

Über die elektrolytische Reduktion von Natriumnitrat zu Ammoniak.

Von
R. Müller und E. Möbius.

Aus dem Institut für anorganische Chemie der Technischen Hochschule Graz.

Mit 2 Abbildungen.

(Eingelangt am 29. April 1946. Vorgelegt in der Sitzung am 27. Juni 1946.)

Die elektrolytische Reduktion von Nitraten wurde bisher ausschließlich vom Standpunkt der Erzeugung von Nitrit oder Hydroxylamin studiert. Namentlich Untersuchungen von E. Müller¹ zeigten, daß die Natur des Kathodenmaterials eine entscheidende Rolle für die Ausbeute an Nitrit spielt.

An glattem Platin und schwammigem Silber erhält man vorwiegend Nitrit, welches namentlich an letzterem als schlechterer Depolarisator wirkt als das Nitrat. Daher ist die Stromausbeute sehr gut. Es zeigte sich, daß, wenn es gelingt, das Kathodenpotential niedrig zu erhalten, was am schwammigen Silber zu erreichen ist, vorwiegend Nitrit gebildet wird. An glatten Elektroden von Silber und besonders Kupfer stellen sich negativere Kathodenpotentiale ein und die Reduktion schreitet demnach bis zum NH_3 fort. Eine gute Nitritausbeute konnte nach W. J. Müller² auch an einer Quecksilberkathode bei 90 bis 200° erzielt werden.

Trotzdem konnte sich das elektrochemische Verfahren aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchsetzen, die Gewinnung von Nitrit wurde weiterhin auf chemischem Wege durchgeführt.

In letzterer Zeit hat nun auch die Ammoniakgewinnung aus Nitrat Interesse gewonnen, da industrielle Interessenten daran denken, den seit

¹ E. Müller, Z. anorg. allg. Chem. **26**, 1 (1900). — E. Müller und J. Weber, Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. **9**, 955 (1903). — E. Müller und Spitzer, Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. **11**, 509 (1905).

² W. J. Müller, Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. **1**, 978 (1908).

Ausbruch der Weltwirtschaftskrise und der Autarkiebestrebungen der meisten Länder nicht mehr günstig absetzbaren Chilesalpeter im eigenen Lande zum Teil auf NH_3 zu verarbeiten.

Aus diesem Anlaß haben die Verfasser es unternommen, die elektrolytische Reduktion von Chilesalpeter im Hinblick auf die Möglichkeit der technischen Ammoniakgewinnung zu untersuchen. Der Ansatzpunkt für die geplanten Untersuchungen war die eingangs erwähnte Beobachtung, daß hohe Kathodenpotentiale für die Reduktion bis zum NH_3 günstig sind. Die Versuche wurden daher darauf abgestellt, Bedingungen ausfindig zu machen, unter denen das Kathodenpotential möglichst negativ ist.

Es war zu erwarten, daß in stark alkalischer Lösung die Bedingungen günstig liegen, da ja das H-Potential in diesen Lösungen unedler wird. Außerdem mußte bei der Nitratelektrolyse ohnedies mit der kathodischen Bildung von NaOH gerechnet werden, welches als Nebenprodukt auch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu haben verspricht.

Nähelegend war auch die Anwendung von Kathodenmetallen mit hoher Überspannung.

Die im folgenden beschriebenen Versuche verfolgen den Zweck, die bestgeeigneten Elektrodenmetalle ausfindig zu machen, ferner den Einfluß der Temperatur und der kathodischen und anodischen Stromdichte auf die Ammoniakausbeute zu untersuchen, um so die für die technische Durchführung bestmöglichen Bedingungen zu erforschen.

Versuchsanordnung und analytische Kontrolle.

Als Elektrolysenzellen wurden Weithals-Rundkolben (Jenaer C 20) mit 750 ccm Inhalt, mit einem Gummistopfen verschlossen, gewählt. Der Gummistopfen hatte sechs Bohrungen, zwei für das Elektrodenpaar, eine für die Einleitung von Stickstoff, mit dem während der Elektrolyse der Elektrolyt in Bewegung gehalten wurde, eine für das Abdestillieren des gebildeten Ammoniak, an der die Vorlage mit H_2SO_4 zur Absorption angeschlossen war; die fünfte für das Thermometer und die sechste für die Elektrolytverbindung mit der Normalelektrode.

Als Stromquelle diente ein regelbarer, rotierender Umformer. Zur Feinregelung war noch ein Schiebewiderstand in dem Stromkreis vorgeschaltet. Bei der Feststellung der Ausbeute wurde außerdem noch ein Ampere-Stundenzähler zur Kontrolle verwendet; bei kürzerer Versuchsdauer war seine Verwendung nicht erforderlich, da die Strommenge hinreichend genau aus Stromstärke $\times$ Zeit bestimmbar war, zumal die Stromstärke gut konstant gehalten werden konnte.

Die Weithals-Rundkolben waren jeweils nur für wenige Versuche brauchbar, da bald durch den hohen Alkaligehalt des Elektrolyten

eine derartige Entglasung eintrat, daß der Boden von kleinsten Löchern durchsetzt war.

Um die Versuchstemperaturen konstant zu halten, wurden die Zellen in Ölbäder gestellt.

Die Untersuchungen wurden meist so durchgeführt, daß die Elektrolyse über Zeiten bis 25 Stunden ausgedehnt und in Zeitabschnitten die Zusammensetzung des Elektrolyten besonders im Hinblick auf das Bildungsverhältnis von NaNO_2 zu NH_3 analytisch geprüft wurde. Aber auch die jeweilige Konzentration des NaOH wurde bestimmt. Die Versuchsreihen wurden bei verschiedenen Temperaturen und Stromdichten ausgeführt und das Kathodenpotential messend verfolgt. Dazu diente eine Kalomelnormalelektrode und eine *Poggendorffsche* Kompensations-einrichtung mit Kapillarelektrometer.

Die analytische Bestimmung der elektrolytischen Reduktionsprodukte wurde nach folgenden Verfahren durchgeführt:

- a) NaOH durch Titration vor und nach dem Versuch.
- b) NH_3 nach *Kjeldahl*.
- c) NaNO_2 durch titrimetrische Bestimmung des Nitrits und Trennung der salpetrigen Säure von der Salpetersäure nach *W. M. Fischer* und *N. Steinbach*.³

- d) Hydroxylamin mit Kupfersulfat.

(Bei fast allen Versuchen, die durchgeführt wurden, war die Untersuchung auf Hydroxylamin negativ.)

Im Hinblick auf den praktischen Zweck dieser Untersuchungen wurde als Ausgangsstoff „Chilean Nitrate of Soda, garandet 16% Nitrogen, der Champion Band, the natural Nitratprodukt of Chile“ (Chilesalpeter mit rund 16% N) verwendet.

Aus technischen Gründen war noch die Anwendung möglichst konzentrierter Elektrolytlösungen und hoher kathodischer Stromdichten sowie billiger Elektrodenwerkstoffe und Vermeidung eines Diaphragmas wünschenswert.

Versuche zur Feststellung geeigneter Elektrodenmaterialien.

Wie schon erwähnt, ist es wünschenswert, Kathodenmetalle mit möglichst hoher Überspannung der Wasserstoffabscheidung zu verwenden.

Bei den folgenden orientierenden Vorversuchen war die Stromdichte an der Anode und Kathode gleich groß, 0,45 Amp/qcm. Die Temperatur betrug 50°, die Versuchsdauer je 4 Stunden. Die Elektrodengröße war 12 qcm.

Als Elektrolyt diente eine Lösung, wie sie später für die meisten Versuche angewendet wurde. Sie enthielt: 47% NaNO_3 und 4,7% NaOH .

³ Z. anorg. Chem. 76—78, S. 134.

Nachstehende Tabelle 1 zeigt die Wirkung verschiedener Kathodenmetalle auf die NH_3 -Ausbeute. Als Anode wurde glattes Platin verwendet.

Tabelle 1.

Anode	Kathode	Oberfläche der Kathode	Ausbeute von NH_3 in g
Pt-Blech	Cu-Blech	hochglanzpoliert	1,100
„ „	„ „	rauh	0,576
„ „	„ „	amalgamiert	0,538
„ „	Fe-Blech	hochglanzpoliert	1,129
„ „	„ „	rauh	1,075
„ „	Pb-Blech	„	0,935
„ „	Ni-Blech	„	0,968
„ „	Pt-Blech	glatt	0,525

Die Ausbeute an der hochglanzpolierten Kupferkathode und der hochglanzpolierten Eisenkathode sind, von einer kleinen Differenz abgesehen, als gleichwertig zu betrachten, doch wurde die Kupferkathode bald aufgeraut, während die Eisenkathode die Politur nicht verlor. Bei der amalgamierten Kupferkathode war nach den Versuchen der Oberflächenbelag ebenfalls vernichtet. Blei- und Nickeloberflächen hielten der Elektrolytflüssigkeit stand und die Ausbeuten an Ammoniak sind als verhältnismäßig gut zu bezeichnen. Wie weiter aus der vorstehenden Zusammenstellung ersichtlich ist, sind die Ausbeuten an rauhem und amalgamiertem Kupfer sowie an der Platinkathode sehr ungünstig.

Es scheiden demnach solche Metalle aus, die in alkalischer Lösung unbeständig sind, bzw. kathodisch aufgeraut werden, da letzterer Umstand eine Erniedrigung der Überspannung bewirkt. Quecksilberkathoden eignen sich wegen der starken Hydroxylaminbildung nicht. Glattes Platin eignete sich ebenfalls schlecht. Bleibt also poliertes Eisen oder Eisenlegierungen als Kathodenmaterial, welches die besten Ergebnisse lieferte.

Vom *Anodenwerkstoff* wird verlangt, daß er bei der vorliegenden Beanspruchung in stark alkalischer Lösung hinreichend beständig ist. Unter hinreichender Beständigkeit soll hierbei verstanden werden, daß das In-Lösung-Gehen der Anode nur in solchem Maße erfolgen darf, daß durch die Lösungsprodukte der Anode eine Beeinflussung des Elektrolysenvorganges nicht merklich stattfindet.

Platin hat sich selbstverständlich bei allen anodischen Stromdichten als praktisch unangreifbar gezeigt. Den weiteren Untersuchungen, die bei 50° durchgeführt wurden, war eine anodische Stromdichte von 0,45 Amp/qcm, die als sehr hoch bezeichnet werden muß, zugrunde gelegt. Diese hohe Stromdichte wurde gewählt, weil sie damit etwa gleich der verwendeten kathodischen war.

In der folgenden Aufstellung sind die untersuchten Werkstoffe und ihr Verhalten zusammengefaßt. Die Versuchsdauer betrug jeweils 4 Stunden.

Tabelle 2.

Werkstoff	Ungefähre Zusammensetzung	Oberfläche	Verhalten als Anode
Platin	Rein	blank	kein Angriff
Reinnickel	99% Nickel	„	sehr starker Angriff
Säurefeste Eisenlegierungen:	60% Ni, 15% Cr, 7% Mo, Rest Fe	poliert	mäßiger Angriff
	15% Ni, 15% Cr, 2% Mo, 2% Cu, 1% Ta	„	starker Angriff
	18% Ni, 8% Cr, 2% Mo, 1% Ta	„	mäßiger Angriff
	18% Ni, 8% Cr, 1% Ta	„	mäßiger Angriff
	18% Ni, 18% Cr	„	starker Angriff
	13% Cr, 0,010% C, Rest Fe	„	mäßiger Angriff
Flußeisen	15% Si	„	starker Angriff
	0,10% C, 0,4% Mn, 0,2% Si	„	starker Angriff

Aus dieser Tabelle geht zunächst hervor, daß bei einer so hohen anodischen Belastung kein Werkstoff außer Platin völlig widerstandsfähig ist. Die säurefesten Legierungen des Eisens auf Chromnickelbasis verhalten sich zwar besser als Reinnickel und Flußeisen, aber bei der vorliegenden anodischen Belastung ist auch ihre Zerstörung bedeutend. Da Platin, der einzig wirklich beständige Werkstoff, wie es sich später zeigte, doch ungünstig auf den Verlauf der Elektrolyse einwirkte und weil er auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage kommt, mußte, um die Haltbarkeit der Anode einigermaßen zu erreichen, die anodische Stromdichte herabgesetzt werden. Mit Anoden aus *Reinnickel* wurden daher Versuche mit den Stromdichten 0,45, 0,23, 0,07 Amp/qcm durchgeführt. Aus den Versuchen ging hervor, daß auch bei diesen Stromdichten keine genügende Beständigkeit erreicht werden kann.

Bei *Flußeisen* hingegen genügte eine Erniedrigung der Stromdichte unter 0,1 Amp/qcm, um befriedigende Beständigkeit zu erreichen. Die weiteren Versuche wurden daher, soweit sie nicht mit Platinelektroden durchgeführt wurden, mit Flußeisenelektroden solcher Größe ausgeführt, daß die anodische Belastung unter 0,1 Amp/qcm blieb. Das Verhalten dieser Elektroden war auch bei länger dauernden Versuchen befriedigend. Für die technische Durchführung ist auf Grund des besseren Verhaltens bestimmter legierter Stähle (s. Tabelle) die Verwendung solcher Legierungen wahrscheinlich angezeigt, doch müßte eine eingehende Untersuchung der Werkstoffwahl vorausgehen.

Versuche zur Feststellung des Einflusses der Temperatur, der kathodischen Stromdichte und der Elektrolysendauer.

Das umfangreiche Tabellenmaterial über diese Versuche kann hier nicht im einzelnen wiedergegeben werden,⁴ vielmehr soll im folgenden das Ergebnis der zahlreichen Einzelversuche und analytischen Bestimmungen zusammenfassend besprochen werden.

Schon in Vorversuchen wurde festgestellt, daß es keine Vorteile bietet, verdünntere Lösungen von NaNO_3 als Elektrolyt zu verwenden. Es wurden deshalb für alle Versuche *gesättigte* Lösungen von NaNO_3 angewendet.

Um die Änderung der Leitfähigkeit während der Elektrolyse durch Bildung von NaOH zu verringern, wurde schon von vornherein eine Menge an NaOH zugesetzt, die 10% der verwendeten Salpetermenge entspricht. Die Konzentration des NaOH ist in weiten Grenzen ohne Einfluß auf die NH_3 -Ausbeute; bei hoher NaOH -Konzentration wurde eher eine kleine Verbesserung der Ausbeute beobachtet.

Einfluß der Temperatur und der Stromdichte.

Der in 30 Versuchsreihen zu je 5 Stunden ermittelte Temperatureinfluß bei 50°, 80° und 115° in jeweils gesättigten Lösungen von NaNO_3 mit Zusatz von 10% der NaNO_3 -Menge an NaOH wurde für die Stromdichten 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 und 1,0 Amp/qcm festgestellt. Es ergab sich in allen Fällen eine eindeutige Zunahme der NH_3 -Ausbeute, berechnet auf Prozent der theoretischen Ausbeute (Tabelle 3).

Tabelle 3.

Kathodische Stromdichte	Ausbeute von NH_3 in % der theoretischen Ausbeute		
	50°	80°	115°
0,1	59,1	70,8	83,8
0,3	59,3	64,2	87,1
0,5	64,6	69,9	96,0
0,7	36,9	60,1	75,0
1,0	31,4	42,5	83,0

In Abb. 1 sind diese Verhältnisse (bei Verwendung von polierten Eisenelektroden) dargestellt. Weitere Temperatursteigerung ist wegen des bei 120° eintretenden Siedens der Lösung nicht möglich. Es ist aber zu erwarten, daß bei höheren Temperaturen, wie sie durch Druckerhöhung erzielt werden könnten, eine weitere Verbesserung der NH_3 -Ausbeute zu erreichen ist.

Gleichzeitig wird durch diese Versuche der Einfluß der Stromdichte deutlich. Während die NH_3 -Ausbeute von 0,1 bis 0,5 Amp/qcm bei 115° steigt, fällt sie dann wieder. Das Maximum des Wirkungsgrades liegt also bei 0,5 Amp/qcm (Abb. 2).

⁴ Siehe E. Möbius, Dissertation. Leoben. 1936.

Messung der Kathodenpotentiale während der Elektrolyse.

Es war zu vermuten, daß die Ursache der günstigen Wirkung von hoher Temperatur und hoher Stromdichte auf die NH_3 -Ausbeute in einer

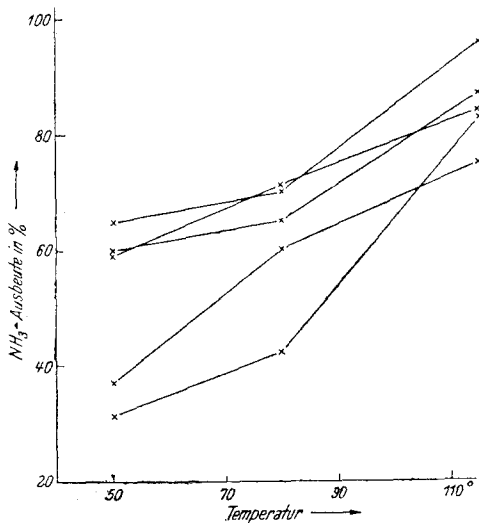


Abb. 1.

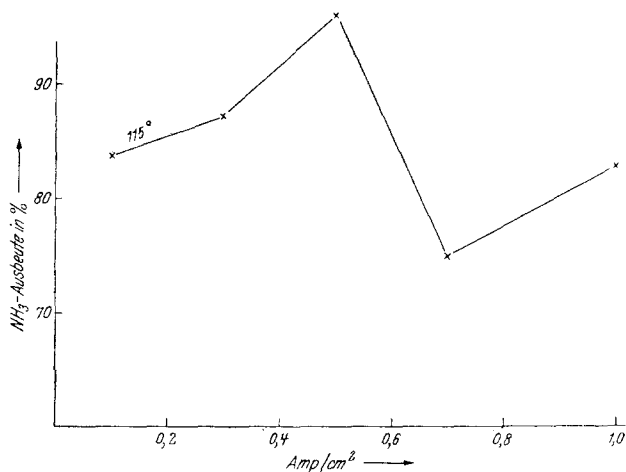


Abb. 2.

Erhöhung der Überspannung des Wasserstoffes an der Kathode zu suchen sei. Die Kontrolle der Kathodenpotentiale während der Elektrolyse bestätigt diese Annahme. Wenn auch die Werte für die Kathode, gemessen gegen die Kalomelnormalelektrode stark schwankten, so ergab sich doch, daß die Potentiale von 50° bis 80° um zirka 0,1 Volt, von 80° bis 115° um zirka 0,05 Volt höher lagen.

Noch deutlicher ist der Einfluß der Stromdichte auf das Kathodenpotential. Während nach zweistündiger Elektrolysendauer bei 115° und mit 0,3 Amp/qcm das Kathodenpotential

einer Eisenelektrode bei 1,25 bis 1,30 Volt liegt, steigt es bei 0,5 Amp/qcm auf zirka 1,6 Volt, um bei Anwendung einer Stromdichte von 0,7 Amp/qcm wieder auf 1,4 bis 1,45 Volt zu sinken. Dies bestätigt unsere Vermutung, daß die Ausbeute an NH_3 ganz wesentlich von der Überspannung an der Kathode abhängt, denn die Ausbeuten sinken ja

nach einem Anstieg bis 0,5 Amp/qcm bei weiterer Erhöhung der Stromdichte wieder ab.

Im weiteren Verlauf der Elektrolysen, welche bis zu 25 Stunden ausgedehnt wurden, zeigten sich namentlich bei der Verwendung von blank

polierten Eisenelektroden starke Schwankungen und Absinken des Kathodenpotentials, welche immer damit verbunden waren, daß sich die Oberfläche der Eisenkathode verändert hatte.

Die besten Ergebnisse wurden mit dekapierten, also blank gebeizten Eisenkathoden erzielt. Wurde jedoch eine zu hohe anodische Stromdichte verwendet, so traten auch bei Platinanoden, und sogar besonders bei diesen, im weiteren Verlauf der Elektrolyse Ausbeutevermindierungen ein, welche auf eine Überführung von Eisen bzw. Platin, welches durch Spuren von Cl^- -Ionen im Elektrolyten gelöst wurde, zur Kathode zurückzuführen sind. Durch die Veränderung der Oberfläche, namentlich infolge der Platinabscheidung an der Kathode wird offenbar die Überspannung derart erniedrigt, daß in manchen Fällen die NH_3 -Bildung überhaupt zum Stillstand kam. Es mußte daher sorgfältig darauf gesehen werden, daß die Kathoden blank blieben. Im Falle des Absinkens des Kathodenpotentials müssen sie abgebeizt werden.

Auch das oben festgestellte Abfallen des Kathodenpotentials und der NH_3 -Ausbeute bei Stromdichten über 0,5 Amp/qcm ist auf eine Veränderung der Kathodenoberfläche bei höheren Stromdichten, jedenfalls eine Aufrauung, zurückzuführen, da auch bei Erniedrigung der Stromdichte die schlechte Ausbeute bestehen bleibt.

Die Badspannung, die selbstverständlich bei allen Versuchen gemessen wurde, ist für die technische Durchführung des Prozesses wegen des Energieverbrauches ebenfalls wichtig.

In folgender Tabelle sind die beobachteten Badspannungen bei 50° und bei niedrigeren Stromdichten und der sich daraus ergebende Energieverbrauch pro kg NH_3 verzeichnet:

Eine Senkung der Badspannung kann durch Erhöhung der Elektrolytkonzentration, welche wieder von der Temperatur abhängt, sowie durch möglichste Annäherung der Elektroden erzielt werden.

Tabelle 4.

Badspannung Volt	Stromdichte Amp/qcm	Energiebedarf pro kg NH_3 und 2,34 kg NaOH
1,5	0,042	20,4
1,8	0,083	24,4
2,0	0,166	27,2
2,19	0,25	29,8
2,39	0,33	32,4
2,5	0,41	34,0

Das Verhältnis Nitrit:Ammoniak.

Bei der Elektrolyse wird als Zwischenprodukt immer Nitrit gebildet, welches dann weiter zu NH_3 reduziert wird. Es stellt sich bei der Elektrolyse daher ein einigermaßen konstant bleibendes Nitrit- NH_3 -Ausbeuteverhältnis ein, das nach fünfstündiger Elektrolysedauer etwa 20 bis 30% NaNO_2 und 70 bis 80% NH_3 beträgt und im Verlauf der Elektro-

lyse ungefähr konstant bleibt, vorausgesetzt, daß man den Elektrolyten bei Erschöpfung erneuert.

Zusammenfassung der günstigsten Elektrolysebedingungen.

Aus den auszugsweise wiedergegebenen Untersuchungen geht hervor, daß die günstigsten Bedingungen für die Durchführung der Salpeter-elektrolyse zur Ammoniakherzeugung folgende sind:

1. *Elektroden*: Kathode blank gebeiztes Flußeisen, Anode Flußeisen oder legierter, alkalibeständiger Stahl, mit einer mindestens sechsfach so großen wirksamen Fläche wie die Kathode, so daß ihre Stromdichte sicher unter 0,1 Amp/qcm liegt.

2. *Temperatur*: 100 bis 120°.

3. *Stromdichte*: 0,5 Amp/qcm.

4. *Elektrolyt*: Gesättigte Lösung von NaNO_3 mit zirka 10% der NaNO_3 -Menge NaOH . Bei 115° zirka 500 g NaNO_3 und 50 g NaOH im Liter.

Modellversuch für eine technische Durchführung der Salpeter-elektrolyse.

Der Zweck des hier beschriebenen Versuches war, die in den vorhergehenden Untersuchungen als günstig befundenen Versuchsbedingungen einer Überprüfung in etwas größerem Maßstabe zu unterziehen.

Als Elektrolysisgefäß wurde ein Porzellankochbecher mit einem Gummistopfen mit den schon vorher beschriebenen Bohrungen für Elektroden, Thermometer und Gaseinleitung, wie zur Abdestillation notwendigen Glasröhrchen, gewählt. Während der Elektrolyse wurde zur Bewegung des Elektrolyten Stickstoff durchgeleitet und während der Elektrolyse Potentialmessungen vorgenommen. Die Elektroden waren aus weichen Eisenblech, zylinderförmig gebogen, Kathode 3×4 mm, Anode 6×12 mm; Elektrodenabstand 10 mm.

Kathodische Stromdichte: 0,5 Amp/qcm.

Versuchstemperatur: 115°.

Versuchsdauer: 6 Stunden.

Ausbeuten: 2,294 g NH_3 , 10,548 g NaNO_2 , 5,8903 g NaOH .

Ausbeuten je Amp/h: 0,0629 g NH_3 , 0,293 g NaNO_2 , 0,1636 g NaOH .

Stromausbeute: NH_3 zirka 80%, NaNO_2 zirka 20%.

Das Kathodenpotential schwankte zwischen 1,59 und 1,64 Volt, die Badspannung zwischen 2,1 und 2,6 Volt.

Da neben einer Stromausbeute an NH_3 von 80% zirka 20% der Stromarbeit auf die Bildung von NaNO_2 aufgewendet wurde, dieses aber mit der Zeit ebenfalls zu NH_3 reduziert wird, ist bei längerer Elektrolysendauer mit einer Stromausbeute von mindestens 95% zu rechnen.

Dieser Versuch bestätigt, daß die oben ermittelten vorteilhaften

Elektrolysenbedingungen es ermöglichen, eine technische Gewinnung von Ammoniak durch elektrolytische Reduktion praktisch durchzuführen.

Zum Schluß sollen nur noch einige Bemerkungen über die technische Durchführung gemacht werden:

Die hohe Temperatur, die sich ohnedies durch die Stromwärme von selbst einstellt, erleichtert die Abführung des NH_3 . Dieses kann unter gleichzeitigem Durchsaugen von etwas Luft abgesaugt und in Vorlagen absorbiert oder durch Kühlung des Gasgemisches verflüssigt werden. Durch die rasche Abführung des NH_3 wird auch einer etwaigen Rückoxydation an der Anode vorgebeugt.

Eine Salpeterzelle mit einer Stromaufnahme von 10,000 Amp. und einer Badspannung von 2,5 Volt würde je Stunde 650 g oder 855 Liter (bei 0° , 760 mm) Ammoniak erzeugen und als Nebenprodukt würden zirka 1,5 kg NaOH anfallen. 5 kg NaNO_3 liefern zirka 1 kg NH_3 und 2,3 kg NaOH; je kg NH_3 wären unter diesen Bedingungen rund 75 kwh notwendig.

In der oben angenommenen Salpeterzelle mit 10,000 Amp. Stromaufnahme wird nach 8,33 Tagen, d. s. 200 Stunden, die NaOH-Konzentration 300 g im Liter, die Gesamtmenge 300 kg NaOH betragen. Dann müßte Ersatz durch frische Lösung erfolgen. Auch höhere Konzentrationen können erreicht werden, doch tritt bei 400 g/Liter die Gefahr der Auflösung der Anoden ein. Die an NaOH angereicherte Lösung wird unten abgezogen. Beim Abkühlen und Eindampfen kristallisiert der Salpeter aus und kann oben wieder in die Zelle gefüllt werden.