bei der Entwicklung der Motoren besondere Rücksicht nehmen, wenn aus den Aromatenkraftstoffen die größtmögliche Leistung herausgeholt werden soll. ~~Im folgenden sollen daher einige motorische Fragen angeschnitten werden, die für das Klopff- und Dauerverhalten der Hochleistungskraftstoffe von besonderer Bedeutung sind.~~

Die Erzielung einer möglichst hohen Motorleistung hängt bekanntlich nicht nur von der Klopfestigkeit des Kraftstoffs, sondern auch in hohem Maße von der Klopfestigkeit des Motors ab, die hauptsächlich durch die Gestaltung des Verbrennungsraums und der ihn einschließenden Teile sowie durch die Betriebsbedingungen des Motors beeinflusst wird. Es soll hier nicht auf die vielen Gesichtspunkte eingegangen werden, die für den Konstrukteur maßgebend sind, um dem Motor eine möglichst hohe Klopfestigkeit zu geben. Es sei nur ein Beispiel angegeben, das ^{Herr} Mallinger vor einem Jahr in einem Vortrag brachte, wo er zeigte, daß durch richtige Anordnung der Zündkerzen die erzielbare Motorleistung um mehr als 10 % beeinflusst werden kann. Der Motorenbauer sucht zwar mit allen Mitteln durch günstige Gestaltung des Verbrennungsraums die Ansprüche des Motors an die Klopfestigkeit des Kraftstoffs zu verringern, jedoch ist er meist wegen der schwierigen Unterbringung der Ventile, Kerzen, Kühlrippen usw. zu einem mehr oder weniger guten Kompromiss gezwungen. Eine einfachere und bessere Gestaltung des Verbrennungsraumes als der ventilsteuerte Motor gestattet der Schiebermotor, bei dem nicht auf die schwierige Unterbringung der Ventile Rücksicht genommen werden muß. Der Schiebermotor soll daher im allgemeinen eine höhere Klopfestigkeit besitzen, zumal da bei ihm auch das heiße Auslaßventil wegfällt. Der Konstruktion der Schiebermotoren hat man in England seit Jahren große Aufmerksamkeit geschenkt und die ~~xxxxx~~ viermotorigen Bomber "Stirling" sind mit

Doppelstern-Schiebermotoren "Hercules" der Firma Bristol ausgestattet. Es wäre interessant, festzustellen, ob bei diesen Motorenbaunummer die höhere Klopfestigkeit des Schiebermotors auch schon praktisch in Erscheinung tritt.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die höchstmögliche Ausnutzung der Aromatenkraftstoffe ist eine gute und gleichmäßige Kühlung, insbesondere des Zylinderkopfes, der Ventile, der Kerzen und des Kolbens. Eine einzige schlecht gekühlte Stelle ist maßgebend für die Ansprüche des ganzen Motors an die Klopfestigkeit des Kraftstoffs. Bei der Bestimmung der Klopfgrenzkurven an einem luftgekühlten Einzylindermotor zeigte sich z. B., daß der bis zum Eintritt des Klopfens erreichbare mittlere Nutzdruck um ^{mehr als} etwa 50 % gesunken war, weil die Schrumpfverbindung zwischen Zylinder und Zylinderkopf einen Wärmestau zeigte. In ähnlicher Weise wird auch durch die glühenden Auslaßventile, an denen sich das Kraftstoffluftgemisch aufheizt, das Klopfen begünstigt. Durch eine möglichst weitgehende Kühlung der Auslaßventile kann daher die Klopfestigkeit eines Motors bedeutend verbessert werden. Auch die Kühlung des Kolbens ist von großer Wichtigkeit. Es sei hier auf einen Vortrag von Ricardo hingewiesen, den er vor einigen Jahren auf einer Tagung der Lilienthal-Gesellschaft hielt. Er berichtete dabei über Versuche, bei denen die Kolbenkühlung dadurch verbessert würde, daß gegen die Unterseite des Kolbens ein Ölstrahl spritzte.

Ricardo wies auch schon vor vielen Jahren auf die höhere Klopfestigkeit der kleineren Zylinder hin (Abbildung 5). Auch dies ist wohl hauptsächlich auf die günstigeren Temperatur-Verhältnisse

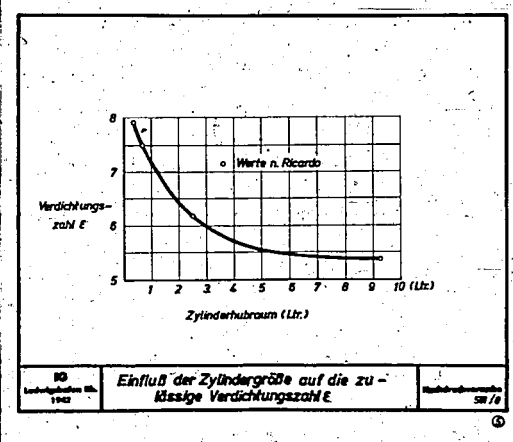


Abbildung 5

gegenüber den großen Zylindern zurückzuführen. Bei der größeren Temperaturabhängigkeit der Aromatenkraftstoffe ist daher anzunehmen, daß sich mit ihnen aus kleinen Motorsylindern wesentlich höhere Literleistungen herausheben lassen als mit paraffinischen Kraftstoffen. ~~zur gleichen Wirkungsgrad~~. Versuche über die Möglichkeiten der Anwendung kleinerer Zylinder, wie sie von ^{Herrn} ~~Korn~~ durchgeführt werden, dürften daher bei Verwendung von Aromatenkraftstoffen zu bedeutend günstigeren Ergebnissen führen.

Auf die Beeinflussung des Klopfens durch eine Erhöhung der Ladelufttemperatur wurde bereits hingewiesen. Bei der stetigen Steigerung der Ladelufttemperatur ergibt sich daher für die Hochleistungskraftstoffe als ^{der} ~~dringende Wunsch~~ ^{Wunsch} ~~Veranlassung~~ von Ladeluftkühlern. Dabei muß natürlich stets genau geprüft werden, ob bei Anwendung eines Ladeluftkühlers die durch die niedrigere Ladelufttemperatur ermöglichte Leistungserhöhung den Mehraufwand für den Kühler wieder ausgleicht, oder darüber hinaus noch einen nutzbaren Leistungsgewinn mit sich bringt.

Eine Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses hat auch eine starke Steigerung der Verdichtungsendtemperatur ^{zur Folge} und begünstigt daher das Klopfen in starkem Maße. Eine höhere Leistung als durch Verdichtungserhöhung läßt sich mit einem gegebenen Kraftstoff bei verhältnismäßig niedriger Verdichtung durch Steigern des Ladedruckes erzielen. Man sollte daher, wenn es auf eine besonders hohe Motorleistung ankommt, auf eine Verdichtungs-^{erhöhung} und die damit verbundene Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades verzichten, soweit dies natürlich verantwortet werden kann.

Am günstigsten erscheint vom Kraftstoffstandpunkt aus gesehen die Leistungssteigerung durch Drehzahlerhöhung, weil dabei die Innen-Temperaturen und -Drucke gegenüber der Leistungssteigerung durch Erhöhen des Verdichtungsverhältnisses oder des Ladedruckes niedrig bleiben. Infolge der höheren Wärmebelastung der Zylinder ist natürlich eine verstärkte Kühlung erforderlich.

POOR
COPY

1

POOR
COPY

Ähnlich wie eine Steigerung des Verdichtungsverhältnisses wirkt sich auch eine Vorverlegung der Zündung auf das Klopfverhalten der Kraftstoffe aus. Wie groß der Zündungseinfluß ist, zeigen Versuche, die an BMW 132-Einzylinder-Motor durchgeführt wurden. Aus der Abbildung 6 kann man ersehen, daß eine Verstellung der

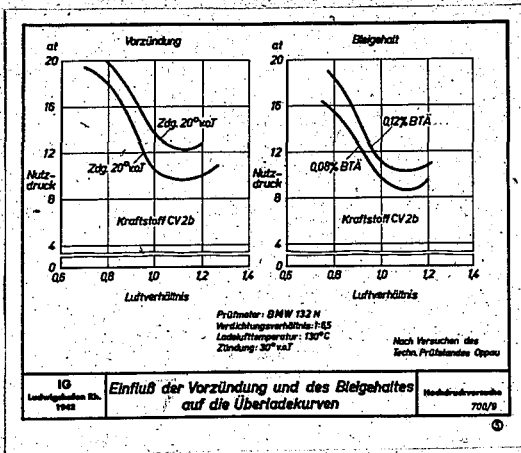


Abbildung 6

Zündung um wenige Grad, beispielsweise 5 Grad, die Klopfgrenze und damit den erreichbaren mittleren Kolbendruck um mehr als 1 at beeinflusst. Man könnte beispielsweise auch den Bleigehalt bei dem verwendeten Aromaten-Kraftstoff von 0,12 % auf 0,08 % herabsetzen, wenn man die Zündung um etwa 5 - 7° später verlegen könnte. Aus diesem Beispiel kann man auch ersehen, wie wichtig ein gleichmäßiger Zündzeitpunkt an den einzelnen Zylindern eines Vollmotors ist. Zündet nur 1 Zylinder um einige Grad früher als beabsichtigt, so werden dadurch die Ansprüche des ganzen Motors an die Klopfestigkeit des Kraftstoffs wesentlich erhöht. Es sei bei dieser Gelegenheit auch auf amerikanische Versuche hingewiesen, die an serienmäßig hergestellten Kraftfahrzeugen durchgeführt wurden. Bei ein und demselben Fahrzeugtyp wurde festgestellt, daß lediglich durch fehlerhafte Streuungen in der Zündung die Ansprüche der einzelnen Motoren an die Klopfestigkeit des Benzins um mehr

POOR COPY

1

PO CO

als 10 Oktanzahlen schwankten. Wenn natürlich mit solchen Streuungen bei Flugmotoren nicht zu rechnen ist, so zeigt das Beispiel doch, wie sehr auf ein genaues und gleichmäßiges Arbeiten der Zündung geachtet werden muß.

In diesem Zusammenhang soll auch ein Bild gezeigt werden, das die Streuungen der Überladekurven wiedergibt, die mit demselben Kraftstoff an den BMW 132-Überlademotoren bei den verschiedenen Prüfstellen erhalten wurden (Abbildung 7).

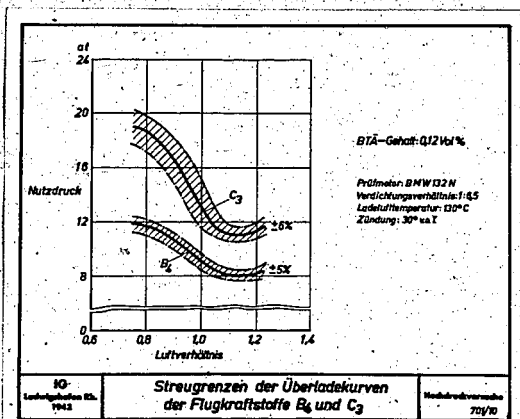


Abbildung 7

Die Streuungen betragen nach den neuesten von der DVL durchgeführten Ringversuchen bei aromatischen Kraftstoffen $\pm 6\%$, bei paraffinischen $\pm 5\%$. Dieses Streuband konnte trotz aller Bemühungen, die einzelnen Prüfstände in ihren Betriebsverhältnissen so vollkommen wie nur irgend möglich aneinander anzugleichen, bis jetzt noch nicht verkleinert werden. Bei der Durchführung der Überladeversuche am Einzylindermotor zeigte sich auch, daß trotz des hohen Standes der heutigen Werkstatttechnik noch kleine Unterschiede in den serienmäßig hergestellten Zylindern vorhanden sind, die sich im Klopfverhalten der Kraftstoffe bemerkbar machen. Wenn nun schon am Einzylindermotor trotz schärfster Kontrolle Unterschiede in den Klopfgrenzkurven von $\pm 6\%$ auftreten, so muß

POOR
COPY

1

man daraus schließen, daß die Streuungen am Vollmotor besonders auch infolge der Unterschiede in der Kühlung noch viel größer sind und dadurch die Ansprüche der Motoren an die Klopfestigkeit des benötigten Kraftstoffes wesentlich erhöht werden.

Weitere Möglichkeiten zur Steigerung des mit einem gegebenen Kraftstoff erreichbaren mittleren nutzbaren Kolbendruckes ergeben sich durch Abändern des motorischen Arbeitsverfahrens. Eine wesentliche Verbesserung der Klopfgrenzkurven und damit der Motorleistung läßt sich in vielen Fällen durch eine Vergrößerung der Übersehneidung der Steuerzeiten erreichen, wie sie ja heute auch schon häufig angewandt wird. Ein Beispiel ist in Abbildung 8 gegeben, in der

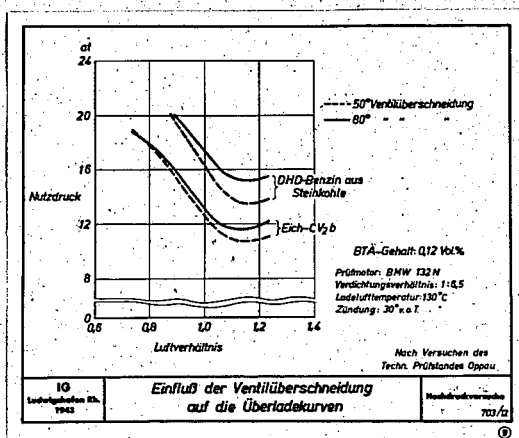


Abbildung 8

Versuche des Technischen Prüfstands Oppau am BMW 132-Einzyylinder-motor mit 50° und 80° Ventilüberschneidung dargestellt sind. Trotz der verhältnismäßig geringen Vergrößerung der Überschneidung konnten mit den untersuchten Kraftstoffen Leistungssteigerungen von über 10 % erzielt werden. Dabei fällt auf, daß der Leistungsgewinn umso größer ist, je höher die Überladekurve an sich schon liegt. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß der Zylinder umso stärker gekühlt wird, je höher der Ladedruck ist, mit dem die Durchspülung des Verbrennungsraumes erfolgt.

Besonders günstige Ergebnisse dürften sich bei Anwendung des DVL-Einspritzverfahrens ergeben. Bei diesem Verfahren wird der Kraftstoff zu zwei verschiedenen Zeitpunkten in aufeinander abgestimmten Mengen eingespritzt. Das Institut für Thermodynamik und Arbeitsverfahren bei der DVL hat auch mit von uns übersandten Hochleistungskraftstoffen Überladeversuche an einem DB 601 E-Einzylindermotor durchgeführt und unter den verschiedensten Bedingungen die Klopfgrenzkurven bei normaler und bei aufgeteilter Einspritzung bestimmt. In Abbildung 9 ist ein Kurvenpaar aus diesen Versuchen

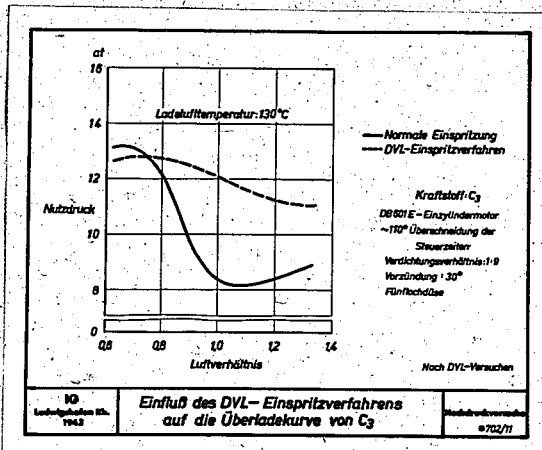


Abbildung 9

dargestellt. Durch Anwendung des DVL-Einspritzverfahrens wurde der mit dem Hochleistungskraftstoff C₃ erreichbare mittlere Nutzdruck um mehr als 30% erhöht. Auf nähere Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden, da über die Versuche von Seiten der DVL wohl noch ausführlicher berichtet werden wird. Es sei jedoch noch darauf hingewiesen, daß auch an Vollmotoren mit diesem Verfahren schon günstige Ergebnisse erzielt worden sind und daß für die Verwirklichung dieses Arbeitsverfahrens nur eine geringe Abänderung der Einspritzpumpe nötig sein soll.

An dieser Stelle sei auch noch kurz das sogenannte "Zingverfahren" erwähnt. Es soll nicht näher darauf eingegangen werden, jedoch

sei darauf hingewiesen, daß wohl auch bei Anwendung dieses Arbeitsverfahrens günstige Ergebnisse hinsichtlich des Klopfverhaltens der Kraftstoffe zu erwarten sind. Hierüber wird vielleicht von anderer Seite gelegentlich noch näheres mitgeteilt.

Außer dem Klopfverhalten der Kraftstoffe ist auch ihr Dauerverhalten im Motor von Wichtigkeit. Es sollen daher noch kurz die Fragen des Festgehens der Kolbenringe, der Schmierölverdünnung und der Korrosion der Auslaßventile gestreift werden.

Das Festgehen der Kolbenringe ist bekanntlich eines der wichtigsten motorischen Probleme, mit dessen Lösung sich der Konstrukteur und die Forschung schon seit vielen Jahren beschäftigt. In der Abbildung 10 ist der Wärmefluß an einem Flugmotorenkolben

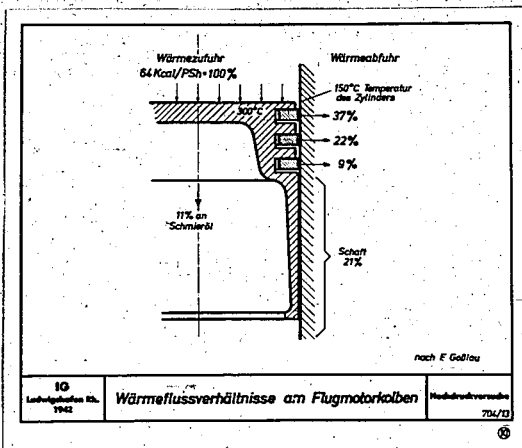


Abbildung 10

dargestellt. Es ist ein Bild aus einer älteren Veröffentlichung von Gößlau aus dem Jahre 1935; es ist also durchaus möglich, daß sich bei den neuesten Flugmotorenkolben infolge der großen Fortschritte, die in den letzten Jahren erzielt wurden, wesentlich günstigere Verhältnisse ergeben. Immerhin kann man aber

POOR COPY

1

P
C

aus dem Bild erkennen, daß die obersten Ringe, die ja am meisten zum Ringstecken neigen, auch thermisch weitaus am stärksten beansprucht sind. Es ergibt sich also auch hinsichtlich des Ringsteckens in gleicher Weise wie für das Klopfverhalten des Kraftstoffs der Wunsch nach einer noch besseren Kolbenkühlung.

Die Frage der Schmierölverdünnung stand am Anfang des Krieges schon einmal im Vordergrund des Interesses, als sie sich bei Jagd-Flugzeugen, die Speere flogen, unangenehm bemerkbar machte. Schmierölverdünnung tritt am Motor dann auf, wenn zuviel hochsiedende Anteile im Kraftstoff enthalten sind oder, wie in dem angeführten Fall, der Motor längere Zeit zu kühl betrieben wird. Schon die Anwesenheit von wenigen Prozent Kraftstoff im Öl setzt die Viskosität des Schmieröls soweit herab, daß der Verschleiß des Motors gefährliche Formen annehmen kann. Umfangreiche Versuche des Technischen Prüfstands Oppau haben jedoch gezeigt, daß die Schmierölverdünnung durch richtige Auswahl der Einspritzdüsen, also durch Verbessern der Kraftstoffaufbereitung, weitgehend vermieden werden kann. Maßnahmen gegen das Auftreten der Schmierölverdünnung erscheinen auch im Hinblick auf die Verwendung von höher siedenden Sicherheitskraftstoffen notwendig. Wird bei den Flugkraftstoffen das zulässige Siedende höher gesetzt, so kann bis zu einem gewissen Grade auch die Kraftstoffverzeugung vergrößert werden. In Abbildung 11 ist für verschiedene Benzine in Abhängigkeit

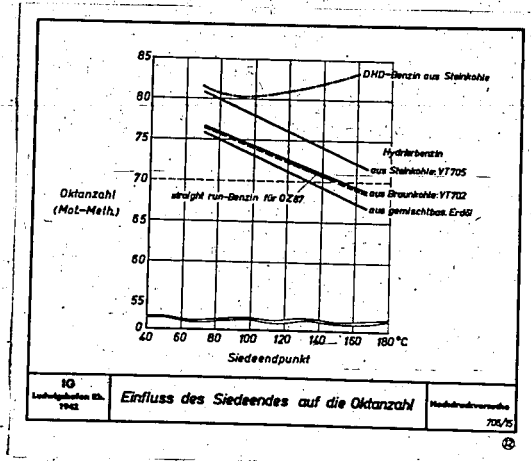


Abbildung 11

POOR COPY

1

POOR COPY

von Siedende die Oktanzahl aufgetragen. Man kann daraus ersehen, daß bei den meisten Benzinen die Klopfestigkeit schlechter wird, wenn man das Siedende hinausrückt; lediglich bei dem ^{Dehydrierbenzin} (DHD-Benzin) nimmt sie noch etwas zu, was auf die höher siedenden, besonders klopfesten Aromaten zurückzuführen ist. Bei Abbildung 11 wurde die Oktanzahl als Maßstab für die Klopfestigkeit angegeben, trotzdem sie das Klopfverhalten im Flugmotor nicht immer richtig bewertet. Bei Laboratoriumsversuchen jedoch, bei denen nur kleine Kraftstoffmengen anfallen, ist man auch heute noch auf die Oktanzahl angewiesen, solange kein besseres Klopfprüfverfahren, das weitgehend von der Konstruktion und den Betriebsbedingungen des Motors unabhängig ist und nur wenig Kraftstoff benötigt, vorhanden ist. Während man für die Überladeprüfung am Flugmotoren-Einsylinder etwa 10 - 20 Liter Kraftstoff benötigt, genügen für die Bestimmung der Oktanzahl etwa 300 ccm.

Zum Schluß sei noch kurz auf die Korrosion der Auslassventile eingegangen. Die Korrosion der Ventilsitze und der Ventilteller durch das in den Kraftstoffen enthaltene Blei wird auch weitgehend durch die Temperatur beeinflusst. Bei Hochleistungsflugmotoren wendet man daher heute fast durchweg innengekühlte Auslassventile an, wobei es wichtig ist, daß nicht nur der Schaft, sondern auch der Ventilteller gut gekühlt wird. Zum weiteren Schutz gegen die Korrosion werden die Ventilsitze bekanntlich mit Stellite geschützt und die Ventilteller verchromt oder mit einer anderen Schutzschicht, beispielsweise in England, mit "Brightray", einer Chromnickellegierung, überzogen. Es sei hier noch eine Abbildung aus einem Vortrage von Banks gezeigt, die ~~anscheinend nicht allgemein bekannt~~

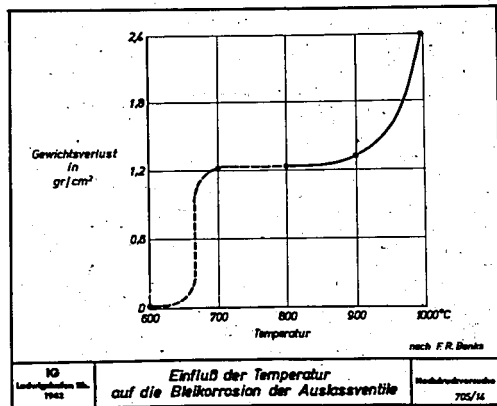


Abbildung 12

POOR
COPY

1

PO
CO

die den Einfluß der Ventiltemperatur auf die Bleikorrosionen darstellt (Abbildung 12). Danach tritt bei etwa 670° eine sprunghafte Steigerung der Bleikorrosion auf, sodaß man mit der Temperatur möglichst unter diesem Bereich bleiben oder die Ventilteller, wie erwähnt, mit einer widerstandsfähigen Schutzschicht überziehen muß. Unter Umständen kann die Temperatur der Auslassventile auch durch eine etwas fettere GemischEinstellung oder durch Verändern der Zündung oder des Einspritzzeitpunktes bis zu einem gewissen Grade verringert werden.

In den vorstehenden Ausführungen sollte zunächst gesagt werden, welche Wirkkraftstoffe uns auf Grund unserer Beschaffungslage zur Verfügung stehen. Neben einem guten Flugbenzin vom Typ OZ 87 können mit den in den Hydrieranlagen erzeugten Aromatenkraftstoffen nach Zumischen von 20% Isoktan die Hochleistungskraftstoffe C_3 und C_2 hergestellt werden. Die C_3 -Qualität kann bei allen für die Hochdruckhydrierung zur Verfügung stehenden Rohstoffen erreicht werden, die C_2 -Qualität in erster Linie bei Verwendung von Dehydrierbenzin aus Steinkohle (Abbildung 13).

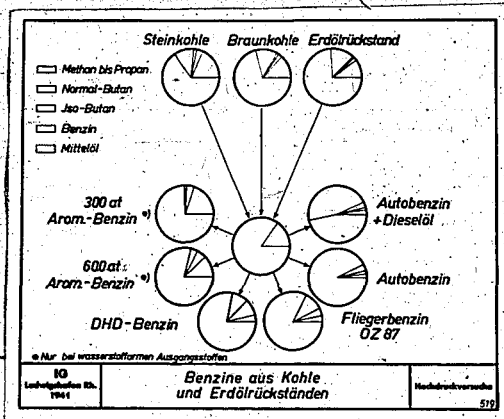
Abbildung 13

Weiter wurde gesagt, daß mit unseren Hochleistungskraftstoffen höhere Motorleistungen erzielt werden können als mit dem Hochleistungskraftstoff OZ 100 der Feindstaaten. Für die Erzielung der

höchstsmöglichen Motorleistung ist insbesondere eine gute und gleichmäßige Kühlung des Motors von großer Bedeutung. Außerdem gibt es jedoch noch verschiedene andere Möglichkeiten, um die Klopfgrenzkurven und damit die Motorleistung zu verbessern. Wenn man bedenkt, welcher großen Aufwand es kostet, um von der Kraftstoffseite her den mittleren nutzbaren Kolbendruck nur um 1 at zu erhöhen, andererseits durch verhältnismäßig einfache Maßnahmen, wie z.B. die Anwendung der aufgeteilten Einspritzung nach dem BVL-Verfahren, die Überladekurven wesentlich verbessert werden können, dann sollte man nichts unversucht lassen, diese Maßnahmen auch praktisch zu verwirklichen. Motorenbauer und Kraftstoffhersteller müssen sich hier gegenseitig ergänzen und so dazu beitragen, daß unsere Luftwaffe hinsichtlich der Güte der Flugzeuge auch weiterhin den Feinden überlegen bleibt.

POOR
COPY

1



Über die Hydrierabgase.

Neben der Verwertung der Vergasungsprodukte bei der katalytischen Hochdruckhydrierung für die Erzeugung von Wasserstoff durch Spaltung der gasförmigen Kohlenwasserstoffe und der Verwendung des Propan und Butans als Treibgas hat jetzt im Kriege die Herstellung von Isooktan und Alkyloktan aus dem Butananteil der Vergasung besondere Bedeutung erlangt. Die Menge und Zusammensetzung der Hydrierabgase verdient deshalb besonderes Interesse.

Die Abbildung gibt einen schematischen Überblick über die bei der Verarbeitung verschiedener Ausgangsprodukte in der Sumpffphase und Gasphase erzielten Ausbeuten an Benzin und die daneben zwangsläufig anfallenden Mengen Gas. Die drei oberen Kreise stellen die Sumpffphaseverarbeitung von Steinkohle, Braunkohle und Erdölrückstand als typischen Vertretern der angewandten Rohstoffe dar. Man sieht, daß die Gesamtvergasung entsprechend der zunehmenden Schwierigkeit bei der hydrierenden Verarbeitung von Erdölrückstand über die Braunkohle zur Steinkohle zunimmt. Auch ist zu erkennen, daß ein sehr großer Teil des Gasanfalls der Sumpffphase aus den Kohlenwasserstoffen mit 1 bis 3 Kohlenstoffatomen besteht, während der Butananteil der Vergasung verhältnismäßig gering ist.

Im unteren Teil der Abbildung stellt der mittlere Kreis Sumpfbenzin und Mittelöl etwa in dem Mengenverhältnis dar, wie es in der Sumpffphase erhalten wird. Dieses Sumpfbenzin und Mittelöl wird nun durch die verschiedenen Verfahren der Gasphasehydrierung, von denen 6 in der Abbildung als typisch herausgegriffen sind, verarbeitet. Wie man sieht, sind die infolge Vergasung nicht in flüssige Verkaufsprodukte umgesetzten Mengen bei den verschiedenen Verfahren sehr verschieden. Am kleinsten ist die Vergasung bei der Fahrweise auf Autobenzin und Dieselöl. Etwas größer ist sie

schon bei der Umwandlung des ganzen Sumpfbenzins und Mittelöls in Autobenzin. Sie beträgt hier etwa 10 %. Wird nun eine Anlage, die Autobenzin erzeugt, auf die Herstellung von Fliegerbenzin umgestellt, so muß der Endpunkt des erzeugten Benzins von beispielsweise 185° auf 145° gesenkt werden und außerdem müssen etwa 4 % Butan, die im Autobenzin enthalten sein können, durch Destillation aus dem Fliegerbenzin entfernt werden. Die Vergasung wächst dadurch gegenüber Autobenzin auf den doppelten Betrag.

Vergleicht man diese Arbeitsweise, die mit dem verdünnten Bleicherde-Wolfram-Kontakt 6434 ausgeführt wird, mit der Sumpfhasehydrierung, so erkennt man, daß die in der Gasphase erhaltenen Gasmengen zum größten Teil aus C₄ Kohlenwasserstoffen bestehen, während der Anteil an Methan, Äthan und Propan in der Vergasung nur verhältnismäßig klein ist; bei der Sumpfhasehydrierung ist es umgekehrt.

Diese Gegenüberstellung zeigt deutlich die selektive Wirkung unseres technischen Spaltkontakts, der hier in hohen Konzentrationen zur Anwendung kommt, im Vergleich zu den weniger aktiven Katalysatoren der Sumpfhase, die dort nur in kleiner Konzentration wirksam sind.

Auch das Verhältnis von Normalbutan zu Isobutan im C₄-Anteil der Vergasung ist bei dieser Gasphaseverarbeitung wesentlich günstiger als bei der Sumpfhase, denn das Butan der Benzinierungsstufe enthält bis zu 3/4 des wertvollen Isobutans, das die Grundlage für die Isooktanherstellung bildet.

Bei der Herstellung von Hochleistungskraftstoffen war im Hinblick auf die Notwendigkeit, die Hydrierabgase zu Isooktan oder Alkyloktan zu verarbeiten, der Zusammensetzung der gasförmigen Nebenprodukte besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Bei der zu Beginn des Krieges technisch ausgeführten Aromatisierung bei 300 atm mit Kontakt 7019 war, wie die Abbildung zeigt, nicht nur das Verhältnis von Normalbutan zu Isobutan ungünstig, sondern auch der Anteil an Butan an der Gesamtvergasung verhältnismäßig klein. Bei der 600 atm-Aromatisierung, die zur direkten Herstellung von Hochleistungskraftstoff nur auf eine sehr kleine Rohstoffbasis, wie z.B. Pechmittelöl beschränkt ist, sind die Verhältnisse zwar etwas günstiger als bei der 300 atm-Aromatisierung, aber immer noch wesentlich ungünstiger als bei der Herstellung von 87er Kraftstoff durch normale Benzinierung.

Durch Anwendung des DHD-Verfahrens, das sich technisch z.B. an die normale Benzinierung anschließen kann, bleiben die Vorteile, die die Zusammensetzung der Hydrierabgase bei der normalen Benzinierung für die Weiterverarbeitung auf Isooktan bietet, weitgehend erhalten.

Auch bei der Kombination von Benzinierung und DHD-Verfahren besteht der weitaus größte Teil der Vergasung aus Butan und immer noch etwa die Hälfte des Butans aus Isobutan. Das Verfahren der Isooktanherstellung durch Dehydrierung von Isobutan, Polymerisation des Isobutylens zu Diisobutylen und Hydrierung

= 3 =

31050

zu Isooktan wird technisch durch den viel einfacheren Prozeß der Alkylierung von Isobutan mit Normalbutylen verdrängt, bei dem nur das Normalbutan dehydriert werden muß. Dieser Prozeß verbraucht Normalbutan und Isobutan in etwa gleichen Mengen, was auch fast dem Normalbutan-Isobutan-Verhältnis entspricht, wie es unsere Hydrieranlagen liefern. Die Notwendigkeit, Normalbutan durch Isomerisierung in Isobutan umzuwandeln, wird sich deshalb sicher auf kleine Mengen beschränken können.

Romy

AMMONIAKLABORATORIUM OPPAU

Labor-Bericht Nr. ¹⁶⁹⁴.....
19. Oktober 1942

Herrn

Dr. Leithe

z. Verbleib

(3)

Dr. Leithe.

Die Bestimmung des Gehaltes an Aromaten, Naphthenen
und Paraffinen in Benzin aus Dispersion, Refraktion
und Dichte.

31051

31052

Die Bestimmung des Gehaltes an Aromaten, Naphthenen
und Paraffinen in Benzin aus Dispersion, Refraktion
und Dichte.

Übersicht

Es wird ein Verfahren angegeben, das ohne Zuhilfenahme chemischer Trennungen aus dem Brechungsindex n_D , der Dispersion und der Dichte eines in vier Fraktionen zerlegten Benzins dessen Gehalt an Aromaten, Naphthenen und Paraffinen liefert.

Hierzu werden die spezifischen Refraktionen $\frac{n-1}{d}$ und die spezifischen Dispersionen $\frac{n_D - n_C}{d}$ berechnet und an Hand beiliegender Dreieckskoordinatenblätter unmittelbar die Gewichtsprozentage der genannten Stoffklassen erhalten. Durch Beseitigung verschiedener Fehlerquellen konnte der mittlere Fehler auf etwa 2 - 4 % eingeschränkt werden, was durch zahlreiche Messungen an selbst hergestellten Mischungen bewiesen wurde.

Das dürfte das neue Verfahren nicht nur die rascheste, sondern auch die derzeit genaueste Bestimmung der genannten Stoffklassen in Benzinen ermöglichen.

Das Verfahren wird im Analyt. Labor. Heydebreck laufend verwendet und soll auch auf andere Stoffgebiete ausgedehnt werden.

gez. G. Wietzel

In der Benzinanalyse war es bisher zur Bestimmung des Gehaltes an Aromaten, Naphthenen und Paraffinen üblich, zunächst die Aromaten mit Schwefelsäure oder Salpeter-Schwefelsäure zu entfernen, ihre Menge aus der Volumsabnahme oder aus der Änderung physikalischer Eigenschaften (Anilinpunkt, Dichte usw.) zu bestimmen und im Rest-Benzin auf Grund von Anilinpunkt, Dichte oder Refraktion den Gehalt an Naphthenen und Paraffinen zu ermitteln.

Neuerdings haben Grosse und Wackher¹⁾ ein sehr einfaches und genaues Verfahren zur Bestimmung der Aromaten auf Grund von Dispersionsmessungen angegeben. Die spezifische Dispersion $\frac{n_D - n_C}{d} \cdot 1000$ beträgt nämlich bei Aromaten etwa 190, bei Naphthenen und Paraffinen im Benzinsbereich dagegen - unabhängig von ihrer Konstitution - etwa 99, so daß eine einfache Dispersionsmessung den Gehalt an Aromaten unabhängig vom Mengenverhältnis zwischen Naphthenen und Paraffinen liefert. Für gleichzeitig vorhandene Olefine wird auf Grund der Bromzahl eine Korrektur angebracht. Das Verfahren vermeidet demnach eine Abtrennung der Aromaten vom Restbenzin, wenn es sich nur um die Bestimmung der Aromaten handelt; zur Bestimmung des Mengenverhältnisses zwischen Paraffinen und Naphthenen wäre aber die Isolierung des Restbenzins trotzdem nötig.

Aber auch im letzteren Falle könnte die chemische Abtrennung der Aromaten vermieden werden, wenn es gelingt, eine zweite physikalische Konstante zu finden, bezüglich der sich die Naphthene (oder auch die Paraffine) ihrerseits von den beiden anderen Stoffklassen möglichst weitgehend unterscheiden. Auf Grund solcher zweier voneinander unabhängiger Meßgrößen könnte dann der Gehalt an den drei Benzinkomponenten berechnet werden, ohne daß eine Isolierung oder Abtrennung einer Komponente nötig wäre.

Eine Durchsicht der physikalischen Konstanten der Benzinkohlenwasserstoffe ergab als hierzu besonders geeignete zweite Bestimmungsgröße die spezifische Refraktion, für die der bequem zu berechnende Ausdruck nach Landolt-Gladstone-Dale $R = \frac{n-1}{d}$ hinreichend genau ist. Die Verwendung des Ausdruckes nach Lorenz-Lorentz $\frac{n^2-1}{(n^2+2)d}$ bringt in diesem Falle keine Vorteile.

1) A.V.Grosse und R.C.Wackher, Ind.Eng.Ch.Anal.Ed.Ed.11, 614 (1939)

POOR
COPY

3

PO
CO

Die Eignung der spezifischen Refraktionen ergibt sich aus folgenden Überlegungen:

1) Es sind keine zusätzlichen Meßgrößen erforderlich, da sowohl n_D als auch d schon zur Berechnung der spezifischen Dispersionen nach den Tabellen zum Abbe-Refraktometer notwendig sind.

2) Innerhalb der Siedegrenzen, die für die Aromatenbestimmung erforderlich sind (65-95°, 95-122°, 122-150°, 150-200°), liegen die individuellen R-Werte für Naphthene einerseits, für Paraffine andererseits sowie für Aromaten - unabhängig von ihrer Konstitution - so nahe beisammen, daß die Bildung eines allgemein gültigen Mittelwertes für jede Klasse ohne größere Fehler möglich ist. Dagegen unterscheidet sich der so gebildete Mittelwert für Naphthene (0,5480) derart von dem der Paraffine (0,5660) bzw. Aromaten (0,5700), daß der eingangs gestellten Forderung nach einer von der spezifischen Dispersion weitgehend unabhängigen zweiten Bestimmungsgröße ausreichend Rechnung getragen ist. Die Bestimmung von R ist auf etwa ± 2-3 Einheiten der 4. Dezimale genau ausführbar.

3) Aus der Tatsache, daß die spezifischen Refraktionen der Aromaten und Paraffine nahe beisammen liegen, sich ihrerseits aber erheblich von den Naphthenen unterscheiden, ergibt sich, daß ein Fehler in der Bestimmung der Aromaten, der bei Verwendung des Abbe-Refraktometers zur Dispersionmessung innerhin etwa 2-3 Einheiten der Aromaten-Prozente betragen kann, den auf Grund der spezifischen Refraktionen erhaltenen Naphthengehalt überhaupt nicht merklich und den gefundenen Paraffingehalt etwa in gleichem Ausmaß, aber mit verkehrtem Vorzeichen belastet. Es liegen demnach für ein indirektes Bestimmungsverfahren durchaus günstige Verhältnisse vor.

Als Grundlage zur Berechnung des Gehältes eines Stoffes in Mischungen aus einer spezifischen Meßgröße der Mischung und den entsprechenden bekannten Meßgrößen der Komponenten dient die Mischungsregel, aus der sich im vorliegenden Fall folgende Formel I. ableiten läßt:

$$\text{Gew.-% Paraff.} = \frac{100(R_{\text{Subst.}} - R_{\text{Napht.}}) - \% \text{ Arom.} (R_{\text{Arom.}} - R_{\text{Napht.}})}{R_{\text{Paraff.}} - R_{\text{Napht.}}}$$

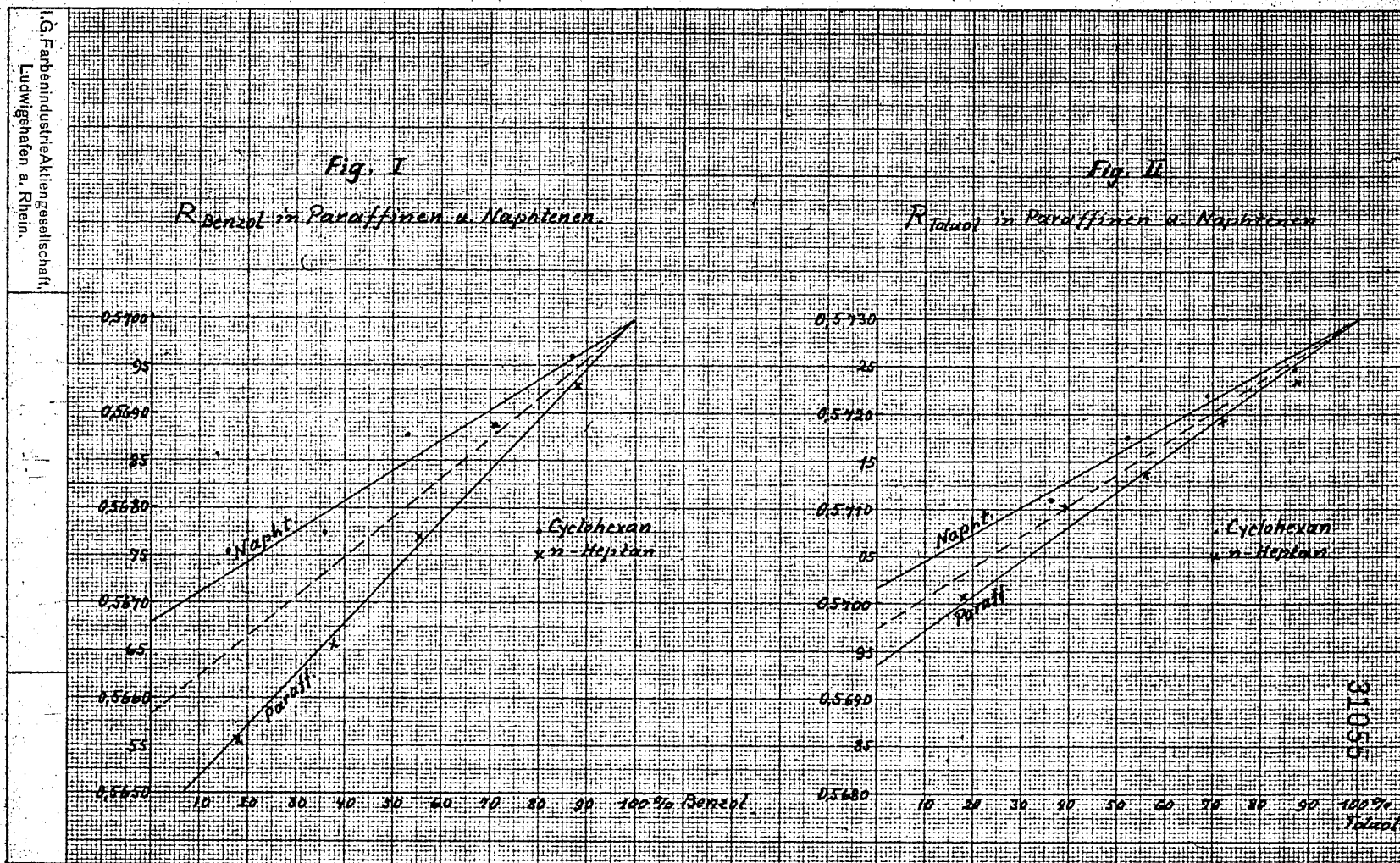
Zunächst mußte aber geprüft werden, ob die Benzin-Komponenten in ihren Mischungen der Mischungsregel überhaupt gehorchen, d.h. rein addi-

./.

POOR
COPY

3

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rhein.



POOR
COPY

3

tiv sind oder ob - was in ähnlichen Fällen häufig der Fall ist - Abweichungen berücksichtigt werden müssen. Hierzu wurden Mischungen von Benzol und n-Heptan, Cyclohexan und aromatenfreien Benzinfractionen in mehreren Konzentrationen hergestellt, gemessen und der für die betreffende Mischung geltende Refraktions-Anteil des Benzols nach Formel II

$$R_{\text{Arom.}} = \frac{100 R_{\text{Mischg.}} - \% \text{ Par.} \cdot R_{\text{Par.}}}{\% \text{ Arom.}}$$

berechnet. Wie aus Fig. I hervorgeht, fällt dieser Wert mit abnehmender Konzentration des Benzols deutlich ab, und zwar bei Paraffinen stärker wie bei Naphthenen. In gleicher Weise wurden Mischungen mit Toluol untersucht (Fig. II) und ähnliche Verhältnisse vorgefunden. Dagegen verhielten sich Mischungen mit Xylol sowie aromatenfreie Gemische aus n-Heptan und Cyclohexan praktisch additiv.

Setzt man nun bei der Analyse unbekannter Gemische in die Formel I anstelle des Wertes $R_{\text{Arom.}} = 0,5700$ (für Benzol) bzw. $0,5730$ (für Toluol) den der Konzentration an Aromaten entsprechenden, der Fig. I bzw. II entnommenen Wert ein, so hat man die Abweichungen von der Mischungsregel erfaßt und einen hierdurch bedingten Fehler vermieden. Will man möglichst genau verfahren, so liest man den dem Aromatengehalt entsprechenden Wert R_{Benzol} auf der mittleren Linie der Fig. I bzw. II ab, setzt diesen zur angenäherten Berechnung in Formel I ein und erhält zunächst das angenäherte Mengenverhältnis der Paraffine und Naphthene. Nach diesem Vor-Ergebnis interpoliert man nun zwischen der Naphthen- und Paraffinlinie der Fig. I bzw. II und erhält so den endgültigen Wert für $R_{\text{Arom.}}$, der in Formel I eingesetzt wird und nunmehr das genaue Ergebnis liefert.

Die in Formel I einzusetzenden Gruppenwerte für $R_{\text{Arom.}}$, $R_{\text{Paraff.}}$ und $R_{\text{Napht.}}$ wurden durch Mittelbildung aus einem umfangreichen Zahlenmaterial entnommen, welches in einer neueren Zusammenstellung von Ward und Kurtz²⁾ sowie in einem Werk von Egloff³⁾ enthalten ist. Je nach dem Siedeintervall sind folgende Werte einzusetzen:

2) Ind. Eng. Ch. Anal. Bd. 10, 559 (1138)
 3) Constants of Hydrocarbons, 1940

./.

POOR COPY

3

POOR COPY

Siedeintervall	R _{Arom.}	R _{Paraff.}	R _{Napht.}	R _{Paraff.} - R _{Napht.}
65-95° nach Fig. I	0,5665-0,5700	0,5660	0,5480	0,0180
95-122° nach Fig. II	0,5694-0,5730	0,5650	0,5490	0,0160
122-150°	0,5740	0,5640	0,5500	0,0140
150-200°	0,5720	0,5630	0,5500	0,0130

In denjenigen Fällen, wo man die in der Hauptsache vorhandenen Paraffine oder Naphthene der Struktur nach kennt, kann die Genauigkeit der Ergebnisse weiter erhöht werden, indem man anstelle der angegebenen Gruppenwerte für R_{Paraff.} bzw. R_{Napht.} die speziell für die jeweils vorliegenden Verbindungen gültigen R-Werte einsetzt.

Bezüglich der Bestimmung der Aromaten sei auf die eingangs genannte Arbeit von Grosse und Wackher verwiesen. Im vorliegenden wurde die Messung der Dispersion mit einem Abbe-Refraktometer ausgeführt, wobei allerdings möglichste Genauigkeit hinsichtlich der Beurteilung der Farbe der Grenzlinie nötig ist, wenn größere Fehler als etwa ± 3% vermieden werden sollen. Zweifellos liefert das Pulfrich-Refraktometer wesentlich genauere Dispersionswerte, doch dürfte ein solches wohl nur in Ausnahmefällen zur Verfügung stehen. Zur Berechnung der spezifischen Dispersion dienen die dem Abbe-Refraktometer beigegebenen Tabellen. Die Berechnung des Aromatengehaltes kann mittels der von Grosse und Wackher angegebenen Formel III erfolgen.

$$\text{Gew.-% Arom.} = \frac{\Delta \text{ Gemisch} - (0,16 \cdot \text{Bromzahl}) - 99}{\Delta \text{ Arom.} - 99}$$

wobei unter Δ der Ausdruck $\frac{n_D - n_C}{d} \cdot 10^4$ zu verstehen ist und für Δ Arom. je nach der Fraktion folgender Wert eingesetzt wird:

Fraktion	Δ Arom.
65-95° (Benzol)	190,2
95-122° (Toluol)	185
122-150° (Xylol)	179,2
150-175° (C ₉ -C ₁₀)	175
175-200° (C ₁₀ -C ₁₁)	171

Etwas genauer erfolgt die Umrechnung der gefundenen Δ -Werte in Gew.-% Arom. nach einer von Grosse und Wackher in ihrer Arbeit ange-

./.

POOR COPY

3

POOR COPY

gegebenen Tabelle, bei der auch die geringfügigen Abweichungen von der Additivität berücksichtigt sind. Nach dieser Tabelle sind auch die Dreieckskoordinaten der vorliegenden Arbeit angefertigt.

Rascher als durch Berechnung nach Formel I können die $\%$ -Gehalte an Aromaten, Naphthenen und Paraffinen unmittelbar auf graphischem Wege ermittelt werden. Im vorliegenden wurde das Verfahren der Dreieckskoordinaten gewählt (Blatt I-IV im Anhang für jede Benzinfraction). Die Δ - und R-Werte sind als Kurvenschaaren eingetragen. Der den experimentell gefundenen Werten entsprechende Schnittpunkt liefert durch seine Abstände von den gegenüberliegenden Dreiecksseiten (bzw. deren Projektionen auf die mit $\%$ -Skalen versehenen Dreiecksseiten entlang den Dreieckskoordinaten) die Zusammensetzung des Produktes hinsichtlich der drei genannten Komponenten.

Zur Erläuterung diene nebenstehende Fig.A. Die Kurvenschaaren sind hier der Übersichtlichkeit halber fortgelassen. Der Punkt A sei als Schnittpunkt der experimentell gefundenen Δ - und R-Werte festgelegt worden. Der Gehalt an Naphthenen ergibt sich aus dem Abstand AB des Punktes A von der dem Eckpunkt "Naphth." gegenüberliegenden Seite als dessen Projektion auf die Naphthenskala mit 50 %, dementsprechend der Gehalt an Aromaten mit 20 % und der an Paraffinen mit 30 %. Die Summe der drei Projektionen ist für jeden beliebigen Punkt des Dreieckes, wie leicht ersichtlich, immer eine ganze Dreiecksseite, d.h. gleich 100 %.

Bei der Anfertigung der beiliegenden Dreieckskoordinatenblätter sind sowohl die im vorliegenden beschriebenen Abweichungen von $R_{Arom.}$ als auch die von Gosse und Wackher behandelten Abweichungen von $\Delta_{Arom.}$ von der Mischungsregel berücksichtigt.

Aus verschiedenen Erfahrungen hat sich folgende Arbeitsschrift zur Analyse handelsüblicher Benzine ergeben:

Etwa 100 - 200 g Benzin werden unter Verwendung einer Widmer-Spirale in Fraktionen von 65-95°, 95-122°, 122-150° und 150-200° destilliert und die Fraktionen gewogen. Ein Vorlauf bis 65° wird für sich gewogen und dann mit der Fraktion 65-95° vereinigt.

Hierauf werden die Fraktionen in geeignete Pyknometer von 10 - 25 ccm Inhalt gefüllt - vorteilhaft sind Messkülbchen-Pyknometer mit etwa 2-3 mm enger Kapillare - und die Dichte bei genau 20,0° ($\pm 0,1^\circ$) bestimmt

./1

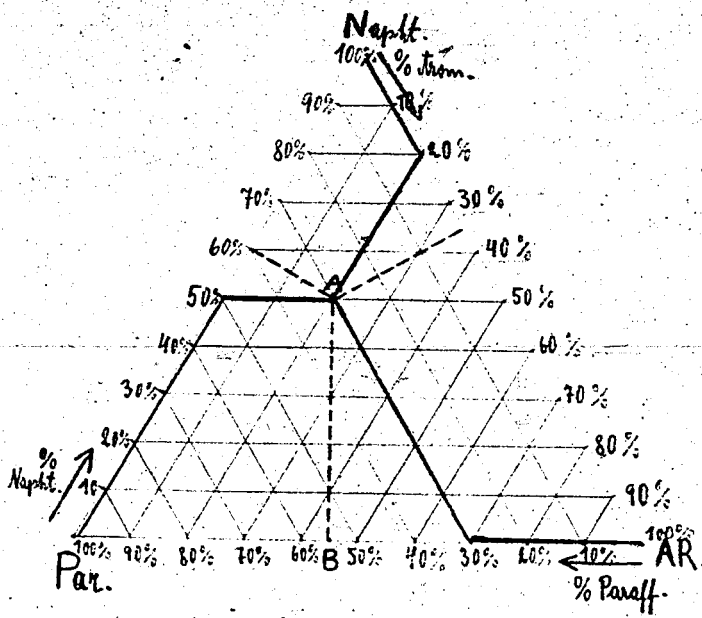
POOR
COPY

3

PO
CO

Fig. A

31059



POOR COPY

3

POOR COPY

und auf 4 Dezimalen mit folgender üblicher Formel berechnet:

$$d_{20/4} = \frac{F \cdot 0,99717}{W} + 0,0012$$

F = Gewicht der Substanz im Pyknometer bei 20°

W = Gewicht des Wassers im Pyknometer bei 20°

Nach Auswägen der Pyknometer werden diese - insbesondere bei Raumtemperaturen, die von 20° erheblich abweichen - wieder in das Temperierbad gestellt und das Abbe-Refraktometer mit Temperierwasser auf genau 20° (± 0,1°) eingestellt. Sodann entnimmt man den Pyknometern mit Hilfe von zur Spitze ausgezogenen Glasröhrchen eine Probe und führt die Flüssigkeit in die verschlossenen Prismen des Abbe-Refraktometers durch die hierfür vorgesehene Nut ein. n_D und Dispersions-Trommelwert können hierauf sofort abgelesen werden. Zur richtigen Abschätzung des Farbtones bei der Trommelablesung empfiehlt es sich, vorher mehrere Substanzen (z.B. Benzol sowie aromatenfreie Benzine) auf den von der Theorie geforderten Dispersionswert einzustellen. Auch der Wasserwert n_D(20°) 1,3330 ist von Zeit zu Zeit nachzuprüfen. Sodann werden die spezifischen Refraktionen $\frac{n-1}{d}$ sowie an Hand der Zeiss-Tabellen die spezifischen Dispersionen auf 4 Stellen berechnet.

Mit beiden Werten geht man nun in das der Fraktion entsprechende Dreieckskoordinatenblatt ein, fixiert den Schnittpunkt zweckmäßig mit einer Stecknadel und liest den entsprechenden Gehalt an Aromaten, Naphthenen und Paraffinen ab. Die Ergebnisse aus den 4 Fraktionen werden schließlich auf das Gesamtbenzin umgerechnet.

Für den Vorlauf -65°, dessen Konstanten der Fraktion 65-95° nicht genau entsprechen, wird folgende Korrektur vorgenommen:

- Für 10% Vorl.: % Paraff.korr. = (% Paraff.unkorr. x 0,99) - 1
- " 20% " : % Paraff.korr. = (% Paraff.unkorr. x 0,98) - 2
- " 30% " " = (" " x 0,97) - 3
- " 40% " " = (" " x 0,96) - 4
- " 50% " " = (" " x 0,95) - 5

$$\% \text{ Vorl.} = \frac{100 \cdot g \text{ Vorl.}}{g \text{ Vorl.} + g \text{ Frakt. } 65-95^\circ}$$

% Paraff.unkorr.: der für die Mischung aus Vorlauf und Frakt. 65-95° unmittelbar aus Blatt I abgelesene Paraffingehalt

% Paraff.korr.: der nunmehr berichtigte Paraffingehalt des Gemisches.

./.

POOR
COPY

3

PO
CO

Die Ableitung obiger Korrektionsformeln erfolgte mit Anwendung rechnerischer Vereinfachungen unter der Voraussetzung, daß der Vorlauf wesentlich reicher an Paraffin ist als die Fraktion 65-95° und mit Annahme eines $R_{\text{Par.}} = 0,5700$ (Pentane und Hexane). Beide Voraussetzungen treffen mit hinlänglicher Sicherheit zu.

Enthält das Benzin niedere Alkohole, so sind diese vor der Analyse mit Wasser oder CaCl_2 sorgfältig zu entfernen.

Enthält das Benzin Olefine, was an Hand der Brom-, Jod- oder Hydrierzahl leicht festgestellt werden kann, so erfolgt die Bestimmung des Aromatengehaltes nach den Angaben von Grosse und Wackher auf Grund der Formel III. Die Menge der vorhandenen Olefine ergibt sich aus deren Jod-, Brom- oder Hydrierzahl und dem (meist aus dem Siedebereich geschätzten) Molekulargewicht. Zur Bestimmung der Naphthene und Paraffine brauchen die Olefine - wofern in der Hauptsache aliphatische Mono-Olefine zu erwarten sind und höchste Genauigkeit nicht erforderlich ist - nicht abgetrennt zu werden. Da nämlich die spezifischen Refraktionen der aliphatischen Mono-Olefine (für Cyclo-Olefine und Di-Olefine trifft dies nicht zu!) mit denen der Aromaten von entsprechendem Siedepunkt einigermaßen übereinstimmen, so kann man in die Dreiecksordinate oder Formel I für % Aromaten die Summe aus Gew.-% Aromaten und Gew.-% Olefine einsetzen. Der Schnittpunkt mit der entsprechenden R-Kurve liefert dann den Paraffin- und Naphthengehalt.

In der letzten Fraktion (150-200°) kann das Auftreten dicyclischer Naphthene Fehler hervorrufen, da diese infolge ihrer niedrigeren spezifischen Refraktion ($R = \text{ca. } 0,540$) etwa die doppelte Menge monocyclischer Naphthene vortäuschen. Dementsprechend wird man in solchen Fällen zu hohe Naphthengehalte finden. Methoden, die diesen Fehler vermeiden, sind nicht bekannt.

Meßergebnisse.

Tabelle I enthält die physikalischen Konstanten der verwendeten individuellen Benzinkomponenten und aromatenfreien Benzine, Tabelle II die Meßergebnisse an zahlreichen selbst hergestellten Mischungen sowie Beispiele einiger technischer Benzine. Die Resultate stimmen durchwegs innerhalb 2-4 % mit den eingewogenen Mengen überein.

In Tabelle III wurde eine von Grosse und Wackher¹⁾ an Mischungen aus

¹⁾ A.V.Grosse und R.C.Wackher, Ind.Eng.Ch.Anal.Ed.Bd.11, 614 (1939)

POOR
COPY

3

Benzol, n-Heptan und Cyclohexan ausgeführte Meßreihe im Sinne des vorliegenden Verfahrens umgerechnet. Die Ergebnisse sind durchaus in Übereinstimmung mit den eigenen Resultaten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß das neue refraktometrische Verfahren, das die meist mühsame und zeitraubende chemische Abtrennung einzelner Komponenten in der Benzolanalyse vermeidet, nicht nur durch seine einfache und rasche Durchführung, sondern auch mit Rücksicht auf die Genauigkeit der erzielten Ergebnisse in der Benzolanalyse Beachtung verdient. Weitere analytische Anwendungsmethoden sind in Ausarbeitung.

gez. Leithe

Die vorliegende Arbeit wurde im Juli 1940 im Ammonlabor Oppau begonnen und im Oktober 1940 wegen Abberufung des Verfassers zum Reichsamt für Wirtschaftsausbau, Berlin, unterbrochen. Von Mai 1942 an wurden im Analytischen Labor Heydebreck zahlreiche neue Messungen durchgeführt und verschiedene Verfeinerungen und Ergänzungen angebracht. Die Arbeit wurde im September 1942 abgeschlossen.

Die Hauptergebnisse dieser Untersuchung wurden in der Gruppenführerbesprechung vom 17.10.1940 in Oppau bereits kurz referiert.

Tabella I

31063

Konstanten der Testsubstanzen.

Substanz	$n_D(20^\circ)$	$d_{20/4}$	$\frac{n-1}{d}$	Δ
Benzol	1,5007	0,8787	0,5697	189,0
Cyclohexan	1,4260	0,7785	0,5472	96,5
n-Heptan	1,3875	0,6838	0,5667	98,5
Toluol	1,4956	0,8656	0,5726	184,5
Xylol	1,4937	0,8606	0,5737	175,0
F-Benzin ¹⁾ Sdp. 80-100°	1,3844	0,6779	0,5670	99,0
F-Benzin Sdp. 100-150°	1,3943	0,6951	0,5673	98,5
"Heptan aus Petroleum"	1,3979	0,7119	0,5589	100,5

1) Synthesebenzin, rein paraffinisch.

Tabelle II

31064

Messungen aus dem Analyt. Labor. Heydebreck.

Reihe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Substanz	Gew.-%	$n_D(20^\circ)$	d_{20}	$\frac{n-1}{d}$	Δ	Gew.-% gef.	Vol.-% vorh.	4) ber. n. Seidler
Benzol	88,5	1,4826	0,8486	0,5687	177,0	86,7	85,7	
n-Heptan	11,5					12,5	14,3	- 13,7
Benzol	72,0	1,4601	0,8100	0,5680	160,4	69,5	66,7	
n-Heptan	28,0					32,5	33,3	5,6
Benzol	56,2	1,4407	0,7770	0,5672	147,3	55,5	50	
n-Heptan	43,8					48,8	50	21,3
Benzol	39,0	1,4223	0,7453	0,5666	132,5	39,3	33,3	
n-Heptan	61,0					62,3	66,7	42,3
Benzol	17,6	1,4020	0,7096	0,5665	112,5	16,9	14,3	
n-Heptan	82,4					85,3	85,7	70,4
Benzol	87,1	1,4881	0,8618	0,5664	176,5	86,2	85,7	
Cyclohexan	12,9					14,9	14,3	40,4
Benzol	69,3	1,4725	0,8407	0,5620	156,7	65,5	66,7	
Cyclohexan	30,7					32,8	33,3	65,8
Benzol	53,1	1,4597	0,8232	0,5584	144,5	52,5	50	
Cyclohexan	46,9					49,5	50	76,9
Benzol	36,2	1,4475	0,8071	0,5545	129,2	35,8	33,3	
Cyclohexan	63,8					67,9	66,7	95,4
Benzol	15,9	1,4349	0,7901	0,5504	109,0	13,0	14,3	
Cyclohexan	84,1					87,6	85,7	106,2
Toluol	88,3	1,4795	0,8393	0,5713	174,5	88,5	85,7	
n-Heptan	11,7					8,3	14,3	5,0
Toluol	71,7	1,4585	0,8042	0,5701	160,3	72,5	66,7	
n-Heptan	28,3					26,2	33,3	21,3
Toluol	55,8	1,4404	0,7738	0,5691	145,5	55,5	50	
n-Heptan	44,2					45,2	50	37,5
Toluol	38,8	1,4225	0,7436	0,5682	131,0	38,7	33,3	
n-Heptan	61,2					63,2	66,7	54,8
Toluol	17,5	1,4023	0,7093	0,5672	114,0	18,7	14,3	
n-Heptan	82,5					84,0	85,7	75,4
Toluol	87,0	1,4843	0,8514	0,5688	174,5	88,5	85,7	
Cyclohexan	13,0					17,4	14,3	24,3
Toluol	69,1	1,4700	0,8330	0,5642	159,0	71,0	66,7	
Cyclohexan	30,9					34,9	33,3	48,3
Toluol	52,7	1,4580	0,8178	0,5600	142,2	51,8	50	
Cyclohexan	47,3					49,6	50	67,5
Toluol	35,8	1,4465	0,8036	0,5556	128,0	35,1	33,3	
Cyclohexan	64,2					68,1	66,7	87,1

4) Lab.-Ber. Nr. 1689 vom 26.5.42. Dr. R. Seidler

Tabelle II. 1. Forts.

31065

Reihe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Substanz	Gew.-%	$n_D(20^\circ)$	d_{20}	$\frac{n-1}{d}$	Δ	Gew.-% gef.	Vol.-% vorh.	ber.n. Seidler
Toluol	15,6	1,4345	0,7886	0,5510	110,5	14,7	14,3	
Cyclohexan	84,4					87,2	85,7	103,0
Xylol	71,6	1,4580	0,8018	0,5712	151,5	66,0	66,7	
n-Heptan	28,4					33,5	33,3	30,4
Xylol	55,7	1,4406	0,7724	0,5704	144,5	57,2	50	
n-Heptan	44,3					41,7	50	48,8
Xylol	38,6	1,4229	0,7429	0,5693	127,8	36,5	33,3	
n-Heptan	61,4					65,8	66,7	63,5
n-Heptan	64,0	1,3994	0,7140	0,5594	97,5	63,3	66,7	55,0
Cyclohexan	36,0					36,7	33,3	45,0
n-Heptan	47,0	1,4056	0,7293	0,5561	98,5	45,0	50	36,2
Cyclohexan	53,0					55,0	50	63,8
n-Heptan	30,6	1,4120	0,7451	0,5530	97,5	27,8	33,3	17,5
Cyclohexan	69,4					72,2	66,7	82,5
Benzol	72,2	1,4590	0,8084	0,5678	162,5	71,7	66,7	
F-Benzin	27,8					28,9	33,1	1,3
Benzol	56,5	1,4393	0,7747	0,5671	147,0	55,2	50	
F-Benzin	43,5					46,1	50	17,5
Benzol	39,3	1,4202	0,7416	0,5666	131,0	37,7	33,3	
F-Benzin	60,7					64,3	66,7	38,4
Benzol	55,3	1,4466	0,7918	0,5640	147,5	55,7		
Heptan aus Petr.	44,7					27,2 Par. 17,1 Napht.		
Benzol	38,2	1,4297	0,7644	0,5622	132,7	39,5 Arom. 36,8 Par. 23,7 Napht.		
Heptan aus Petr.	61,8							
Benzol	20,2	1,4138	0,7384	0,5604	118,5	23,8 Arom. 44,5 Par. 31,7 Napht.		
Heptan aus Petr.	79,8							
Heptan aus Petr.		s.Tab. I				2,9 Arom. 57,8 Par. 39,3 Napht.		
Toluol	54,0					53,2	50	
F-Benzin II	21,7	1,4505	0,7982	0,5644	143,5	25,8	25	11,3
Cyclohexan	24,3					21,0	25	38,7

Tabelle II. 2. Forts.

31066

Reihe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Substanz	Gew.-%	$n_D(20^\circ)$	d_{20}	$\frac{n-1}{d}$	Δ	Gew.-% gef.	Vol.-% vorn.	ber. n Reidl.
Toluol	37,1					35,5	33,3	
F-Benzin II	29,7	1,4361	0,7764	0,5617	128,3	32,6	33,3	19,8
Cyclohexan	33,2					31,9	33,3	46,9
Toluol	27,9					26,3	25	
F-Benzin II	22,3	1,4330	0,7757	0,5582	120,8	24,7	25	10,6
Cyclohexan	49,8					49,0	50	64,4
Toluol	28,6					28,6	25	
F-Benzin II	45,8	1,4252	0,7559	0,5627	122,8	48,7	50	37,0
Cyclohexan	25,6					22,7	25	38,0
Benzol	30,9	in die Fraktionen 65-95, 95-122 und 122 destilliert und jede Fraktion gesondert untersucht.						
Toluol						28,1		
Xylol								
Cyclohexan						29,2		
F-Benzin I								
F-Benzin II	39,2				42,7			
Ältere Messungen aus Oppau								
Benzol	33,3					33		
n-Heptan	33,3	1,4299	0,7673	0,5603	126,7	31		
Cyclohexan	33,3					36		
Benzol	25					26		
n-Heptan	50	1,4180	0,7439	0,5619	120,7	50		
Cyclohexan	25					24		
Benzol	50					49		
n-Heptan	25	1,4446	0,7910	0,5621	141,0	24		
Cyclohexan	25					26		
Benzol	25					26		
n-Heptan	25	1,4283	0,7682	0,5576	120,8	25		
Cyclohexan	50					49		
Benzin aus bad. Erdöl, mit H ₂ SO ₄ von Aromaten u. dgl. befreit								
						% Arom.	% Paraff.	% Napht.
Frakt.								
70-95°		1,3950	0,7053	0,5601		67		33
95-122°		1,4033	0,7196	0,5604		72		28
130-150		1,4113	0,7344	0,5601		71		29
150-170		1,4188	0,7493	0,5589		68		32

Tabelle II, 3. Forts.

31067

Benzin, Ligroin und Sangajol vermutlich rumänischer Herkunft.

	n_D	d_{20}	$\frac{n-1}{d}$	Δ	Arom.	Gew.-%	
						Napht.	Paraff.
Benzin Sdp. 70-95 ⁰	1,3991	0,7150	0,5582	102,5	5	43	52
Ligroin Frakt. 95-122	1,4103	0,7339	0,5591	107,0	10	40	50
" " 122-145	1,4210	0,7531	0,5590	109,0	12	45	43
Sangajol " 122-150	1,4283	0,7647	0,5601	116,3	21	43	36
" " 150-175	1,4340	0,7760	0,5593	116,0	23	44	33

Hydrierbenzine (Hochdruckversuche), von Aromaten befreit.

Benzin A, Frakt. 95-122	1,4163	0,7545	0,5518	98,8	0	82	18
" " 122-150	1,4271	0,7753	0,5509	98,5	0	93 ⁺⁾	7
" " 150-175	1,4441	0,8105	0,5479	103,3	5	100 ⁺⁾	
Benzin B, Frakt. 70-95	1,4076	0,7366	0,5533	97,5	0	70	30
" " 98-122	1,4158	0,7519	0,5530	97,3	0	75	25
" " 122-150	1,4237	0,7652	0,5537	97,3	0	74 ⁺⁾	26
" " 150-175	1,4408	0,8009	0,5504	98,5	0	96 ⁺⁾	4

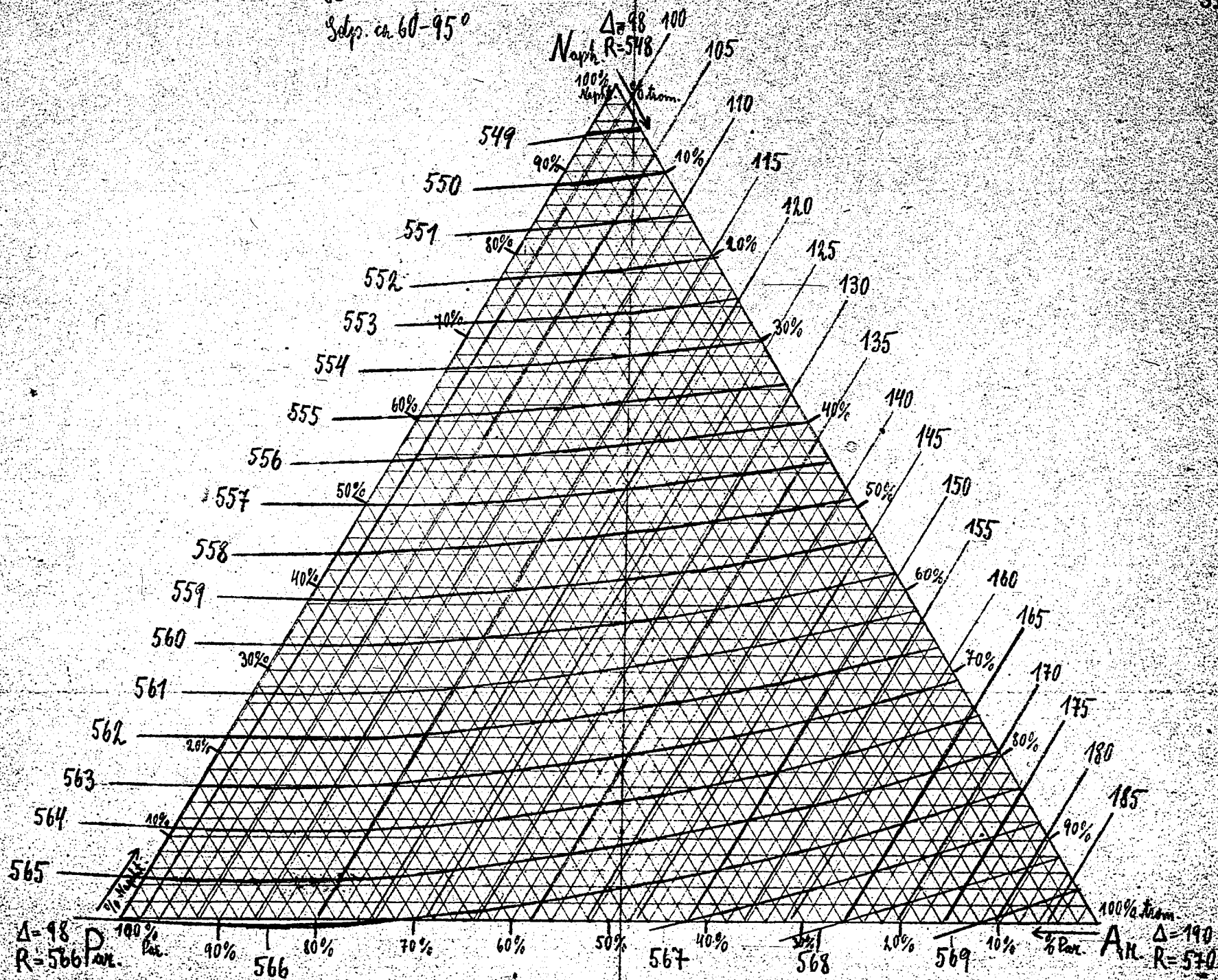
+) Resultat durch evtl. vorhandene dicyclische Naphthene unsicher.

Tabelle III, 31068
 berechnet nach Messungen von Grosse u. Wackher.

Reihe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Substanz	Gew.-%	$n_D(20^\circ)$	d_{20}	$\frac{n-1}{d}$	Δ	Gew.-% gef.	Vol.-% vorh.	Vol.-% berechn. Seide
n-Heptan	48,4	1,4050	0,7270	0,5571	96,8	51	45	44
Cyclohexan	51,6					49	55	56
Benzol	11,9	1,4142	0,7423	0,5580	107,1	10	10	
n-Heptan	41,1					45	45,5	31
Cyclohexan	47,0					45	44,5	59
Benzol	30,2	1,4282	0,7650	0,5597	123,7	30	26,5	
n-Heptan	32,5					33	36,5	13,5
Cyclohexan	37,3					37	37	60
Benzol	53,7	1,4493	0,7978	0,5632	145,5	53	49	
n-Heptan	21,8					25	26	3
Cyclohexan	24,5					21	25	48
Benzol	54,1	1,4611	0,8244	0,5593	145,5	54	51	
Cyclohexan	45,9					45	49	69
Benzol	52,2	1,4365	0,7696	0,5672	143,4	52	46	
n-Heptan	47,8					50	54	28
Benzol	78,7	1,4751	0,8391	0,5662	168,5	78	75	
n-Heptan	9,8					10	12,5	-16
Cyclohexan	11,5					12	12,5	41

I
Benzin
Sdyp. ca. 60-95°

31068

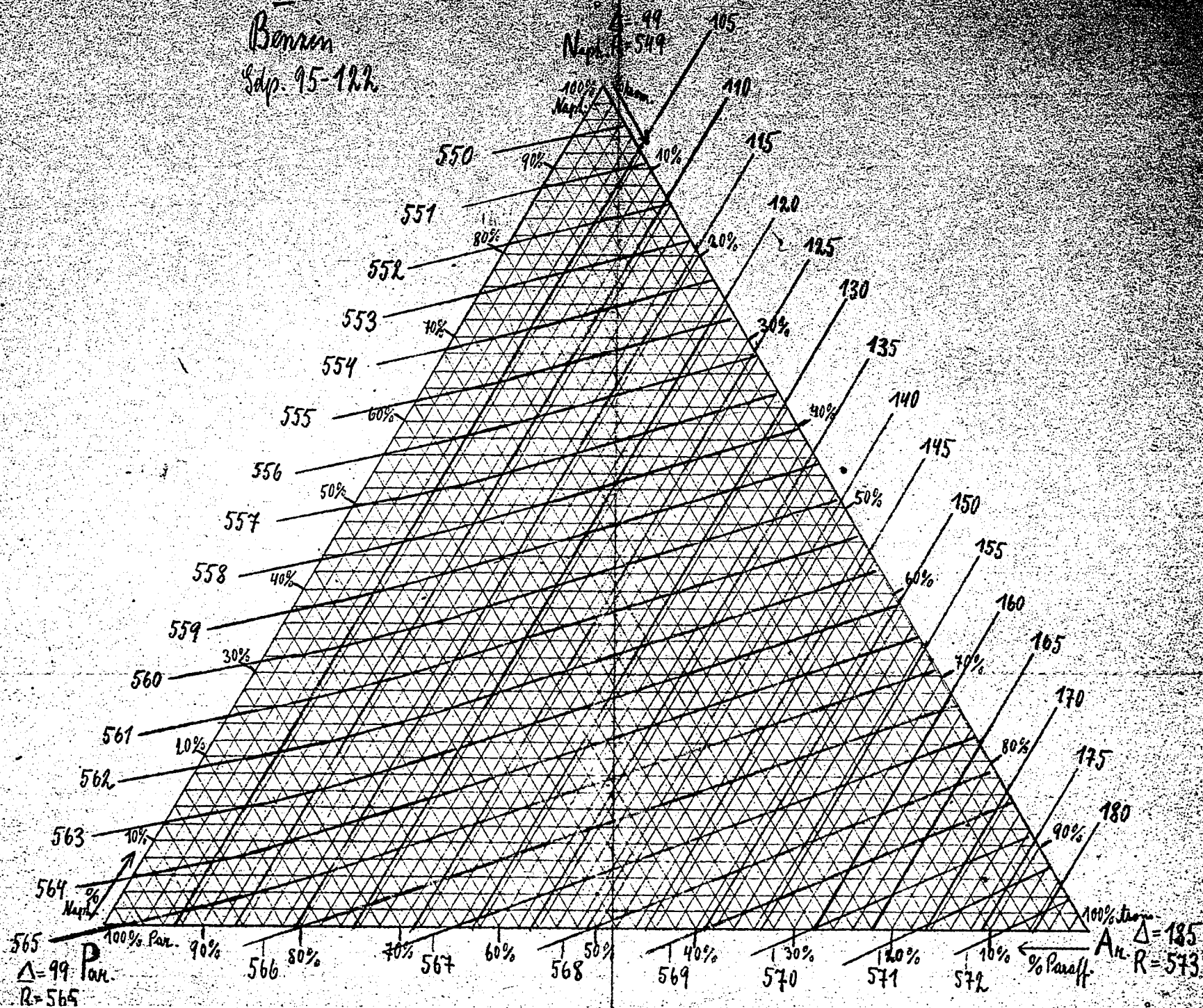


POOR
COPY

3

31068

II
Barron
Sep. 95-122

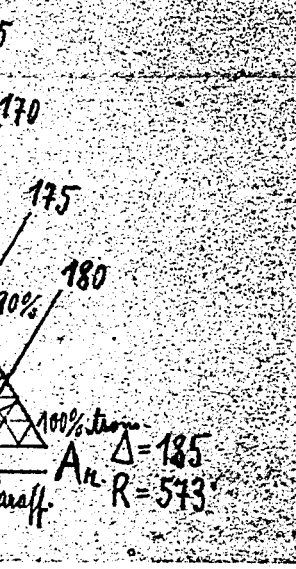
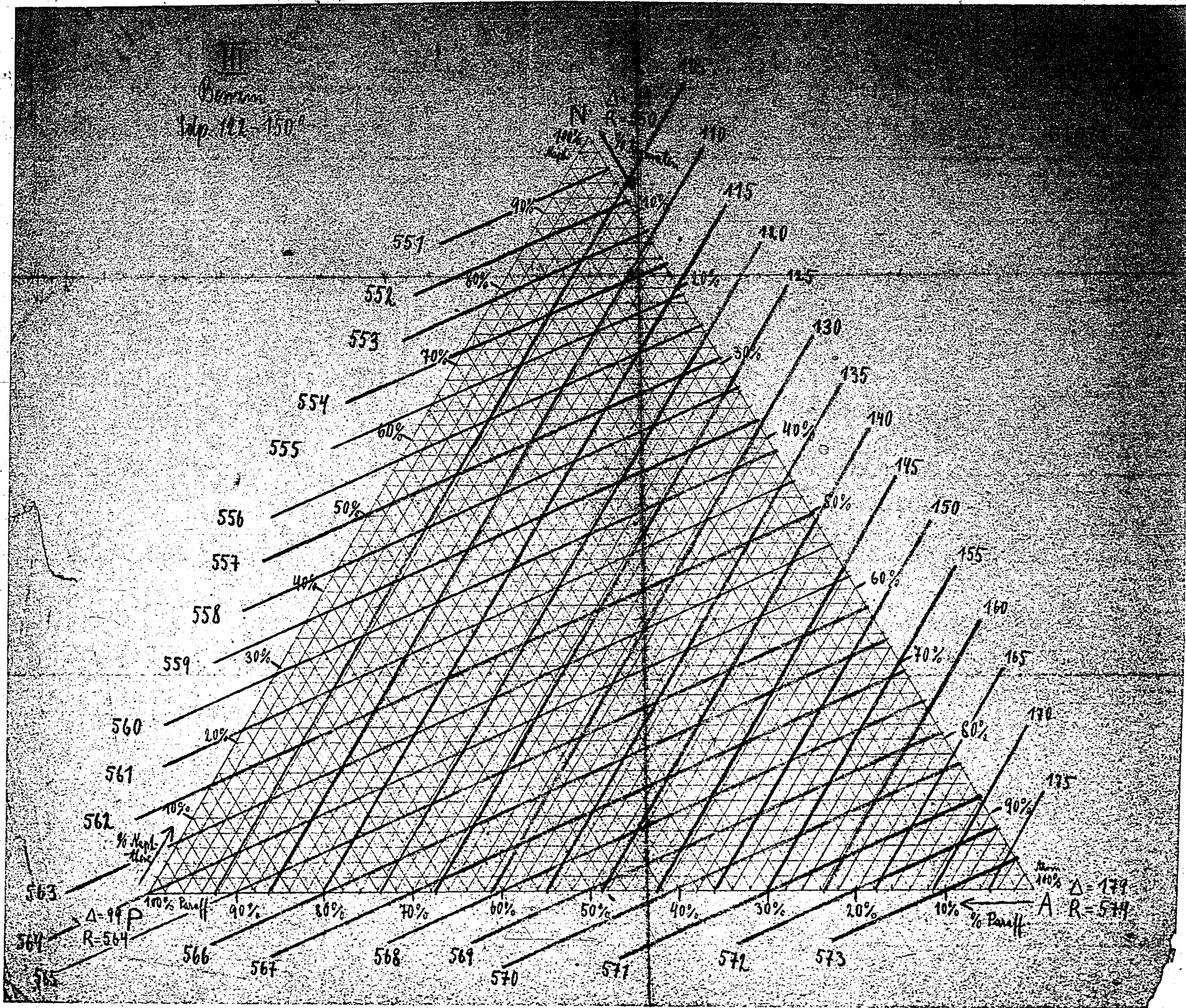


185

0% Napth.
Δ=190
R=570

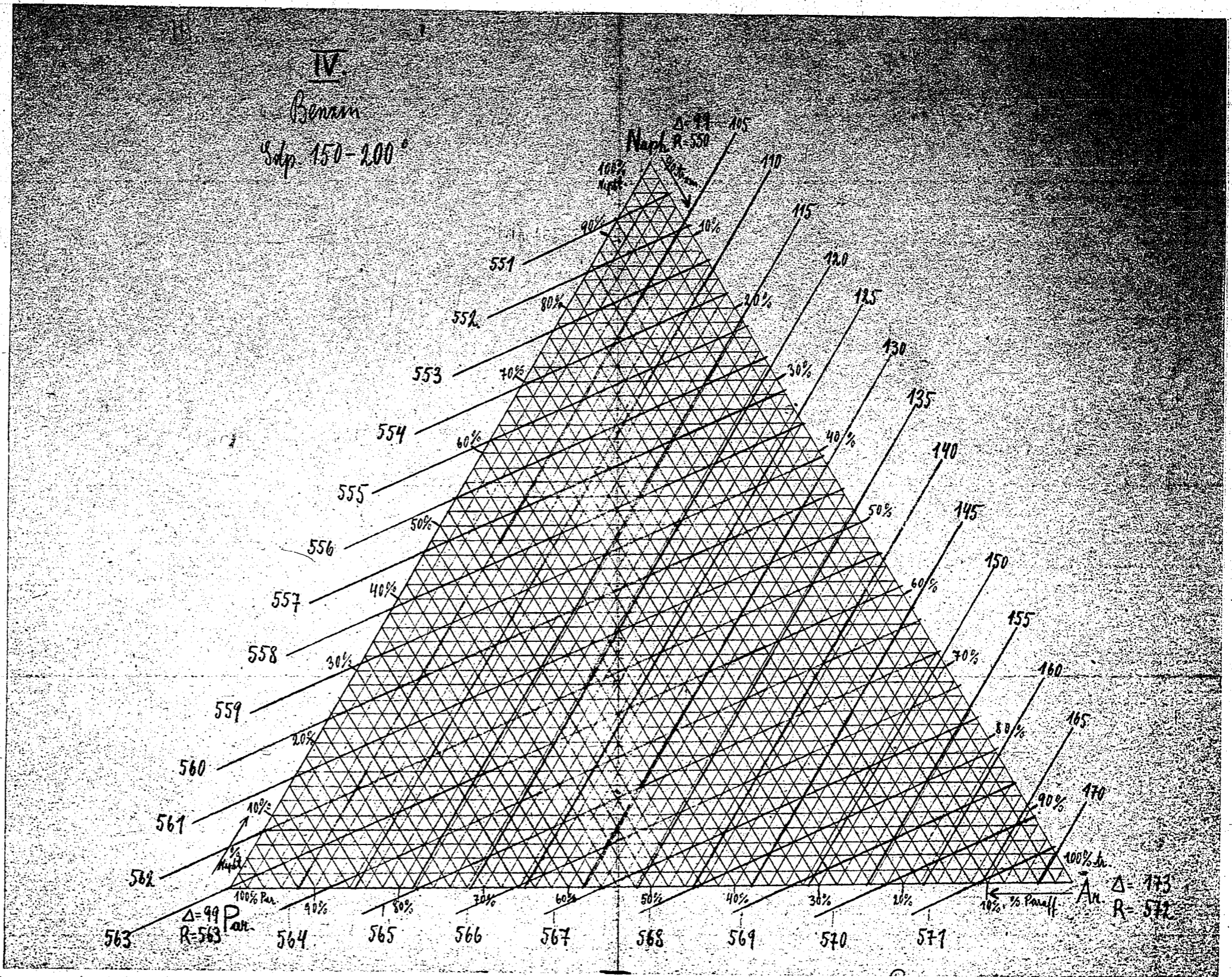
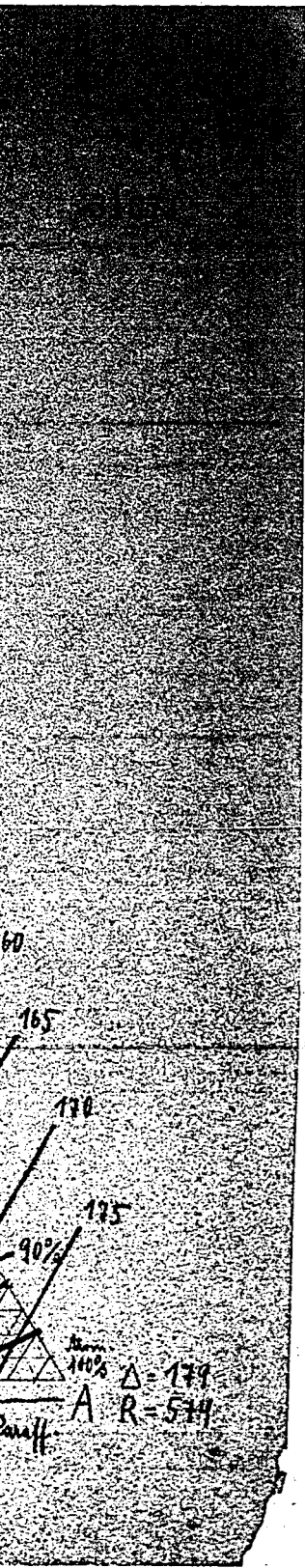
POOR
COPY

3



POOR COPY

3



POOR
COPY

3

Hochdruckversuche
Lu 558.

Zurück an
Vorzimmer Dir. Dr. Pier.

31073

4. August 1942. De/Le.

Geheimlich

Über die Entwicklung der Flugmotoren.

I. Teil.

Ich berichte Ihnen einiges über die Entwicklung der Flugmotoren. In meinem heutigen Referat will ich versuchen, Ihnen einen kurzen allgemeinen Überblick über die Massnahmen zu geben, die man anwendet, um die Motorleistung zu steigern und damit die Geschwindigkeit und das Steigvermögen der Flugzeuge zu erhöhen. In einem späteren Referat will ich dann insbesondere auf die Konstruktion der Flugmotorenzylinder eingehen, die von der Kraftstoffseite aus gesehen am interessantesten ist. Dabei soll z.B. gezeigt werden, wie ^{man} mit einem gegebenen Kraftstoff aus einem Zylinder von gegebenem Rauminhalt durch geeignete Gestaltung des Verbrennungsraumes und der ihn einschliessenden Teile eine größtmögliche Leistung herausholen kann. Hierher gehören u.a. auch die Fragen, welche die Anordnung der Ventile und der Zündkerzen oder die Kühlung des Zylinderkopfes betreffen. Auch über die Konstruktion der Kolben und über das Ringstecken wird einiges zu sagen sein, sowie über die Einwirkung des Bleigehaltes der Kraftstoffe auf die Ventile und Zündkerzen.

Die ersten Flugmotoren in den Jahren vor 1914 entwickelten sich aus den damaligen Automotoren. Aber schon bald zeigte es sich, dass es nötig war, das Gewicht der Motoren zu verringern und gleichzeitig ihre Leistung wesentlich zu erhöhen, sodass die Entwicklung der Flugmotoren bald ihre eigenen Wege ging. Für einen neuzeitlichen Flugmotor sind die wichtigsten konstruktiven Forderungen eine möglichst hohe Leistung bei kleinstem Gewicht und geringstem Raumbedarf, insbesondere eine kleine Stirnfläche zur Erzielung eines geringen Luftwiderstandes, sowie ein niedriger Kraftstoffverbrauch. Während man beim Automotor je PS der Motorleistung 3 - 9 kg Gewicht des Motors in Kauf nehmen kann - man nennt dieses Gewicht das Leistungsgewicht des Motors -, wird beim Flugmotor ein Leistungsgewicht bis zu 0,5 kg/PS und sogar noch

-2-

20509

darunter gefordert. Bei Automotoren bewegt sich die je Liter Zylindervolumen erzielte Leistung zwischen 8 - 25 PS/Ltr., bei Flugmotoren beträgt diese sogenannte Literleistung 20 - 40 PS/Ltr. und darüber. Ein Flugmotor kann also nicht so robust gebaut werden wie ein Automotor und ist daher auch wesentlich empfindlicher, sein Verschleiss höher und seine Lebensdauer geringer. Die Laufzeit der Motoren zwischen 2 Grundüberholungen ist dementsprechend, sie beträgt bei Automotoren etwa 1500 - 3000 Std., bei Flugmotoren 100 - 600 Std. Dabei kann vielleicht die erstere Zahl für empfindliche, stets höchst beanspruchte Motoren in Jagdflugzeugen gelten, während die für Flugmotoren äusserst langen Laufzeiten von 600 Std. von der Deutschen Lufthansa vor Ausbruch des Krieges in ihren Verkehrsflugzeugen erzielt wurden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Beanspruchung der Motoren im normalen Luftverkehr nicht so gross ist wie in Kriegsflugzeugen, wo das äusserste herausgeholt wird, und dass die Flugzeuge der Lufthansa fast durchweg mit dem luftgekühlten BMW 132-Motor ausgestattet waren, einem alten bewährten Motorenmuster, für das schon jahrelange Erfahrungen im Luftverkehr vorlagen.

Die Leistungsbeanspruchung eines Flugmotors ist wesentlich anders als beim Automotor. Der Start erfordert die höchste Leistung, die der Motor mit Rücksicht auf seine mechanische Festigkeit, seine Wärmebeanspruchung und die Klopfgrenze des Kraftstoffs überhaupt hergeben kann. Diese sogenannte Startleistung ist so hoch, dass sie im allgemeinen nur 1 Minute lang beibehalten werden kann, wenn der Motor nicht gefährdet werden soll. Um das Klopfen des Kraftstoffes zu vermeiden und eine gewisse innere Kühlung des Motors durch die Verdampfungswärme des Kraftstoffes zu erzielen, betreibt man den Motor beim Start mit 20 - 30 % Kraftstoffüberschuss. Sehr ungünstig liegen die Verhältnisse auch beim Steigflug, wo einerseits eine sehr hohe Motorleistung benötigt wird, andererseits aber die Kühlung des Motors wegen der geringen Fluggeschwindigkeit schlecht ist. Geringer ist die Beanspruchung des Motors beim Flug über lange Strecken. Man stellt dabei den Motor auf den wirtschaftlichsten Kraftstoffverbrauch ein, um mit einem gegebenen Kraftstoffvor-

rat eine möglichst grosse Strecke zurücklegen zu können, und nimmt dabei eine gewisse Minderleistung des Motors in Kauf. Diese sog. "Reiseleistung" beträgt nur 70 - 80 % der Volleistung.

Die Steigerung der Fluggeschwindigkeit von 190 km/h - dies war die Höchstgeschwindigkeit der Jagdflugzeuge am Ende des Weltkrieges - auf 600 - 700 km/h kann man etwa zu einem Drittel auf Erhöhung der Motorleistung und zu zwei Drittel auf aerodynamische Verbesserungen des Flugzeuges, also Verringerung seines Luftwiderstandes, zurückführen.

Die Fluggeschwindigkeit nimmt etwa mit der dritten Wurzel aus der Motorleistung zu. Erreicht z.B. ein Flugzeugbaumuster mit einer Motorleistung von 1000 PS eine Fluggeschwindigkeit von 500 km/h, so benötigt man zur Erhöhung der Fluggeschwindigkeit auf 600 km/h eine Motorleistung von über 1700 PS.

Wie die Leistungen der Flugmotoren seit Beginn der Fliegerei angestiegen sind, ist aus Abb. 1 zu ersehen. Die unterste Linie gibt die Motorleistungen für die in den angegebenen Jahren tatsächlich eingesetzten Motoren an; die zweite Linie gilt für die Baumuster, die in dem betreffenden Jahr in der Flugerprobung waren, die dritte Linie für die bei den Motorenfirmen im Versuchsstadium befindlichen Motoren und die oberste Linie zeigt die Leistungen für projektierte Motoren.

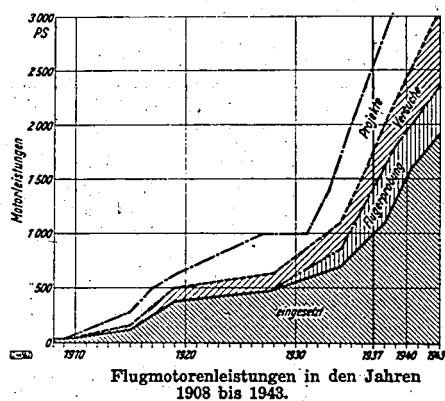


Abb. 1

Im Jahre 1903, in dem den Gebrüdern Wright der erste Motorflug gelang, verwendeten diese einen Motor von etwa 20 PS. Im Weltkrieg stieg die Leistung der Motoren dann rasch von ungefähr 150 PS auf 400 PS. In den Jahren nach dem Weltkriege machte die Motorenentwicklung lange Zeit nur geringe Fortschritte, um dann etwa vom Jahre 1928 an rasch in die Höhe zu steigen. Es ist wohl kein Zufall, dass dieser plötzliche Aufschwung der Entwicklung mit der Überquerung des Atlantischen Ozeans durch Lindbergh im Jahre 1927 zeitlich etwa zusammenfällt.

Man kann aus der Abbildung 1 auch ersehen, dass von dem konstruktiven Entwurf eines Motors bis zu seinem praktischen Einsatz noch ein langer Weg ist. So sind z.B. 1500 PS-Motoren, die im Jahre 1940 zur Verwendung kamen, schon 4 bis 7 Jahre vorher konstruiert worden.

In der Abbildung 2 sind die wichtigsten Bauformen der Flugmotoren dargestellt. Die einfachen einreihigen Motoren, die sowohl mit Wasserkühlung wie mit Luftkühlung gebaut werden, kommen nur für kleinere Leistungen in Frage. Die luftgekühlten Motoren der Hirth-Werke mit Leistungen von 100 - 200 PS weisen z.B. diese Bauform auf, zum Teil auch die Baumuster der Argus-Motorenwerke, der ältesten deutschen Flugmotorenfirma. Die einreihigen Motoren kommen nur bei kleineren Zivilflugzeugen sowie bei Schul- und Übungsflugzeugen zum Einbau und haben ein verhältnismäßig hohes Leistungsgewicht.

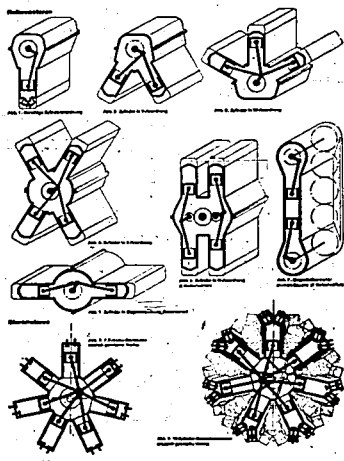


Abbildung 2.
Bauformen von Flugmotoren.

Das Leistungsgewicht eines Motors ist im allgemeinen um so niedriger, je mehr Kolben auf eine Kurbelwelle wirken. Günstiger hinsichtlich des Leistungsgewichtes als die einreihigen Motoren ist daher der V-Motor, der sowohl mit stehenden als auch mit hängenden Zylindern ausgeführt wird. Er wird meist als 12 Zylinder-Motor mit einer Leistung von etwa 1200 PS gebaut, insbesondere mit Flüssigkeitskühlung. Die stehende V-Form weist der bekannte englische Rolls-Royce "Merlin" auf, unsere Hochleistungsmotoren DB 601 und Jumo 211 haben die V-Form mit hängenden Zylindern. Beim W-Motor wirken 3 Reihen von Zylindern auf 1 Kurbelwelle oder bei 4 Reihen je 2 Reihen auf 1 Kurbelwelle. Lässt man 2 V-Motoren auf 1 Kurbelwelle arbeiten, so erhält man den X-Motor im allgemeinen einen 24 Zylinder-Motor mit Leistungen von über 2000 PS. Während beim X-Motor sämtliche Zylinder auf 1 Kurbelwelle arbeiten, haben der 4-reihige W- und der H-Motor 2 Kurbelwellen, die mittels Zahnradern auf die Luftschrauben-Nabe wirken. Die H-Form weist z.B. der englische luftgekühlte 24-Zylinder-Motor "Dagger" der Firma Napier auf. Als Gegenkolbenmotor, bei dem je 2 Kolben einen gemeinsamen Verbrennungsraum besitzen, werden die Junkers-Flugdiesel, wie der Jumo 205, gebaut. Besonders günstig erscheint auch die Form des Boxermotors, weil er sich verhältnismässig gut in die Flügel einbauen lässt. Der Sternmotor mit einem Zylinderstern oder mehreren Sternen hintereinander ist die wichtigste Bauform für die luftgekühlten Motoren. Er ist für die Luftkühlung besonders geeignet, weil alle Zylinder im freien Luftstrom liegen. Da sämtliche Zylinder auf eine einzige Kurbelwelle wirken, ist er verhältnismässig leicht und infolge seiner geringen Bautiefe gibt er dem Flugzeug eine gute Wendigkeit. Nachteilig ist jedoch der komplizierte Antrieb der Ventile.

Ein Vertreter der luftgekühlten Motoren ist der in Abb. 3 dargestellte BMW 132; bei dem deutlich der Ventilmechanismus zu erkennen ist. Der BMW 132 wird als Einzylindermotor für Überladeversuche verwendet und ist auch vom RLM als Schmieröl-Prüfmotor eingeführt. Beim Einzylindermotor ist auf dem Originalgehäuse nur 1 Zylinder aufgesetzt, die übrigen Öffnungen des Kurbelge-

POOR
COPY

4

POOR
COPY

31078

häuses sind mit Flanschen verschlossen.

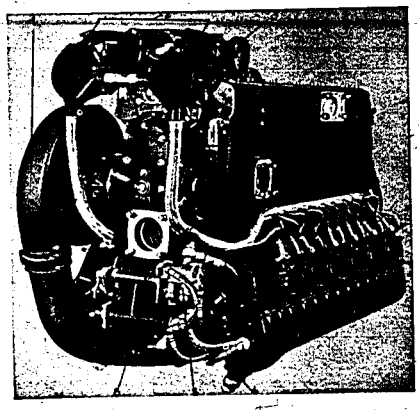


Luftgekühlter Sternmotor ~~BMW~~ 132.

Abbildung des Motors schräg von vorne

Abbildung 3

Als Typ eines wassergekühlten Motors zeigt Abb. 4 den DB 600 der Firma Daimler-Benz, der im Äusseren auch der ~~DB~~ 601 entspricht. Die 6 Zylinder einer Reihe sind in einem gemeinsamen Kühlblock vereinigt. Man sieht auf dem Bild auch die Abgasstutzen, den Tader und den Apparateteil mit Magnetzündern, Kraftstoff- und Schmierölpumpen.



wassergekühlter Flugmotor DB 600.

Schönheitsansicht von der Oberseite, rechts

1 - Pleueltrieb	4 - Schmierölpumpe
2 - Pleueltrieb	5 - Pleueltrieb
3 - Pleueltrieb	6 - Pleueltrieb

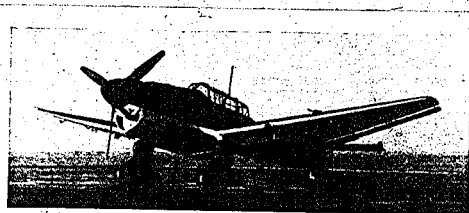
Abbildung 4

POOR COPY

4

POOR COPY

Der Einbau der Motoren in Flugzeuge ist aus den Abbildungen 5 und 6 zu ersehen. Der wassergekühlte Motor lässt sich aerodynamisch gut in den Flugzeugrumpf einbauen (Abb. 5: Sturzkampflugzeug Ju 87, bei dem deutlich an der Rumpfunterseite der Wasserkühler zu sehen ist); die luftgekühlten Motoren werden zur Führung der Kühlluft und zur Verringerung des Luftwiderstandes mit einer Blechhaube verkleidet, wie dies z.B. an dem Nahauflärer Hs 126 zu sehen ist (Abb. 6, in den ein 9 Zylinder-Sternmotor Bramo 323-Pafnr eingebaut ist.



Sturzkampflugzeug
Junkers Ju 87

Bestattung: a Mann
Bewaffnung: Sturze und bewegliche MG.

Abbildung 5



Nahauflärer
Heinkel He 126

Bestattung: a Mann
Bewaffnung: Sturze und bewegliche MG.

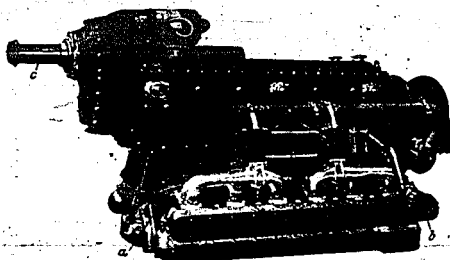
Abbildung 6.

Über die Frage, ob dem luft- oder flüssigkeitgekühlten Motor der Vorzug zu geben ist, wird seit vielen Jahren debattiert. Von einer eindeutigen Überlegenheit des einen oder anderen Typus kann jedoch nicht gesprochen werden. Während in Amerika häufig

POOR
COPY

4

sächlich die luftgekühlten Stern- bzw. Doppelstermmotoren entwickelt wurden und Verwendung finden, hat sich bei uns in Deutschland in erster Linie der flüssigkeitsgekühlte Motor durchgesetzt. Auch in England scheint man dieser Kühlungsart besonderes Augenmerk zu schenken. Die Flüssigkeitskühlung hat ohne Zweifel den Vorteil einer grösseren Sicherheit für eine ausreichende Kühlung. Besonders günstig für eine gleichmässige Kühlung ist die grosse Verdampfungswärme des Wassers und man kann bei einem wassergekühlten Motor mit Sicherheit darauf rechnen, dass an keiner Stelle der äusseren Zylinderwand die Temperatur über 100° steigen wird, vorausgesetzt den Fall, dass sich infolge schlechter Konstruktion und ungenügenden Wasserumlaufs keine Dampfsäcke bilden können. Der flüssigkeitsgekühlte Motor lässt sich bei einmotorigen Flugzeugen aerodynamisch günstig in den Flugzeugrumpf einbauen; auch lässt sich vorteilhaft eine Motorkanone anbringen, die durch die hohle Luftschraubennabe feuert und für die man im Motor ein gutes Fundament hat (Abb. 7).



Italienischer Flugmotor mit Motorkanone.

c) hohle Luftschraubennabe mit Motorkanone.

Isotta Fraschini, Baumuster Ass.

Abbildung 7.

Für die Luftkühlung ist bei Motoren grösserer Leistung der Sternmotor wegen der Anordnung seiner Zylinder und ihrer günstigen Lage zum Luftstrom am geeignetsten. Der Einbau einer Motorkanone ist jedoch beim Sternmotor infolge seiner Bauweise

nicht möglich und man ist daher bei Flugzeugen mit solchen Motoren auf leichtere Flügelkanonen angewiesen. Ausserdem behindert der Sternmotor infolge seines grossen Sterndurchmessers die Sicht und hat einen hohen Luftwiderstand. Da beim Sternmotor die Kolben sämtlicher Zylinder auf nur eine einzige Kurbelwelle wirken, hat man zwar ein sehr geringes Leistungsgewicht, zumal er auch keinen Kühler und kein Kühlwasser benötigt, aber die Beanspruchung des Kurbelzapfens ist eine ungeheure. Bei einem normalen 9 Zylinder-Sternmotor mit einer Leistung von 1000 PS und einer Drehzahl von 3000 U/Min. wirkt z.B. auf den Kurbelzapfen mehr als 10 000 mal in der Minute eine Kraft von über 10 t, also etwa die Last eines Eisenbahnwagens. In früherer Zeit, vor dem Weltkrieg und auch noch während des Weltkrieges suchte man die Schwierigkeiten hinsichtlich der Belastung des Kurbelzapfens dadurch zu verringern, dass man die Kurbelwelle feststehen und die Zylinder um sie umlaufen liess. Diese Umlaufmotoren waren aber nur bis zu Leistungen von etwa 200 PS brauchbar. Bei grösseren Motoren trat infolge der grossen umlaufenden Massen eine so starke Kreiselwirkung auf, dass diese Motorenbauart bald wieder verlassen werden musste. Der luftgekühlte Motor hat weiterhin den Vorteil der grösseren Beschussicherheit und der Sicherheit gegen Einfrieren während der flüssigkeitsgekühlte Motor besonders wegen seines Kühlers leichter verwundbar ist. Der Luftwiderstand ist beim flüssigkeitsgekühlten Motor trotz seiner aerodynamisch günstigen Einbaumöglichkeit im allgemeinen infolge des zusätzlichen Kühlers kaum geringer als bei einem gut verkleideten Sternmotor.

Den hohen Luftwiderstand des Wasserkühlers - er verbraucht unter Umständen bis zu 20 % der Motorleistung - sucht man auch dadurch zu verringern, dass man die Kühlmittemperatur erhöht und anstelle von Wasser eine Mischung mit Aethylenglykol verwendet oder das Kühlwasser unter Druck setzt und dadurch die Siedetemperatur erhöht, wie dies bei der Junkers-Kühlung der Fall ist. Diese Kühlungsarten bezeichnet man als Heisskühlung. Infolge der grösseren Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlmittel und der Kühlluft kann zur Abführung der gleichen Wärmemenge die Kühleroberfläche wesentlich kleiner als bei gewöhn-

licher Wasserkühlung gehalten werden. Früher wurde in Deutschland der BMW-6-Motor eine Zeit lang mit Glykol-Füsskühlung bei einer Kühltemperatur von 120-140°C betrieben, ebenso in England der Rolls-Royce "Merlin"-Motor. Die auftretenden Schwierigkeiten liessen jedoch die Glykolkühlung nie richtig aufkommen, die Motoren neigten leicht zum Klopfen und zum frühzeitigen Festkleben der Kolbenringe. Die Kühlwirkung des Aethylen-Glykols ist wesentlich schlechter als die von Wasser, was hauptsächlich auf seine schlechte Wärmeübergangszahl und seine geringe spezifische Wärme zurückzuführen ist. Auch Korrosionserscheinungen machten sich unangenehm bemerkbar. Dagegen soll sich die Junkers-Heisskühlung, bei der ja Wasser verwendet wird, sehr gut bewähren.

In den letzten Jahren zeigte sich eine neue Möglichkeit, den Luftwiderstand des Kühlers bei schnellen Flugzeugen durch besondere Führung der Kühlluft zu verringern. Die Luft, die durch den Kühler hindurchströmt, wird erwärmt und dehnt sich bei dieser Erwärmung aus. Durch diese Wärmezufuhr im Kühler tritt also die Luft mit einer grösseren Geschwindigkeit aus der Kühlerverkleidung aus als dies bei kaltem Kühler der Fall wäre. Diese Geschwindigkeitserhöhung der Kühlluft erzeugt einen Vortrieb, ähnlich wie bei einer Rakete. Dieser sogenannte "Kühlervortrieb" kann unter Umständen so gross werden, dass er den Luftwiderstand des Kühlers vollkommen ausgleicht und sogar dem Flugzeug noch einen zusätzlichen Schub gibt.

Die an das Kühlwasser abgegebene Wärmemenge beträgt beim Flugmotor beispielsweise 20 % der dem Motor im Brennstoff zugeführten Energie. Diese Wärme muss abgeführt werden, da sonst die den Verbrennungsraum einschliessenden Motorteile eine so hohe Temperatur annehmen würden, dass ein Betrieb nicht mehr möglich ist. Zur Vervollständigung der Wärmebilanz seien auch die übrigen an einem Hochleistungsmotor gemessenen Werte angegeben. In Nutzleistung werden etwa 25 % der im Kraftstoff enthaltenen Energie umgesetzt, etwa 45 % sind in den Abgasen enthalten, teils als sogen. "fühlbare Wärme", teils als chemische Energie, also Unverbranntes. Die restlichen 10 % gehen hauptsächlich durch Strahlung und Leitung verloren.

Das Problem, die grosse Menge der in den Abgasen noch enthaltenen Energie möglichst weitgehend auszunutzen, tritt bei weiterer Zunahme der Fluggeschwindigkeit und der Flughöhe immer mehr in den Vordergrund. Eine heute bereits weitgehend angewendete Anordnung besteht darin, dass man die Abgase durch geeigneten Strahldüsen nach rückwärts austreten lässt (Abb. 8), wobei dann die entstehende Reaktionskraft unmittelbar als **Vertriebskraft** zur Wirkung kommt. Dieser Strahlschub der Abgase entspricht z.B. bei einer Fluggeschwindigkeit von 600 km/h in Bodennähe einer Leistungserhöhung des Motors von 13 %, bei einer Fluggeschwindigkeit von 900 km/h sogar einer solchen von 20 %.

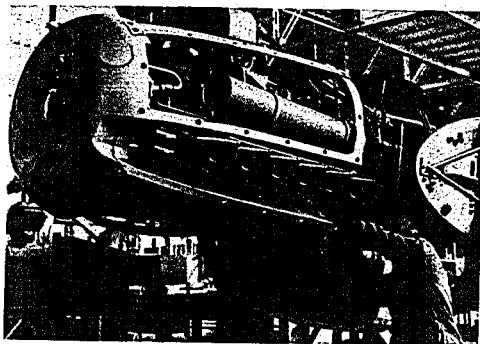


Abb. 14. Abgasstrahldüsen an der He 111 bei einem Motor DB 601

Abbildung 8.

Mit zunehmender Höhe erscheint es zweckmässig, die Abgasenergie in einer Abgasturbine auszunutzen und damit den Lader des Motors anzutreiben. Bei der Abgasturbine wird das Druckgefälle, das zwischen den Abgasen des Motors und der Aussenluft vorhanden ist und mit zunehmender Flughöhe immer grösser wird, ausgenützt; sie ist also für den Flug in grossen Höhen besonders geeignet. Die dadurch eingesparte Motorleistung kommt der Schraubenleistung also dem Vortrieb des Flugzeugs zugute. Wann es vorteilhafter ist, die Energie der Abgase lediglich durch Strahldüsen durch ihre Schubwirkung auszunutzen und wann es zweckmässiger ist, die Abgase hauptsächlich in einer Abgasturbine und nur den restlichen Teil der Energie in Schubdüsen auszunutzen, ist in Abb. 9 dargestellt. Das linke Diagramm bezieht sich auf einen Motor für eine

31084

- 12 -

Volldruckhöhe von 6 km, das rechte auf einen Motor für 12 km Volldruckhöhe. Bei dem Motor mit 6 km Volldruckhöhe ist die Anwendung einer Abgasturbine bis zu einer Fluggeschwindigkeit von 400 km, bei dem Motor mit 12 km Volldruckhöhe bis zu 900 km/h vorteilhafter als die anschliessliche Anwendung von Strahldüsen.

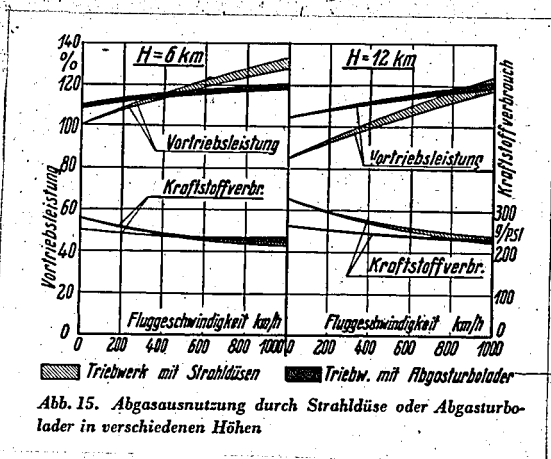


Abb. 15. Abgasausnutzung durch Strahldüse oder Abgasturbolader in verschiedenen Höhen

Abbildung 9

Eine Leistungsteigerung brachte auch der Übergang vom Vergasermotor zum Einspritzmotor. Sämtliche neueren deutschen Motoren grosser Leistung arbeiten mit Kraftstoffeinspritzung in den Saughub des Zylinders. Die ausländischen Motoren sind in dieser Beziehung noch rückständig, da sie fast durchwegs noch mit Vergasern ausgestattet sind. Die Vorteile der Einspritz-Motoren liegen hauptsächlich in einer höheren Leistung, in einer gleichmässigen Kraftstoffverteilung auf die einzelnen Zylinder und einem geringeren Kraftstoffverbrauch. Sollten später einmal höher-siedende Kraftstoffe als Sicherheitskraftstoffe Verwendung finden, so ist der Vergaser überhaupt nicht mehr anwendbar, und eine Einspritzung des Kraftstoffes nicht mehr zu umgehen. Die hohen Leistungen des Einspritzmotors gegenüber dem Vergasermotor sind hauptsächlich durch den Fortfall der Drosselverluste des Vergasers zu erklären und durch die Möglichkeit der Anwendung

el3

hoher Ventilüberschneidungen. Man kann dadurch den Zylinder mit Frischluft kräftig durchspülen, ohne dass dabei, wie es beim Vergasermotor der Fall wäre, Kraftstoff verloren geht. Durch das Spülen der Zylinder werden sowohl die Restgase entfernt und damit die Füllung verbessert, als auch der Zylinderkopf gekühlt und dadurch die Klopfneigung verringert. Besondere Nachteile des Vergasers sind demgegenüber noch seine Neigung zur Vereisung und Kondensatbildung, seine Lageempfindlichkeit und seine höhere Brandgefahr.

Die heutigen Flugmotoren sind durchweg Lademotoren, d.h. sie sind mit einem Lader ausgerüstet, einem Zentrifugalgebläse von etwa 20 000 U/min., das eine Vorverdichtung der Luft gestattet. Mit zunehmender Höhe nimmt bekanntlich die Luftdichte so stark ab, sodass man bereits in 6 km Höhe nur etwa die halbe Luftdichte hat. Dementsprechend würde der Motor in dieser Höhe auch nur die Hälfte der Bodenleistung hergeben, da ja nur die halbe Ladung verbrannt werden kann. Eine Vorverdichtung der Luft ist daher für grössere Flughöhen unerlässlich. Näheres über die Lader und die Leistungsregelung der Motoren durch den Ladedruckregler wird in einem besonderen Referat berichtet. Lademotoren gibt es etwa seit 1929. Früher verwendete man als Höhenmotor überdimensionierte Motoren, deren Leistung am Boden nicht voll ausgenutzt wurde. Sie hatten natürlich ein sehr hohes Leistungsgewicht und wurden seit Einführung der Lademotoren vollkommen verdrängt. Zum Antrieb des Laders wird eine Leistung von 100 PS und noch darüber benötigt, in 10 km Höhe sogar etwa 30 % der Motorleistung. Der Einführung des durch eine Abgasturbine angetriebenen Laders beim Otto-Motor stand bis jetzt die hohe Temperatur der Abgase im Wege, doch scheinen die Schwierigkeiten nunmehr überwunden zu sein. Beim Dieselmotor liegen die Abgastemperaturen wesentlich niedriger als beim Ottomotor und man hat daher hier schon länger Abgasturbolader eingeführt.

Die in die Flugzeuge heute eingebauten Motoren sind weitau in der Mehrzahl Otto-Motoren, die nach dem Viertakt-Verfahren arbeiten. Der Dieselmotor hat zwar gegenüber dem Ottomotor ausser den niedrigen Abgastemperaturen noch manchen Vorteil, insbesondere arbeitet er mit einem niedrigeren spezifischen Kraftstoffverbrauch, z.B. mit 160 g/PS_h statt mit 200g/PS_h. Ausserdem benötigt er kei-

nen komplizierten Zündmechanismus und ist feuersicherer als der Ottomotor. Demgegenüber stehen aber wesentliche Nachteile. Sein Leistungsgewicht ist höher als beim Ottomotor, da er wegen der hohen auftretenden Drucke stärker gebaut werden muss. Dazu hat er noch den grossen Nachteil, dass er ein grosser Luftverschwender ist, da er nur mit Luftüberschuss einwandfrei arbeitet; dies ist in der Art der Kraftstoffaufbereitung begründet. Der Dieselflugmotor kommt wegen seines geringen Kraftstoffverbrauchs hauptsächlich für Langstreckenflugzeuge in Frage. Vor Ausbruch des Krieges wurde er mit Erfolg von der Deutschen Lufthansa auf der Südatlantik-Strecke verwendet, die mit dem Blohm u. Voß-Flugzeugen Ha 139 befliegen wurde. Von den Flugzeugstützpunkten aus, wie der "Schwabenland", konnten die Flugzeuge mittels Katapultes gestartet werden. Der einzige Dieselflugmotor, der sich bis jetzt in der Praxis bewährt hat, ist der von Fa. Junkers gebaute Jumo 205 (Abb. 10) und seine Weiterentwicklungen; das Ausland hat diesem Motor nichts Ebenbürtiges zur Seite zu stellen.

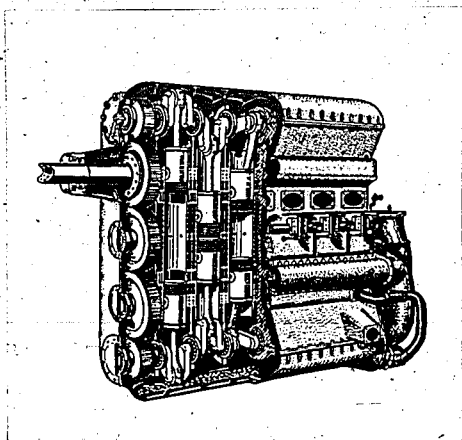


Abbildung 10.
Dieselflugmotor Jumo 205.

Wie schon erwähnt wurde, hat der Dieselmotor infolge seiner hohen Verdichtung gegenüber dem Ottomotor den Vorzug eines sehr geringen Kraftstoffverbrauchs. Bei den Ottomotoren sucht man nun bei Langstreckenflugzeugen, wo es ja besonders auf einen ge-

ringen Kraftstoffverbrauch ankommt, den spezifischen Kraftstoffverbrauch dadurch zu verringern, dass man den Motor mit verhältnismässig armen Kraftstoff-Luftgemischen betreibt. Wie aus der Abbildung 11 zu ersehen ist, hat man bei konstantem Ladedruck den wirtschaftlichsten Kraftstoffverbrauch bei einer Luftüberschusszahl λ von etwa 1,2, wo auch der thermische Wirkungsgrad am höchsten ist. Man muss allerdings einen gewissen Leistungsabfall dabei in Kauf nehmen, das Flugzeug fliegt also nicht mit seiner Höchstgeschwindigkeit, aber dafür hat man eben beim Sparflug den Vorteil der vergrösserten Reichweite.

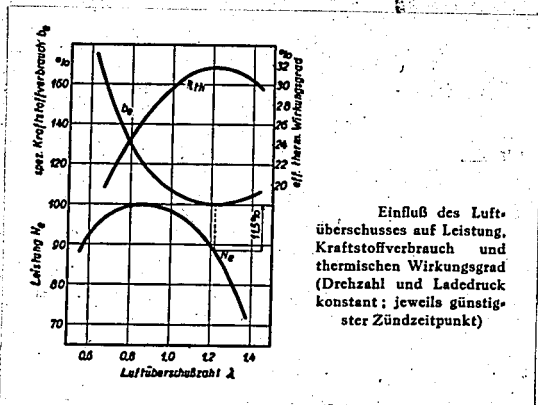


Abbildung 11.

Der thermische Wirkungsgrad eines Motors und damit sein spezifischer Kraftstoffverbrauch wird besonders auch durch die Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses verbessert, wodurch man gleichzeitig eine wesentliche Leistungssteigerung erzielt. (Abb. 12) Man hat heute bei Ottomotoren Verdichtungsverhältnisse bis zu etwa 1 : 8, was wohl die wirtschaftliche Grenze darstellen dürfte. Im Interesse eines wirtschaftlichen Verhältnisses zwischen Leistung und Gewicht eines Motors scheinen noch höhere Verdichtungsverhältnisse nicht mehr zweckmässig, da oberhalb dieser Grenze der thermische Wirkungsgrad und die Leistung nicht mehr verhältnismässig

mit dem Verdichtungsverhältnis zunehmen, der Höchstdruck jedoch noch stark ansteigt.

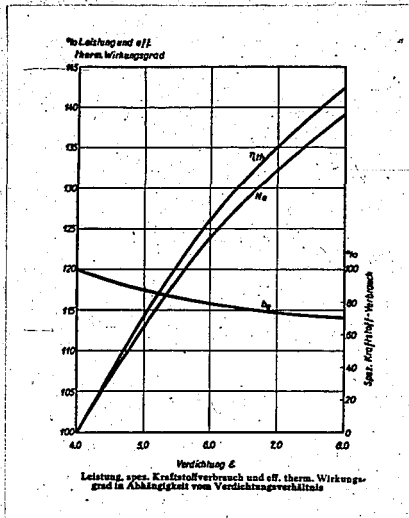


Abbildung 12.

Mit zunehmendem Verdichtungsverhältnis steigen auch die Verdichtungsendtemperaturen und damit die Temperaturen des unverbrannten Restgemisches im Motor, sodass leicht Klopfen eintritt. Es ist bekannt, dass sich der mittlere Nutzdruck und damit die Leistung eines Motors stärker durch Überladung, also durch Erhöhen des Einlassdruckes, als durch Anwendung eines höheren Verdichtungsverhältnisses bei einem Kraftstoff einer bestimmten Klopfestigkeit steigern lässt, weil in ersterem Fall die Temperatur des unverbrannten Restgemisches niedriger ist.

Zur Erläuterung des mittleren Nutzdruckes - er wird auch häufig als mittlerer effektiver Kolbendruck p_{me} bezeichnet und ist ein Mass für die erzielbare Motorleistung - ist in Abb. 13 ein Diagramm dargestellt, das den Druckverlauf in einem Ottomotor wiedergibt. Nach rechts ist der Kolbenweg oder auch der durch den hin- und hergehenden Kolben bestrichene Zylinderhubraum aufgetragen, nach oben der bei der entsprechenden Kolbenstellung im Verbrennungsraum herrschende Druck. Die ausgezogene Linie gibt den

theoretischen Druckverlauf wieder, die gestrichelte Linie den tatsächlichen, den man z.B. erhält, wenn man den Druckverlauf durch einen Indikator anzeichnen lässt.

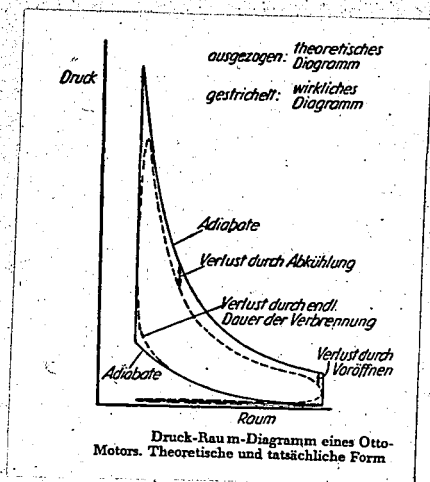


Abbildung 13

Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens wird das Kraftstoff-Luftgemisch angesaugt und man hat daher einen kleinen Unterdruck unter 1 at; geht der Kolben nach oben, so wird das Gemisch adiabatisch verdichtet auf etwa 10 bis 15 at, dann setzt die Zündung ein und der Druck steigt bis zu einem Höchstdruck von etwa 35 at beim Automotor, beim Überlade-Flugmotor bis zu einem Druck von 60 und 70 at; beim Abwärtsgang des Kolbens expandieren die Verbrennungsgase adiabatisch bis zum Öffnen der Alassventile, um dann beim Ausschleiben der Verbrennungsgase wieder etwa auf Atmosphärendruck abzusinken. Die in dem Diagramm dargestellte Fläche ist ein Mass für die vom Motor verrichtete Arbeit und also - auf die Zeit bezogen - auch für die Motorleistung. Verwandelt man diese Fläche in ein Rechteck, bei dem die Grundlinie dem Kolbenhub entspricht, dann ergibt die obere Begrenzungslinie den während der 4 Takte, also einschliesslich des Ansauge- und Ausschubtaktes, auf den Kolben des Motors wirkenden mittleren indizierten Kolbendruck in at an. Der mittlere effektive Kolbendruck p_{me} ist etwas kleiner

als der mittlere indizierte Kolbendruck p_{mi} , da er sich nicht auf die Innenleistung N_i des Motors (Indikatorleistung), sondern auf die an der Motorwelle zur Verfügung stehende nutzbare Leistung bezieht. Diese Nutzleistung oder effektive Leistung N_e ist gleich $N_i - N_R$, wobei die Reibungsleistung N_R zur Überwindung der Reibung (z.B. der Kolben in den Zylindern, der Kurbelwelle in den Lagern) sowie für den Antrieb der Hilfsapparate, wie Magnet, Wasserpumpe, Ölpumpe, Kraftstoffpumpen, Steuerung der Ventile usw. aufgebracht wird. Diese Reibungsleistung N_R beträgt beispielsweise 10 % der indizierten Leistung N_i . Der mittlere effektive Druck beträgt bei Automotoren 8 - 10 at, bei Flugmotoren kann er beim Start bis zu 15 at und noch mehr betragen. Der mittlere Nutzdruck liegt um so höher, je höher das Verdichtungsverhältnis des Motors ist oder je höher der Motor aufgeladen wird, je grösser also die Füllung des Motors ist.

Ausser der Erhöhung des mittleren Nutzdruckes im Motor durch Erhöhen des Ladedruckes und des Verdichtungsverhältnisses, gibt es noch verschiedene andere Wege, um die Leistung des Motors zu steigern. Diese Möglichkeiten sind aus der Leistungsformel zu ersehen:

$$N_e = \frac{p_{me} \cdot V_H \cdot z \cdot n}{900}$$

In dieser Formel bedeuten: N_e die Nutzleistung in PS, V_H das Zylinder-Hubvolumen in Ltr., z die Zahl der Zylinder, n die Drehzahl des Motors in U/Min; 900 ist eine Rechenkonstante für Ottomotoren, die nach dem Viertaktverfahren arbeiten, bei Zweitaktmotoren ist diese Konstante 450.

Wie der mittlere Nutzdruck p_{me} gesteigert werden kann, wurde eben gezeigt. Es bleibt nun die Möglichkeit, das Hubvolumen V_H der Zylinder zu vergrössern, indem man Zylinder von grösserem Durchmesser verwendet. Aus der Abb. 14 ist jedoch zu ersehen, dass die Klopfgefahr für einen gegebenen Kraftstoff umso grösser wird, je grösser das Hubvolumen je Zylinder ist. Eine Vergrösserung des Zylindervolumens von 1 Ltr. auf 4 Ltr. setzt z.B. die bis zum Eintritt des Klopfens zulässige Verdichtungszahl von 7,2 auf 5,7

herab. Dies würde auch etwa bedeuten, dass von zwei Zylindern mit gleichem Verdichtungsverhältnis, von denen der eine 1 Ltr., der andere 4 Ltr. Inhalt hat, der grössere Zylinder einen Kraftstoff benötigt, der um etwa 20 OZ. besser ist als der für den kleineren Zylinder, also dass der kleinere Zylinder beispielsweise mit einem Kraftstoff der NOZ. 70 auskommt, während der grössere einen Kraftstoff mit der NOZ. 90 benötigt. Umgekehrt kann man mit einem gegebenen Kraftstoff von einer bestimmten Klopfestigkeit aus einem kleinen Zylinder eine wesentlich höhere Leistung herausholen als aus einem grossen Zylinder; so ermöglicht z.B. ein 1 Ltr.-Zylinder eine Literleistung bis zu 60 PS, während aus einem 4 Ltr.-Zylinder gleicher Konstruktion mit dem gleichen Kraftstoff nur etwa 40 PS/Ltr. herausgeholt werden können. Die bessere Klopfestigkeit des kleineren Zylinders ist dadurch zu erklären, dass die Oberfläche je Volumeneinheit des Verbrennungsraumes beim kleinen Zylinder wesentlich grösser ist als beim grossen und damit die Kühlung wesentlich besser. Je grösser die Zylinder eines Motors sind, desto kleiner wird auch das Leistungsgewicht des Motors. So wiegt z.B. ein 30 Ltr.-Motor mit 10 Zylindern zu je 3 Ltr. etwa 600 kg, dagegen mit 30 Zylindern zu je 1 Ltr. etwa 900 kg. Es gibt hier ein Optimum und als günstigste Zylindergrösse hat sich in den letzten Jahren etwa der 2 Ltr.-Zylinder durchgesetzt.

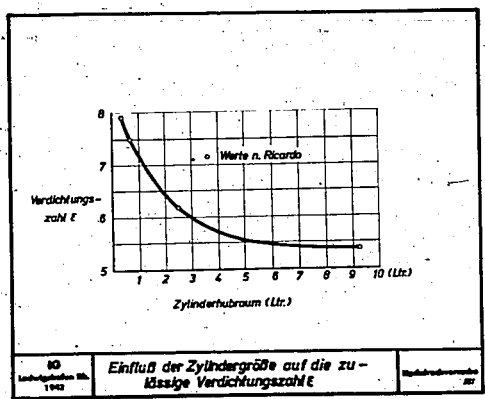


Abbildung 14.

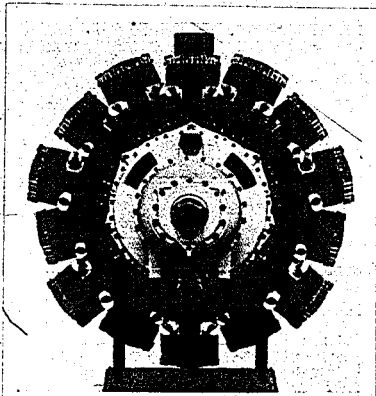
Man darf nun nicht schliessen, dass nur die Zylindergrösse allein von entscheidendem Einfluss auf das Klopfverhalten der Kraftstoffe ist. Zylinder gleichen Inhalts können ganz wesentliche Unterschiede in ihren Kraftstoffansprüchen aufweisen, da die Klopfneigung eines Zylinders in hohem Masse von der Konstruktion des Verbrennungsraumes und der ihn einschliessenden Teile abhängt, insbesondere von einer guten Kühlung. Auf diese Fragen soll jedoch, wie schon anfangs erwähnt, in einem späteren Referat eingegangen werden.

Kehren wir nun zu der Formel für die Berechnung der Motorleistung zurück, so kommt als weiteres Mittel zur Leistungssteigerung die Erhöhung der Drehzahl in Frage. Während man früher die Motoren etwa mit der gleichen Drehzahl wie die Luftschraube umlaufen liess, die im allgemeinen zwischen 1500 und 2000 Umdr./Min. liegt, haben heute fast alle grösseren Motoren Drehzahlen zwischen 2000 und 3000 Umdr./Min. Die Folge davon ist, dass man ein Untersetzungsgetriebe braucht von verhältnismässig hohem Gewicht, da die Luftschrauben nur mit einer beschränkten Drehzahl laufen können. Dies hat seinen Grund darin, dass die Propellerspitzen bereits nahezu mit der Schallgeschwindigkeit umlaufen, bei der sich die normale Vortriebswirkung stark verringert. Ein Ausweg ist in gewissen Grenzen durch Vergrösserung der Propellerblattzahl möglich und neuerdings durch die Verwendung von gegenläufigen Luftschrauben.

Mit der Drehzahl von 3000 Umdr./Min. scheint man bei den grossen ventilgesteuerten Motoren schon bei einer gewissen Grenze angekommen zu sein. Während man bei Automotoren mittlere Kolbengeschwindigkeiten von 5 bis 11 m/s hat, liegen diese bei den heutigen Flugmotoren um mehr als 50 % höher bei 10 bis 14 m/s. Die spezifischen Beanspruchungen sind daher bei Flugmotoren mehrfach so hoch wie bei Automotoren. Mit der Steigerung der Drehzahl nehmen die konstruktiven und die werkstoffmässigen Schwierigkeiten immer mehr zu. Ganz besonders treten aber mit einer weiteren Drehzahlsteigerung Schwierigkeiten hinsichtlich der Ventilsteuerung auf, da bei den Ventilgewichten grösserer Motoren, die bis zu 0,5 kg

wiegen, die auftretenden Kräfte nicht mehr beherrscht werden können und eine einwandfreie Steuerung nicht mehr möglich ist. Man muss daher bei einer weiteren Drehzahlsteigerung von der Ventilsteuerung abgehen und zum Schiebermotor übergehen, auf den noch kurz eingegangen werden soll.

Die Entwicklung des Schiebermotors wurde hauptsächlich von der englischen Firma Bristol betrieben und sie hat heute schon recht brauchbare Konstruktionen herausgebracht. So sind z.B. in dem grossen 4-motorigen Bomber "Short Stirling" luftgekühlte 14 Zylinder-Doppelsternmotoren Bristol "Hercules" eingebaut. Ein solcher Motor ist in Abb. 15 dargestellt.



Luftgekühlter 14 Zyl.-Doppelsternmotor Bristol „Hercules“.

Abbildung 15

Schon äusserlich fällt seine einfache Form auf, es fehlen die Stosstangen zur Betätigung der Federventile. Der Zylinderkopf lässt sich äusserst einfach ausbilden mit einer idealen Gestalt des Verbrennungsraumes, sodass der Schiebermotor äusserst klopfest ist. Er ermöglicht auch eine bessere Füllung des Verbrennungsraumes als der ventilgesteuerte Motor und hat daher auch eine etwas höhere Leistung. Auch der Durchmesser des schiebergesteuerten Sternmotors ist etwas geringer als der der üblichen Sternmotoren, was für die Sichtverhältnisse nicht ohne Bedeutung ist. Der Schiebermotor hat also für die Zukunft die besten Aussichten. Auch wir in Deutschland haben schon viel Arbeit in die

Entwicklung von Schiebermotoren hineingesteckt; ob jedoch bald damit zu rechnen ist, dass ein betriebsreifer Motor herauskommt, ist nicht bekannt.

Als letzter Weg der Leistungserhöhung bleibt noch die Vergrößerung der Zylinderzahl. Noch vor wenigen Jahren kamte man höchstens Sternmotoren mit 9 Zylindern und Reihenmotoren mit 12 Zylindern. Heute sind schon Doppelsternmotore mit 14 oder 18 Zylindern eingesetzt und flüssigkeitsgekühlte 24 Zylinder-Motoren treten mehr und mehr in Erscheinung. Ohne Zweifel wird die Zahl der Zylinder, wenn man in absehbarer Zeit Leistungen von 3 000 PS und noch mehr verlangt, weiter anwachsen, solange wir keine anderen Möglichkeiten haben, die Motorleistung zu erhöhen. Ein Bild von einem vielzylindrigen Reihenmotor, wie ihn die Zukunft vielleicht bringen wird, zeigt die Abbildung 16, einen luftgekühlten Motor mit 5 Reihen zu je 6 Zylindern, also einen 30 Zylinder-Motor. Vom Standpunkt des Kraftstoffs aus gesehen, haben wir besonderes Interesse, dass es den Motorenbauern gelingt, bei diesen vielen Zylindern auch eine gleichmäßige Kühlung zu ermöglichen.

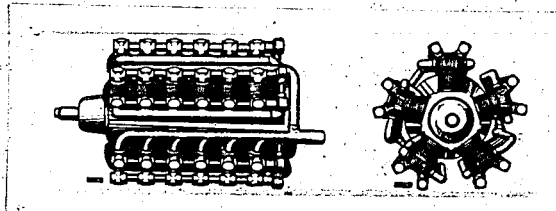


Abbildung 16.
Luftgekühlter 30-Zylinder-Motor.

Zum Schluss möchte ich nun nicht versäumen, noch darauf hinzuweisen, dass es ausser dem in meinen Ausführungen gezeigten, gewissermassen "normalen" Entwicklungsweg der Motoren auch noch andere neue Wege gibt, auf denen man zu höheren Motorleistungen und Fluggeschwindigkeiten gelangen kann. Ich möchte hier besonders auf die Möglichkeiten hinweisen, die sich bei der Anwendung neuer in der Entwicklung befindlicher Arbeitsverfahren oder des Strahlenantriebs ergeben.

gez. Dehn.

L i t e r a t u r .

31096

- G. Bock, Probleme des Flugzeugbaues in der Gegenwart, Luftwissen 9 (1942) S.6/16.
- F. Gossiau, Flugmotoren, Z.d.V.D.F. 82 (1938), S.334.
- E. Heinkel, Die Erhöhung der Geschwindigkeit der Flugzeuge in den letzten Jahren, Vortrag vor der Lilienthalgesellschaft für Luftfahrtforschung, 12. Oktober 1936.
- J. Gasterstädt, Vom Junkers-Flugdieselmotor, Vortrag vor der Lilienthalgesellschaft für Luftfahrtforschung, 13. Okt. 1936.
- F. A. F. Schmidt, Verbrennungsmotoren, Verlag Jul. Springer 1939, Berlin.
- H. R. Ricardo, Einige Fragen der Flugmotorenentwicklung, Vortrag vor der Lilienthalgesellschaft für Luftfahrtforschung, 12. Oktober 1937.
Der Fortschritt des Verbrennungsmotors und seiner Kraftstoffe, Sonderdruck aus Shell Aviation News, Nr. 57, März 1936.
Schnellaufende Verbrennungsmotoren, Jul. Springer 1932, Berlin.
- F. R. Banks, Aviation Fuels and Engines, Vortragsabdruck der S. A. E. vom 7. Juni 1939.
Moteurs d'aviation modernes et carburants, Paris 1937, Librairie-imprimerie Gauthier-Villars; Vortrag gehalten am 8.1.37 in London.
- A. H. R. Fedden, The future of the Air-cooled Engine; Vortrag vor der Royal Aeronautical Society vom 18.2.37.
- D. R. Pyle, Metallkunde und der Flugmotor, Shell aviation News, Nr. 84, Juni 1938.
Die Brennkraftmaschinen, Verlag Jul. Springer 1933, Berlin.
- O. Kurts, Jahresbericht 1933 der Motoren-Abteilung der DVL, Sonderdruck aus dem Jahrbuch 1933 der DVL, Verlag R. Oldenburg, München und Berlin.
- H. Ide, Über die Bauformen der Flugmotoren, Flug u. Werft, Folge 8 (1937) S. 57/61.

POOR
COPY

4

PO
CO

Hochdruckversuche
In 558

Zurück an
Vorzimmer Dir. Dr. Pier
20.3.1942 De/Eb

Über die Entwicklung der Flugmotoren 31097

II. Teil.

Über die Konstruktion der Flugmotoren-
zylinder unter besonderer Berücksichtigung der
Kraftstoffprobleme.

(5)

In meinem letzten Bericht versuchte ich Ihnen einen Überblick über die Maßnahmen zu geben, die man heute anwendet, um die Leistung eines Flugmotors zu erhöhen. Ich zeigte Ihnen auch, wie mit zunehmender Zylindergröße die Ansprüche eines Motors an die Klopfestigkeit des Kraftstoffes größer werden. Andererseits nimmt aber auch das Leistungsgewicht eines Flugmotors mit zunehmender Zylindergröße ab und es hat sich daher in den letzten Jahren eine günstigste Zylindergröße herausentwickelt, die etwa bei 2-3 Ltr. liegt. Ich wies auch schon darauf hin, daß die Zylindergröße nicht allein für das Klopfverhalten eines gegebenen Kraftstoffes ausschlaggebend ist. Es gibt vielmehr noch eine ganze Reihe anderer Faktoren, die von Einfluss auf das motorische Verhalten eines Kraftstoffes sind, wie z.B. das Verdichtungsverhältnis, der Ladedruck, die Ladelufttemperatur, die Motordrehzahl; ganz besonders aber wirkt sich die konstruktive Durchbildung des Verbrennungsraumes und der ihn einschliessenden Teile auf das Klopfen aus. Ebenso, wie man von der Kraftstoffseite her bestrebt ist, die Klopfestigkeit des Kraftstoffes immer mehr zu verbessern, muß der Motorenkonstrukteur versuchen, die Klopfestigkeit des Motors günstiger zu gestalten und damit mit einem gegebenen Kraftstoff eine möglichst große Leistung aus einem Motor herauszuholen, ohne dabei den Motor vergrößern zu müssen.

Von größter Bedeutung für die Klopfestigkeit eines Motorenzylinders ist die konstruktive Ausbildung des Zylinderkopfes, nicht nur auf der äußeren Seite, wo für eine gute und gleichmässige Kühlung gesorgt werden muß, sondern besonders auch die Gestaltung des Verbrennungsraumes. Den besten Wirkungsgrad der Verbrennung weist im allgemeinen ein Verbrennungsraum auf, dessen Oberfläche im Vergleich zum Rauminhalt klein ist und der daher die geringsten Wärmeverluste an die umgebende Wand hat. Die günstigsten Verhältnisse scheinen also in dieser Beziehung beim kugelförmigen Verbrennungsraum vorzuliegen. Der kugelförmige Verbrennungsraum ist auch hinsichtlich des Klopfens besonders günstig, weil hier keine toten Ecken entstehen können, in denen das durchwirbelte Kraftstoff-Luftgemisch zur Ruhe kommen kann und sich heiße Verbrennungsgase ansammeln, die wie überhitzte Stellen wirken, und das Klopfen begünstigen.

Die Aufrechterhaltung einer guten Durchwirbelung des Gemisches ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil von der Wirbelbewegung & Kraftstoff-Luftgemisches die Verbrennungsgeschwindigkeit in grossem Maße abhängt. Große Verbrennungsgeschwindigkeiten sind im Motor nötig um einerseits hohe Drehzahlen zu ermöglichen und andererseits die Neigung des Kraftstoffes zum Klopfen zu verringern, indem man die Zeit, die das unverbrannte Gemisch sich selbst überlassen bleibt, abkürzt. Die Verbrennungsgeschwindigkeit im Motor beträgt im allgemeinen

POOR
COPY

5

PO
CO

20-30 m/sec., sie ist wesentlich grösser als in ruhenden Gemischen. Bei ruhenden Gemischen in Verbrennungsbomben wurden nur Verbrennungsgeschwindigkeiten von 2-5 m/sec. gemessen. Jedoch konnten auch in Bomben ähnlich grosse Geschwindigkeiten wie im Motor gefunden werden, wenn für eine entsprechend starke Wirbelung gesorgt wurde. Um im Motor die für die Erzielung einer grossen Verbrennungsgeschwindigkeit nötige Durchwirbelung zu erzeugen, läßt man die Luft bzw. beim Vergasermotor das Kraftstoff-Luftgemisch mit einer Geschwindigkeit von 40-60 m/sec durch die Einlassventile in den Verbrennungsraum einströmen. Eine noch höhere Einströmgeschwindigkeit wendet man nicht an, da sonst die Drosselverluste beim Durchströmen der Ventile zu groß würden.

Die Wirbelbewegung des Gemisches hat neben der Steigerung der Verbrennungsgeschwindigkeit auch eine Erhöhung des Wärmeüberganges zur Folge. Sind die Wandtemperaturen niedriger als die des unverbrannten Gemisches, was wohl grösstenteils der Fall ist, dann wird die Wirbelung klopfmindernd wirken, andernfalls aber klopfördernd. Je niedriger also die Wandtemperaturen sind, desto geringer ist auch die Neigung zum Klopfen. Wie sehr z.B. durch den Fortfall der heissen Auslassventile, die sich ja während des Betriebes in rotglühendem Zustand befinden, sowie durch eine einfache, ungegliederte Form des Verbrennungsraumes das Klopfen vermindert werden kann, geht aus der hohen Klopfestigkeit des Schiebermotors hervor.

Von besonderer Wichtigkeit ist auch die Lage der Zündkerzen im Verbrennungsraum. Sie sollen so angebracht sein, daß der Flammenweg und damit der zeitliche Ablauf der Verbrennung möglichst kurz ist. Ein großer Flammenweg, d.h. ein grosser Abstand der entferntesten Verbrennungsraumecken von der Zündkerze, erhöht mit der Zeitdauer, in der das Gemisch nach der Verdichtung sich selbst überlassen bleibt, die Wahrscheinlichkeit, daß der Gemischrest zum Klopfen kommt. Dies ist besonders dann der Fall, wenn der zuletzt entzündete Teil des Gemisches in der Nähe der heissesten Stelle des Verbrennungsraumes, z.B. am Auslassventil, sich befindet. Die Zündkerzen sollen daher möglichst so angeordnet sein, daß sie in der Nähe der heissesten Stelle sitzen und also die Flammenfront vom heissesten Teil des Verbrennungsraumes zum kälteren fortschreitet. Bei Flugmotorenzylindern bringt man im allgemeinen 2 Zündkerzen an, nicht nur als Sicherheit gegen evtl. Zündstörungen, sondern um ein möglichst rasches Durchbrennen des Gemisches zu erzielen und damit die Klopfgefahr zu verringern.

Wenn man auch den kugelförmigen Verbrennungsraum in der Praxis stets anstreben wird, so läßt er sich schon deswegen nicht vollkommen verwirklichen, weil ja die Kerze in der Mitte des Verbrennungsraumes angebracht werden müßte, was praktisch nicht durchführbar ist. Am günstigsten läßt sich der Verbrennungsraum beim Schiebermotor gestalten, worauf ja schon hingewiesen wurde. Wesentlich schwieriger liegen jedoch die Verhältnisse beim ventilgesteuerten Motor, bei dem auf einer verhältnismäßig kleinen Fläche außer den Kerzen noch 2 oder meist 3 - 4 Ventile untergebracht werden müssen.

In der Abbildung 1 sind die wichtigsten heute vorkommenden Zylinderkopfformen für Ventilmotoren dargestellt.

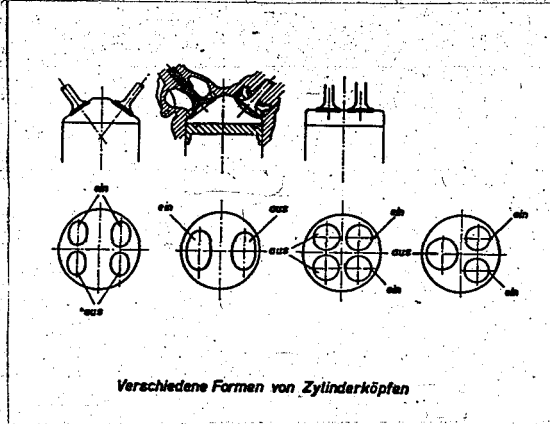


Abb. 1

Der Zylinderkopf mit dem halbkugelförmigen Verbrennungsraum und 2 Ventilen ist die häufigste Konstruktion in Amerika. Sie ist praktisch bei jedem der in Amerika hergestellten und dort sehr weit verbreiteten luftgekühlten Sternmotoren anzutreffen. Die Konstruktion hat den Vorzug, daß die Zylinder leicht herzustellen und zu bearbeiten sind, sowie eine gute Anbringung der Kühlrippen gestatten. Ein besonderer Nachteil dieser zwei-ventiligen Ausführung ist aber der Umstand, daß für normale Zylinder von etwa 150 mm ϕ schon sehr große Ventile notwendig sind, ein Auslassventil wiegt z.B. bis zu 0,5kg. Dies bedeutet, daß die Drehzahl des Motors wegen der beträchtlichen Ventilmassen nicht besonders hoch sein kann, was natürlich auf Kosten der Leistung geht. Die englische Firma Bristol hat daher den dachförmigen Zylinderkopf für ihre luftgekühlten Motoren entwickelt, der je 2 kleinere Einlass- und Auslassventile hat und daher höhere Drehzahlen erlaubt. Der luftgekühlte Zylinder mit 4 Ventilen bereitet jedoch hinsichtlich der Anbringung der Kühlrippen recht beträchtliche Schwierigkeiten. Bei den flüssigkeitsgekühlten Motoren hat sich hauptsächlich der flache Zylinderkopf durchgesetzt, mit ein oder zwei Einlassventilen und zwei Auslassventilen. Der flache Kopf ist für den flüssigkeitsgekühlten Motor, wo die Zylinder einer Reihe in einem Block angeordnet sind, besonders geeignet, da sich ein zusammenhängender Kopf, eine einfache Kühlung und ein einfacher Ventilmechanismus ergibt.

Ein besonderes Sorgenkind bei den Flugmotoren sind die Ventile. Bei Kraftstoffen mit höherem Bleigehalt tritt häufig Korrosion der Ventilsitze und Ventilsitzringe auf. Es bildet sich auf der Sitzfläche bei längerem Betrieb ein Niederschlag von Bleisuperoxyd, das die schützende Metalloxydhaut auflöst. Bei längerem Betrieb entsteht auf den Ventilsitzflächen örtlicher Lochfraß und es bilden sich Rinne, durch welche die heißen Verbrennungsgase hindurchblasen, so-

POOR COPY

5

POOR COPY

daß das Ventil überhitzt wird und u.U. verbrennt oder wegschmilzt. Wird der am Ventil eingetretene Schaden nicht rechtzeitig gemerkt, so können als weitere Folgen u.U. schwerste Motorschäden auftreten. Je höher die Ventiltemperatur ist, desto mehr nimmt die Ventilkorrosion zu. Nach Versuchen der englischen Motorenfirma Rolls Royce nimmt die Bleikorrosion der Ventile bei einer bestimmten Temperatur sprunghaft zu.

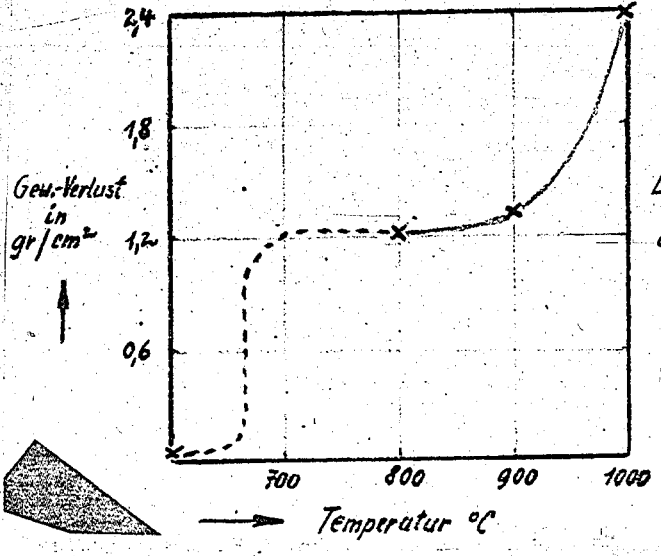
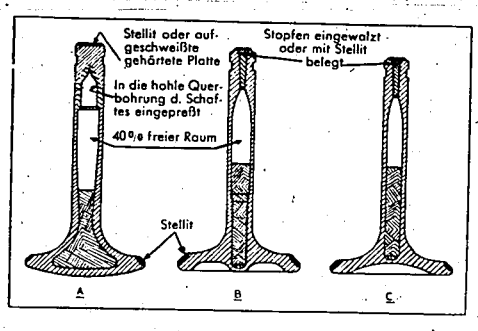


Abb. 2.
Einfluss der Temperatur auf die Bleikorrosion der Auslassventile

Abb. 2

Durch Verwendung von gekühlten Ventilen, von besonders widerstandsfähigen Stählen und durch Stelliteieren der Ventilsitzflächen ist es gelungen, die Ventilkorrosion weitgehend einzuschränken. In Abb. 3 sind solche gekühlte Ventile dargestellt.



Drei Arten natriumgefüllter Ventile.

Abb. 3

POOR COPY

5

P C

Sie sind hohlgebohrt oder hohlgeschmiedet und teilweise mit Natrium gefüllt. Durch das bei den hohen Temperaturen flüssige Natrium, das in dem Hohlraum hin und hergeschleudert wird, wird die Wärme rascher von dem besonders gefährdeten Ventilteller zum Ventilschaft abgeführt, von wo sie dann weiter über die Ventiltührungen weggeleitet werden kann. Auf den Sitzfächern ist eine dünne Lage Stellite, eine besonders widerstandsfähige Legierung mit 26,7 % Chrom und 63 % Kobalt aufgeschweiselt. In England soll man mit "Brighton", einer Legierung mit 19,5 % Cr und 76,5 % Ni noch bessere Erfahrungen gemacht haben und versieht auch vielfach den ganzen Ventilteller mit einem derartigen Schutzüberzug. In der Abb. 4 ist ein durch Korrosion beschädigtes Auslassventil dargestellt, von dem ein Teil vollkommen vergebraunt ist.

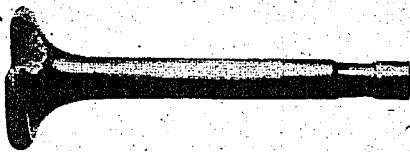


Abb. 3. Verbranntes Auslassventil.

Abb. 4

Ausser dieser sogenannten "Heisskorrosion" der Ventile treten auch in kaltem Zustand der Motoren, wenn gebleite Kraftstoffe verwendet wurden, Korrosionserscheinungen, hauptsächlich an den Laufflächen der Zylinder und an den Ventilschäften auf. Man nimmt an, dass diese Erscheinungen von freiem Brom herrühren, das sich während der Verbrennung bildet und aus dem im Äthylfluid enthaltenen Äthylendibromid stammt. Es bildet sich Bromwasserstoffsäure und man schützt die Motoren gegen diese sogenannte "kalte Korrosion", die besonders bei länger stillstehenden Motoren auftritt, indem man die Zylinder durch eine Zündkerzenbohrung ein Korrosionsschutzöl einspritzt.

Der Zusatz von Äthylendibromid zum Bleitetraäthyl hat den Zweck, das Blei in eine flüchtige Form überzuführen, sodass es mit den Abgasen entweicht und sich nicht auf den Verbrennungsraum einschleppen den Teilen ablagert. Dies gelingt jedoch nicht vollkommen, wie aus dem Auftreten der Bleikorrosion zu ersahen ist. Die Zusammensetzung des für die Verbleiung von Flugkraftstoffen verwendeten Äthyl-Fluid (1-2-Fluid) ist folgende:

Bleitetraäthyl (TEL) rein	61,42 Gew. %
Äthylendibromid	35,68 "
Äthylendichlorid	"
Farbstoff, Petroleum u. sonst	2,90 "

Auch bei den Zündkerzen können bei längerem Betrieb mit gebleiten Kraftstoffen Störungen eintreten, die auf einen Niederschlag von Bleiverbindungen auf den Kerzenisolatoren zurückzuführen sind; dieser kann leicht zu elektrischem Kurzschluss führen und dadurch das

x) nach anderen Angaben:

20-27% Cr, 50-55% Fe, 9-15% Ni, Rest Fe.

Überspringen der Zündfunken an den Elektroden verhindern. Diese Ablagerungen an den Zündkerzen bilden sich besonders rasch, wenn die Kerzen zu kalt arbeiten. Der Niederschlag ist hygroskopisch oder wenigstens hält er wegen seiner Porosität die Feuchtigkeit fest. Wenn er keine Feuchtigkeit aufgenommen hat, ist er in kaltem Zustand ein schlechter Leiter, ein besserer jedoch bei hoher Temperatur, bei der ja im allgemeinen Oxide, Sulfide u.dgl. elektrisch leiten. Es kann also ein Aussetzen der Zündung sowohl in kaltem Zustand durch feuchte Kerzen als auch in heissen Zustände infolge des elektrischen Leitens der Bleiablagerungen eintreten. Auch Korrosionserscheinungen an den Kerzenelektroden treten bei bleihaltigen Kraftstoffen auf. Es ist daher eine gute Kühlung der Kerzen notwendig, zumal ja auch durch Glühen der Kerzen das Klopfen begünstigt wird.

Der wichtigste der den Verbrennungsraum einschließenden Teile ist der Kolben. Dieser hat die Aufgabe, die Kraft des Verbrennungsdruckes auf die Pleuellwelle zu übertragen und den Verbrennungsraum mittels der federnden Pleuellringe gegen das Pleuellgehäuse abzurichten. Der Kolben ist mechanisch und thermisch den höchsten Beanspruchungen ausgesetzt. So wirkt z.B. auf den Kolben des BMW 132-Motors bei jedem Verbrennungshub eine Last von über 10 Tonnen. Dabei soll der Kolben möglichst leicht sein, um die hin- und hergehenden Massen klein zu halten. Weiterhin soll er aus einem gut wärmeleitenden Material bestehen, damit die von den Verbrennungsgasen übergehende Wärme leicht an die Pleuellwand abgeführt werden kann und die Pleuellben keine zu hohe Temperatur annehmen. Die Pleuellmotorenkolben werden daher heute durchweg aus Leichtmetall-Legierungen, die eine hohe Wärmeleitfähigkeit besitzen, hergestellt. Die Pleuelltemperaturen bewegen sich im allgemeinen zwischen 200 und 350°C. Auf dem Pleuellboden bildet sich bei längerem Betrieb je nach der Art des verwendeten Kraftstoffes und Schmieröls eine mehrere Zehntelmillimeter starke Schicht von Ölkohle. Bei zu starker Ölkohlebildung blättert diese vom Pleuellboden ab und kommt zum Glühen und führt leicht zum Klopfen des Kraftstoffes.

Eines der wichtigsten Probleme am Pleuellben, überhaupt eines der wichtigsten motorischen Probleme ist das Festgehen der Pleuellringe. Es wird begünstigt durch Klopfen der Kraftstoffe und übermäßig hohe Pleuelltemperaturen, aber auch durch ungeeignete Schmieröls und Kraftstoffe, die zu starker Rückstandsbildung neigen. Der Konstrukteur sucht dem frühzeitigen Festgehen der Pleuellringe dadurch zu begegnen, daß er das seitliche Spiel der Ringe in den Pleuellringnuten so groß wie möglich macht; aber dem ist dadurch eine Grenze gesetzt, daß die Ringnuten sich ausschlagen und die Stege zwischen den einzelnen Nuten zu schmal werden und anfolgedessen brechen. Eine der Hauptaufgaben des Pleuellbenkonstrukteurs ist die, die Temperatur des Pleuellbens so niedrig wie möglich zu halten, insbesondere die des obersten Ringes, der ja der höchsten Temperatur ausgesetzt ist und am leichtesten zum Ringstecken neigt. Man dürfte jedoch mit der Pleuellbenkühlung bereits bei einer gewissen Grenze angelangt sein und die einzige Möglichkeit, den Pleuellben noch besser zu kühlen, scheint darin zu bestehen, daß man gegen die Unterseite des Pleuellbens ein Ölstrahl spritzt. Es sollen damit schon beachtliche Erfolge erzielt worden sein, indem die Laufzeiten bis zum Eintreten des Ringsteckens wesentlich verlängert wurden.

In Abb. 5 sind der Wärme- und die Temperaturverhältnisse an einem Flugmotorenkolben dargestellt. Von den heißen Verbrennungs-

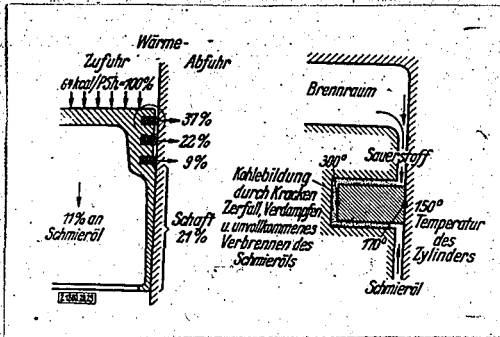


Abb. 5.

Wärme- und Temperaturverhältnisse am Flugmotorenkolben.

gasen gehen beispielsweise 64 kcal auf den Kolbenboden über. Diese werden zu etwa 90 % über die Kolbenringe und dem Kolbenschaft an die Zylinderwand abgeführt, etwa 10 % gehen an das Schmieröl über. Die höchste Wärmebelastung hat der oberste Kolbenring mit etwa 37 % abzuführen, trotzdem mit allen Mitteln versucht wird, die Wärme auf die unteren Ringe und den Kolbenschaft zu verteilen.

Den Vorgang des Ringsteckens stellt man sich etwa folgendermaßen vor: Im Verbrennungsraum findet ein Kracken des Kraftstoffs und auch des Schmieröls statt und es bilden sich hochmolekulare Oxydations- und Polymerisationsprodukte. Weiterhin entsteht durch unvollkommene Verbrennung des Kraftstoffs Russ, der sich mit dem Schmieröl vermischt. Diese Produkte gelagert von Kolbenboden mit dem rücklaufenden Öl in die Ringnuten des Kolbens und lagern sich dort ab. Ohne Zweifel bilden

sich auch in den Ringnuten selbst durch unvollkommene Verbrennung des Öls und des Kraftstoffs infolge des in den Nuten herrschenden Sauerstoffmangels Produkte, die das Festgehen der Ringe begünstigen. Bei längerem Betrieb sammelt sich in den Ringnuten, besonders in der obersten, so viele, hauptsächlich klebrige Rückstände an, daß die Ringe festkleben und sich nicht mehr federnd bewegen können. Ist einmal ein Ring festgeklebt, dann folgen meist auch bald die übrigen Ringe und es ist keine genügende Abdichtung mehr zwischen dem Verbrennungsraum und dem Kurbelgehäuse vorhanden. Die heißen Verbrennungsgase blasen dann an den Kolbenringen vorbei, was zu einer unzulässig hohen Temperatursteigerung des Kolbens führt, der Schmierfilm an den Gleitflächen wird weggeblasen oder weggebrannt und es tritt dann das gefürchtete Fressen der Kolben ein; u.U. kann auch der Kolben bis zum Schmelzen erhitzt werden. Ein Bild von einem auf diese Weise entstandenen Kolbenfresser zeigt die Abbildung 6. Ähnliche Kolbenschieden entstehen auch durch das Klopfen des Kraftstoffs, Solche plötzlich auftretenden Kolbenfresser können dadurch, daß der Motor ausfällt, ein Flugzeug nicht nur zur

Notlandung zwingen, sondern u.U. sogar zum Absturz bringen.

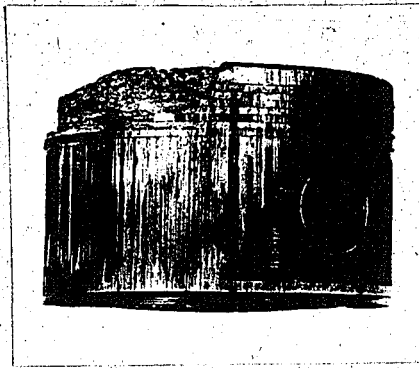


Abb. 6

Durch Pressen beschädigter
Flugmotoren-Kolben.

Ich habe nun versucht, Ihnen in großen Zügen einen Überblick über die Probleme zu geben, die vom Kraftstoffstandpunkt aus gehen, am Flugmotorenzylinder am meisten interessieren. Zum Schluss will ich noch ein Bild bringen, um Ihnen zu zeigen, wie durch Fortschritte auf den verschiedensten Gebieten die Leistung eines Flugmotorenzylinders wesentlich erhöht werden kann, ohne daß seine Abmessungen vergrößert werden müssen. In der Abb. 7 ist der Zylinder eines der bekanntesten luftgekühlten Sternmotoren, des amerikanischen Wright-"Cyclone" dargestellt, und zwar auf der linken Seite eine ältere Ausführung, auf der rechten eine neuere. Die Leistung, die aus dem Cyclonezylinder herausgeholt werden kann, wurde im Laufe von 20 Jahren etwa verdoppelt. Dieser riesige Fortschritt ist zu einem grossen Teil auf die Verbesserung der Klumpfestigkeit der Kraftstoffe zurückzuführen, die eine höhere Verdichtung und Überladung, sowie eine Steigerung der Drehzahl ermöglichten und damit eine erhebliche Leistungsverbesserung.

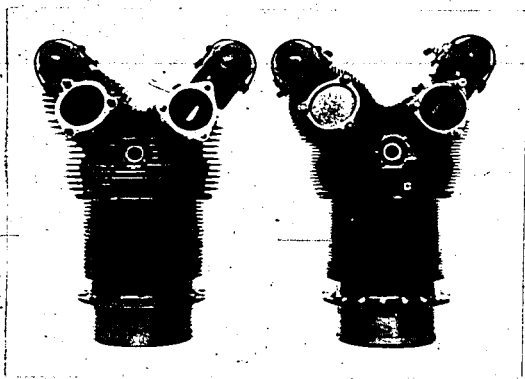


Abb. 7

Zylinder des Wright-"Cyclone"

POOR
COPY

5

PO
CO

rang brachten. Mit der zunehmenden Zylinderleistung stieg natürlich auch die thermische Belastung der Zylinder in starkem Maße und es hätten sich ohne Zweifel am Zylinderkopf überhitzte Stellen gebildet und diese ein Klopfen des Kraftstoffs verursacht, wenn nicht für eine verbesserte Kühlung gesorgt worden wäre. Aus der Abbildung ist deutlich zu erkennen, wie der neuere Zylinder - heute zählt diese Ausführung allerdings auch schon wieder zu den älteren Baumustern - hinsichtlich der Kühlrippen viel feiner durchgestaltet ist als die ältere Ausführung. Die Kühlfäche der Kühlrippen am Zylinderkopf wurde mehr als verdoppelt, indem eine grössere Anzahl und längere Kühlrippen angebracht wurden. Die Gestaltung dieser Rippen, wie ihre Länge, Dicke und der Abstand voneinander erfolgte auf Grund neuer Erkenntnisse auf dem Gebiete der Wärmeübertragung. Schließlich aber war die technische Herstellung dieser zahlreichen und feinen Rippen nur durch neue Fortschritte auf dem Gebiete der Werkstoffe und der Gießertechnik möglich. Diese große Leistungssteigerung von über 100% in diesem Flumotorenzylinder konnte also nur durch intensive Zusammenarbeit auf den verschiedensten Gebieten und durch die Ausnutzung der neuesten Fortschritte erzielt werden.-

POOR
COPY

5

P
C

Literatur.

- F. R. Banks: Moteurs d'aviation modernes et carburants, Paris 1937, Librairie-imprimerie Gauthier-Villars; Vortrag gehalten am 8.1.37 in London.
- D. R. Pyle: Metallkunde und der Flugmotor, Shell aviation News Nr. 84, Juni 1938.
- F. Goslan: Flugmotorenbau, VDI-Zeitschrift 1935, Bd. 79, S. 575.
- H. R. Ricardo: Einige Fragen der Flugmotorenentwicklung, Vortrag vom 12. Okt. 1937, Hauptversammlung der Lilienthal-Gesellschaft.
- K. Zimmer: Klopfvorgang und Verbrennungsraum, ATZ 1939, S. 251.
- F. R. Banks: Aviation Fuels and Engines, Vortrag v. 7.6.1939 vor der SAE.

POOR
COPY

5

P
C

▼▲▲ M L I F I Y ▲ S A F E T Y ▲ D A K A

Berichtesammlung des Versuchs-Laboratoriums

Bericht Nr. 447

31106

Dr. Nowotny

Die katalytische Dehydrierung von
Propan zu Propen

POOR
COPY

6

HAUPTLABORATORIUM
Versuchsgruppe Me 219
B.447/44

Leuna Werke, den 16.3.1944

80118

31107

Dr. Nowotny

Die katalytische Dehydrierung von Propan zu Propen

Nt.

31108

40118

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A. Einleitung	3
B. Hauptteil	3
I. Physikalisch-chemische Voraussetzungen	3
1. Die Wärmetönung	3
2. Das Gleichgewicht	3
II. Kleinversuche	3
1. Apparatur	3
2. Reaktionsbedingungen	4
a) Die Temperatur	4
b) Der Druck	4
c) Der Katalysator	4
d) Die Ofenbelastung	4
e) Die Länge der Fahrperiode	5
f) Beschaffenheit des Ofeneingangsproduktes	5
3. Ergebnisse der Propan-Dehydrierung im Kleinversuch	5
III. Halbtechnische Versuche	7
C. Zusammenfassung	10

A. Einleitung

Propen gewinnt in letzter Zeit immer mehr an Bedeutung als Ausgangsstoff für organische Großprodukte wie z.B. Diisopropyläther, Glycerin u.a.

Zur Herstellung von Propen stehen vor allem zwei Verfahren zur Verfügung und zwar die Dehydratisierung von Normal- und Isopropylalkohol und die Chlorierung von Propan mit nachfolgender HCl-Abspaltung.

Auf Grund der erzielten Fortschritte und Erfahrungen bei der n-Butan-Dehydrierung, vor allem auch im technischen Betrieb, versuchten wir auch die Dehydrierung von Propan zu einem technischen Verfahren auszugestalten, da uns die katalytische Dehydrierung doch vorteilhafter zu sein schien als der Weg über das chlorierte Propan. Dabei war es möglich, die bei der Butandehydrierung gewonnenen Erkenntnisse weitgehendst auf die Propandehydrierung zu übertragen.

B. Hauptteil

I. Physikalisch-chemische Voraussetzungen

1. Die Wärmetönung

Die Reaktion ist stark endotherm. Aus den Heizwerten errechnet sich für die Dehydrierung von Propan eine Wärmetönung von -32 bis -33 Cal/Mol, welcher Wert in demselben Bereich liegt, wie bei der Butan-Dehydrierung, so daß in Bezug auf die Ausgestaltung der Reaktionsräume und die Temperaturführung das gleiche wie für die Butandehydrierung gilt.

2. Das Gleichgewicht

Aus der Lage des berechneten Gleichgewichtes¹⁾ ergibt sich für die Propandehydrierung bei 550° ein theoretischer Höchstumsatz von ca. 27 - 29 %. Das sind ca. 5 - 7 % weniger als für das Mittel der Reaktion $n\text{-C}_4\text{H}_{10} \text{ ---- } \text{C}_4\text{H}_8 \text{ (1 und 2) + H}_2$. Mit steigender Temperatur verschiebt sich auch hier das Gleichgewicht schnell zu Gunsten des Olefins, um bei 600° schon bei einem Umsatz von ca. 43 % zu liegen.

II. Kleinversuche

1. Apparatur

Die Versuche zur Bestimmung der optimalen Reaktionsbedingungen und zur Ausprüfung der Katalysatoren wurden in elektrisch beheizten Quarzrohren von 1 m Länge und 15 mm Durchmesser durchgeführt. Das Kontaktvolumen betrug 25 ccm. Die Temperatur wurde an drei Meßstellen innerhalb der Kontaktschicht gemessen und möglichst über den ganzen Kontakt konstant gehalten. Das Ausgangsgas wurde zur Entfernung letzter Spuren von Ole-

¹⁾ Ind.Engng.Chem. 54, 54 (1933) und 29, 1260 (1937)

finen mit Phosphor-Schwefelsäure gewaschen und mit Ätzkali und CaCl_2 getrocknet. Im Ofenausgangsgas wurden durch stündliche Punktanalysen laufend die Gesamtolefine bestimmt, aus deren Wert in Vol.-% der Umsatz durch Multiplikation mit einem theoretischen Volumzunahmefaktor $\left(\frac{100}{100\text{-Gesamtölefine}}\right)$ ermittelt wurde. Die Ausbeuten wurden an Hand von Stockanalysen bestimmt und beziehen sich auf Volumina umgesetztes Propan. Außerdem wurde der entstandene H_2 durch einen Wärmeleitfähigkeitsmesser laufend registriert.

2. Reaktionsbedingungen

a) Die Temperatur

Um zu befriedigenden Umsätzen zu kommen, muß, unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Gleichgewichtsbedingungen, die Propandehydrierung bei um ca. $10 - 20^\circ$ höheren Temperaturen als die Butandehydrierung gefahren werden, was infolge der höheren thermischen Stabilität des Propans ohne größere Ausbeuteverluste möglich war. Demnach liegt die optimale Reaktionstemperatur bei $560 - 600^\circ\text{C}$. Wegen der Temperaturempfindlichkeit der Katalysatoren und der dadurch bedingten Temperaturführung bei Reaktion und Regeneration gelten die gleichen Überlegungen und Folgerungen wie für die Butandehydrierung.²⁾

b) Der Druck

Da bei der H_2 -Abspaltung Volumvermehrung eintritt, verläuft die Reaktion umso besser, je tiefer der Druck gehalten wird. Aus technischen Gründen wird man aber Normaldruck nicht unterschreiten.

c) Der Katalysator

Vergleichende Versuche der C_3 - und C_4 -Dehydrierung ergaben bisher in katalytischer Beziehung eine vollkommene Parallelität. Kontakte, die sich für Butan am geeignetsten erwiesen, sind es auch für Propan und umgekehrt. Aus diesem Grunde wurden unter Verzicht auf eine spezielle Kontaktentwicklung für Propan die Kontakte aus der C_4 -Dehydrierung übernommen. Zur Zeit wird daher der AT-Kontakt bestehend aus 90 % Tonerde (90 % AT + 10 % RT), 8 % Cr_2O_3 und 2 % K_2O verwendet, und es ist anzunehmen, daß auch in Zukunft Verbesserungen an diesem Kontakt im Hinblick auf das AT-Verfahren sich auch für die C_3 -Dehydrierung günstig auswirken werden.

d) Die Ofenbelastung

Der günstigste Belastungsbereich liegt zwischen 500 und 1000 Gasvolumina (Normalbedingung) je Kontakt-Vol. und Stunde. Nach unten ist die Belastung durch die damit allzu groß werdenden Reaktionsräume begrenzt, während Belastungen über 1000 insofern ungünstig sind, als dann zu große Wärmemengen pro Flächeneinheit der Ofenwand der Reaktion zugeführt werden müssen, wodurch zu hohe Wandtemperaturen auftreten, was erfahrungsgemäß zu Ausbeuteverlusten durch Krackung führt. Außerdem sinkt mit der Verkürzung der Verweilzeit der Umsatz dann sehr schnell. Die Wahl der Belastung zwischen 500 und 1000 hängt von dem gewünschten Umsatz bzw. der Kontaktqualität ab.

²⁾ Butan-(Propan)-Dehydrierung im Röhrenofen über festangeordnetem Kontakt B. 400/43 vom 2.7.1943

e) Die Länge der Fahrperiode

Bei den hohen Reaktionstemperaturen ist es unvermeidbar, daß der Kontakt infolge C-Abscheidung schon nach wenigen Stunden abklingt, so daß er dauernd durch Abbrennen des abgeschiedenen C wiederbelebt werden muß. Da die C-Abscheidung im wesentlichen eine Funktion der Fahrtemperatur ist, so hängt auch die Länge der Fahrperioden bis zur nächsten Regeneration von der Fahrtemperatur ab. Bis zu 560° können Perioden von 6 - 8 Stunden, bei 560° solche von 4 - 6 Stunden gefahren werden, ohne daß der Umsatz allzu tief gegenüber dem Maximum am Anfang der Periode absinkt.

f) Beschaffenheit des Ofeneingangsproduktes

Während sich niedere Kohlenwasserstoffe als C₃ praktisch wie Inerte verhalten, muß die Anwesenheit höherer Kohlenwasserstoffe nach Möglichkeit vermieden werden, da sie Veranlassung zu erhöhter C-Abscheidung geben. 1 - 2 % C₄ wirken sich noch nicht merklich ungünstig aus. Eine Hauptforderung an das Ausgangspropan besteht in Bezug auf weitestgehende Trockenheit, da schon geringe Mengen Wasserdampf den Umsatz deutlich erniedrigen. Über 0,02 - 0,03 Gew.% Wasser dürfen im Ausgangsgas nicht vorhanden sein.

Auf Grund der Wasserdampf- und Temperatur-Empfindlichkeit des Kontaktes ergibt sich hier wie bei der C₄-Dehydrierung, nur noch in verstärktem Maße, die Notwendigkeit, die Festbettfahrweise anzuwenden, da beim Schleusen zu niedrige Umsätze und Ausbeuten erzielt würden. (B.400/43).

3. Ergebnisse der Propan-Dehydrierung im Kleinversuch (alle Zahlenangaben bedeuten Vol.%)

Versuch 1: Mit dem AT-Betriebskontakt 6448 aus der Produktionsanlage wurde bei 580°, 1000-facher Belastung und einer Periodenlänge von 4 Stunden über 850 reine Dehydrierstunden folgendes Ergebnis erreicht.

	% Umsatz	Ausbeute	C-Abscheidung bezogen auf umgesetztes Propan
nach 50 Stunden	30		1,5
" 200 "	27	92	0,9
" 500 "	23	93	0,6
" 800 "	21	89	0,4
Im Mittel	22 - 23	92	0,8

Kontaktverbrauch ca. 0,3 Gew.% bezogen auf hergestelltes Propan

Der Versuch zeigt, daß unter den angeführten Reaktionsbedingungen auch schon mit weniger aktiven Kontakten die Propandehydrierung mit günstigen Ergebnissen verläuft. Zum Vergleich sei noch ein weiterer Versuch mit einem allerdings noch nicht reproduzierbaren Spitzenkontakt aus einer Versuchscharge angeführt.

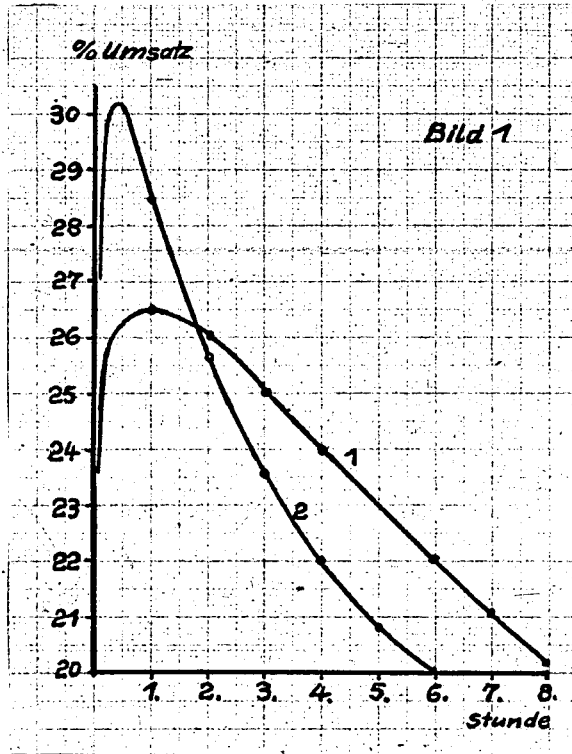
Versuch 2: Kontakt 4548 (Zusammensetzung bis auf 2 % mehr Cr₂O₃ wie 6448). Bis auf die Temperatur, die der Kontaktaktivität entsprechend hier tiefer gehalten werden konnte, wurden die gleichen Bedingungen wie bei Versuch 1 eingehalten.

Ergebnis:

	540°	560°	570°	580°	Im Durch- schnitt	
Umsatz	24	30	27	30	28	Am Ende des Ver- suches war der Kontakt noch aktiv
Ausbeute	96	96	96	95	ca. 96	
C-Abschei- dung bez. auf unges. Propan	0,7	0,5-0,6	0,6	0,6	0,6	
Dehydrier- stunden	40	204	304	60		

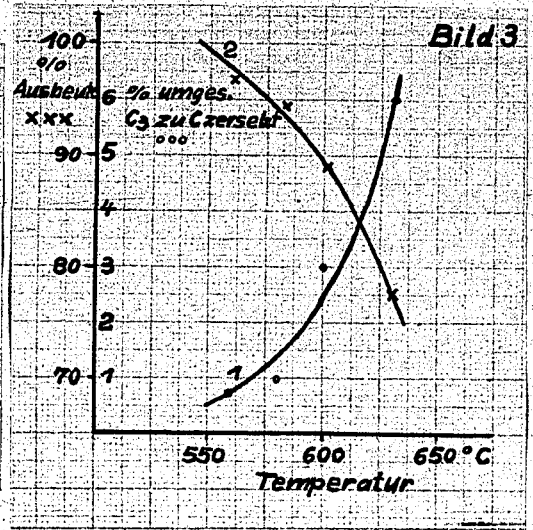
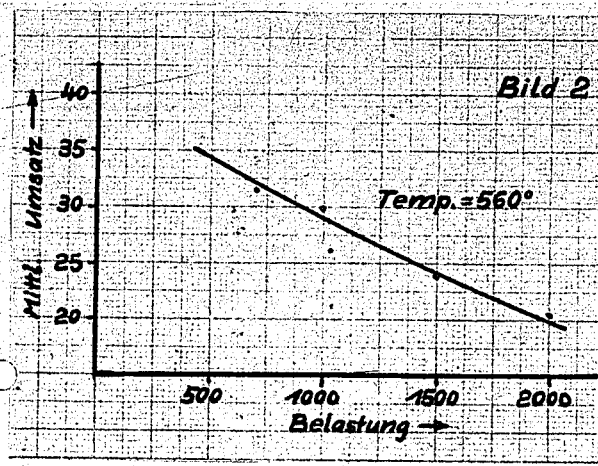
Die Unterlagen zu den folgenden Bildern, die den Verlauf der Reaktion in Abhängigkeit von den wichtigsten Reaktionsbedingungen zeigen, stammen von Versuchen mit einem Kontakt mittlerer Güte, dessen Aktivität ungefähr zwischen der von 4548 und 6448 liegt. Die Ergebnisse beziehen sich auf eine Periode, nachdem der Kontakt schon einige Zeit gelaufen war.

Bild 1 zeigt den Verlauf des Umsatzes innerhalb einer 8-Stunden-Periode, also in Abhängigkeit von der Zeit. Kurve 1 gibt die angenäherten Verhältnisse bei einem normal gefahrenen Kontakt wieder (allmähliche Temperatursteigerung je nach Umsatz). Kurve 2 zeigt den Umsatzverlauf wie er eintritt, wenn die Temperatur zu schnell erhöht wird. Der Kontakt ist dann zu aktiv und scheidet zu viel C ab, wodurch zumal am Beginn der Periode der Umsatz sehr schnell fällt. Während der einzelnen Perioden war die Temperatur konstant. Die anfängliche Induktionsperiode, die immer auftritt, dürfte auf Spuren von Wasser zurückzuführen sein, die bei der Regeneration und bei der Reduktion des von der Regeneration her in höherer Oxydationsstufe befindlichen Chrom-Oxyds im Kontakt entstehen.



31113 18-7-

Die Abhängigkeit des mittleren Umsatzes von der Belastung zeigt Bild 2, während Bild 3 die Ausbeute (Kurve 1) und die C-Abscheidung (Kurve 2) als Funktion der Fahrtemperatur wiedergibt.



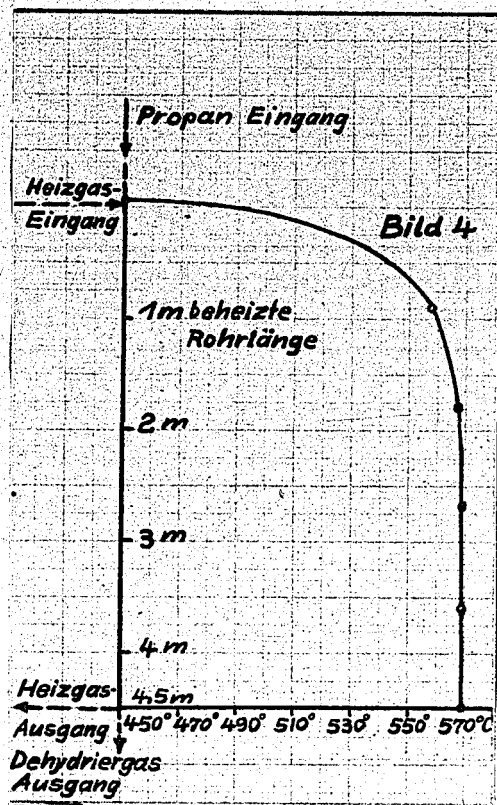
Die folgende Tabelle gibt die auf Grund von Stockanalysen ermittelte Zusammensetzung des Ofenausgangsgases in Volumprozenten bei ca. 22 % Umsatz und 94 % Ausbeute an.

Eingang = C ₃ H ₈	über 99 %
Ausgang:	
H ₂	= 17,0 %
CH ₄	= 0,2 %
C ₂ H ₆	= 1,0 %
C ₂ H ₄	= 0,5 %
C ₃ H ₈	= 64,3 %
C ₃ H ₆	= 17,0 %
	<hr/> 100,0 %

III. Halbtechnische Versuche

Die halbtechnischen Versuche wurden in einem gasbeheizten Sieromal-8-Rohr von 70 mm lichter Weite und 4,5 m beheizter Länge mit feststehendem Kontakt durchgeführt. Die Temperatur wurde außer im Heizgas noch an 6 Meßstellen innerhalb der Kontaktschicht gemessen. Die Temperatur hatte vom Ofeneingang zum Ausgang steigenden Verlauf. Als jeweilige Reaktionstemperatur wurde die Stelle höchster Temperatur in der Kontaktschicht bezeichnet. Aus Bild 4 geht der Temperaturverlauf innerhalb der Kontaktschicht bei "570° Reaktionstemperatur" während der Reaktion hervor. Produkt und Heizgas wurden im geraden Durchgang gefahren. Das Propan wurde in einem Schlangenvorheizer (gasbeheizt) auf Temperatur gebracht. Auf dem verhältnismäßig langen Weg vom Vorheizer zum

- 8 - 31114



Ofen waren die Wärmeverluste aber so groß, daß die Ofeneingangstemperatur nur 450 - 460° betrug, so daß das Gas erst am Ende des ersten Drittels der Kontaktschicht auf die eigentliche Reaktionstemperatur kam, wodurch der Kontakt nur sehr schlecht ausgenutzt war. Um klare Verhältnisse zu bekommen, hätten wir das erste Drittel des Ofens, das nicht auf Reaktionstemperatur war, mit inertem Füllmaterial beschicken können. Von dieser Maßnahme sahen wir aber ab, da diese Versuche im Anschluß an Schleusversuche mit n-Butan durchgeführt wurden, bei denen notwendigerweise das ganze Rohr mit Kontakt beaufschlagt ist, um die Versuchsergebnisse besser miteinander vergleichen zu können. Außerdem erreichten wir mit dieser Anordnung eine bessere Angleichung an den technischen Betrieb. Das Kontaktvolumen betrug 15,0 l. Das verwendete Propan stammte zu einem Teil aus der AT-Anlage und wurde im Versuchslaboratorium selbst durch Destillation von C₄ befreit, zum anderen Teil wurde es aus der Hydrierung bezogen und ebenfalls selbst mit H₂SO₄ olefinfrei gewaschen und nachträglich destilliert. Eine besondere Trocknung des Propans war nicht erforderlich, da beim Destillieren das als Pseudoazeotrop übergehende Propan-H₂O-Gemisch als Vorlauf abgenommen wurde.

Als Kontakt wurde der auch im Versuch 1 verwendete Betriebskontakt 6448 eingesetzt. Folgende Reaktionsbedingungen wurden eingehalten: Temperatur von 560° ansteigend je nach Umsatz, Durchsatz 12 m³ Propan pro Stunde, entsprechend einer 800-fachen Belastung. Länge der Fahrperiode 6 - 8 Stunden.

Ergebnis:

	560°	570°	580°	Im Durchschnitt
Umsatz	23,5	22,0	22	22,0
Ausbeute	91,5	92	91	91,0
C-Abscheidung	2,0	2,5	3	3,0
Dehydrier- stunden	189	43	130	Gesamt- stunden 362,0
Ø Periodenlänge in Stunden	8	6	6	

Eine zeitweise Zurücknahme der Belastung auf 600 hatte eine Umsatzsteigerung um 5 % zur Folge. Am Ende des Versuches war der Kontakt noch aktiv.

Im Vergleich zu dem oben aufgeführten Versuch 1 (vergl. Abschnitt Kleinversuche), der mit dem gleichen Kontakt gefahren wurde, fällt hier die höhere C-Abscheidung, die niedrigere Ausbeute und der etwas geringere Umsatz (bei niedriger Belastung) auf. Die niedrigere Ausbeute ist auf die, bei einem Rohr größeren Durchmessers auftretenden höheren Wandtemperaturen zurückzuführen, die auch für die höhere C-Abscheidung verantwortlich sind, wobei auch der Einfluß des Ofenmaterials eine gewisse Rolle spielen wird. Der niedrigere Umsatz erklärt sich aus der schon oben erwähnten tiefen Eingangstemperatur, wodurch eigentlich nur ca. 2/3 des Kontaktes voll ausgenützt waren.

Am Anfang des Versuches konnten, wie aus der Tabelle hervorgeht, 8-Stunden-Perioden gefahren werden, die dann durch die höher werdende C-Abscheidung, bedingt durch die Temperatursteigerung, auf 6 Stunden verkürzt werden mußten, um den Umsatz halten zu können.

Die Regeneration wurde drucklos mit Luft-N₂-Gemisch so durchgeführt, daß die Regenerationstemperatur in keinem Falle über die Temperatur der vorausgegangenen Kontaktperiode stieg. Es wurden 30 m³ Blasegas pro Stunde im geraden Durchgang gefahren. (Druck vor Ofen = 3,3 - 3,5, hinter Ofen = 1 ata, Druckverlust 2,3 - 2,5 Atm.) Vor der Regeneration wurde die Ofentemperatur auf 470° (im Kontakt) erniedrigt. Der O₂-Gehalt im Blasegas betrug während der ersten beiden Drittel des Versuches 2 % und wurde während der ganzen Regeneration konstant gehalten. Während der letzten 100 Dehydrierstunden konnten infolge der höheren C-Abscheidung nur noch 1 - 1,5 % O₂ im Blasegas aufrecht erhalten werden, um die zulässigen Temperaturen nicht zu überschreiten. Gegen Ende der Regeneration wurde der O₂ dann auf 2 % erhöht. Nach Beendigung der Regeneration wurde der Ofen unter Aufrechterhaltung der Blasegasströmung (2 % O₂) wieder auf die Temperatur der folgenden Kontaktperiode aufgeheizt, um eine völlige Durchregeneration des Kontaktes zu gewährleisten, was im Interesse eines optimalen Umsatzes erforderlich ist. Das Verhältnis der Zeiten von Umsatz zu Blasen (mit Aufheizung) betrug 2 : 1.

Da in der AT-Anlage jetzt zu wenig Propan anfällt und das Propan aus der Hydrierung wegen Arbeitskräftemangel nicht mehr gereinigt werden kann, mußten die halbtechnischen Versuche hier eine vorläufige Unterbrechung erfahren. Das Sicromal-8-Rohr zeigt nach Ablauf des Versuches keine Schädigung.

Aus den angeführten Versuchen geht hervor, daß die Dehydrierung von Propan unter fast denselben Reaktionsbedingungen und mit ungefähr dem gleichen Ergebnis verläuft wie die Butandehydrierung. Die Ausbeute liegt um 2 - 3 %

höher, der Umsatz um 4 - 5 % tiefer. Für die technische Ausgestaltung sind daher für beide Verfahren dieselben Gesichtspunkte maßgebend, mit dem einzigen Unterschied, daß im Interesse eines ausreichenden Umsatzes bei der Propandehydrierung praktisch nur das Festbettverfahren in Frage kommt. Eine Vereinfachung in technischer Beziehung dürfte bei der Propandehydrierung der Umstand bedeuten, daß Propan-Propan im Gegensatz zu Butan und den Butenen auch durch Rektifikation zu trennen sind, wobei das Propan als Kopfprodukt übergeht, aus welchem Grunde auch der etwas niedrigere Umsatz in Kauf genommen werden kann.

Bei der Beurteilung der obigen Resultate muß man berücksichtigen, daß die verwendeten Kontaktmassen ausschließlich für die Schleusfahrweise hergestellt waren. Bei ihrer Herstellung mußte neben der Aktivität vor allem auf eine gute Verformbarkeit der Kontaktmasse und hohe Abriebfestigkeit hingearbeitet werden. Beim Festbettverfahren kommt es aber hauptsächlich auf die Aktivität des Kontaktes an. Seine Form spielt keine nennenswerte Rolle und an die Festigkeit werden keine erhöhten Ansprüche gestellt. Dadurch würde die Herstellung des Kontaktes bedeutend vereinfacht und es müßte dann leichter und schneller möglich sein, seine Aktivität zu steigern.

C. Zusammenfassung

An Hand von in laboratoriumsmäßigem und halbertechnischem Maßstab durchgeführten Versuchen zur Propan-Dehydrierung wird gezeigt, daß zwischen dieser und der Dehydrierung von Butan sowohl in Bezug auf die Reaktionsbedingungen als auch in Bezug auf die Katalysatoren weitgehende Parallelität besteht. Aus den erzielten Ergebnissen geht hervor, daß nun auch die Dehydrierung von Propan technisch durchführbar ist. Der von uns in letzter Zeit (B.400/43 v. 2.7.43) für Butan-Dehydrierung vorgeschlagenen Arbeitsweise im Röhren-Festbettofen ist hier im besonderen Maße der Vorzug zu geben.

Klein

Nowotny

- g Herrn Dir. Dr. Bütefisch
Abt. Mineralöl Berlin
Ammoniaklabor. Oppau
- Herrn Dir. Dr. Strombeck/O. I. Keinke
- Herrn Dir. Dr. Giesen/Dr. Hanisch
- Herrn Dir. Dr. Herold
A. W. P.
H. B. S.
- Herrn Dr. Kaufmann
- Herrn Dr. Nowotny

2262

31117

1733

royal

Alkylierung von Aluminium-
chlorid bei niedriger Tempera-
turen.
Teil I: in: *Monatsh. f. Chem.*

3. Juni 1944
Dr. Vgl/Gg.

Gez. G. Wietzel

31118

Alkylierung an Aluminiumchlorid bei tiefen
Temperaturen. Teil I. i-Butan und n-Butylen.

Übersicht:

Bei der Suche nach technisch wichtigen Octanisomeren wurde eine von Ipatieff und Mitarbeitern angegebene Alkylierung bei tiefer Temperatur nachgeprüft.

Alkylierung von Paraffinen bei niedriger Temperatur in Gegenwart von Aluminiumchlorid.

Im Journal Am. Chem. Soc. 64.1. (Jan. 42) S.33-36 veröffentlichten Pines, Grosse und Ipatieff die Ergebnisse ihrer Untersuchungen über die Alkylierung bei tiefen Temperaturen, also in flüssiger Phase, von 1. Isobutan und n-Butylen und 2. Isobutan und Propylen an Aluminiumchlorid bei Gegenwart von HCl. Weitere Alkylierungen z.B. mit Äthylen werden in der genannten Arbeit erwähnt.

Die Verfasser arbeiten in Rührapparaturen. Die unter 1. genannte Reaktion wurde bei -35° ausgeführt und eingehend beschrieben. Zwecks Zurückdrängung der Polymerisation von n-Butylen wurde das molare Verhältnis von Paraffin : Olefin = 1 : (3-4) angewandt. Durchsatz $300 \text{ cm}^3 \text{ fl./Std.}$ Das n-Butylen der Verfasser bestand nach ihren Angaben aus 67 % 2- und 33 % 1-Butylen. Die Charge enthielt 23,8 % n-Butylen und 76,2 % i-Butan.

Die Verfasser geben folgende Ergebnisse an:

- a) Das Abgas war Olefin-frei.
- b) Ausbeuten

Nach Std.	Beschickung fl/cm ³	Flüss. Produkt cm ³	HCl g/Std.	Produkt Vol % C. K.W.	Analyse Vol % bis 225°
1	315	93	3,6	52,3	75,2
2	300	99	4,2	62,9	94,4
3	300	108	2,0	65,5	91,0
4	300	118	2,5	65,8	88,4
5	325	110	1,7	65,5	89,4
6	300	105	1,0	63,1	89,4

Die Raman-spektroskopische Untersuchung der Octanfraktion ergab nach den Verfassern das Vorliegen von

- 2,2,4 Trimethylpentan
- 2,2,3 " "
- 2,3,4 " "
- 2,5 Dimethylhexan

Aus den Angaben und der Apparaturzeichnung der Verfasser ergibt sich nicht sicher, aber wahrscheinlich, daß die Reaktionstemperaturen nicht direkt im Reaktionsraum sondern im Kühlbad gemessen wurden.

Wir haben die Angaben der Verfasser einer Nachprüfung unterzogen. Aus zeitbedingten Gründen mußte die sehr komplizierte Apparatur durch eine einfachere ersetzt werden.

A. Apparatur.

Siehe Zeichnung.

Als Reaktionsgefäß diente eine Jenaer Waschflasche mit eingeschmolzenem Glassieb, angeschmolzenem Abflußrohr und Rührvorrichtung. Dies Reaktionsgefäß mußte später durch eine ähnlich gebaute Waschflasche ersetzt werden, bei der das Flüssiggas ebenfalls unten eintrat, der Kontakt aber auf Glaswolle und Glasperlen lag.

Die Versuchsgase wurden bei unseren Versuchen über geeichte Kapillaren eingemessen. Die Verflüssigung des Reaktionsgemisches geschah im Reaktionsgefäß.

B. Versuchsgase.

Die verwandten Gase waren technische Produkte in Stahlflaschen.

- 1) Isobutan mit einem Gehalt von ca. 3-4 % Olefinen.
- 2) n-Butylen mit 93 und 97 % Olefinen.
- 3) Chlorwasserstoff aus Bomben.

C. Versuche.

Versuch 1.

Strömungsgeschwindigkeiten

- 1) i-Butan ca. 60 Ltr./Std.
- 2) n-Butylen ca. 15 Ltr./Std.
- 3) HCl ca. 5 Mol. %.

Volumen des Reaktionsgefäßes ca. 300 cm³ freier Raum, Kontakt 20 g feines frisch subl. AlCl₃. In das Vorlagegefäß wurde etwas Wasser zur Vernichtung von mitgerissenem AlCl₃ gegeben.

Temperatur im Kühlbad -35°C.

Versuchsdauer: 5 Std. (Zeit vom 1. Überlauf in das Vorlagegefäß bis Schluß).

Das Produkt in der Vorlage enthielt nach Beendigung des Versuches noch viel Gas gelöst. Es blieb daher zur Dephlegmation über Nacht in der Vorlage stehen und wurde dann mit wäbrigem H₂O ausgeschüttelt, abgezogen und gemessen. Das Rohprodukt war wasserklar.

Austeute:

Angewandt ca. 183 g Butylen.

Rohprodukt (mit HCl und dann mit H₂O ausgeschüttelt) 450 cm³ = 334 g = ca. 183 % (bezogen auf angewandtes Butylen).

Das Produkt wurde vor der Analyse und Destillation mit verdünnter NaOH und Wasser ausgeschüttelt und getrocknet.

Analyse des Produktes:

Hydrierzahl 0

Cl = 7,13 %.

31121

- 4 -

Destillation (Widmer Kolonne):

- 1) bis 95° $69 \text{ cm}^3 = 53 \text{ g}$ (viel Butylchlorid)
- 2) $95 - 125^{\circ}$ $140 \text{ cm}^3 = 99 \text{ g}$. ca. 30 Gew.%.
Vom Rückstand wurden $90 \text{ cm}^3 = 71 \text{ g}$ in einem gewöhnlichen Destillierkolben weiterdestilliert.

Siedebeginn	ca. 160°
$160 - 175^{\circ}$	$3,7 \text{ cm}^3 = 3 \text{ g}$
$175 - 200^{\circ}$	12 " = 9 "
$200 - 225^{\circ}$	17 " = 14 "

Abgasanalyse (techn.)

Olefine	1,2 %
Paraffine	93,2 %
Rest	N_2 .

Ab ca. 100° entwickelte sich bei der Destillation erheblich Chlorwasserstoff. Der über 125° siedende Anteil verfärbte sich daher und war stark olefinhaltig. Der Kontakt war schlammig aber unverfärbt, nur oben an den wärmeren Stellen etwas braunes Öl.

Versuch 2.

Wie Versuch 1

aber - 40°C Badtemperatur.

Versuchsdauer (Übergang) $4\frac{1}{2}$ Std.

Rohprodukt: $330 \text{ g} = 460 \text{ cm}^3$.

Ausbeute auf angewandtes Butylen ca. 196 %.

Analyse	Hydrierzahl	0
	Cl	7,18 %

Destillation (Widmer Kolonne)

Eingebracht $375 \text{ cm}^3 = 275 \text{ g}$.

Siedebeginn 30° .

- | | | |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| $30^{\circ} - 95^{\circ}$ | $50 \text{ cm}^3 = 40 \text{ g}$ | $\sim 14,6 \text{ Gew.}\%$ |
| $95^{\circ} - 125^{\circ}$ | 152 " = 111 " | $\sim 40,3 \text{ "}$ |

Kräftige HCl-Entwicklung.

Abgas-Analyse (techn.): Olefine 1,2 %
Paraffine 88,7 "

Versuch 3.

Wie Versuch 2

aber sehr wenig HCl. ca. 1 1/2 %.

Übergang 6 Std.

Rohprodukt 244 cm³ = 195 g ≈ ca. 89 Gew. %.

Analyse:

Hydrierzahl 6,5.

Cl 3,83 %.

Destillation. Eingewogen 155 g = 192 cm³

bis 95° 9 g = ca. 6 Gew. %

95 - 125° 42 g = ca. 20,6 " "

Versuch 4.

Wie Versuch 2

aber ganz ohne HCl.

Versuchsdauer 2 1/2 Std.

Rohprodukt 52 g = 64 cm³.

Ausbeute ca. 57 %, stark ungesättigtes Produkt.

Destillation

Bis 125° kein Übergang.

Abgas-Analyse:

Olefine 10,4 %

Paraffine 88,9 %.

Der Versuch zeigt deutlich, daß ohne HCl-Zusatz keine Alkylierung, sondern ausschließlich Polymerisation der Olefine auftritt.

Versuch 5 (Zusatz von Butylchlorid)

Wie Versuch 2

aber ohne Zusatz von HCl. Das Versuchsgas wurde vor dem Reaktionsgefäß durch eine Waschflasche mit Butylchlorid geleitet. Übergangsdauer ca. 5,6 Std. In dieser Zeit gingen ca. 117 g Butylchlorid über.

31123

Rohprodukt: 126 g = 153 cm³
Destillation (117 g = 140 cm³)
 bis 95° (hauptsächlich 80°) = 61 g = 73 cm³
 95 - 125° -

Abgasanalyse (techn.)

Olefine 16,6 %
Paraffine 79,8 "

Auch hier ist also praktisch nur Polymerisation eingetreten.

Versuch 6: 20 g frisch subl. AlCl₃.

Badtemperatur -(30)

HCl-Zusatz ca. 3 Mol %.

Übergangsdauer 5 Std.

Rohprodukt 460 cm³ = 338 g = 179 %.

Analyse:

Hydrierzahl 0

Cl 3,14.

Destillation (Widmer Kolonne)

278 g = 380 cm³

 bis 95°: 18,5 cm³ = 14 g = 5,1 %

 95 - 125°: 142 cm³ = 100 g = 36,9 %.

Der Rückstand wurde nochmals mit HCl und Soda gewaschen, getrocknet und in einem gewöhnlichen Kolben destilliert.

Angewandt: 103 g = 134 cm³

 bis 150° 3,8 cm³ = ca. 4 g (wenig HCl)

 150-175° 8,2 " = " 7 g HCl

 175-200° 25 " = " 21 g stark HCl

 200-225° 25 " = " 16 g " "

Der Kontakt war nach dem Versuch leicht schlammig und schwach bräunlich.

Versuch 7.

20 g AlCl_3 .
ca. 2 - 3 Vol.-% HCl .
Badtemperatur -25° .
Übergang 5 Std.

Rohprodukt $480 \text{ cm}^3 = 340 \text{ g}$
Ausbeute ca. 187 %.

Analyse:

Hydrierzahl 0
Cl 2,58 %.

Destillation: (Widmer Kolonne)

288 g = 410 cm^3
bis 95° $40 \text{ cm}^3 = 29 \text{ g}$
 $95^\circ - 125^\circ$ 165 " = 115 g = 40 %.

Kontakt leicht bräunlich.

Versuch 8.

20 g AlCl_3 frisch subl.
 HCl ca. 2-3 Vol.-%
Badtemperatur = $(-20)^\circ$
Übergang 5 Std.
Rohprodukt $618 \text{ cm}^3 = 435 \text{ g}$ ca. 238 % . (Zu hoch. Butylen
wahrscheinlich zeitweise zu schnell gelaufen.)

Analyse:

Hydrierzahl 2,3
Cl 2,63 %.

Abgasanalyse (techn.)

Olefine 0,6 %
Paraffine 98,6 "

Destillation (Widmer Kolonne)

380 g = 536 cm^3 .

Siedebeginn 27° .

27 - 95° $47 \text{ cm}^3 = 35 \text{ g} = 9,2 \%$
 $95 - 125^\circ$ 237 " = 167 g = 44 "

Ab 160° bemerkbare HCl -Abspaltung.

31125

- 8 -

Destillation des Rückstandes aus mehreren gleichen Versuchen
(Rückstände erneut gewaschen und getrocknet). Gewöhnlicher
Destillierkolben.

$$227 \text{ g} = 300 \text{ cm}^3$$

$$125^\circ - 150^\circ = 48,5 \text{ cm}^3 = 34 \text{ g} = 15 \%$$

$$150^\circ - 175^\circ = 39,5 \text{ " } = 29 \text{ g} = 12,8 \%$$

$$175^\circ - 200^\circ = 70,5 \text{ " } = 52 \text{ g} = 23 \%$$

$$200^\circ - 225^\circ = 61 \text{ " } = 46 \text{ g} = 20,3 \%$$

Kontakt leicht braun, etwas verschmiert.

Versuch 9.

Wie Versuch 8

Badtemperatur -15° .

Übergang 5 Std.

Rohprodukt $493 = 348 \text{ g} = \text{ca. } 190 \%$.

Analyse:

Hydrierzahl 4,0

UL 1,00 %.

Destillation (Widmer Kolonne)

$$307 \text{ g} = 432 \text{ cm}^3$$

$$\text{bis } 95^\circ = 33 \text{ cm}^3 = 22 \text{ g} = 7,2 \%$$

$$95-125^\circ = 186 \text{ " } = 131 \text{ g} = 42,7 \%$$

Kontakt bräunlich und verschmiert.

Versuch 10.

Ein mit techn. n-Butan (anstelle von i-Butan) und n-Butylen
geführter Versuch ergab kaum bemerkbare Alkylierung, sondern
praktisch nur Polymerisation des n-Butylens.

Analyse der Octanfraktionen.

Die aus dem bei -25° gefahrenen Versuch gesammelten Octanfraktionen ($95 - 125^{\circ}$) wurden durch Herrn Dr. Herbst (Am. Lab.) einer sorgfältigen Fraktionierung und anschließender Raman-spektroskopischer Untersuchung unter Heranziehung der Brechungsexponenten unterzogen. Sie enthielten noch etwas niedersiedende Anteile (hauptsächlich Butylchlorid). Der Siedeschluß lag bei 115° .

Die ausgewertete Ramananalyse der Fraktionen ergab:

0,7 %	Heptan
30,5 "	Isocotan (2,2,4 Trimethylpentan)
15,6 "	2,4 Dimethylhexan
23,2 "	2,3,4 Trimethylpentan
17,1 "	2,3,3 " "
12,9 "	2,3 Dimethylhexan

Verluste durch Auswaschung von $AlCl_3$.

Die Kontaktverluste durch Auswaschung von $AlCl_3$ während des Versuches sind sehr gering. In den wässrigen Ausschüttungen eines bei -35° während 6 Std. gefahrenen Versuches wurden $0,116 \text{ g } Al_2O_3 = 0,28 \text{ g } AlCl_3$ gefunden. Angewandt wurden $20 \text{ g } AlCl_3$. Der Verlust beträgt also in 6 Std. ca. 1,5 % des Kontaktes.

Erörterung der Ergebnisse.

Die Versuche zeigen, daß bei der Alkylierung von Isobutan mit n-Butylen an $AlCl_3$ und HCl

- 1) neben Polymerisaten und Alkylaten noch Butylchlorid und chlorierte höhere Kohlenwasserstoffe entstehen.
- 2) Alkylierung ausschließlich bei Gegenwart von HCl vor sich geht. (Das gleiche wurde früher für Isomerisierung gezeigt.)

Wenn also, wie schon früher gezeigt wurde, ausschließlich Polymerisation von Olefinen in K.W.-Gemischen erwünscht ist, so muß unter völligem Ausschluß von HCl und HCl bildenden Substanzen, z.B. Wasser, gearbeitet werden. Dies kann evtl. durch Zusatz von Aluminium (akt.) zum $AlCl_3$ erreicht werden.

Die besten Verhältnisse für die Alkylierung liegen zwischen -20° und -40° Badtemperatur und etwa 2 - 3 Mol % HCl als Zusatz.

Die Reaktion ist außerdem von der Qualität des als Kontakt verwendeten $AlCl_3$ abhängig. Nicht resubl. Aluminiumchlorid ergab, wie hier nicht veröffentlichte Versuche zeigten, keine oder nur geringe Wirkung als Alkylierungskontakt. Ein im U.S.A. Patent 2 112 847 vom 5.4.38-veröffentlichter Versuch (Beispiel 1) konnte nicht reproduziert werden, da hier kein frisches stückiges $AlCl_3$ vorhanden war und das längere Zeit gelagerte sich als unwirksam erwies.

Dagegen sind die erzeugten Octanisomeren, deren Zahl und Zusammensetzung anders ist als die von Ipatieff und Mitarbeitern angegebenen, von Interesse.

Da sich unter ihnen auch Tryptanhomologe finden, wird die Arbeit durch Alkylierung von Propylen und 1-Butan z.Zt. ergänzt. Es sei vorausgeschickt, daß hierbei die Ausbeuten noch weniger günstig als bei Butylen liegen.

Die Temperaturangaben der Arbeit von Ipatieff liegen vielleicht zu tief. Wir konnten eine von Ipatieff beobachtete Verfärbung und Verschmierung des Kontaktes erst bei -20° gegenüber -35° beobachten. Die von Ipatieff angegebenen Ausbeuten an Octanfraktion wurden nicht erreicht.

Da bei der Reaktion außer Alkylaten und Polymerisaten noch chlorierte K.W. entstehen, müßten die Produkte vor Verwendung im Motor weitgehend von diesen befreit werden.

Die Umsetzung der Olefine ist praktisch vollkommen. Die Olefingehalte im Abgas liegen meist innerhalb der Fehlergrenzen der techn. Gasanalyse.

Literatur.

- 1) Pines, Grosser und Ipatieff
Journ. Am. Chem. Soc. 64.1 (Jan. 42) 33 - 36.
- 2) U.S.A. Pat. 2 112 846. 5.4.1938.
" " 2 112 847 5.4.1938.
- 3) Ipatieff, Grosse, Pines, Komarewsky.
Journ. Am. Chem. Soc. 56. 912 (1926).

Z u s a m m e n f a s s u n g :

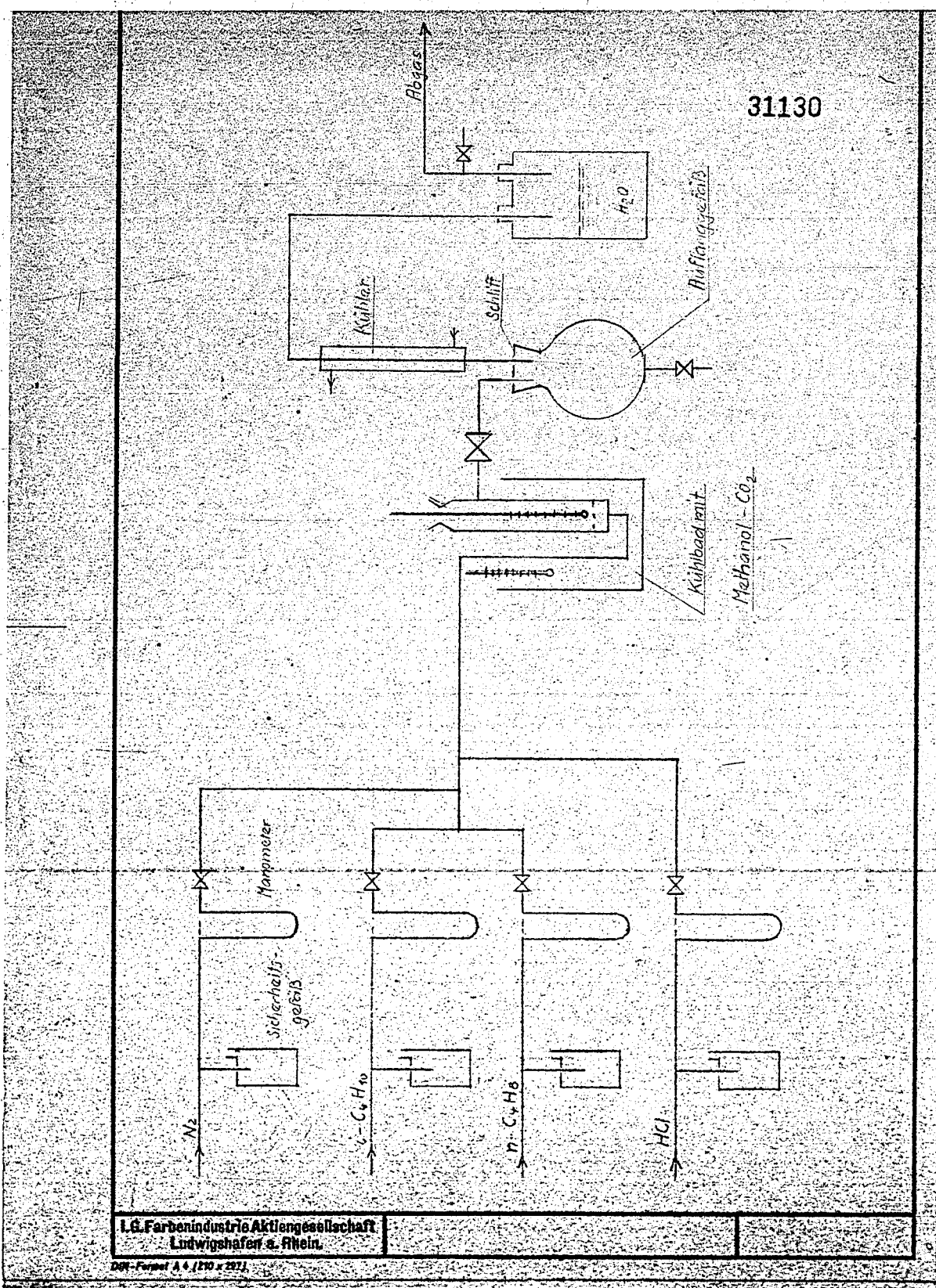
Die Alkylierung von 1-Butan und n-Butylen wurde bei tiefen Temperaturen ohne Druck und in flüssiger Phase an Aluminiumchlorid-Chlorwasserstoff geprüft. Es wurde gefunden, daß hierbei

- 1) neben Alkylierungsprodukten auch Polymerisate und halogenierte Kohlenwasserstoffe entstehen,
- 2) eine Isomerisierung der entstandenen Oktane eintritt,
- 3) zur gewünschten Reaktion (Alkylierung) Chlorwasserstoff unbedingt erforderlich ist. Bei Fehlen des Chlorwasserstoffs erfolgt nur Polymerisation.

Vogel.

Die Arbeiten wurden ausgeführt im Ammon.Labor. in der Zeit von Februar - April 1944.

v. Stuhang!



POOR
COPY

7

31130

Methanol-CO₂13
31131Anhang.

Zu den im Vorhergehenden von Herrn Dr. Vogel gefundenen Ausbeuten an Octan-Isomeren ist noch folgendes zu sagen. Die Bildung dieser Isomeren deutet trotz der dabei ablaufenden Nebenreaktionen, die zu anderen Kohlenwasserstoffen führen, daraufhin, daß anscheinend ein dem Gleichgewicht der Octan-Isomeren naher Zustand erreicht worden ist. Nach den vorliegenden thermodynamischen Daten von Thacker, Folkins und Miller (Ind. eng. chem. 33. 584. (1941)), die sich auf das Gasgleichgewicht der Octane beziehen, sind bei + 25° die Prozente der Isomeren im Gleichgewicht

n-Octan	0,2 %	
2-Methylheptan	0,6	
3- "	0,6	
4- "	0,6	
2,2-Dimethylhexan	2,3	
2,3- "	1,7	(12,9)
2,4- "	1,7	(15,6)
2,5- "	1,7	
3,3- "	2,3	
3,4- "	1,7	
3- Äthylhexan	0,6	
2,2,3-Trimethylpentan	6,0	
2,3,3- "	6,0	(17,1)
2,2,4- "	20,4	(30,5)
2,3,4- "	48,0	(23,2)
2-Methyl-3-Äthylpentan	1,7	
3- " -3- "	2,3	
2,2,3,3-Tetramethylbutan	1,7	

In Klammern die bei -25° in flüssiger Phase gefundenen Werte. Wenn auch die Werte nach den verschiedenen vorliegenden Bedingungen, Gasphase und flüssige Phase nicht direkt vergleichbar sind, und auch die Temperaturen stark voneinander abweichen, so ist doch klar zu ersehen, daß die bevorzugt auftretenden Isomeren auch nach der Berechnung auftreten sollten. Eine Ausnahme bilden die Dimethylhexane, die infolge der bei der Berechnung der Gleichgewichte gemachten vereinfachenden Annahmen nur ungenau bestimmt sind. Jedenfalls zeigt die Arbeit von Herrn Dr. Vogel, daß die allgemeinen

POOR
COPY

7

14

31132

Grundlagen der thermodynamischen Berechnung zutreffend sind, und daß die Berechnung um so genauer werden wird je zuverlässiger die Werte der Verbrennungswärmen und der anderen für die Rechnung notwendigen thermodynamischen Größen usw. werden.

Kinde

C

2273

1735
31133

Vogel

Alkylierung an Aluminiumchlorid
bei tiefen Temperaturen.
II. Propylen und i-Butan

AMMONIAKLABORATORIUM OPPAU

Labor-Bericht Nr. 1235
29. Juni 1944

31134

Dr. Vogel.

Alkylierung an Aluminiumchlorid bei tiefen Temperaturen.
II. Propylen und i-Butan.

AMMONIAKLABORATORIUM OPPAU
Hauptlaboratorium
Hauptstraße 10
Oppau
Nr. 2277 / Id.

Alkylierung an Aluminiumchlorid bei tiefen Temperaturen. II. Propylen und i-Butan.

gez. G. Wietzel

Übersicht

Im Labor-Bericht 1733 vom 3.6.44 wurden Versuche zur Nachprüfung einer Arbeit v. Ipatieff und Mitarbeitern über Alkylierung von i-Butan mit n-Butylen beschrieben. Die Versuche wurden im vorliegenden Bericht auf Propylen und i-Butan zwecks Gewinnung wichtiger Heptanisomeren ausgedehnt.

In der im Bericht 1733 ausführlich besprochenen Arbeit von Pines, Grosse und Ipatieff (Journ. Am. Chem. Soc. 64. 1. (Januar 1942) S. 33-36) findet sich bezüglich des Reaktionspaares Isobutan - Propylen folgende kurze Bemerkung:

"Die Reaktion von Isobutan mit Propylen wurde unter ähnlichen Bedingungen wie denen, die für die Alkylierung von Isobutan - n-Butylen beschrieben wurden, durchgeführt. Die produzierten Kohlenwasserstoffe enthielten 42% Heptane und 20% Decane. 90 v. Hundert des Rohproduktes destillierte unter 220°. Die Heptanfraktion bestand aus 2,4 und 2,3 Dimethylpentan, das letztere in vorwiegendem Masse. Die Identifizierung erfolgte durch Raman-spektroskopische Analyse. Die Analyse stand in voller Übereinstimmung mit den physikalischen Daten der erhaltenen Produkte".

Unsere Untersuchung der Alkylierung von Isobutan mit Propylen erfolgte daher ebenso wie die in Bericht 1733 beschriebene des Reaktionspaares Isobutan - n-Butylen.

Bezüglich der Apparatur und der Versuchseinzelheiten wird auf diesen Bericht verwiesen.

Als Versuchsgase dienten

- 1) Isobutan techn. mit einem Gehalt von ca 97% Paraffinen und ca 2-3% Olefinen.
- 2) Propylen techn. mit ca 95-96% Olefin.

Der Chlorwasserstoffzusatz betrug gemäß den im Bericht 1733 beschriebenen Erfahrungen etwa 2-3 Mol % bezogen auf eingebrachtes Propylen-Isobutangemisch.

Als Kontakt wurden in das mit kräftig wirkendem Rührer versehene Reaktionsgefäß jeweils 20 g frisch sublimiertes feines Aluminiumchlorid (aus T.H.Ware resublimiert) eingebracht.

Strömungsgeschwindigkeit der Gase.

Propylen = 15 Ltr./Std. Gas
i-Butan = 60 " " "
entsprechend ca 300 cm³ fl. Gemisch/Std.

Reaktionstemperaturen.

Die Temperaturen im Kühlbad wurden zwischen -20° und -40° variiert.

Versuchsdauer.

Die Versuche wurden 4 - 6 1/2 Std. gefahren. Hierbei wurde als Versuchsdauer die Zeit vom 1. Übergang ins Vorlagegefäß bis zum Schluß gerechnet. Die Versuche wurden aber sehr häufig infolge äußerer Einwirkungen unterbrochen.

Ausbeuten.

Infolge dieser Unterbrechungen können die Ausbeuteangaben nur recht ungenaue sein. Die Ausbeuten an Rohprodukt (dephlegmiert) schwankten zwischen 170-210% bezogen auf eingebrachtes Propylen.

Die Heptanfraktionen betragen 15-21% des Rohproduktes. Eine wesentliche Abhängigkeit von der Badtemperatur wurde nicht beobachtet.

Analytische Befunde der Rohprodukte.

Die Untersuchung der Rohprodukte ergab durchweg völlige Abwesenheit von ungesättigten Verbindungen. (Hydrier- (Jod)-Zahl = 0). Die Rohprodukte enthielten aber zwischen 2 und 3,5% Cl.

Analyse der Abgase.

Die techn. Analyse der Versuchsgase ergab Olefine nur innerhalb der Fehlergrenzen der Analyse (ca 0,5%).

Beschaffenheit des Kontaktes nach den Versuchen.

Bis etwa -25° war eine Veränderung des Kontaktes während des Versuches (4-6 1/2 Std.) nicht erkennbar, abgesehen davon, daß das anfangs suspendierte Feine $AlCl_3$ im Laufe des Versuches an den Wandungen festhaftete. Erst innerhalb -25° trat eine leichte Bräunung auf.

Untersuchung der Heptanfraktionen.

Ein Muster einer Heptanfraktion aus einem bei -35° Badtemperatur und ca 3 Mol % HCl Zusatz während 6 1/2 Std. gefahrenen Versuche, ergab bei der ramanpektroskopischen Untersuchung durch Herrn Dr. Herbst folgendes Bild:

T a b e l l e .

Fraktion	Siedegrenzen	cm ³	%	n _D ²⁰	Ramananalyse							
					unbekannt		2,4-Dimethylpentan		2,3-Dimethylpentan		unbekannt	
					%	cm ³	%	cm ³	%	cm ³	%	cm ³
I	54-75 ^o	14	5,7	1,3780	50	7	50	7	-	-	-	-
II	75-79.8	30	12,2	1,3810	-	-	100	30	-	-	-	-
III	79,8-85,2	27	11,0	1,3840	-	-	82	22	18	5	-	-
IV	85,2-90,0	131,5	53,7	1,3910	-	-	10	13	90	118	-	-
V	90,0-107	15,5	6,3	1,3925	-	-	-	-	90	14	10	1,5
Rückst.		11,0	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Verl.		16	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zusammen:		245,0	100,0		2,9	7	29,4	72	56,0	137	0,6	1,5

Neben einigen nicht definierten Substanzen, wahrscheinlich unter anderen chlorierten Kohlenwasserstoffen, enthielt die Heptanfraktion

also

31138

ca 30% 2,4 Dimethylpentan und
ca 56% 2,3 Dimethylpentan.

Weitere Homologe können nur in Spuren vorhanden gewesen sein. Die untere Grenze der Bestimmbarkeit beträgt etwa 3-4%. Es ist also zu sagen, daß sich höchstens 1% Triptan im Gemisch befinden haben kann.

Wie eingangs erwähnt, soll nach Ipatieff und Mitarbeitern auch deren Alkylierungsprodukt von Isobutan und Propylen aus

2,4 und (überwiegend) 2,3 Dimethylpentan bestehen.

Vergleich mit Alkylierungsprodukten die an Schwefelsäure als Kontakt gewonnen wurden.

Im Laborbericht 1647 vom 15.4.41 gibt Herr Dr. Elmel die Ergebnisse der ramanspektroskopischen Untersuchung seiner Alkylate aus Propylen, n-Butan 1, n-Buten 2 und Isobutan mit Isobutan an.

In einem solchen Alkylat aus Isobutan und Propylen, das bei +27° erzeugt war und ca 72% Heptane enthielt, wurden gefunden

47% 2,4 Dimethylpentan und
25% 2,3 " " "

Triptan (2,2,3 Trimethylbutan) fand sich in bemerkbarer Menge also weder in Alkylaten, die an Schwefelsäure noch solchen, die an $AlCl_3-HCl$ als Kontakt erzeugt waren.

Da aus Isobutan und Propylen theoretisch

2,2 Dimethylpentan
2,4 " "
2,2,3 Trimethylbutan und
2 Methylhexan

zu erwarten gewesen wäre, so zeigt das Vorliegen von vorwiegend 2,3 Dimethylpentan im Alkylat an Aluminiumchlorid-HCl, daß auch hier eine Umlagerung primär entstandener Produkte eingetreten ist.

Die sehr komplexe Reaktion bei der Alkylierung an Aluminiumchlorid-Chlorwasserstoffkontakten ließ es nicht als lohnend erscheinen, die an techn. Gasen gewonnenen Ergebnisse durch Versuche mit reinen und genau untersuchten Gasen zu ergänzen.

Z u s a m m e n f a s s u n g .

Die Alkylierung an $AlCl_3-HCl$ bei ca -35° von Isobutan mit Propylen ergab mit etwa 15-20% Ausbeute gerechnet auf Gesamtalkylat eine Heptanfraktion von

2,4 und vorwiegend 2,3 Dimethylpentan.

Infolge eines erheblichen Gehaltes an chlorierten Kohlenwasserstoffen, aus dem leicht HCl abspaltbar ist, dürften die restlichen Alkylate nur schwer technische Verwendbarkeit finden.

*Y
Leyd.*

W/

Die Arbeiten wurden im Mai 1944 im Ammon.Labor Oppau durchgeführt.

AT 244/ Erf.
Dr. Kö/Pz.

31140

Referat Nr. 9

Referent: Dr. Strätz

Thema: Betriebszahlen für AT-Verfahren

Umsatz, Ausbeute, Energie, Leutebedarf für Gesamtanlage mit Ausnahme der H_2SO_4 -Konzentration.

In der Dehydratierstufe wurde bisher ein Umsatz von 20% und eine Ausbeute von 85% erreicht. Bei der Planung wurden 25% Umsatz und 85% Ausbeute zugrundegelegt. Die geplante Ausbeute ist erreicht. Infolge des erhöhten Säureverbrauches konnte bisher der Umsatz von 25% nicht erreicht werden. Es ist zu erwarten, dass nach Einbau der techn. Trocknungsanlage der Umsatz bis auf 25% gesteigert werden kann.

In der Alkylierstufe wird das Olefin 100 %ig umgesetzt. Es reagiert 1 Tl. $n-C_4H_{10}$ mit 1,18 Tl. $i-C_4H_{10}$, das bedeutet, dass in der Anlage 1 Tl. $i-C_4H_{10}$ mit 1 Tl. $n-C_4H_{10}$ verarbeitet wird.

Die Produktbilanz der gesamten AT-Anlage liegt heute folgendermassen:

Produktion an ET 120	75 %	} 79% Benzin
AT Rückstand	2 - 3 %	
AT-Vorlauf	0,5 - 1,0 %	
flüssig Propan	0,5 %	
% C	0,5 %	
Restgase zum Heizen der Öfen	6 - 8 %	
1% Verluste mit der H_2SO_4	1,0 %	
Verluste	12-15 %	

Wenn auch 12 - 15% Verluste sehr hoch erscheinen, so ist dabei zu bedenken, dass in der Anlage bei 20% Umsatz die Produkte fünfmal im Kreislauf gefahren werden, d.h. bei einmaligem Durchgang werden 3% des Butans verloren. Mit Steigerung des Umsatzes werden die Verluste noch sinken.

T-52-Anlage

Produktion 23101 d.a. 27700 jato T-52

Energien der T-52 und AT-Anlage.

	HD.Dampf l/t T52	ND.Dampf l/t T52	H.Spannung KWh/t T52	N.Spannung KWh/t T52	Rückkühlwasser m ³ /t T52	Frischwasser m ³ /t T52	Heizgas MWh/t T52	Stickstoff m ³ /t T52	Pressluft m ³ /t T52
Dehydrierung	—	2.02	—	152.6	32.5	—	2.9	268.0	—
Komp.r. u. Oelwäsche	0.63	0.25	3.03	30.0	153.0	—	—	—	—
Polymerisation	—	0.07	—	17.0	12.0	—	—	—	—
Zwischendest. II u. Di-Tridest.	2.28	0.09	—	15.1	72.5	3.2	—	—	—
Hydrierung	0.26	0.18	82	47.5	17.3	0.86	—	—	—
Gesamt:	3.17	2.61	86 +Rückkühler 471	262.2	287.3	4.06 +Rückkühler 3280	2.9	268.0	1210

AT-Fabrikation

Produktion 2973 meto d.a. 35000 jato

	HD.Dampf l/t ET120	ND.Dampf l/t ET120	H.Spannung KWh/ET120	N.Spannung KWh/ET120	Rückkühlwasser m ³ /ET120	Frischwasser m ³ /ET120	Heizgas MWh/ET120	Stickstoff m ³ /ET120	Pressluft m ³ /ET120
Dehydrierung	—	1.28	—	98.5	24.0	—	2.1	117.0	—
Komp.r. u. Oelwäsche	0.14	0.16	2.06	12.0	94.0	—	—	—	—
Alkylierung x	4.92	0.06	—	72.5	143.0	—	—	—	—
Butandestillation	0.19	4.40	—	24.0	143.0	7.75	—	—	—
Vordest. u. Fertigprodukt dest.	1.21	1.53	—	24.2	143.0	7.75	—	—	—
Gesamt:	6.46	7.43	165 +Rückkühler	231.2	547.0	15.5 +Rückkühler 70.30	2.1	117.0	44.7
	mit Turbinendampf	1.54	371						

x Der Hochdruckdampf der Turbine wird ins Niederdruckdampfnetz entspannt und wird zum Heizen der Kolomen benutzt.

31141

31142

AT 244/Erf.
Dr. Kö/Pz.

Referat Nr. 9

Kontaktverbräuche.

Die Lebensdauer des Dehydrierkontaktes soll 300 Stunden betragen, d.h. es muss in 300 Stunden pro Ofen 2,3 m³ aus dem Kreislauf entfernt werden,

d.h. pro Monat muss pro Ofen 5,5 m³

d.s. 5,25 to Kontakt verbraucht werden.

Da die mechanische Lebensdauer grösser ist als 300 Stunden muss zusätzlich noch ganzer Kontakt aus dem Kreislauf entfernt werden. Die Entfernung des Splittes erfolgt im Gegensatz zu früher jetzt mit 4 mm Maschensieben.

Leistung des Kontaktes:

1 to Kontakt produziert 150 to ET 120
oder
für 1 to ET 120 werden 6,7 kg Kontakt verbraucht.

Bei der T 52-Anlage war der Kontaktverbrauch niedriger:

pro to Kontakt wurden 200 to T 52 produziert.

d.s. 5 kg Kontakt / to T 52.

Energieverbräuche

An Hand beiliegender Tabelle wurden vom Vortragenden die Energieverbräuche beim T 52 und AT-Verfahren verglichen. Die erreichten Energiezahlen liegen unter den bei der Planung zugrundegelegten Daten.

Leutebedarf:

Die AT-Anlage Leuna arbeitet mit insgesamt 160 Mann Belegschaft und 21 Angestellten.

Die 160 Mann bestehen zu

50 % aus deutschen Männern
30 % aus ausländischen Männern
15 % aus deutschen Frauen
5 % aus ausländischen Frauen.

In den Zahlen ist eine Reserve von 10% für Urlauber und Kranke eingerechnet. Die Belegschaft reicht völlig aus, um die Anlage ohne Produktionsausfälle zu fahren und im Katastrophenfall oder bei Fliegerangriff in 3 - 5 Minuten abzustellen.

1107

31143

AT 244/Erf. Referat Nr. 9
Dr.K8/Pz.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass sogar ein grosser Teil der Belegschaft für Luftschutzzwecke als Feuerwehrrupps, Brändwachen usw. eingesetzt ist.

Die Verteilung der Belegschaft auf die einzelnen Betriebe ist in den nachfolgenden 7 Bildern anschaulich dargestellt.

Bild 1 gibt einen Überblick über die Zahl der Meister, Laboranten und Büroangestellten.

Insgesamt sind
 15 Betriebsmeister
 4 Maschinenmeister
 1 Laborant
 1 Büroangestellter

erforderlich. Der in dieser Zusammenstellung mit aufgezählte Obermeister ist nur zu 50% in der AT-Anlage tätig.

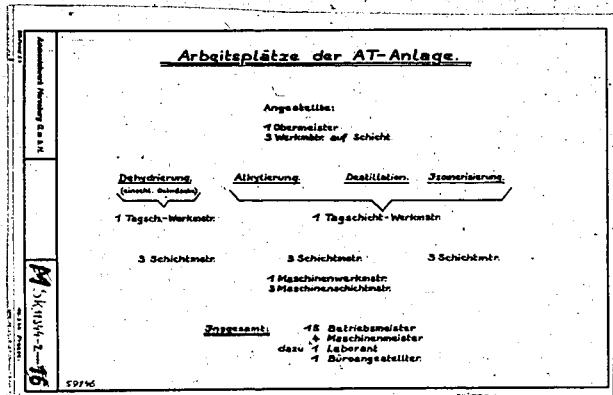


Bild 1: Angestellte in der AT-Anlage Leuna.

Bild 2 zeigt einen Grundriss der AT-Anlage.

Die Anlage erstreckt sich über einen Bereich von 250 m in nordöstlicher Richtung und 310 m in Ostwest Richtung. Der Arbeitsbereich der einzelnen Meister ist ersichtlich. Der grüne Kreis stellt den Obermeister dar, der die ganze Anlage überwacht.

Die 2 blauen Kreise mit dem Buchstaben T sind die 2 Tageschichtmeister. Der eine überwacht die Dehydrierung, einschliesslich Ölwäsche und Tanklager 960, der andere überwacht die Alkylierung, Destillation und Isoanlage. Auf Schicht ist ein Werkmeister für die Gesamtanlage verantwortlich. Es sind ihm 3 Schichtmeister a) für Dehydrierung

31144

AT 244/Erfr.
Dr.K3/Pz.

Referat Nr. 9

b) Alkylierung
unterstellt.

c) für Destillation und Isoanlage

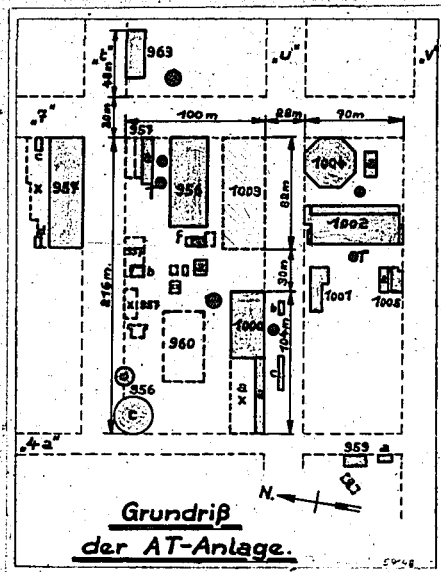


Bild 2: Grundriss der AT-Anlage Leuna.

Auf Bild 3 sind der Leutebedarf der Dehydrieranlage und die jeweiligen Arbeitsplätze dargestellt. Die Bezeichnungen, die auch für die folgenden Bilder gelten, besagen folgendes:

Die roten Kreuze + sind	Wechsel-Schichtarbeiter
die roten Kreise ⊕ sind	Vorarbeiter auf Wechsel- schicht
die blauen Kreuze + sind	Tagschichtarbeiter
die blauen Kreise ⊕ sind.	Tagschichtvorarbeiter

In Betrieb sind 4 Dehydrieröfen, 2 Trocknungsöfen,
2 Regenerationsöfen, ferner 4 Luftgebläse,
1 Heizgasgebläse, 3 Butankompressoren und 1 Kühl-
anlage.

31145

AT 244/Err.
Dr.K8/Pz.

Referat Nr. 9

Gesamtbedarf: 60 Mann

Die Einzelheiten siehe Bild.

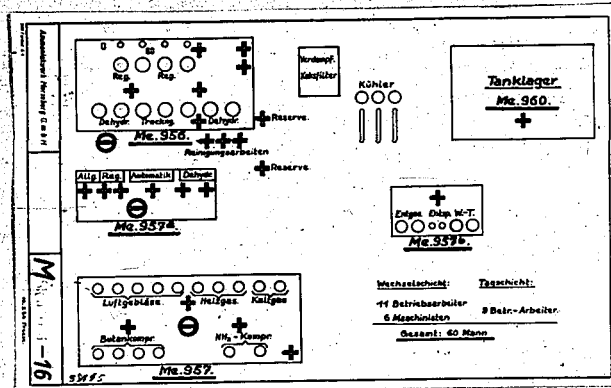


Bild 3: Leutebedarf der Dehydrirung und Gaskondensation.

Auf Bild 4 ist der Leutebedarf der Alkylierung, Kühlbutan-anlage dargestellt. In Betrieb sind: 8 Rührwerke mit den Abscheidern, 3 Feinabscheider, 1 Laugwäsche, 1 Kälte-anlage.

Dazu werden insgesamt 37 Mann benötigt.

Einzelheiten siehe Bild 4.

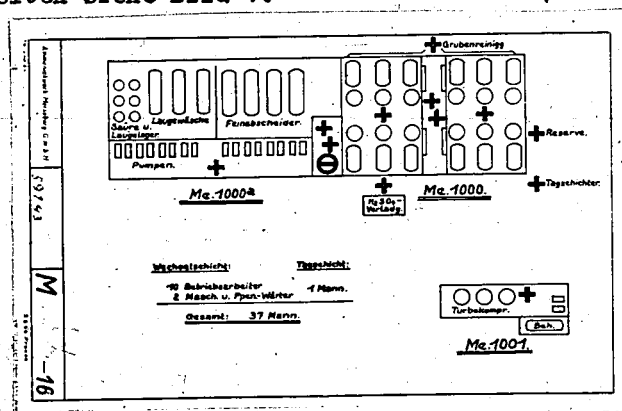


Bild 4: Leutebedarf der Alkylierung und Kühlbutan-anlage.

31146

AT 244/Erf.
Dr.K8/Pz.

Referat Nr. 9.

Bild 5 zeigt den Leutebedarf der Destillationsanlage, des Rückkühlwerkes und des Tanklagers.

In Betrieb sind: 1 Vordestillation, 2 Butankolonnen, 1 Entpropanisierungskolonne, 1 Redestillation und 1 Nachstabilisierung; dazu kommen insgesamt 45 Pumpen, wovon 30 - 35 in Betrieb sind.

Für diesen Betrieb sind 28 Mann erforderlich.
Einzelheiten siehe Bild 5.

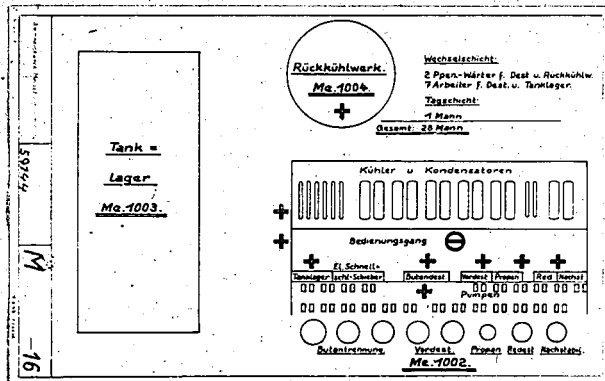


Bild 5: Leutebedarf der Destillation, des Tanklagers und des Rückkühlwerkes.

Bild 6 zeigt die Isomerisationsanlage. Für 2 Isoöfen und 1 HCl-Kolonne in Betrieb sind insgesamt 11 Mann erforderlich.

Im Hinblick auf die Anfahrschwierigkeiten sind auf Tagsschicht 2 Mann vorhanden; davon kann einer später wegfallen.

(Bild 6 siehe folgende Seite)

31147

AT 244/Erf.
Dr.K6/Pz.

Referat Nr. 9

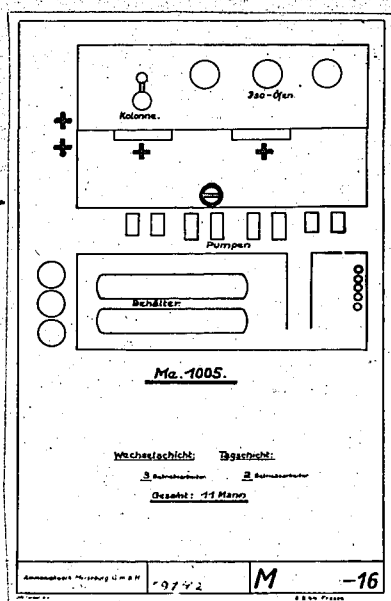


Bild 6: Leutebedarf der Iso-Anlage.

Bild 7 umfasst den Leutebedarf des Laboratoriums, des Büros und der Verladestation für Butan und Benzin.

Im Labor sind 11 Leute vorgesehen. Die 5 Arbeitskräfte für Stockanalysen können bei normalem Betrieb auf 3 reduziert werden. In der Leuna-Anlage werden 5 benötigt, da viele Versuche und Entwicklungsarbeiten durchgeführt werden.

Für das Büro sind 5 Leute erforderlich, für die Verladestation insgesamt 5 für Entleerung der Butanwagen (bis zu 8/Tg.), Abfüllung von Proppn, Rückstände, Vorlauf und ET 120.

(Bild 7:(siehe folgende Seite)

AT 244/Erf.
Dr.K8/Pz.

Referat Nr. 9.

31148

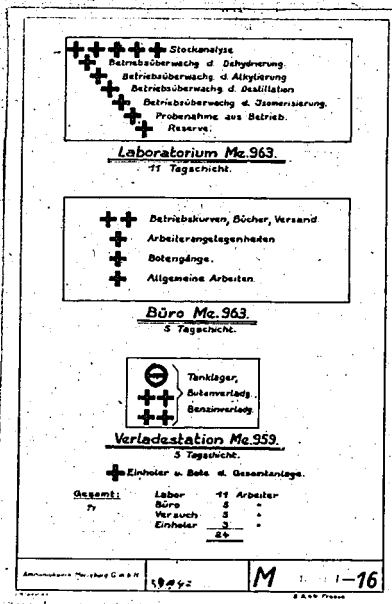
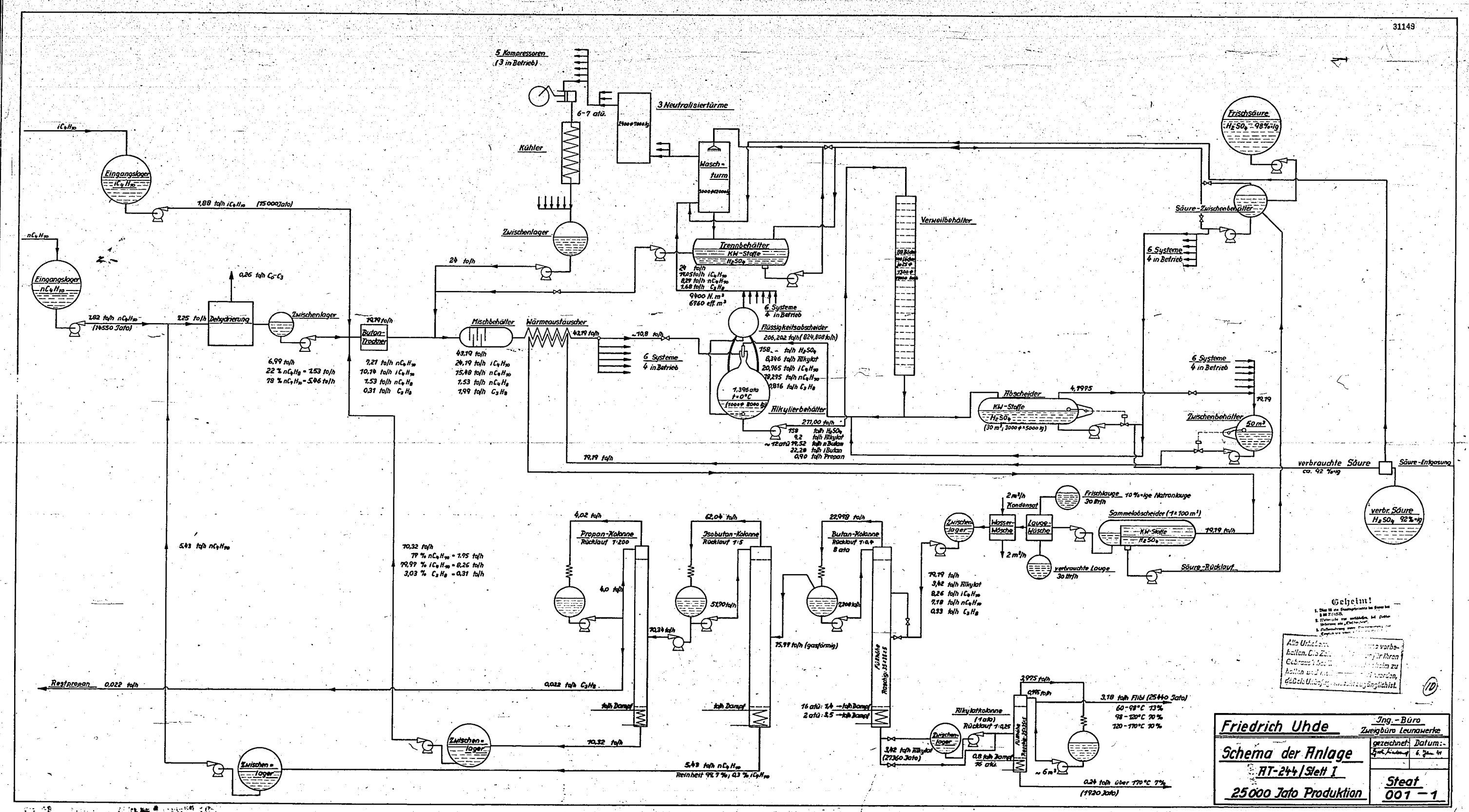


Bild 7: Leutebedarf des Laboratoriums, des Büros und der Verladestation für Butan und Benzin.

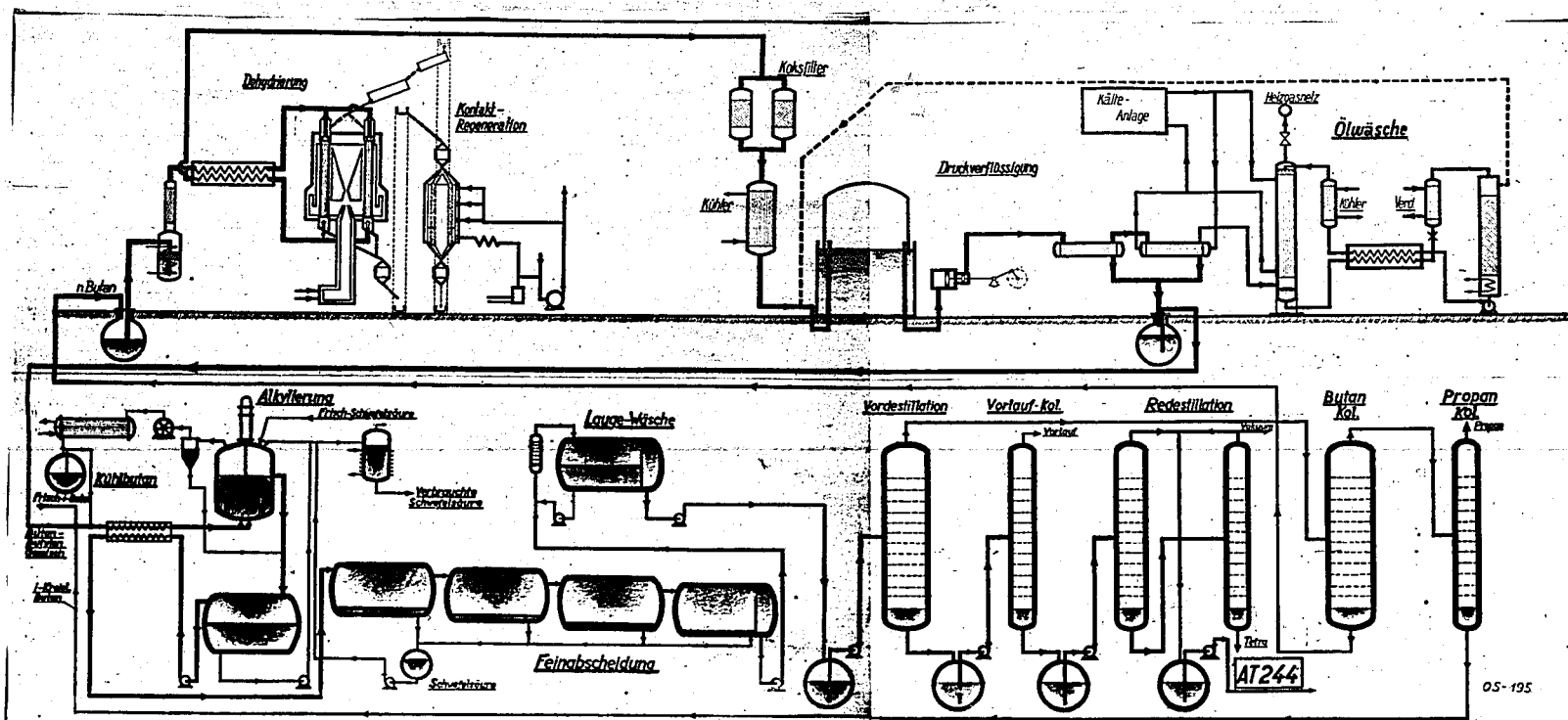
Bemerkung: Diskussion zu Referat 9 wurde mit Referat 10 zusammengefasst (siehe dort).

31149

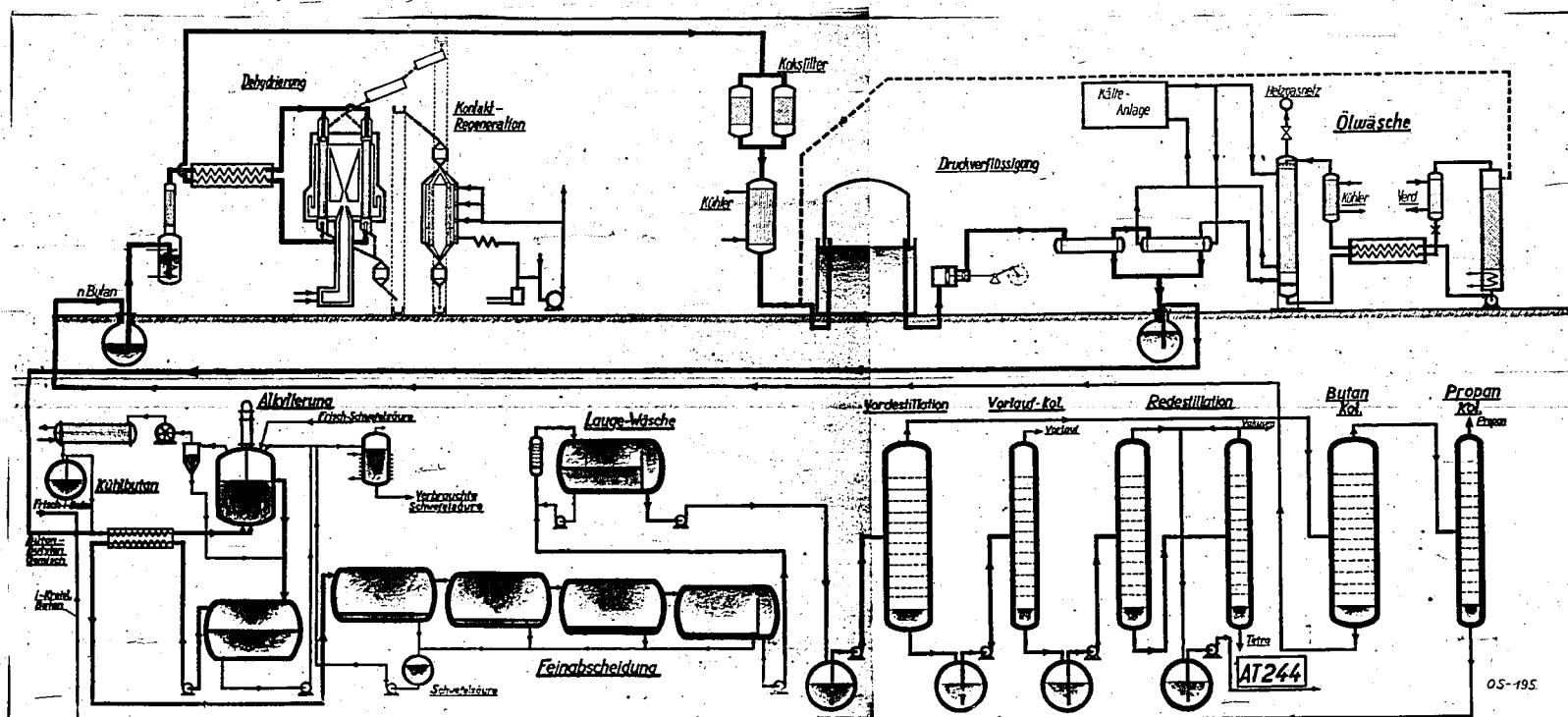


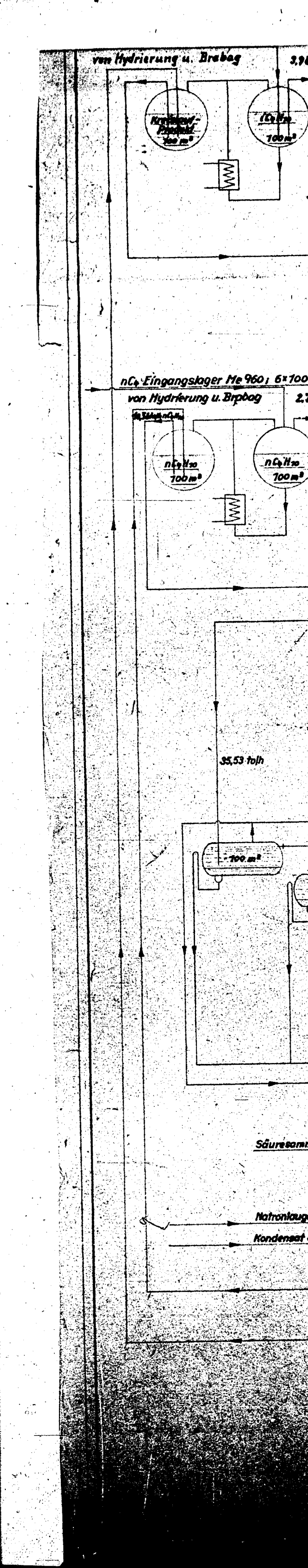
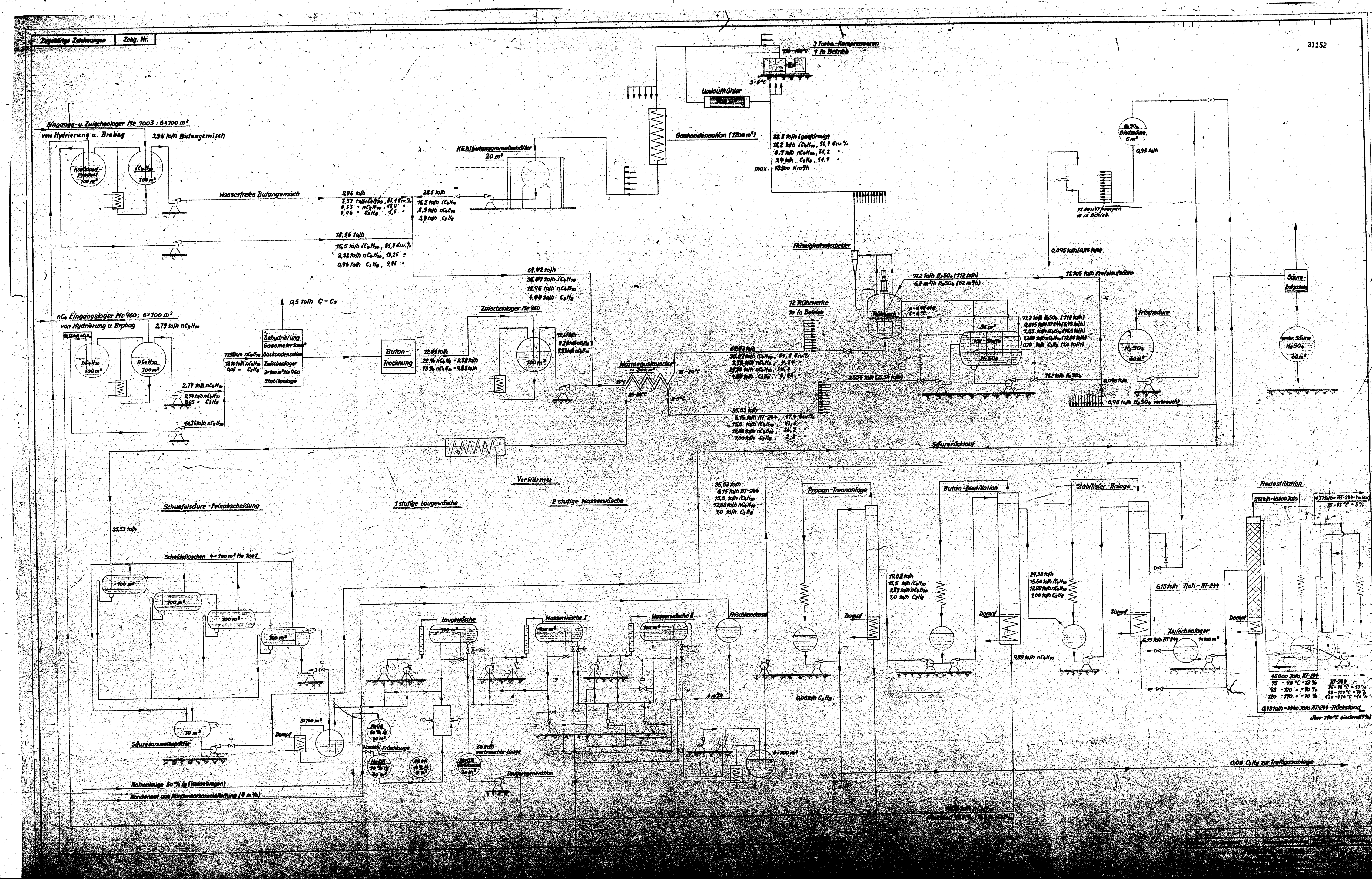
31150

(11)

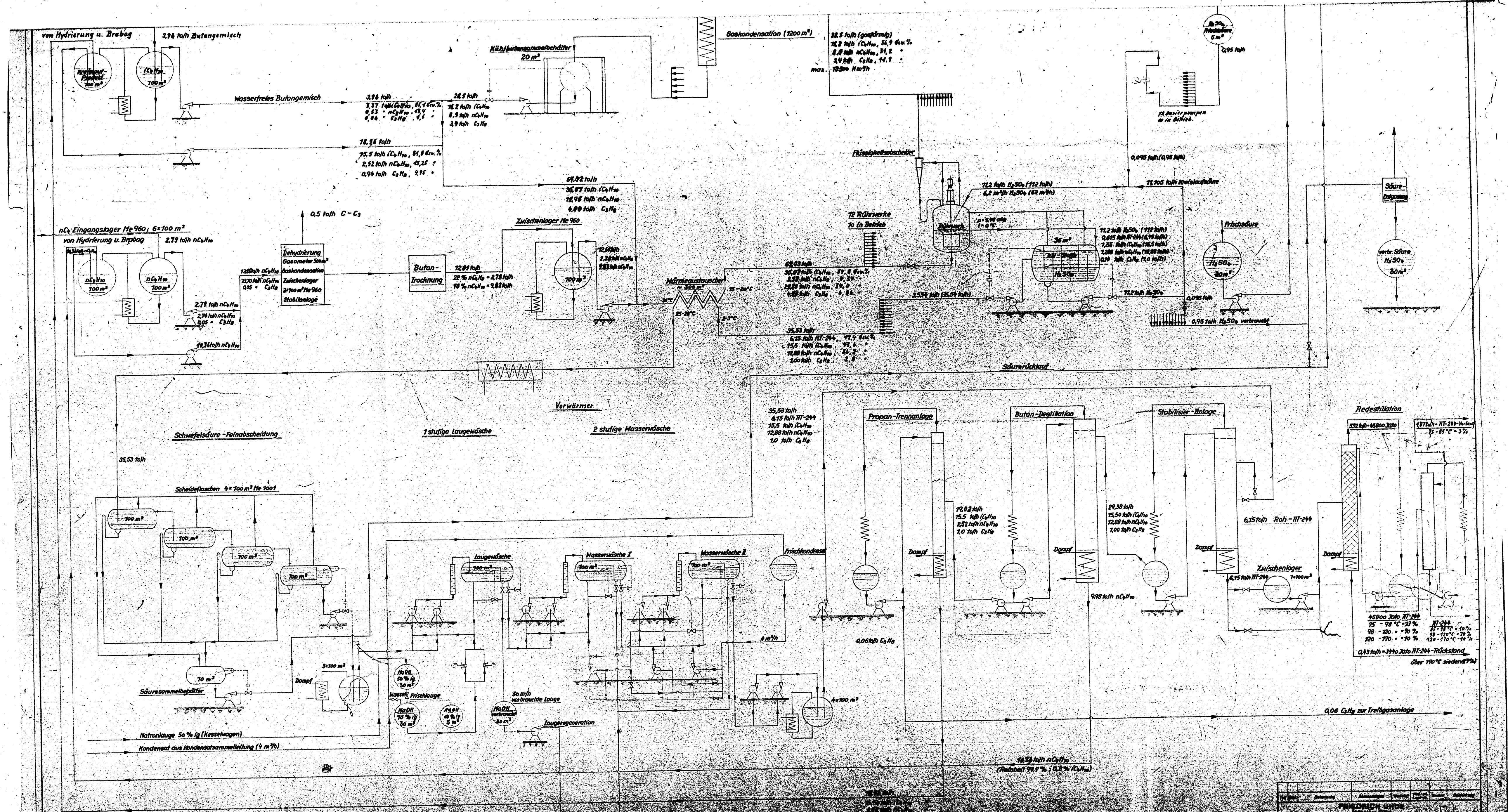
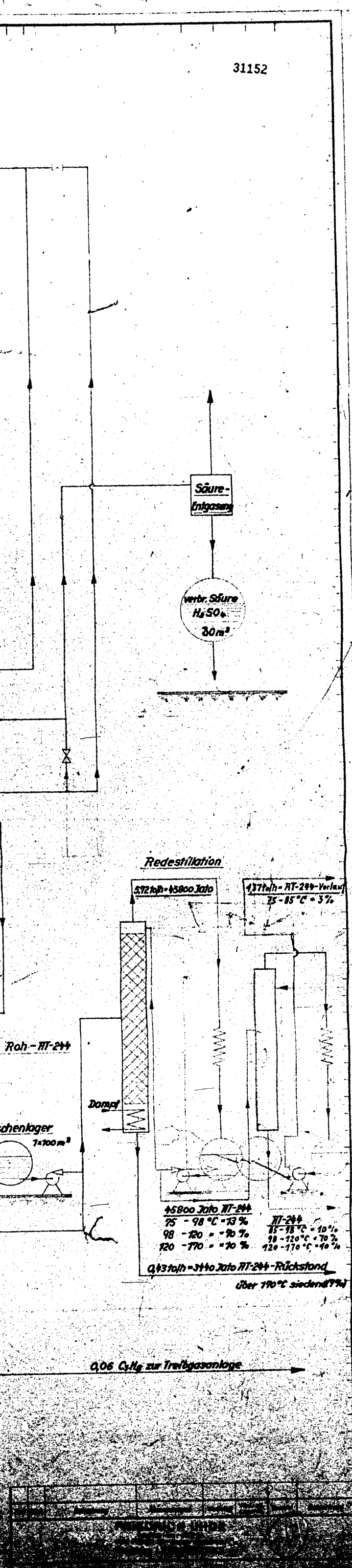


31151

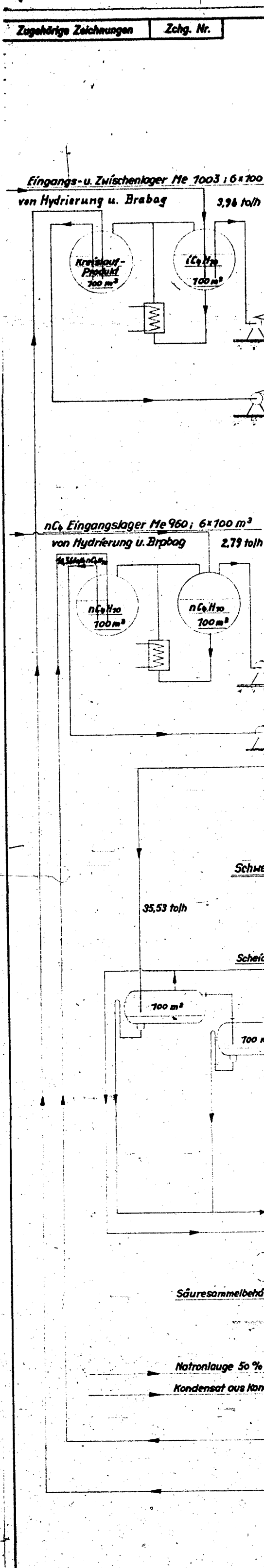


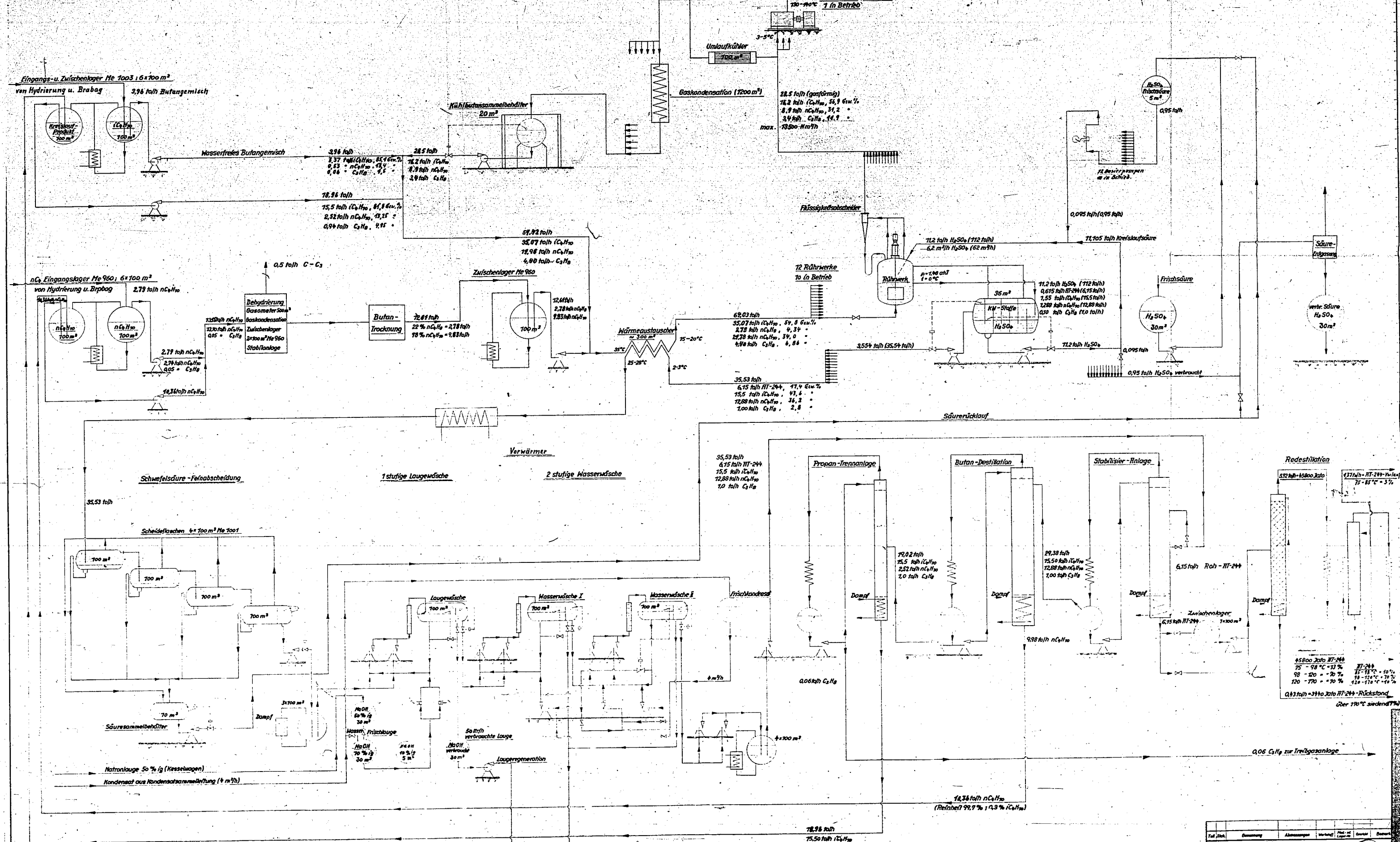


31152



Str.	Bezeichnung	Abmessungen (mm)	Material	Bemerkungen
1
2
3
4
5





Eingangslager Me 900, 6 x 100 m³
 von Hydratierung u. Braubog
 2,79 t/h nC₄H₁₀

nC₄ Eingangslager Me 900, 6 x 100 m³
 von Hydratierung u. Braubog
 2,79 t/h nC₄H₁₀

Schwefelsäure - Feinabscheidung
 35,53 t/h

Natronlauge 50 % ig (Kesselwagen)
 Kondensat aus Kondensatsummelbehälter (4 m³/h)

Zwischenlager Me 900
 2,79 t/h nC₄H₁₀

1 stufige Laugewäsche
 2 stufige Wassermäsche

Laugewäsche
 70 m³

NaOH 50 % ig
 30 m³

3 Turbo-Kompressoren
 7 in Betrieb

Umlaufkühler
 20 m³

Gaskondensation (1200 m³)
 28,5 t/h (gasförmig)
 18,2 t/h (C₂H₆, 64,1 Gew.-%)
 8,8 t/h nC₄H₁₀, 30,2
 3,9 t/h C₃H₈, 13,7
 max. 1250 m³/h

Wärmeaustauscher
 35,53 t/h
 4,15 t/h nC₄H₁₀, 11,9 Gew.-%
 15,5 t/h nC₄H₁₀, 43,6
 12,88 t/h nC₄H₁₀, 36,2
 7,00 t/h C₃H₈, 19,3

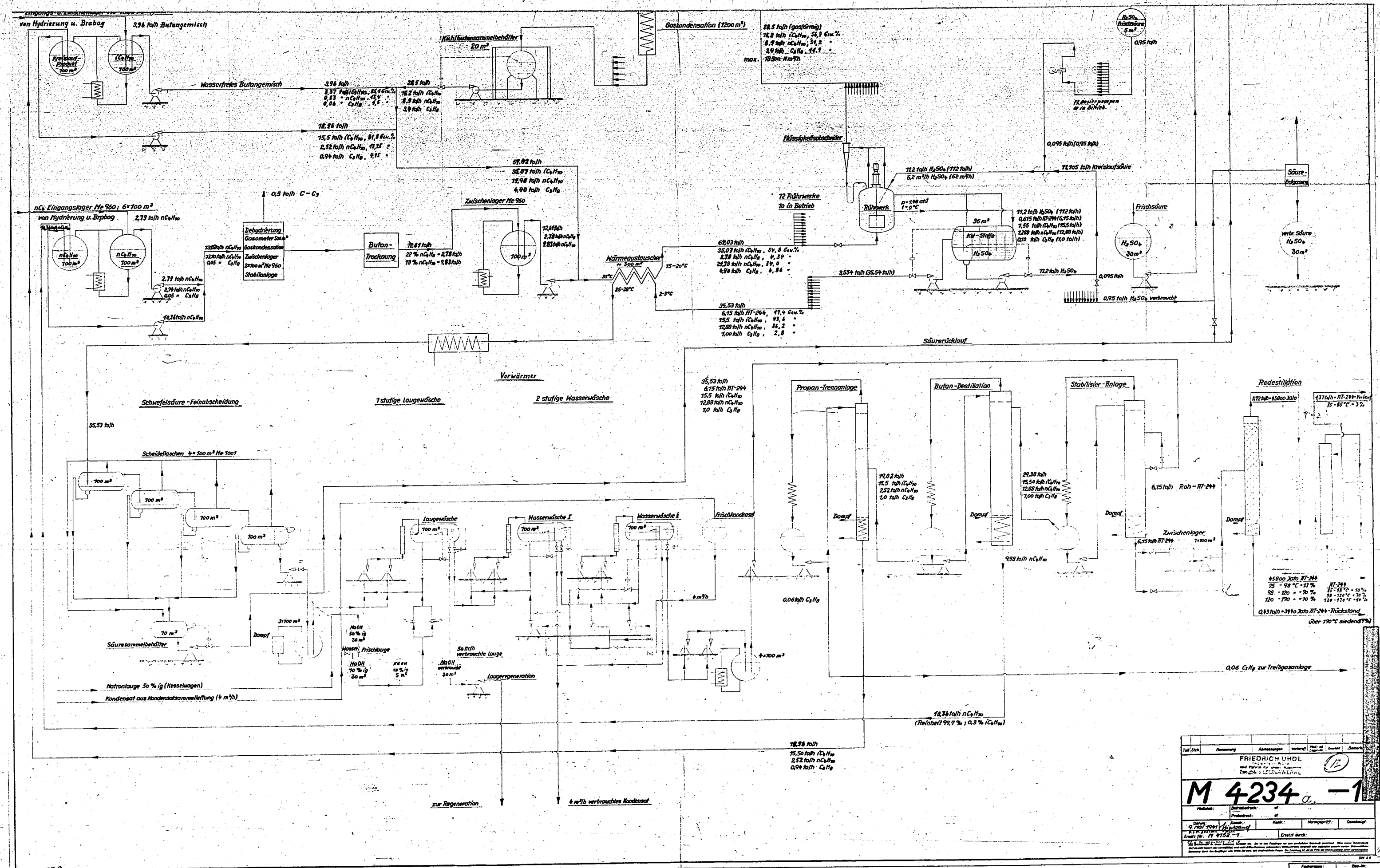
Propan-Trennanlage
 35,53 t/h
 4,15 t/h nC₄H₁₀, 11,9 Gew.-%
 15,5 t/h nC₄H₁₀, 43,6
 12,88 t/h nC₄H₁₀, 36,2
 7,00 t/h C₃H₈

Butan-Destillation
 70,02 t/h
 75,5 t/h (C₂H₆, 64,1 Gew.-%)
 25,2 t/h nC₄H₁₀, 70,0
 2,0 t/h C₃H₈

Stabilisier-Anlage
 29,38 t/h
 25,50 t/h (C₂H₆, 64,1 Gew.-%)
 12,00 t/h nC₄H₁₀, 36,0
 2,00 t/h C₃H₈

Redestillation
 45800 Zulu RT-244
 75 - 98 °C = 23 % RT-244
 98 - 120 = 20 % RT-244
 120 - 170 = 10 % RT-244
 170 - 200 = 7 % RT-244
 200 - 250 = 0 % RT-244
 0,83 t/h = 390 Zulu RT-244-Rückstand
 über 170 °C siedend (7%)

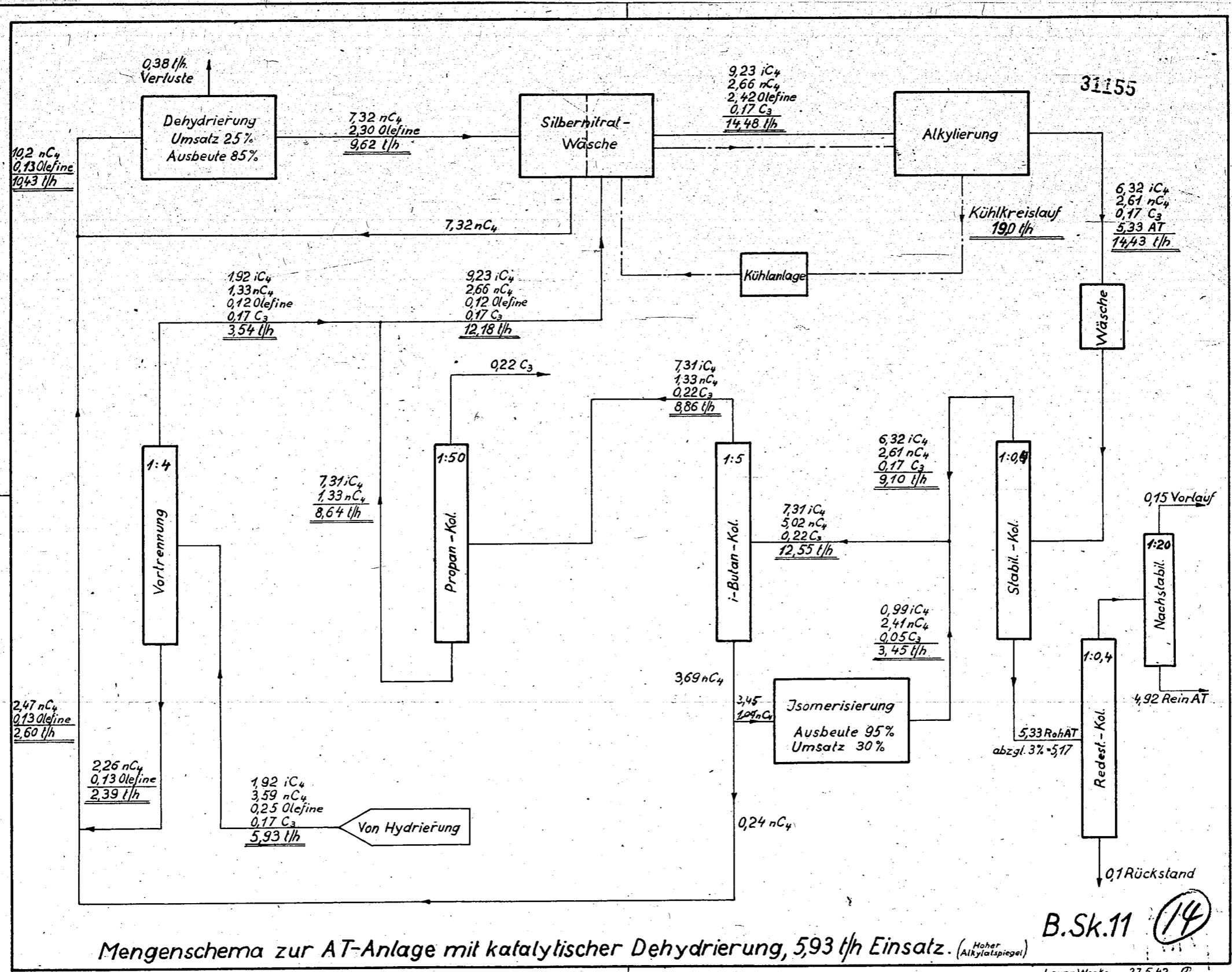
Teil	Bezeichnung	Abmessungen	Verfahren	Prod. d. d. d.	Genuss	Bezeichnung
	FRIEDRICH UNDE					(12)
M 4234 - 1						

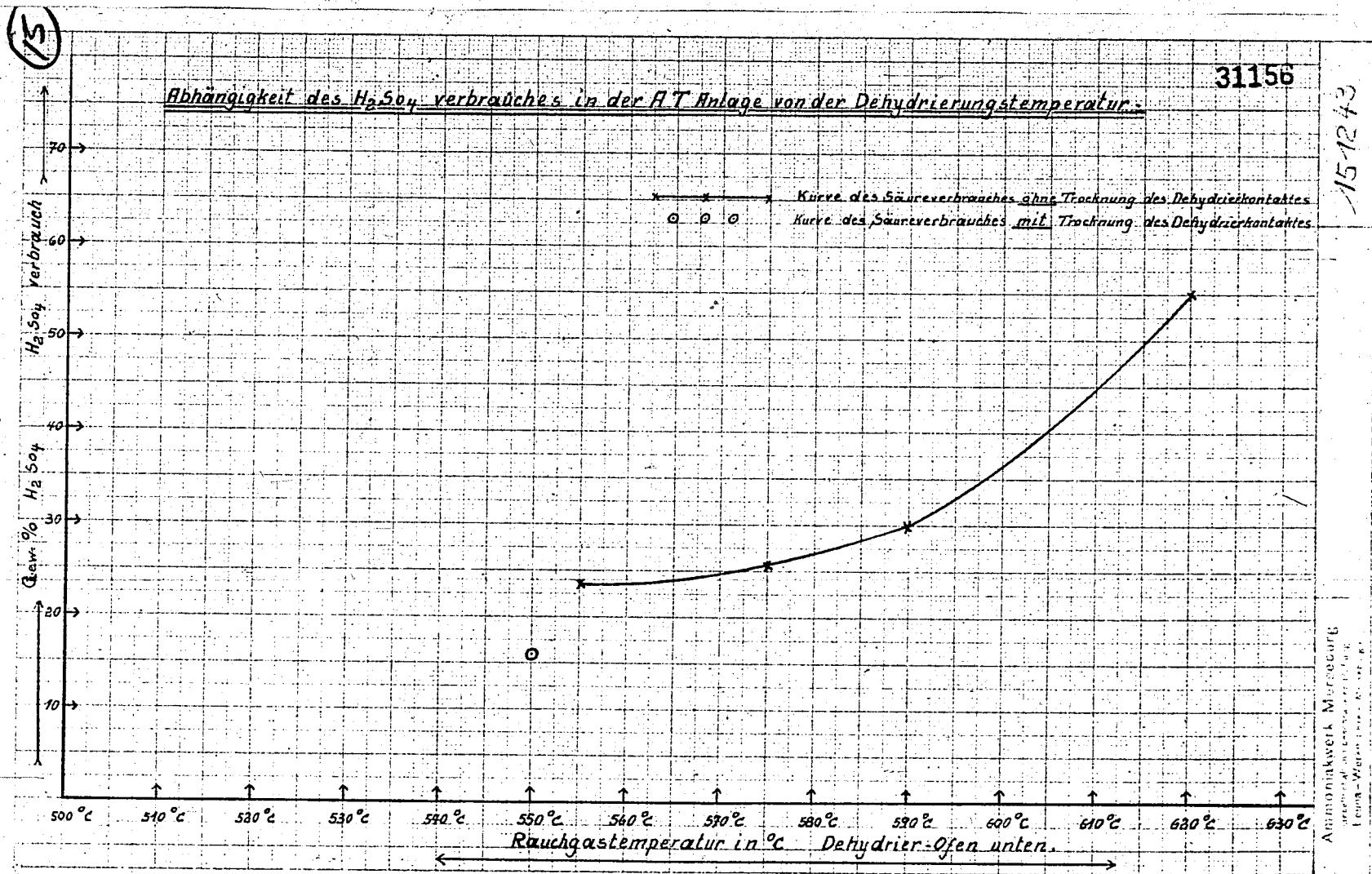


FRIEDRICH UHDE	
M 4234 a. -1	
Projekt:	Erstellt durch:
Geprüft durch:	Freigegeben am:
1. Aufl. 1952 2. Aufl. 1955 3. Aufl. 1958	

Schema der Gesamtanlage RT-244

POOR COPY
12





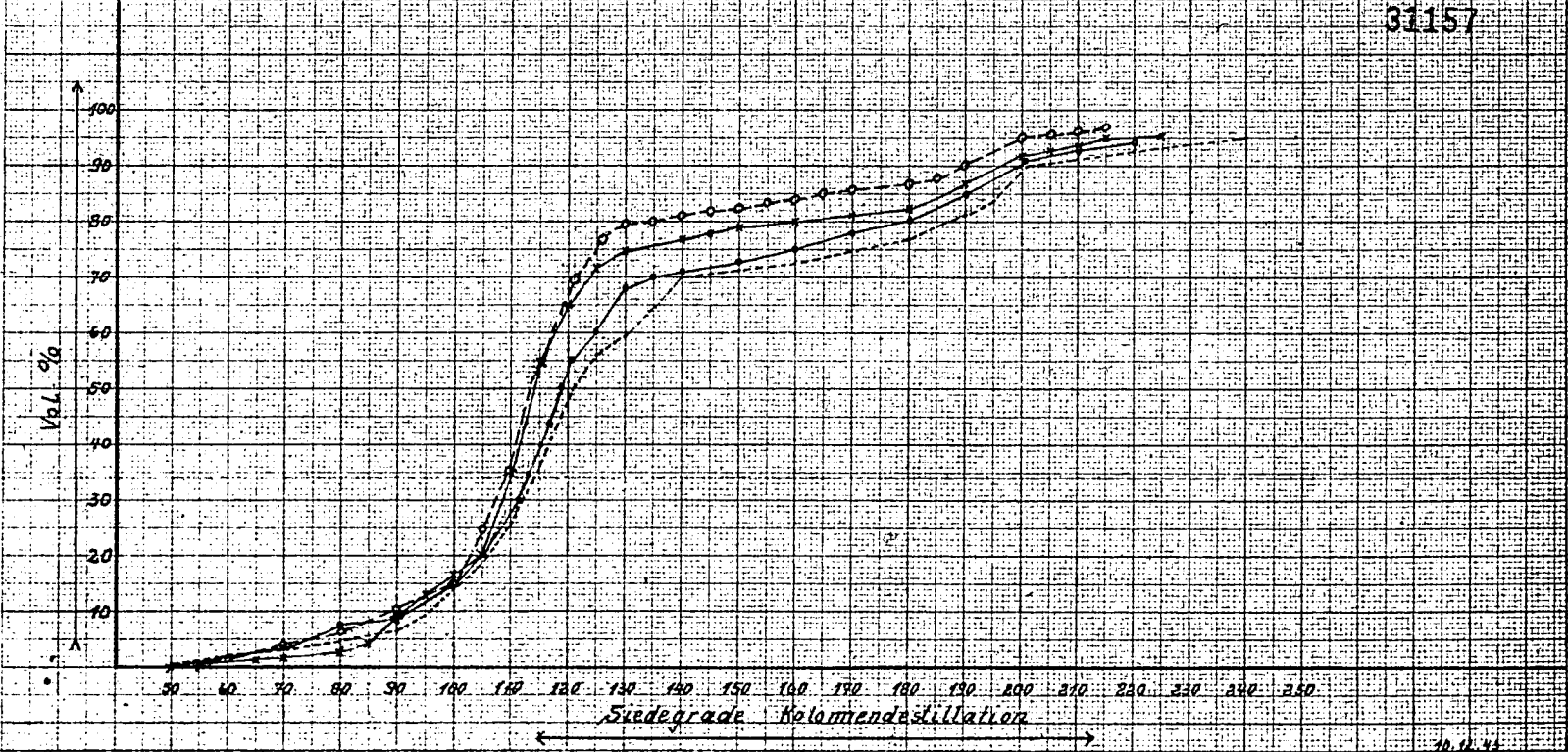
16

Abhängigkeit des Siedeverlaufes (Kolomendestillation) des E T 120 von der Belastung in der Alkylierung.

Konstante:
 Säurekonzentration 84-85 %
 Rührgeschwindigkeit $n = 120 / \text{min}$

Variable:
 Rührwerk 8, Belastung 8.0, Rührgröße 800 mm
 Rührwerk 8, Belastung 12.0, Rührgröße 800 mm
 Rührwerk 6, Belastung 8.0, Rührgröße 500 mm
 Rührwerk 6, Belastung 12.0, Rührgröße 500 mm

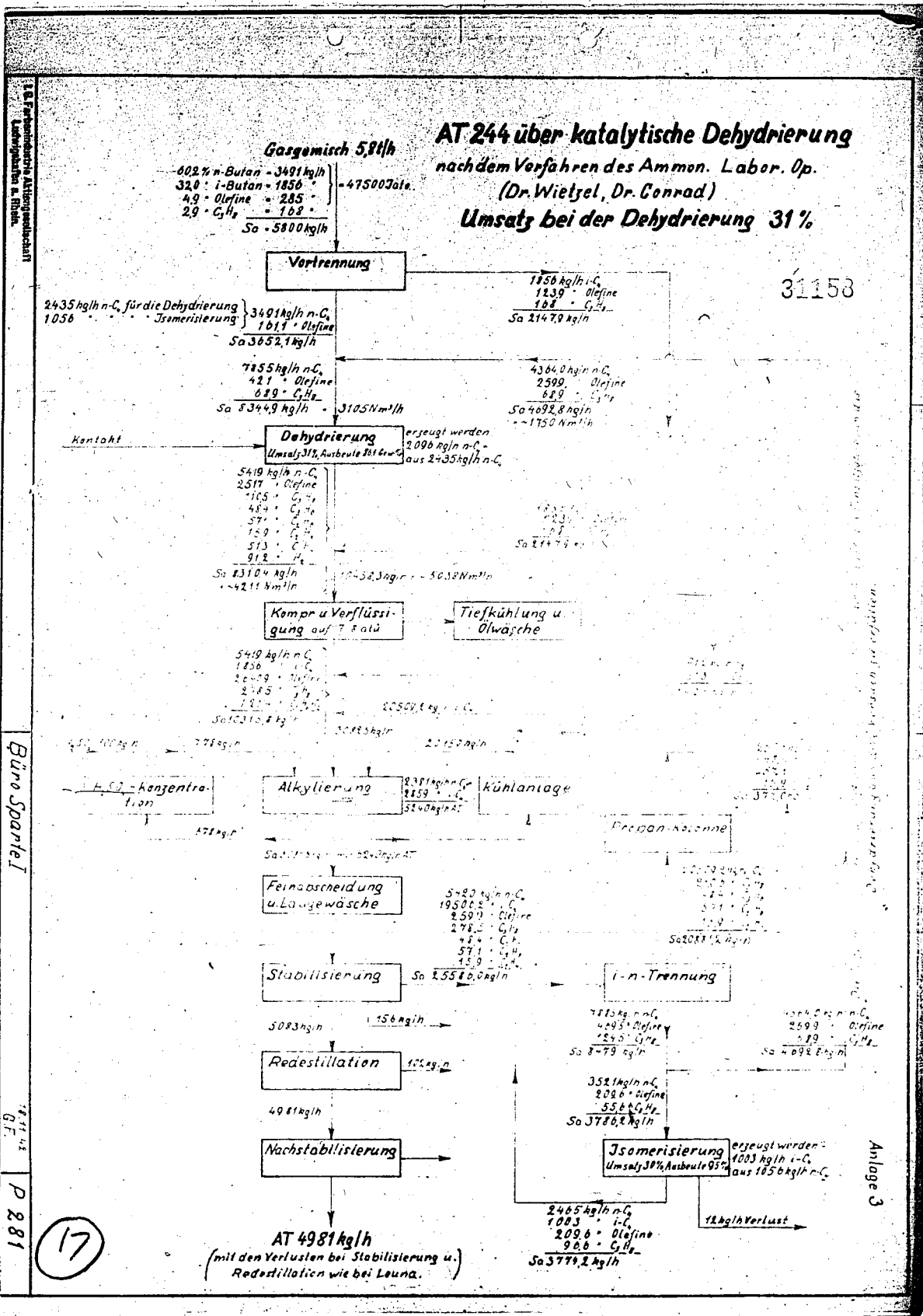
31157



Sk. 1012432

Ammoniakwerk Merseburg
 Gesellschaft mit beschränkter Haftung
 Leuna-Werke (Körsch, Merseburg)
 388 A4 (310x257 mm)

10.12.42

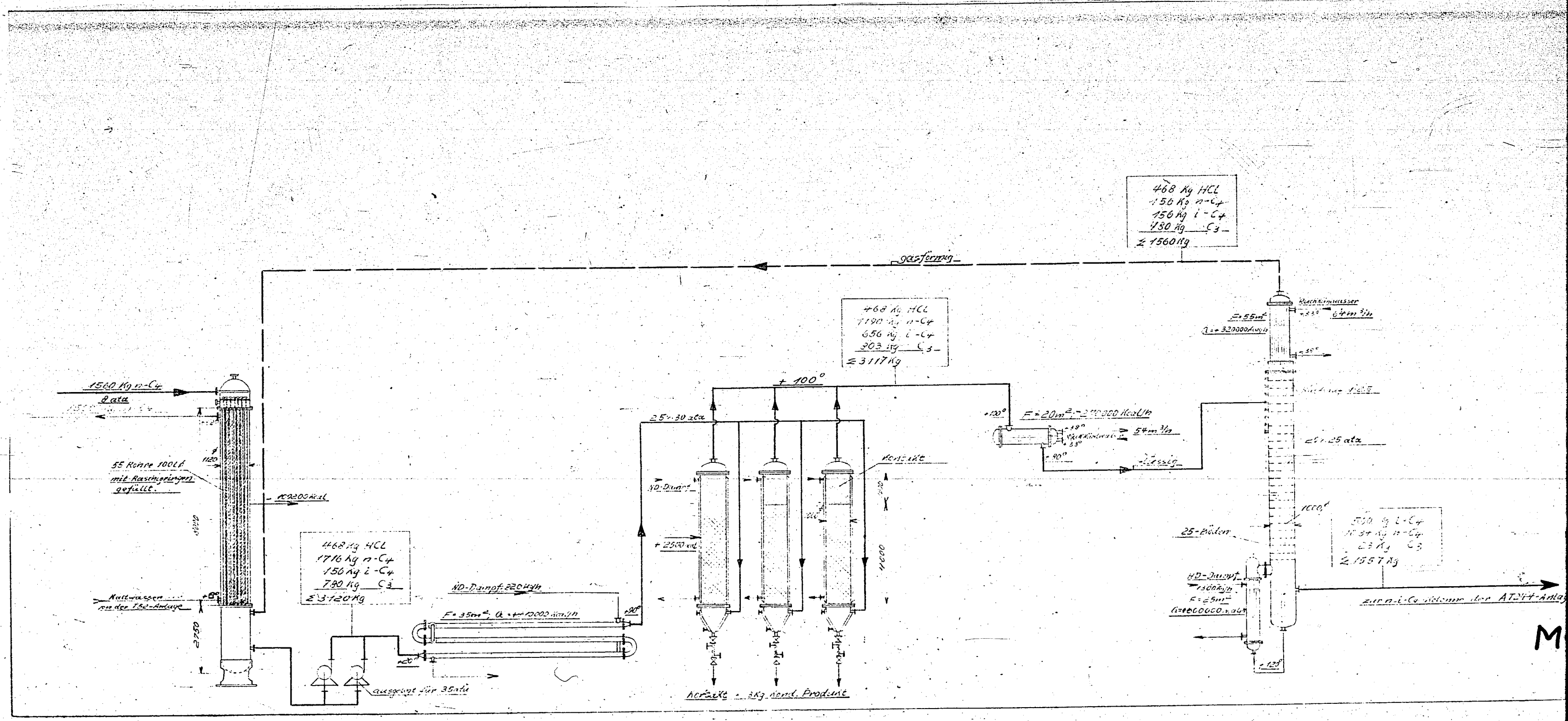


Büro Sparte I

12.11.42
 G.F.
 P 281

POOR COPY

17



POOR
COPY 18

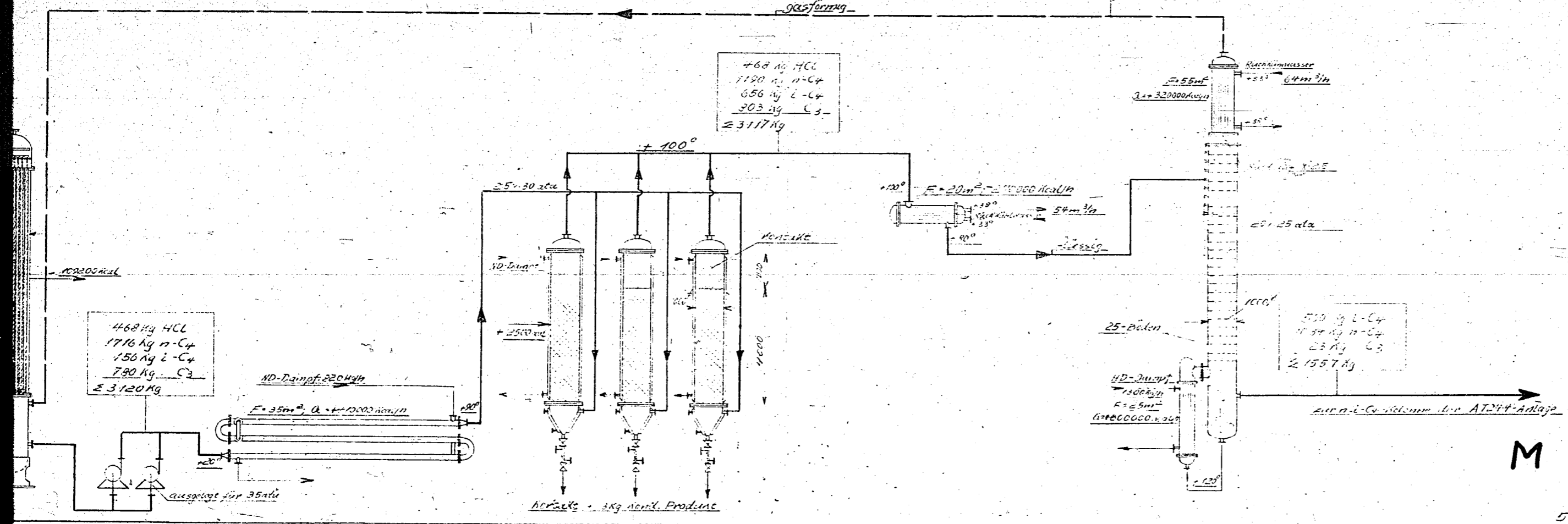
31159

468 kg HCL
 150 kg n-C₄
 150 kg i-C₄
 180 kg C₃
 ≈ 1560 kg

468 kg HCL
 1120 kg n-C₄
 656 kg i-C₄
 203 kg C₃
 ≈ 3117 kg

468 kg HCL
 1716 kg n-C₄
 150 kg i-C₄
 180 kg C₃
 ≈ 3120 kg

510 kg i-C₄
 1134 kg n-C₄
 23 kg C₃
 ≈ 1567 kg

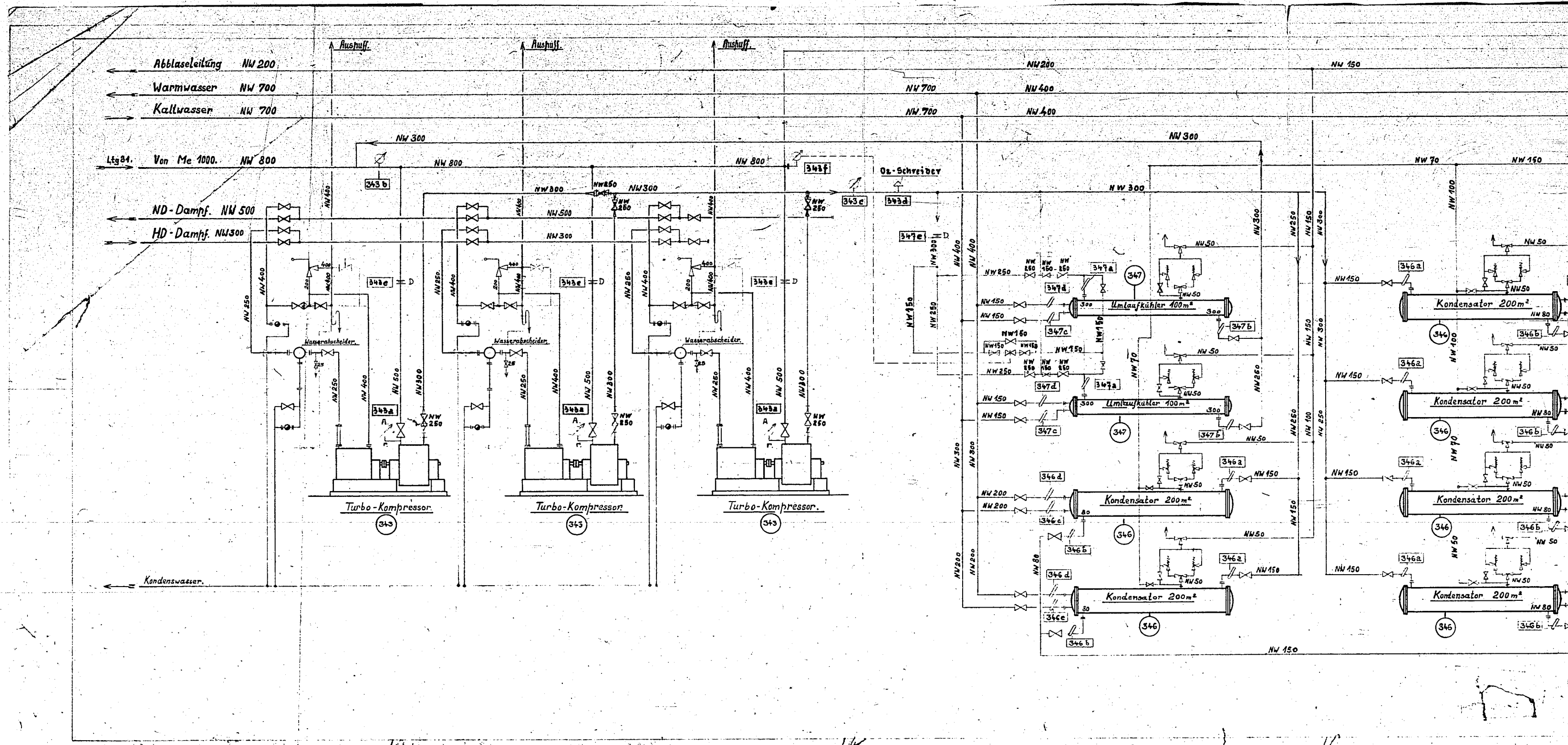


M 9201 — 2

(18)

5.9.41

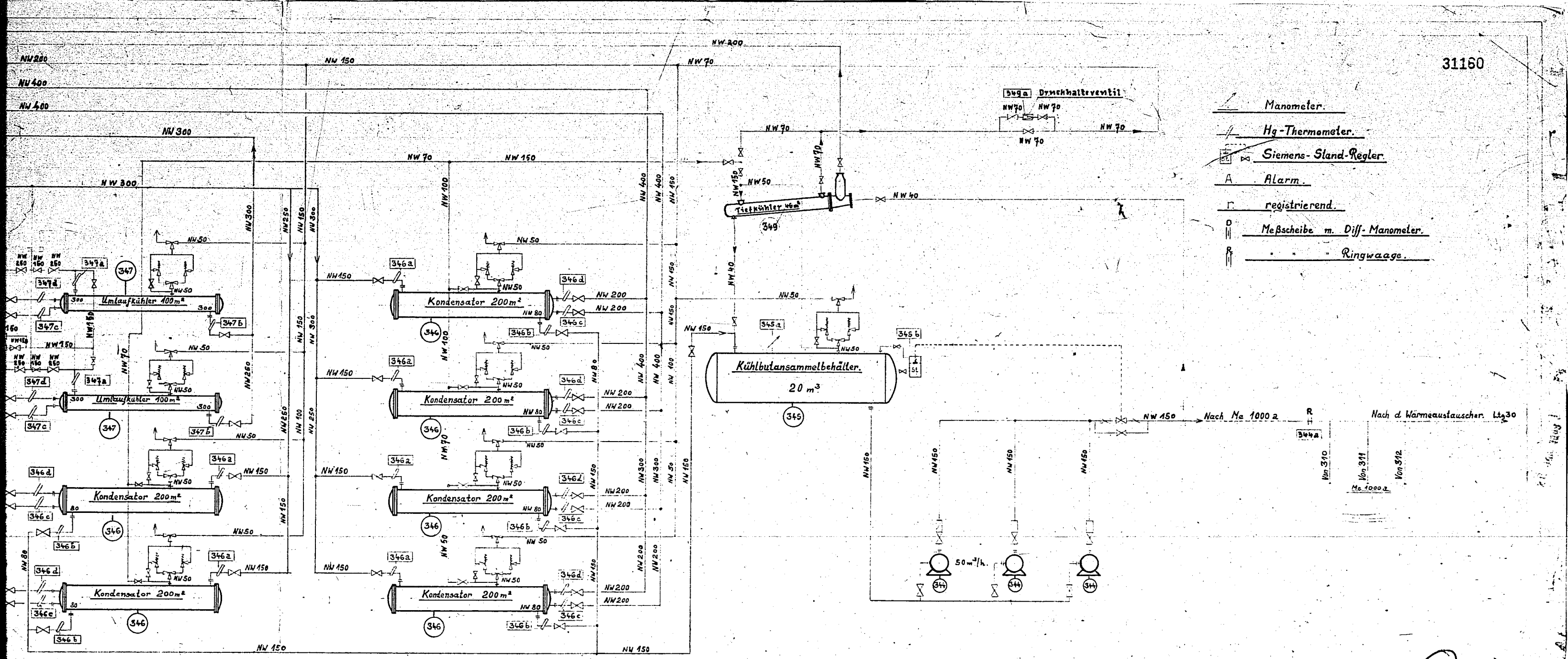
POOR COPY 18



AT 244 Anlage. Schema von Me 1001.

POOR COPY 19

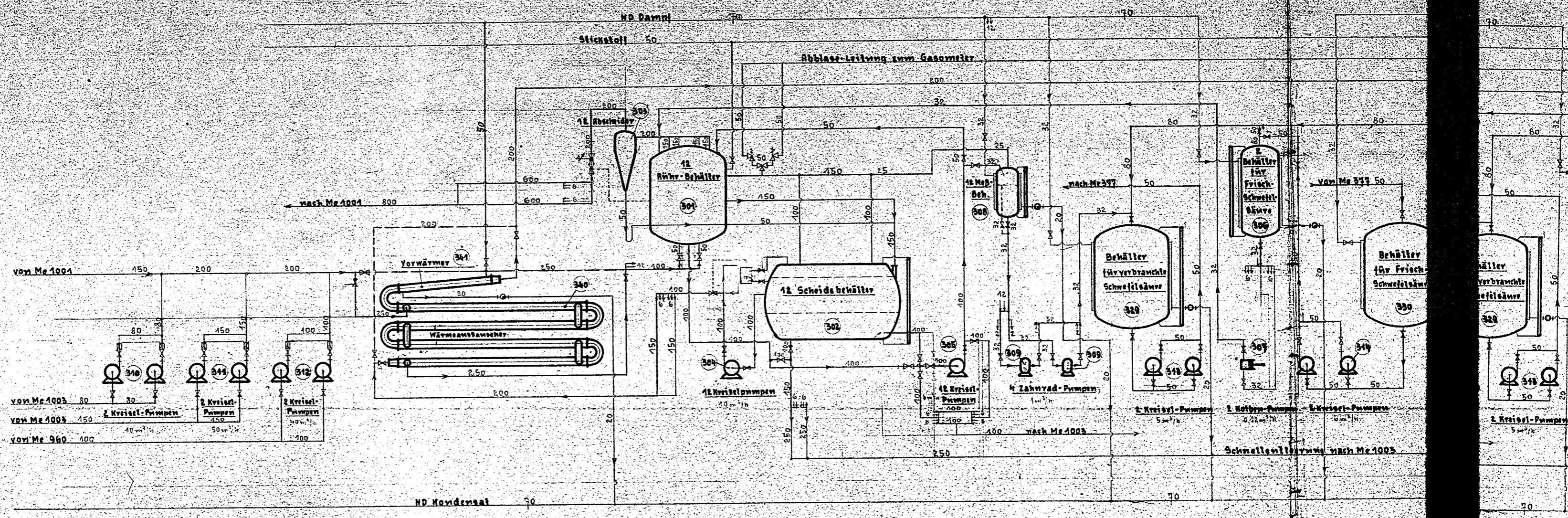
31160



- Manometer.
- Hg-Thermometer.
- Siemens-Stand-Regler.
- A Alarm.
- registrierend.
- Meßscheibe m. Diff-Manometer.
- Ringwaage.

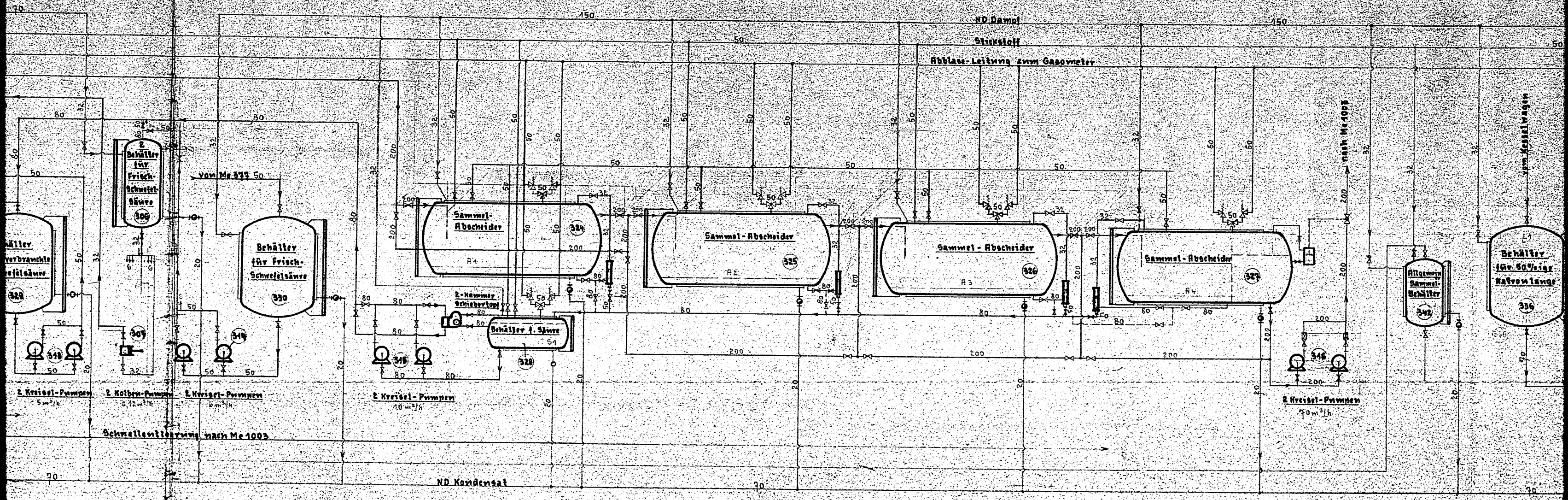
M 4579^e — 1

POOR COPY 19

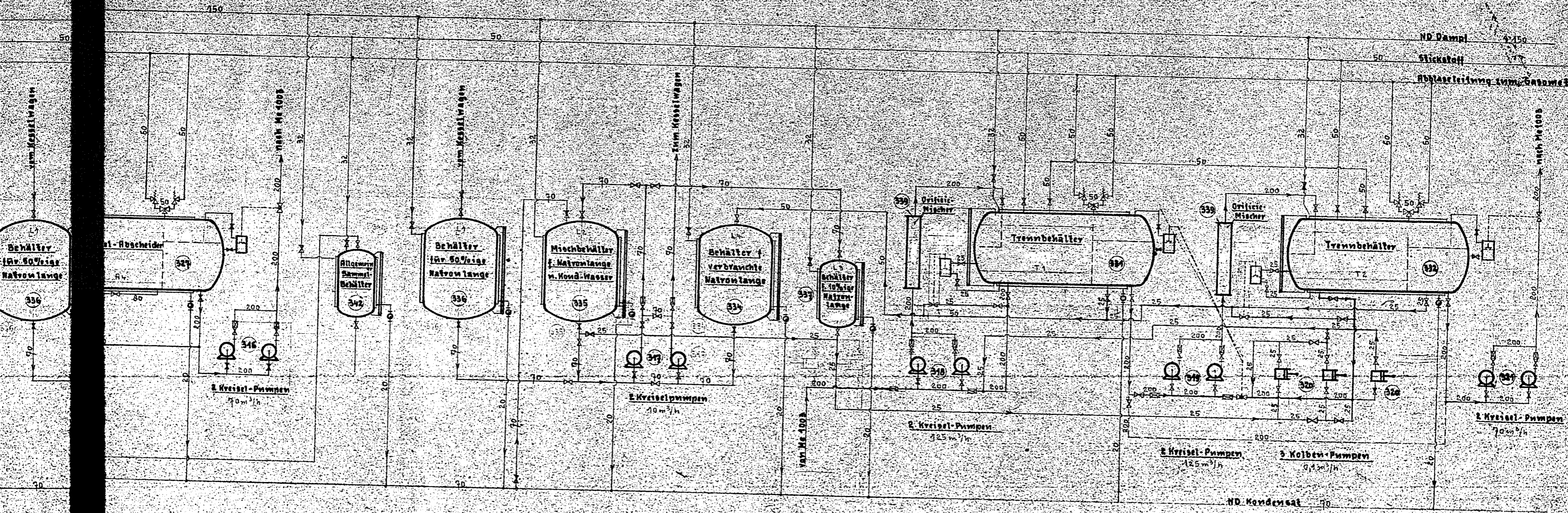


Schema von Me 1000, 1000a und 1000ax

POOR COPY



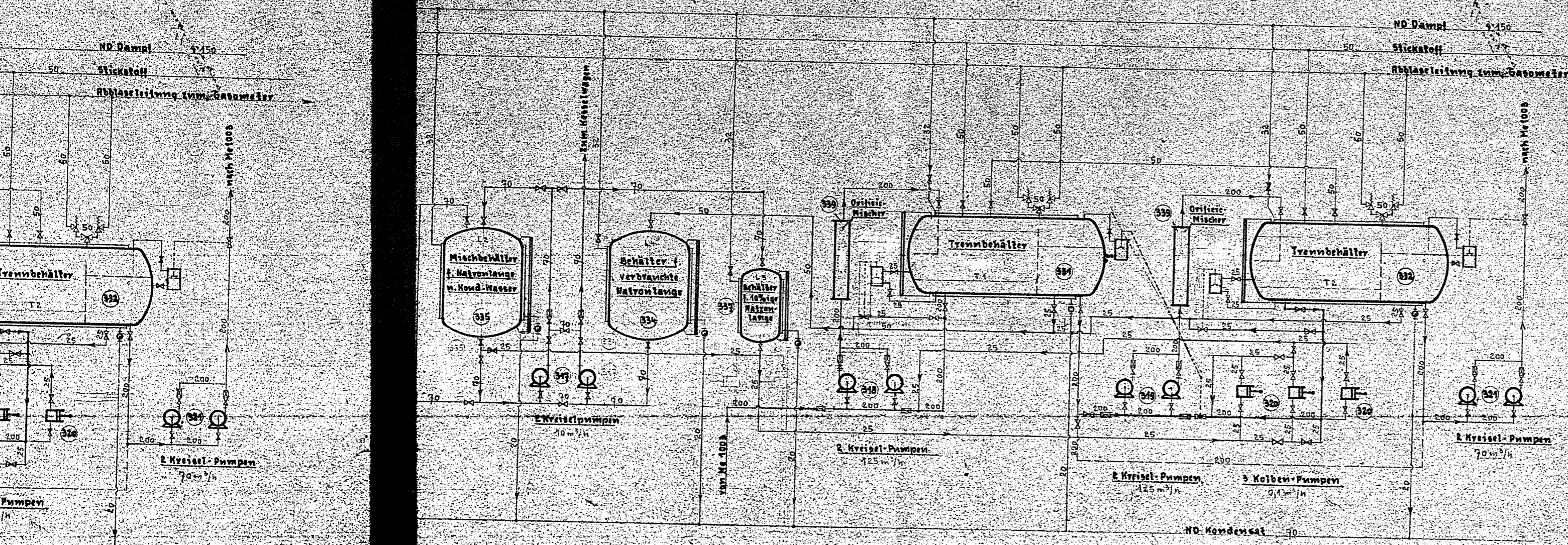
POOR
COPY 20



POOR
COPY

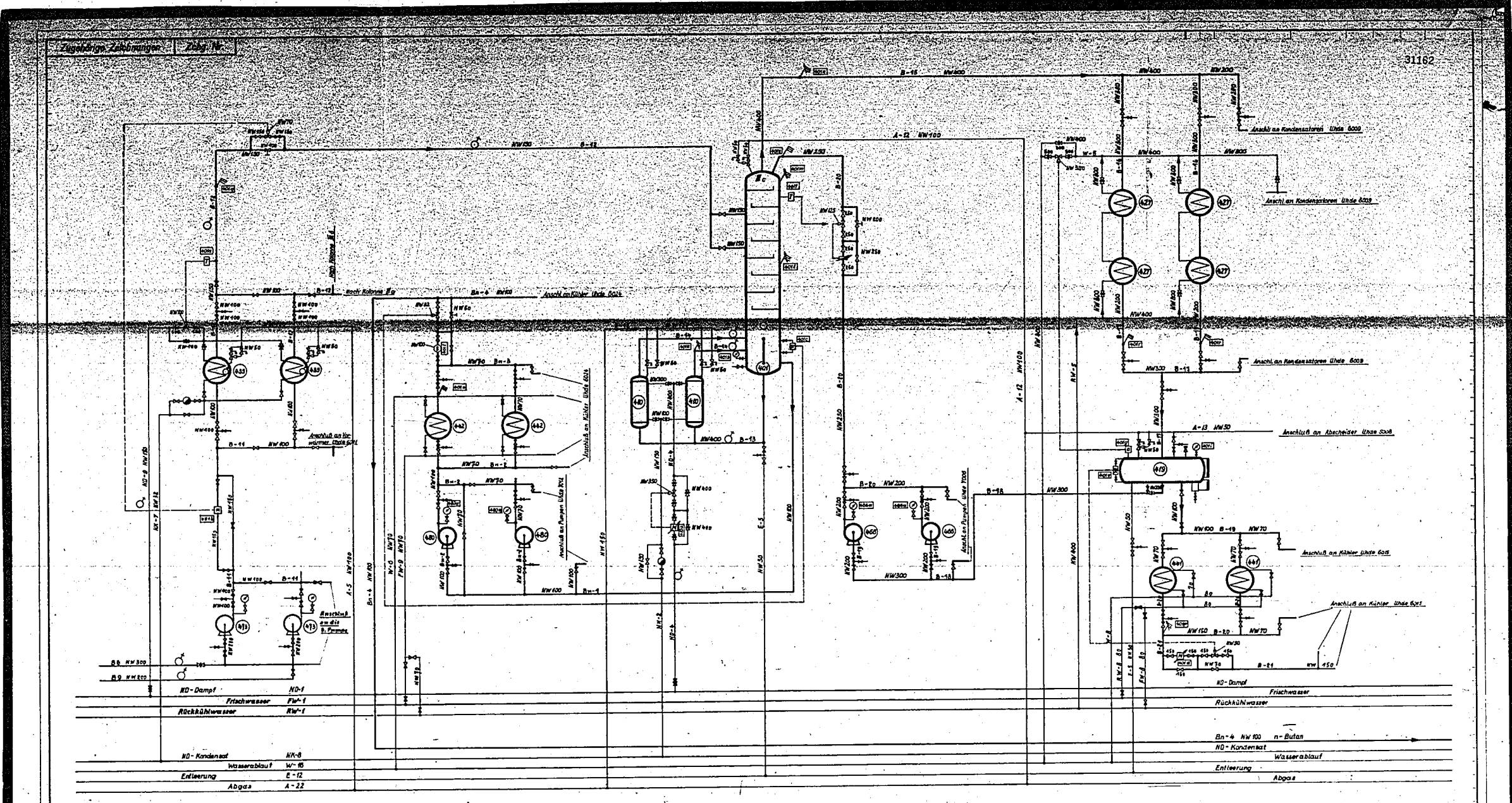
20

31161



M 4507^a-1

POOR COPY 20



31162

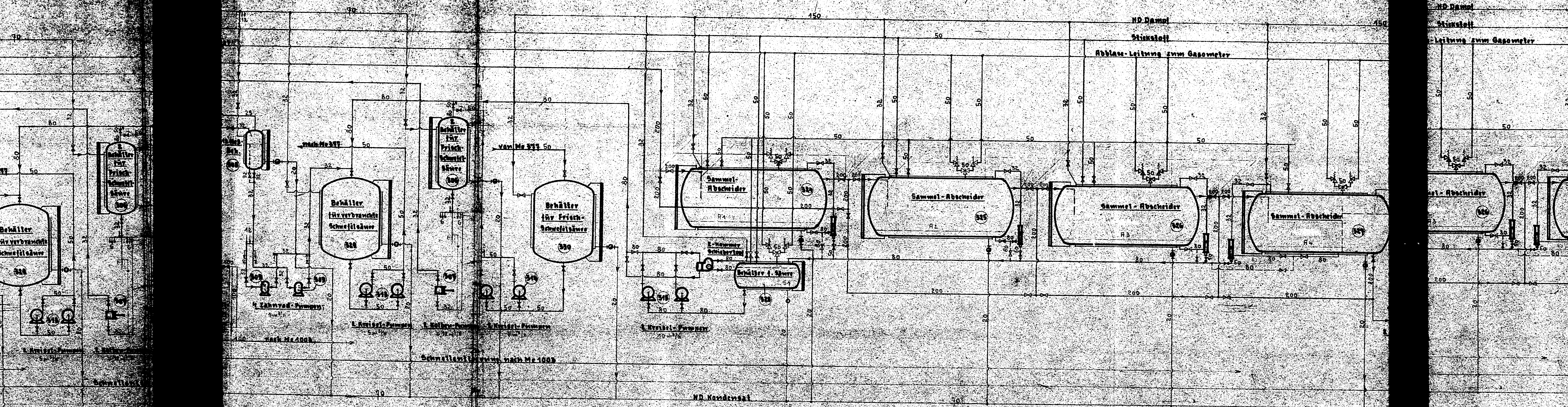
ND-Dampf	ND-1	ND-Kondensat	NK-2
Frischwasser	FW-1	Wasserablauf	W-12
Rücklaufwasser	RW-1	Abgas	A-22
Abgas	A-22	Wasserablauf	W-12
Entleerung		Abgas	

- ⊗ automatisches Regelventil
- ⊠ Meßscheibe mit U-Manometer
- ⊡ Fernthermometer anzeigend
- ⊡ Fernthermometer schreibend
- ⊡ Druckregler
- ⊡ Mengenregler
- ⊡ Standregler
- ⊡ Temperaturregler
- ⊡ Transmissivregler
- ⊙ Zähler
- Isolierung

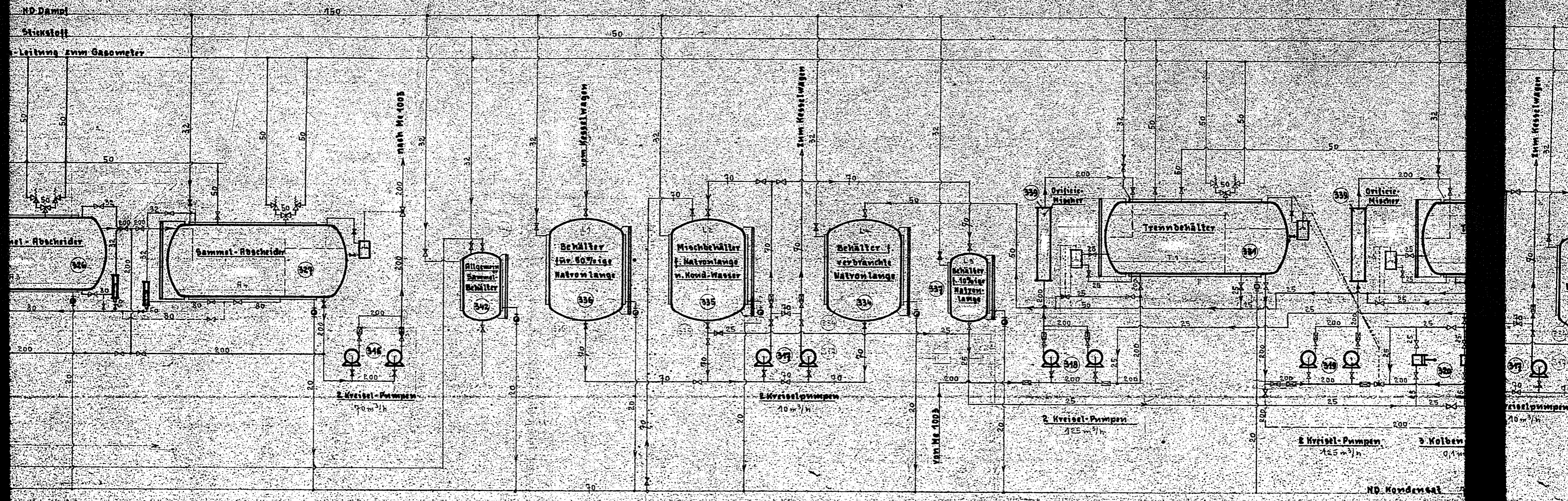
Teil	Stück	Benennung	Abmessungen	Material	Preis	Größe	Bezeichnung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.							
Maschinen-Technische Abteilung							
M 11488 - 2							
Feldmaß:		Druckmaß:		von			
Datum:		Erstellt durch:		Geprüft:		Gezeichnet:	
19.5.53		H. Schmidt		H. Schmidt		H. Schmidt	
Erstellt für:				Erstellt durch:			

Butan-Trennung (Schema für Kolonne E-c)

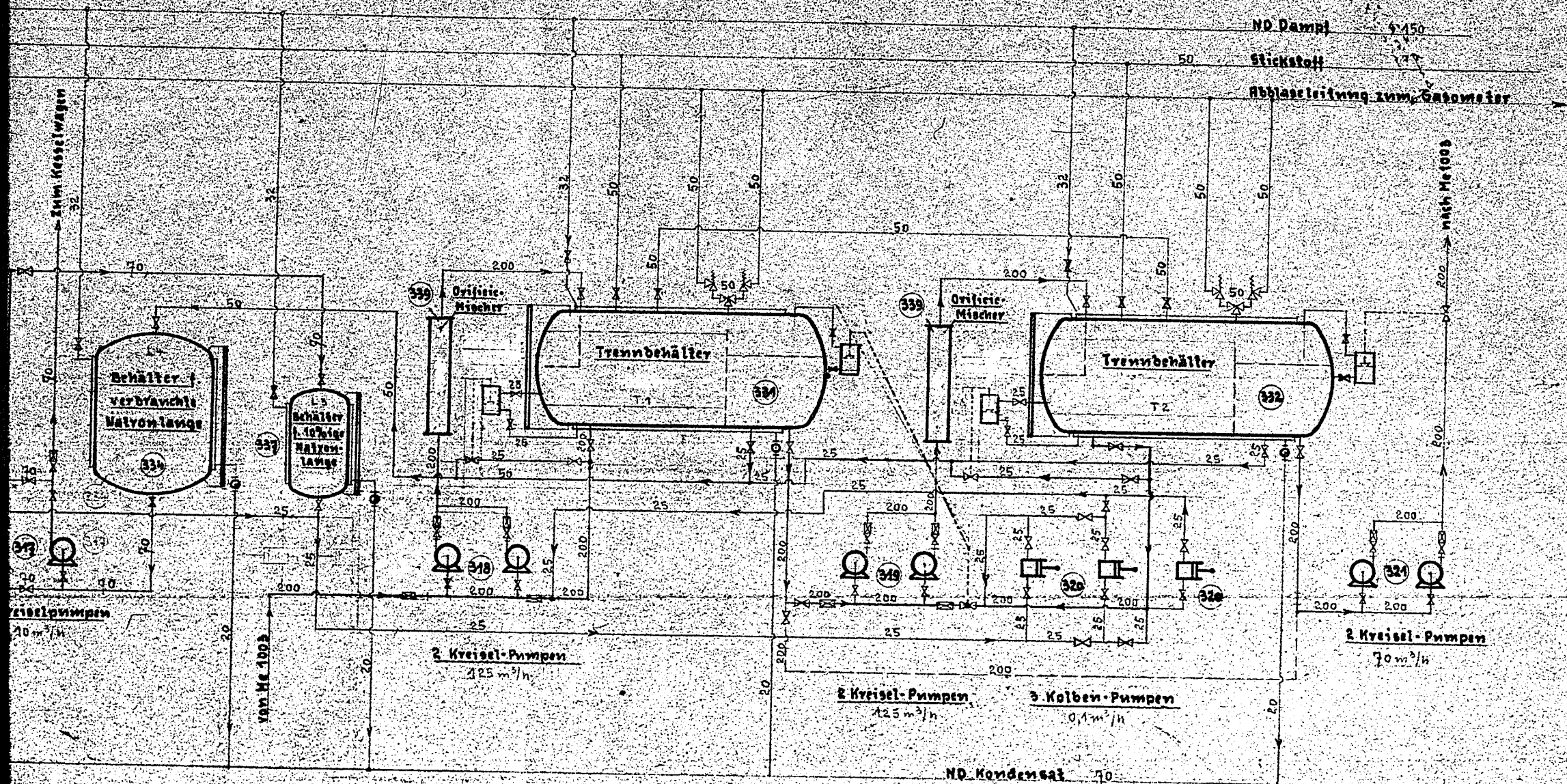
POOR COPY 21



POOR
COPY 21



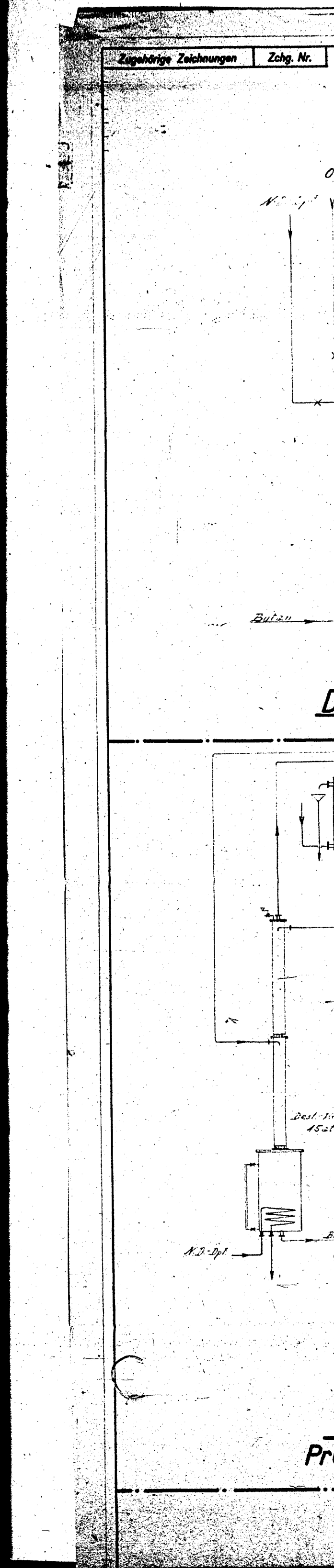
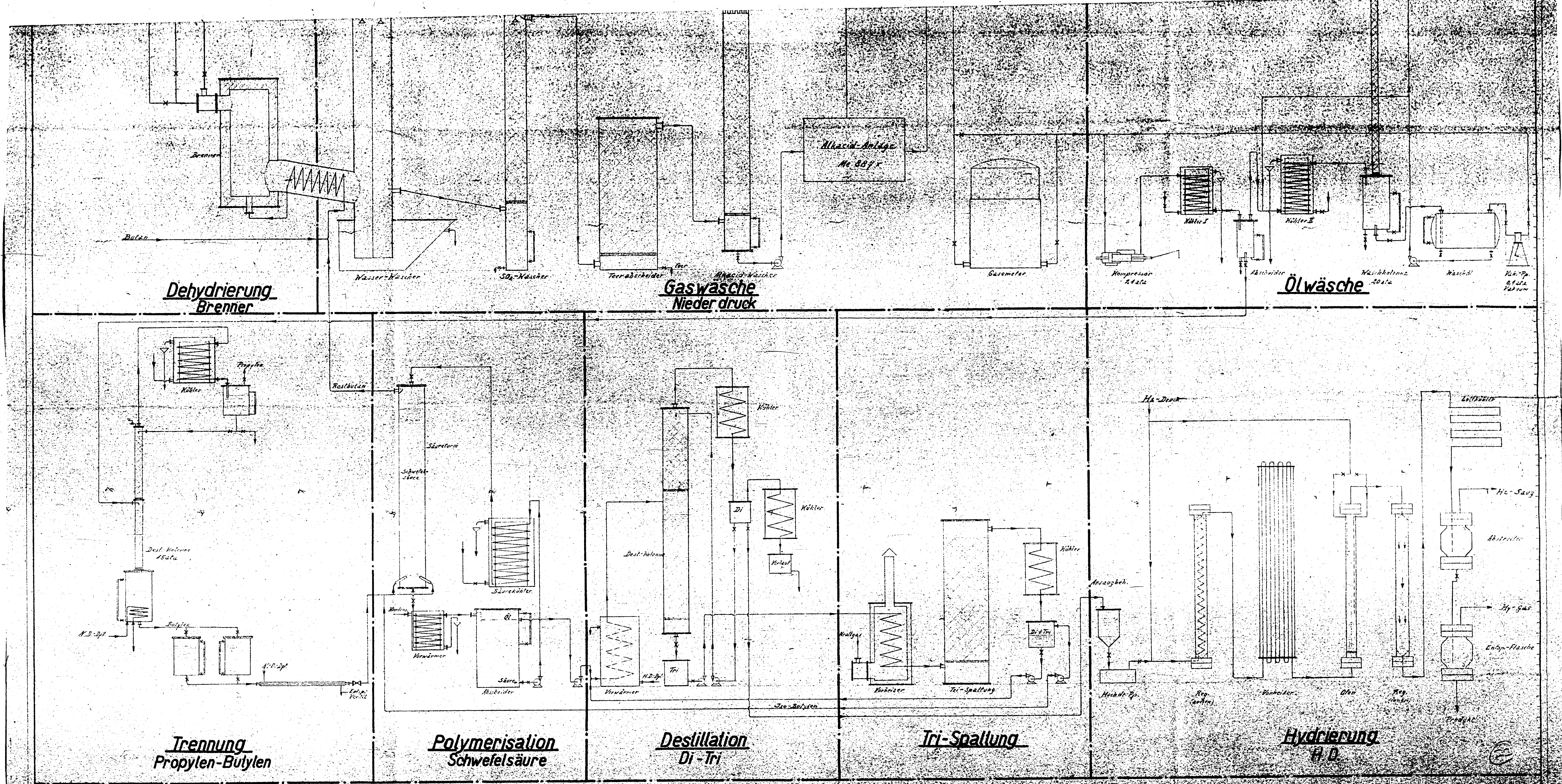
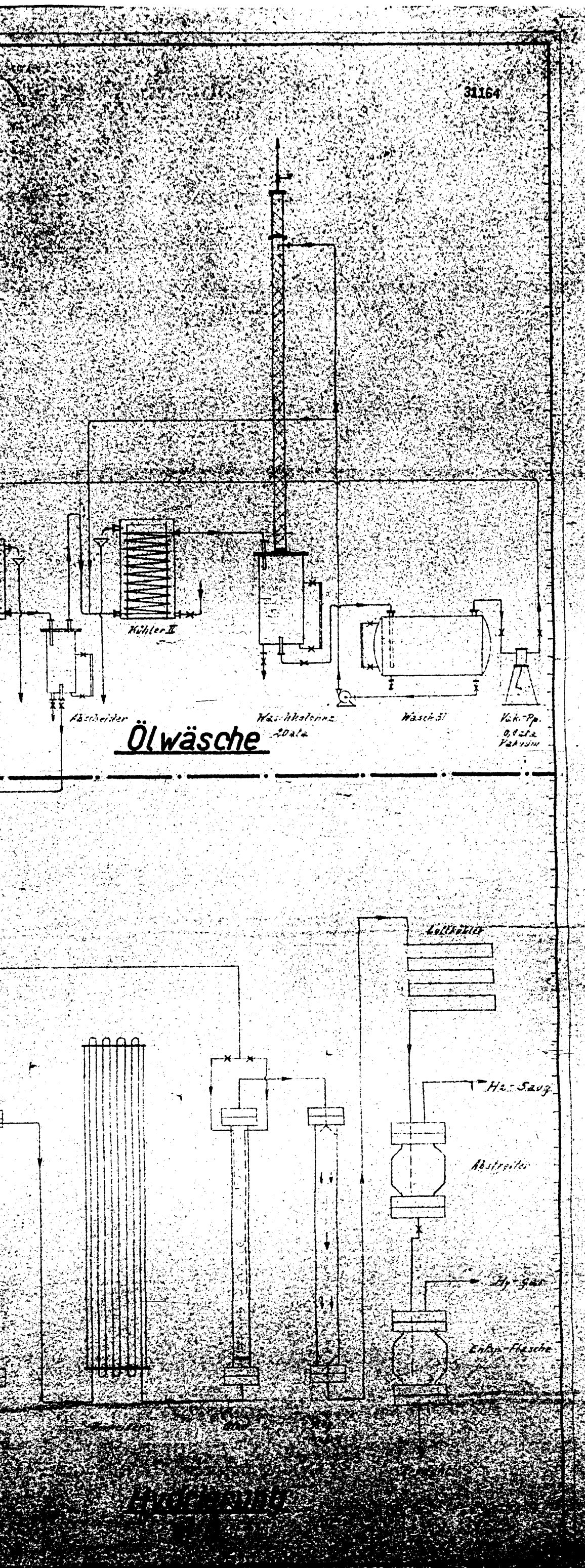
POOR COPY

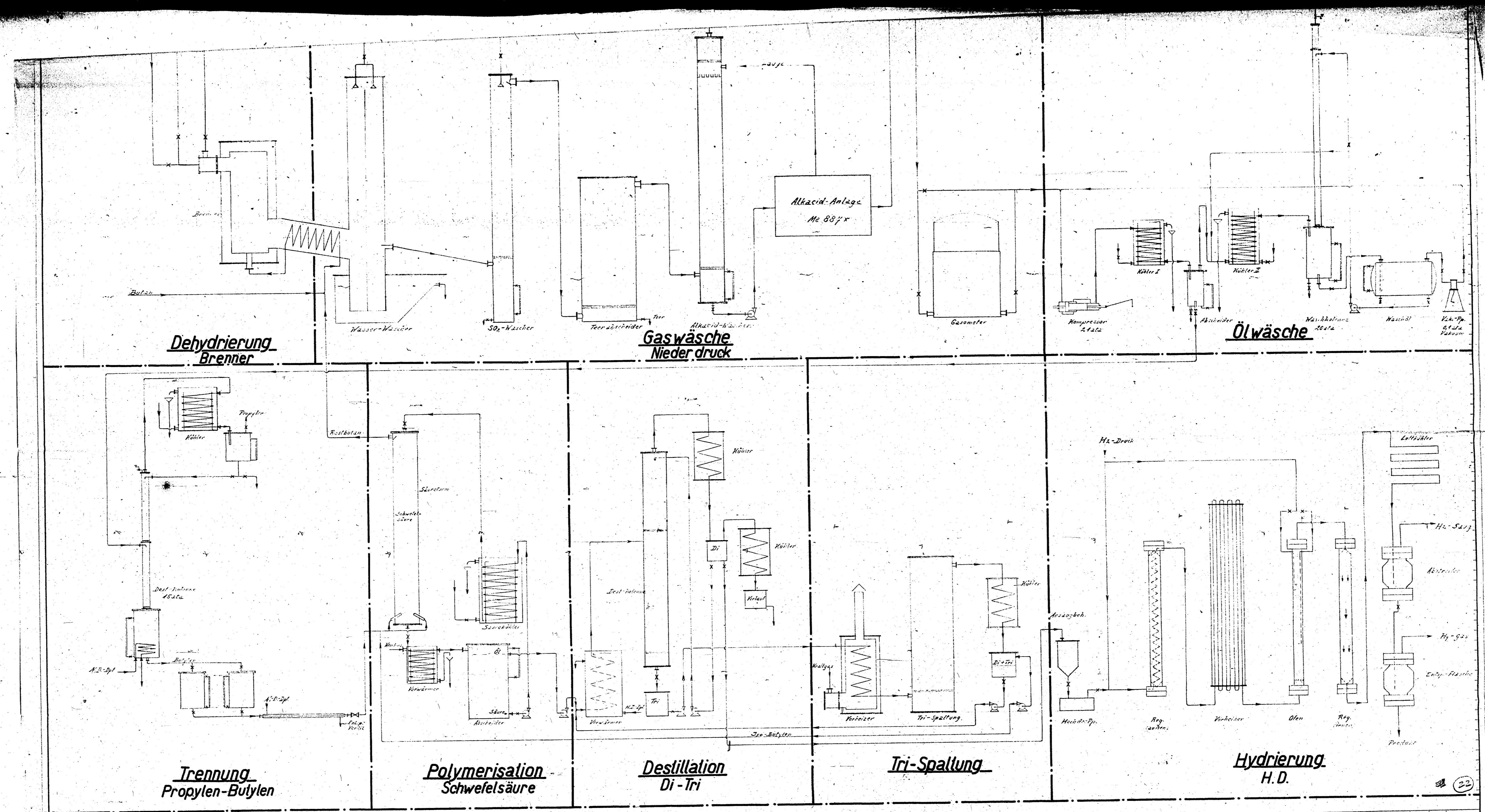
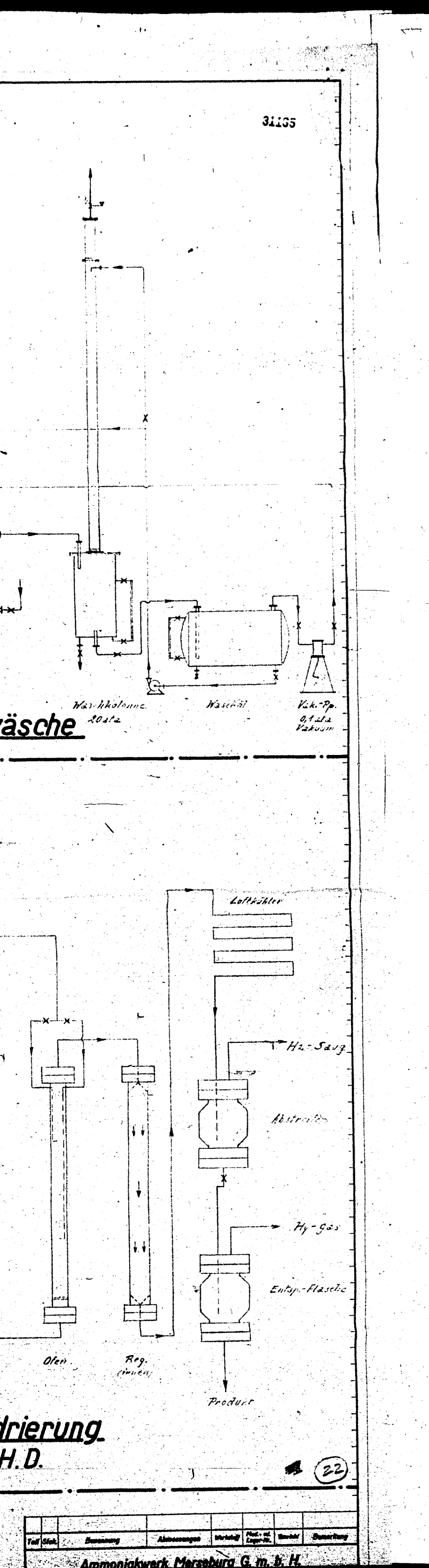


M 45

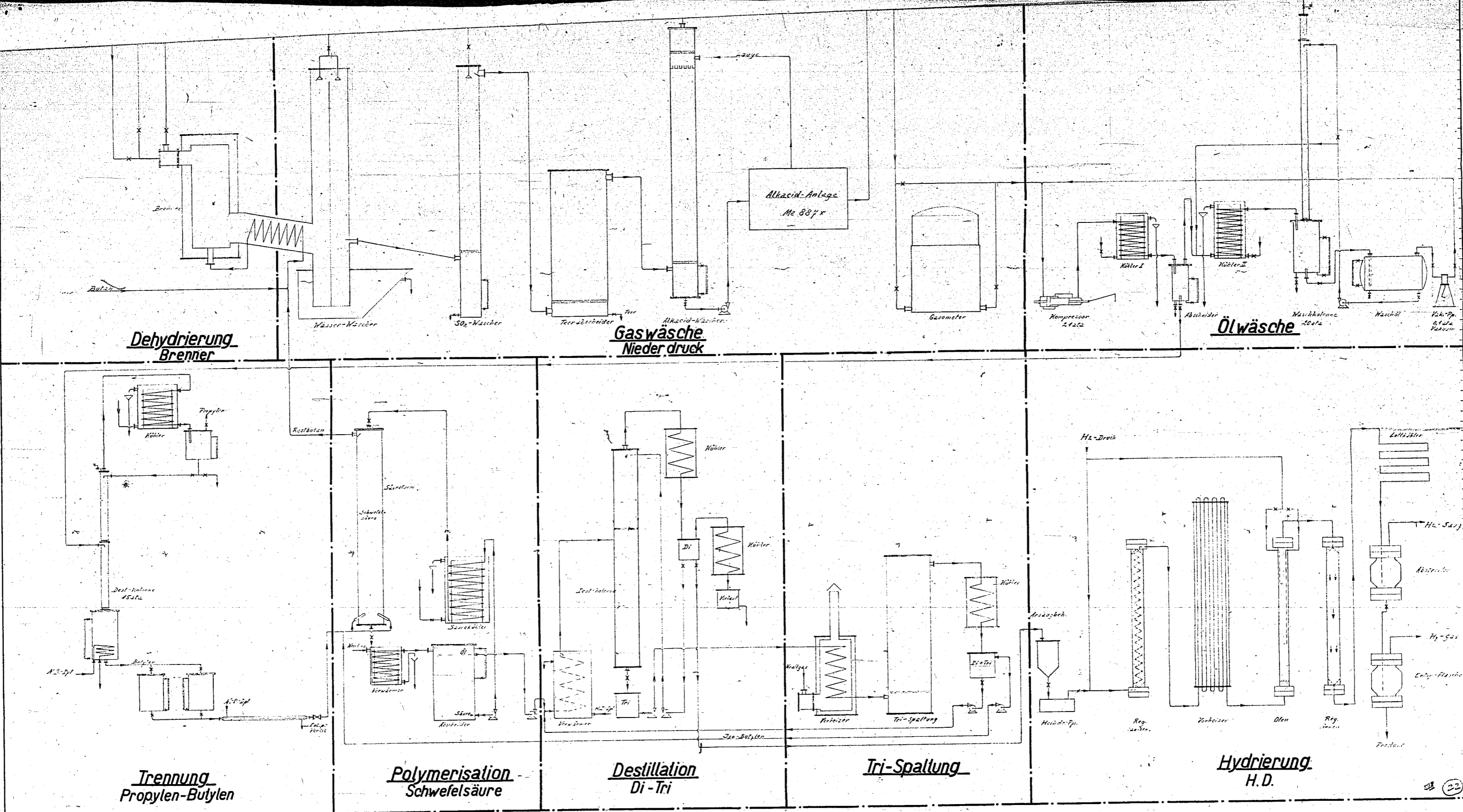
POOR
COPY

21





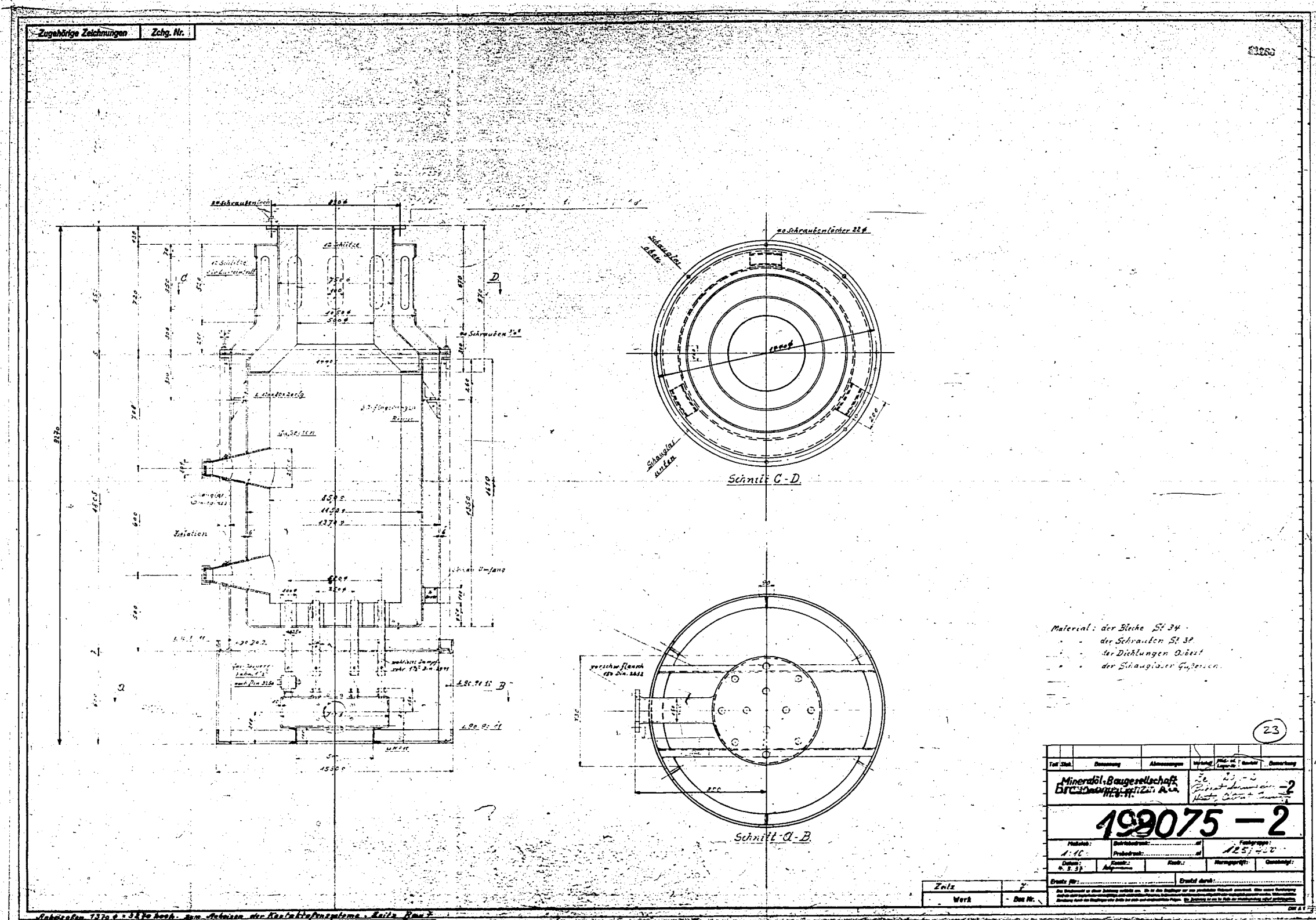
Teil-Nr.	Ammoniak	Abwasser	Werk	Druck	Stand	Reinigung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.						
M 1304 - 1						
Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt	Produkt
Druck	Druck	Druck	Druck	Druck	Druck	Druck
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H. Maschinenbauische Abteilung						



Teil-Nr.	Benennung	Abmessung	Material	Druck	Temperatur	Benennung
Ammoniakwerk Marseburg-G. m. b. H.						
Maschinenbauliche Abteilung						
M 1304 - 1						
Verfasser:	Gezeichnet:	geprüft:	Freigegeben:	Datum:		
12.12.22	12.12.22	12.12.22	12.12.22	12.12.22		
Erläuterung:						

Schem. d. Dtsch. Hochdruck-... M. 11/12

POOR COPY 22

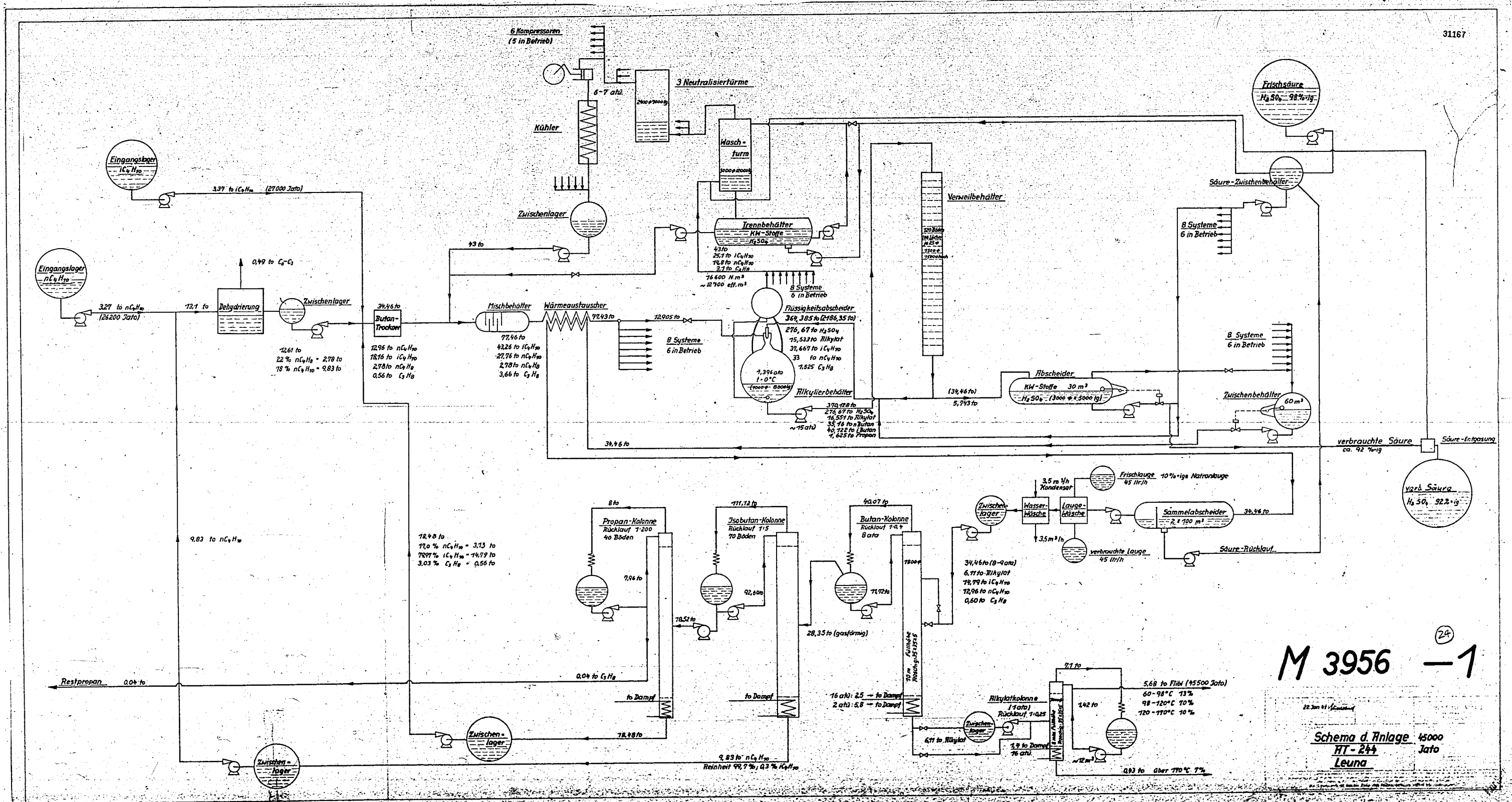


Material: der Bleche St 34
 der Schrauben St 30
 der Dichtungen O-Ring
 der Dichtungen Gußeisen

23

Teil-Nr.	Bezeichnung	Abmessungen	Material	Stückzahl	Einheit
Mineralöl-Baugesellschaft Dresden					
192075-2					
Zeichner: <i>[Signature]</i> Gezeichnet: <i>[Signature]</i> Geprüft: <i>[Signature]</i> Datum: <i>[Date]</i>					

POOR COPY
 23

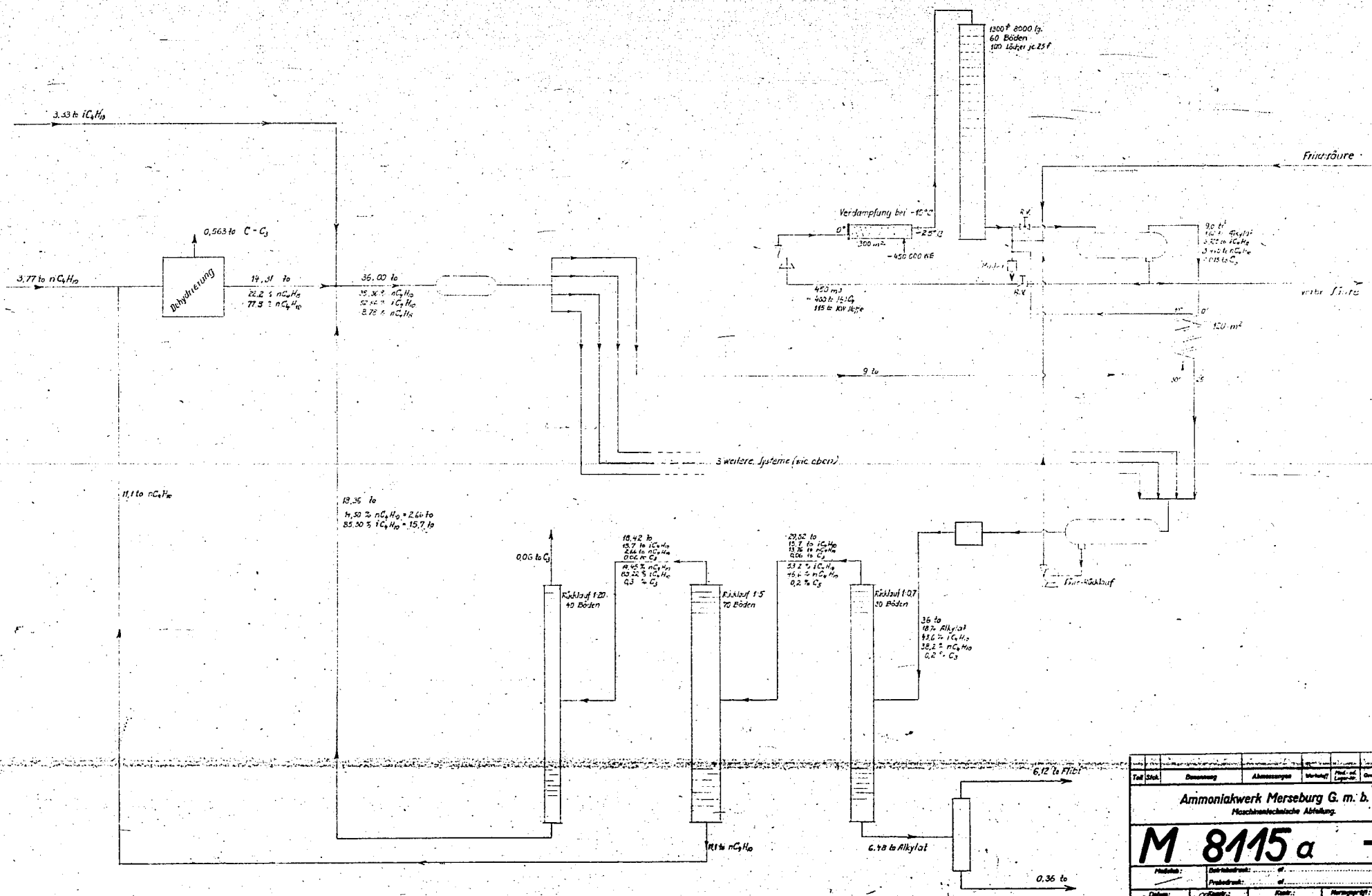


M 3956 -1

Schema d. Anlage 45000 HT-244 Leuna

Zugehörige Zeichnungen Zchg. Nr.

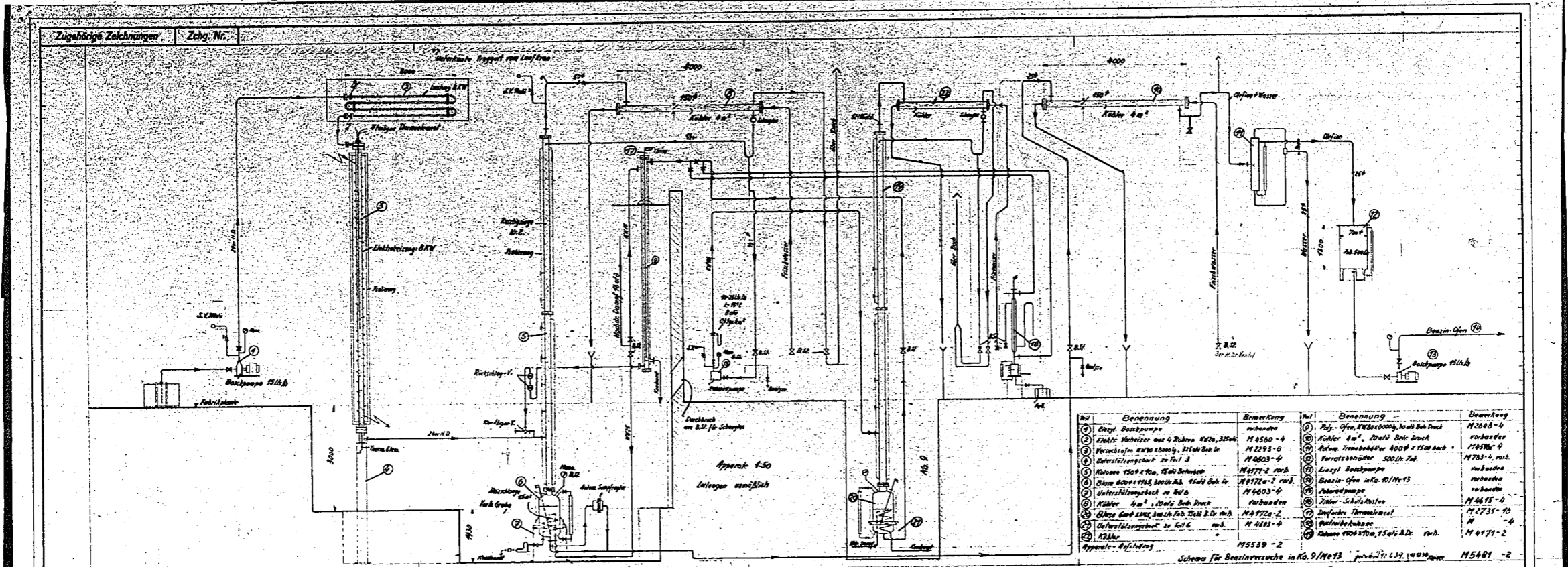
31168



Teil	Stück	Bezeichnung	Abmessungen	Material	Druck	Querschnitt	Bezeichnung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.							
Maschinenbauteile Abteilung							
M 8115 a -2							
Herstellung:				Gezeichnet:			
9. Dez. 40				Klein			
Erstellt durch:				Geprüft durch:			

Skizzen der Alkylierung 50.000 t/h Alkylat

POOR COPY 25



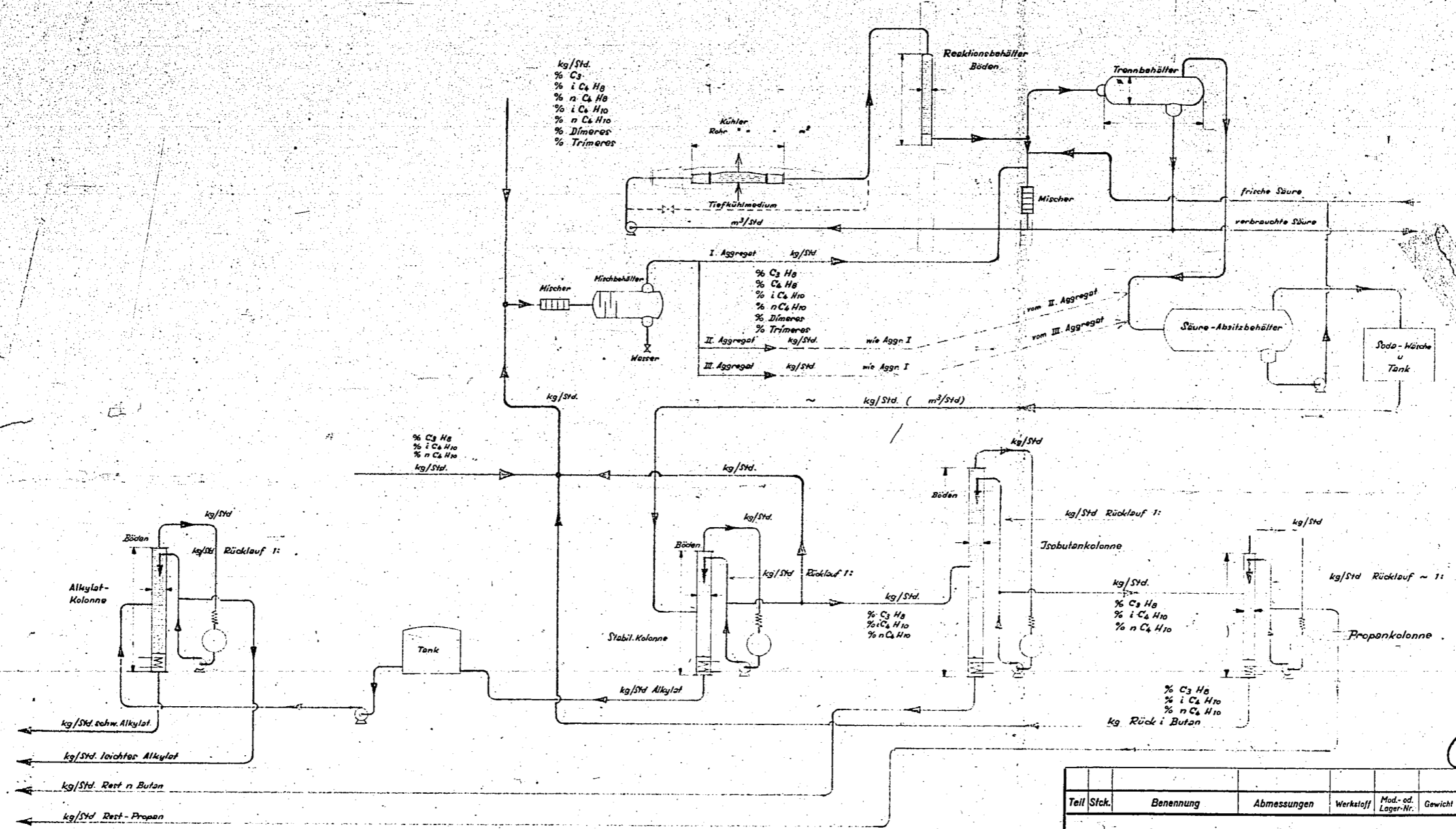
31169

Handwritten notes:
 25
 -2
 25
 -2

Teil-Nr.	Benennung	Abmessungen	Verband	Material	Stückzahl	Benennung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.						
Mechanisch-technische Abteilung						
M 5481 (25) -2						
Zustand:		Gezeichnet:		Gezeichnet:		Gezeichnet:
Datum:		Kontrolliert:		Kontrolliert:		Kontrolliert:
Erstellt von:		Erstellt durch:		Erstellt durch:		Erstellt durch:

POOR COPY 26

Zugehörige Zeichnungen Zchg. Nr.



Alkylierung
für.....Tato Alkylat.

02118

Teil	Stück	Benennung	Abmessungen	Werkstoff	Mod.- od. Lager-Nr.	Gewicht	Bemerkung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.							
Maschinentechnische Abteilung							
		M 6759		-4			
Maßstab:		Betriebsdruck: .. at					
		Probedruck: .. at					
Datum:		Konstr.:		Kontr.:		Normgeprüft:	Genehmigt:
8. 1. 41		Geizer					
Ersatz für:				Ersetzt durch:			
Diese Zeichnung ist ein Eigentum der Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H. Sie ist dem Empfänger nur zum persönlichen Gebrauch gestattet. Eine andere Verwendung ohne schriftliche Genehmigung der Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H. ist ausdrücklich untersagt. Die Zeichnung ist ohne Rücksicht auf die Rechte Dritter zu betrachten.							

27

POOR COPY 27

Soda-Wäsche
Tank

Rücklauf - 11

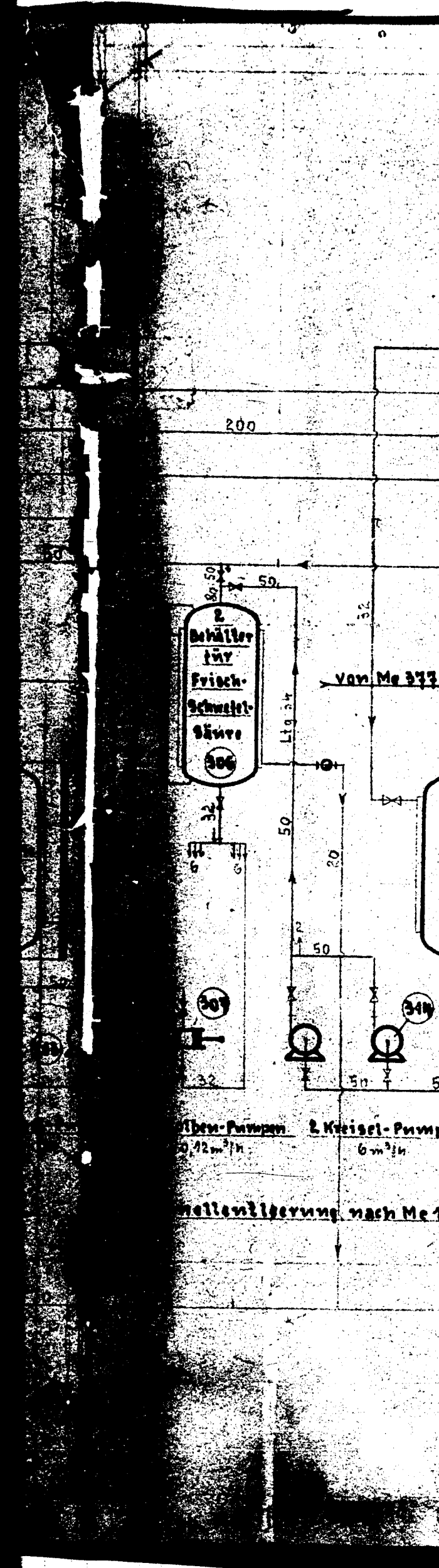
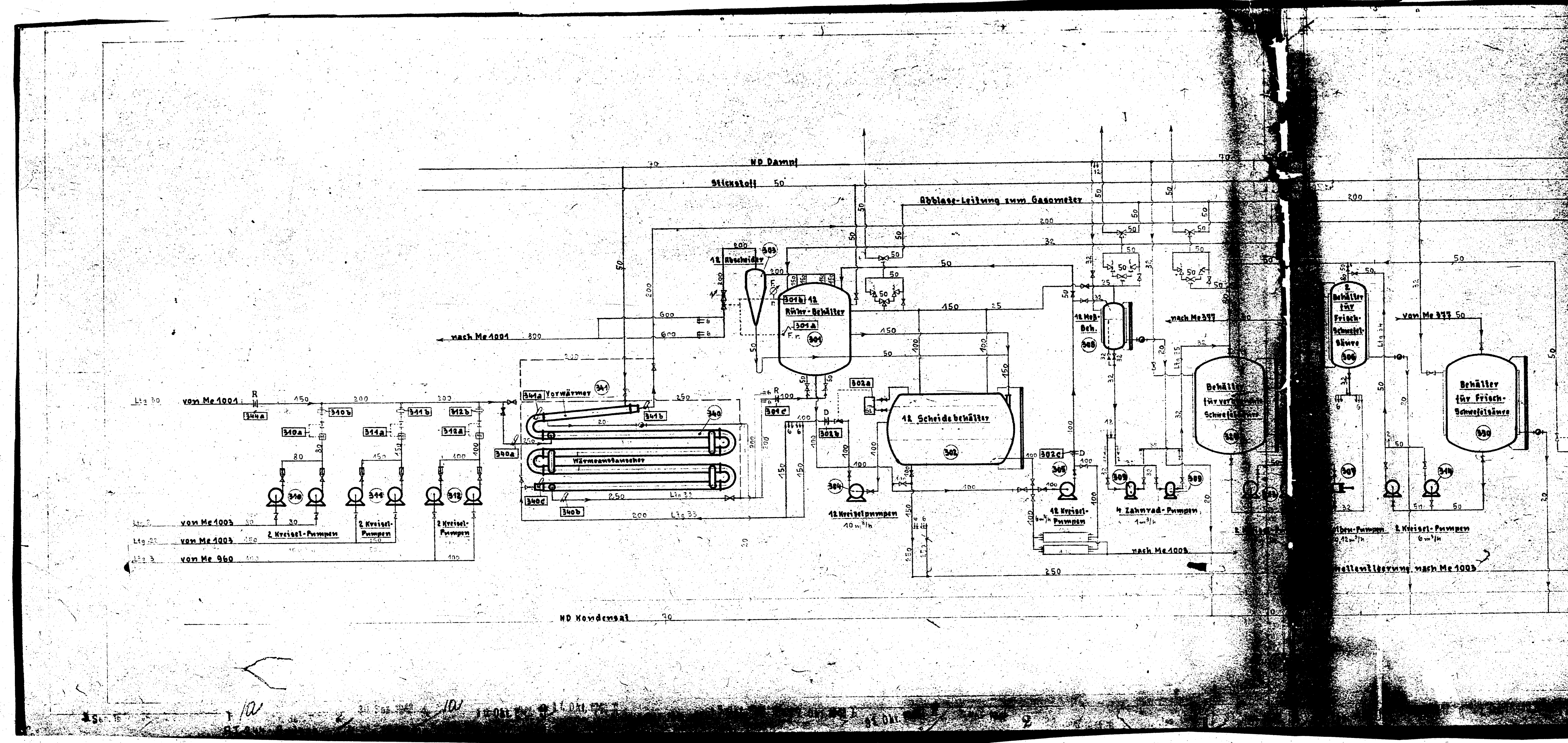
Propankolonne

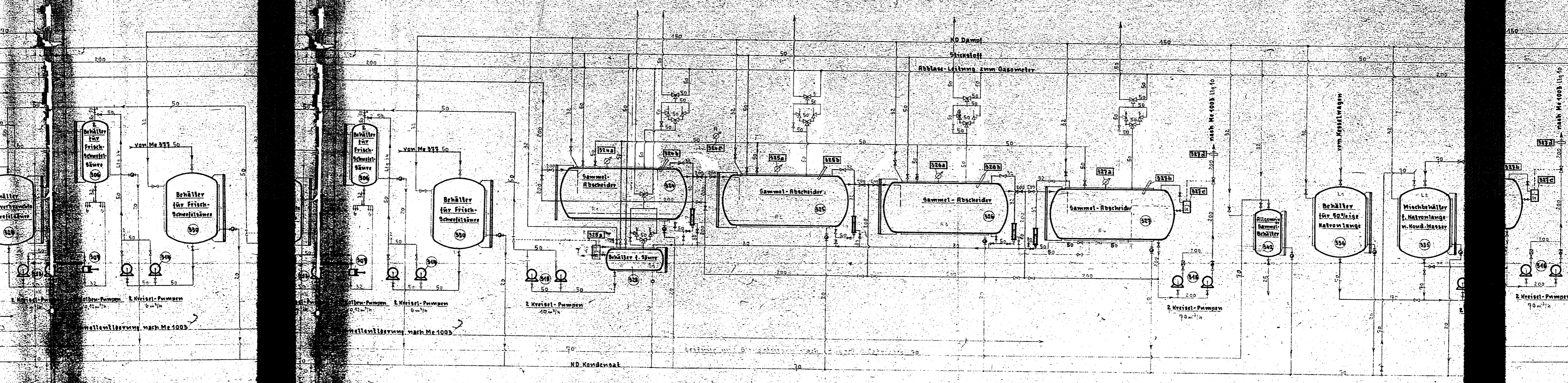
27

Stoff	Med.- od Lager-Nr.	Gewicht	Bemerkung
G. m. b. H.			
-4			
Normgeprüft:	Genehmigt:		

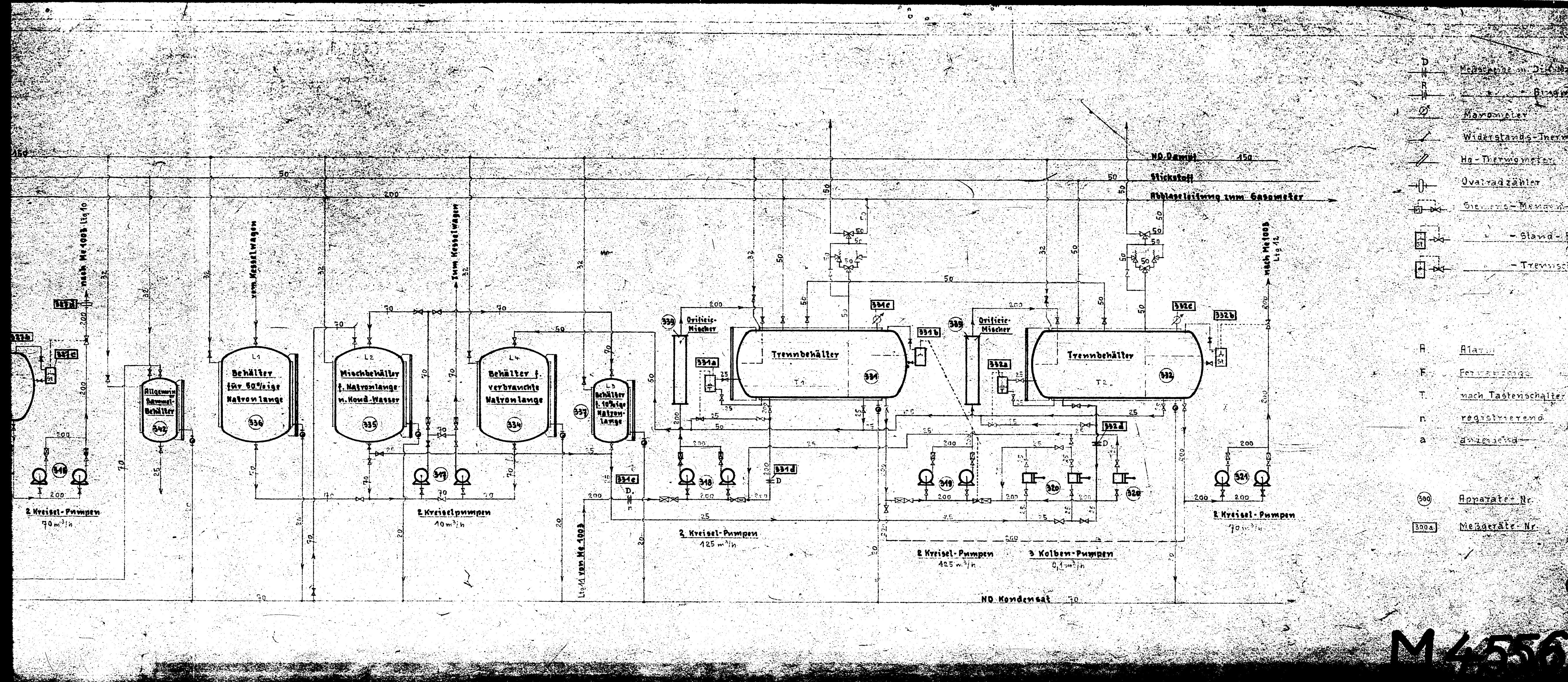
Einliches Gebrauchsmuster. Ohne meine Genehmigung
wird nicht oder lediglich zum Zweck der Nachahmung
in Form der Nachbildung oder sonstwie

DIN A 2



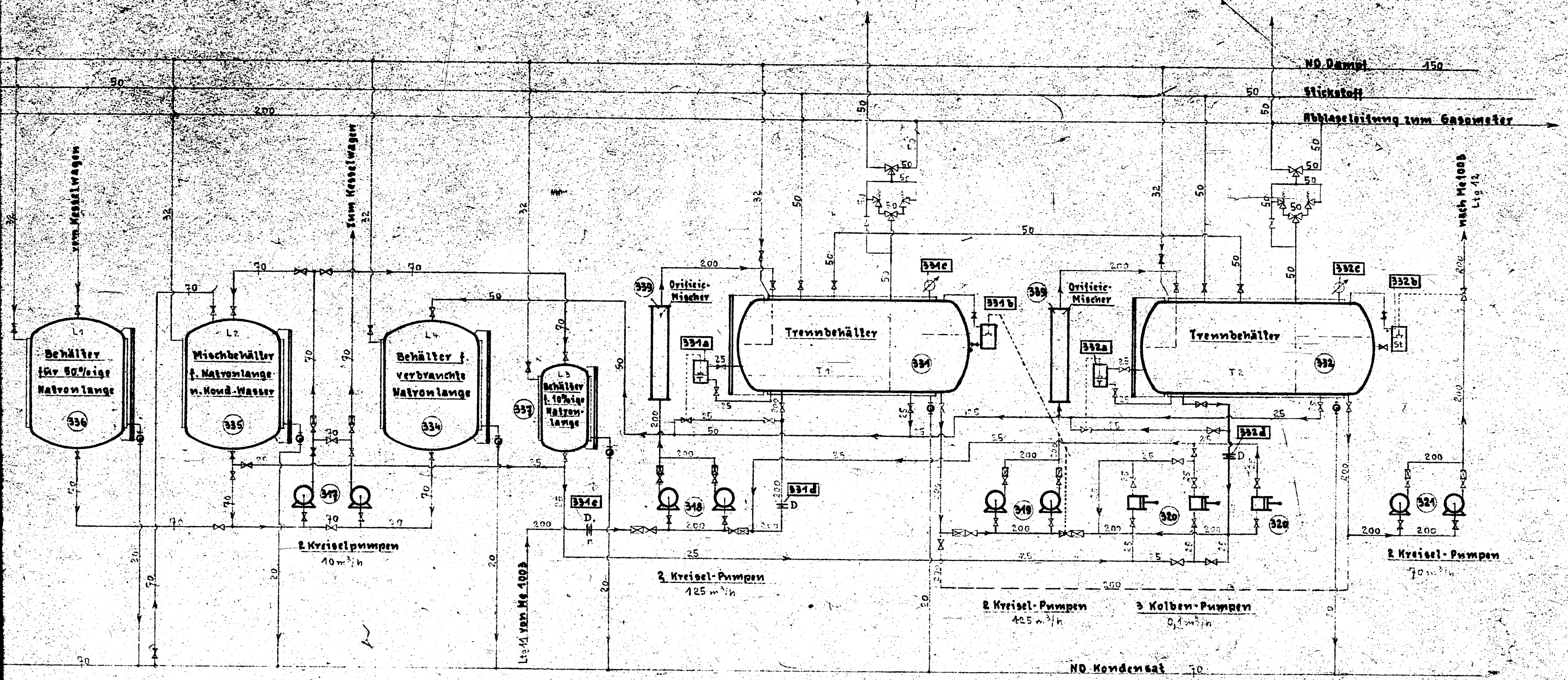


POOR
COPY



31171

- D Messstelle an Druckmessgerät
 - R Bismutthermo
 - M Manometer
 - W Widerstands-Thermometer
 - Hg-Thermometer
 - Q Ovalradzähler
 - S Sicherheits-Messwert-Regler
 - Stand-Regler
 - ⊞ Trennschicht-Regler
-
- R Alarm
 - F Fernbedienung
 - T nach Tastenschalter
 - r registrierend
 - a abgelesen
-
- ⊙ Apparat-Nr.
 - ⊞ Messgerät-Nr.



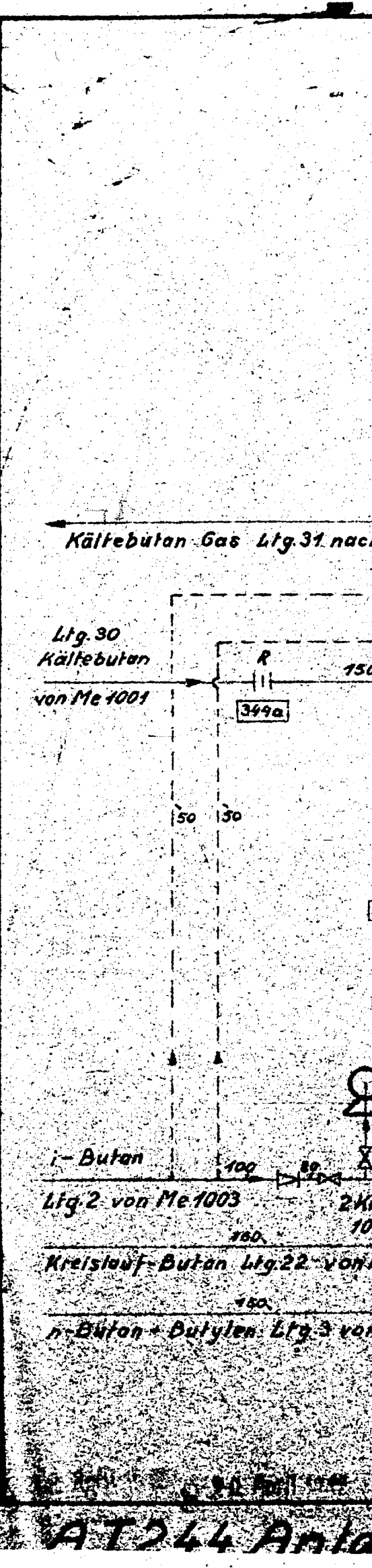
- D Messstelle an Druckmessgerät
 - R Bismutthermo
 - M Manometer
 - W Widerstands-Thermometer
 - Hg-Thermometer
 - Q Ovalradzähler
 - S Sicherheits-Messwert-Regler
 - Stand-Regler
 - ⊞ Trennschicht-Regler
-
- R Alarm
 - F Fernbedienung
 - T nach Tastenschalter
 - r registrierend
 - a abgelesen
-
- ⊙ Apparat-Nr.
 - ⊞ Messgerät-Nr.

28

M 4556

M 4556

POOR COPY 28



31171

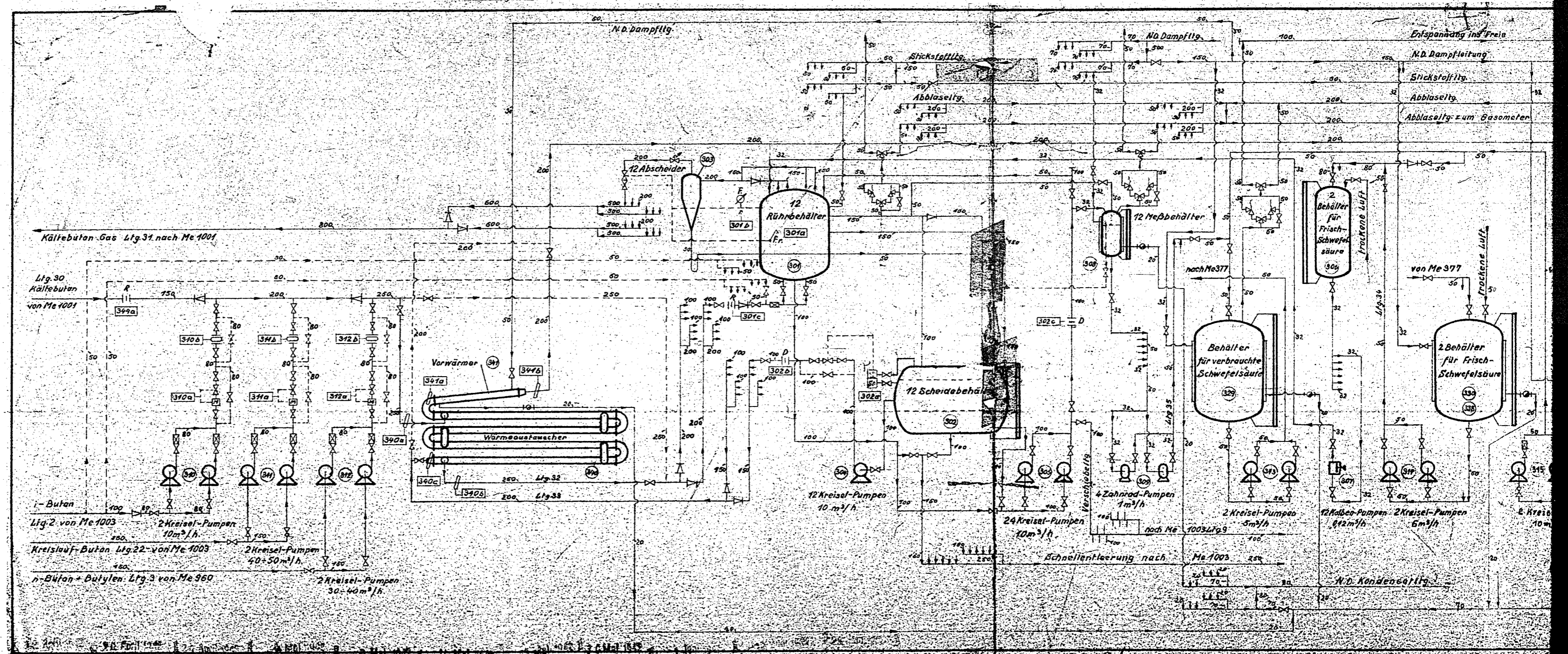
- D Messkabel mit Druckausgleich
- R Abdringung
- M Maximeter
- W Widerstands-Thermometer
- Hg-Thermometer
- Q Ovalradzähler
- S Siemens-Mercur-Regler
- Stawd-Regler
- Trennschicht-Regler

- R Alarm
- F Fernbedienung
- T nach Tastenschalter
- n registrierend
- a ablesend

- 300 Apparat-Nr.
- 300a Meßgeräte-Nr.

28

M 4556 a



AT 244 Anlage Leuna Schema von Me 1000, 1000a und 1000ax

POOR COPY 29