

KfK 3816

Mai 1985

The Ultra-High-Vacuum System of the Electron-Cooling Device of LEAR

C. Habfast, L. Hütten, H. Poth, A. Wolf

**Institut für Kernphysik
Institut für Technische Physik**

**M. Girardini, A. Poncet
CERN, PS Division, Genf**

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Kernphysik

Institut für Technische Physik

KfK 3816

The Ultra-High-Vacuum System of the
Electron-Cooling Device of LEAR

L. Hütten, C. Habfast, H. Poth
and A. Wolf

M. Girardini and A. Poncet
CERN, PS Division
Genf, Schweiz

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Abstract

The Ultra-High-Vacuum System of the Electron-Cooling Device of LEAR

The development of the ultra-high vacuum system of the Electron Cooling Device for LEAR is reported.

Detailed descriptions of the technical and physical requirements of the system, the progress of construction and tests of the different elements as well as some technical characteristics of the device are given.

A number of measurements were made, the results of which are discussed.

Finally some rules for UHV-treatment and preparation of the different parts of the device are given.

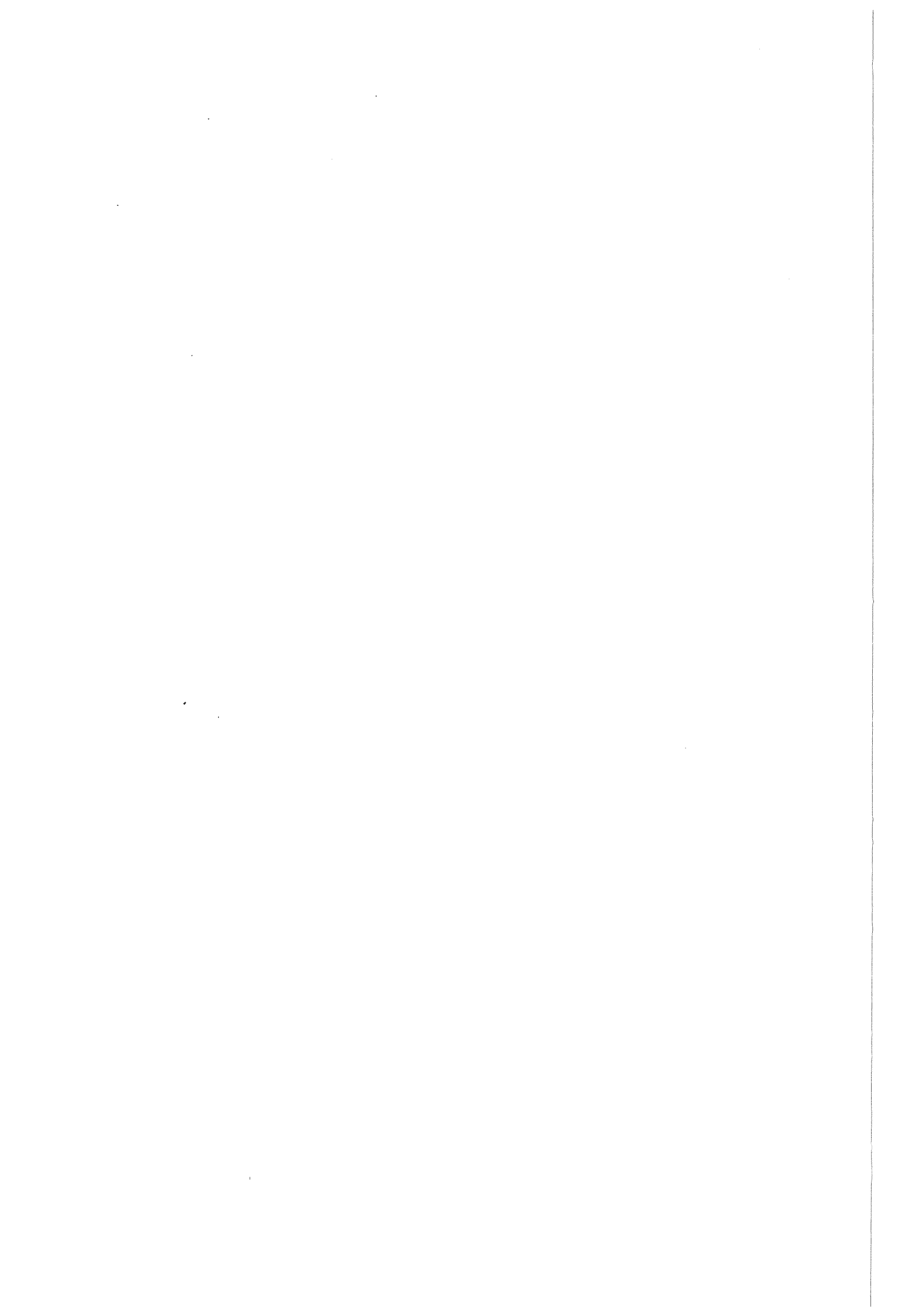
Zusammenfassung

Das Ultrahochvakuumssystem der Elektronenkühlanlage für LEAR

Es wird das Ultrahochvakuumssystem der Elektronenkühlanlage für LEAR beschrieben. Die Anforderungen an dieses Vakuumssystem werden erläutert und es wird über den stufenweisen Aufbau der Apparatur und den Test von Einzelgruppen berichtet. Die gewonnenen Meßergebnisse werden angegeben. Konstruktionsmerkmale für UHV- und Behandlungsvorschriften für seine Komponenten werden beschrieben.

INHALT

1.	Einleitung	3
2.	Das Prinzip der Elektronenkühlung	3
2.1	Der Aufbau der Elektronenkühlanlage für LEAR	5
2.2	Anforderungen an das Vakuumsystem	8
3.	Die Apparatur	8
3.1	Zusammenfassende Übersicht	8
3.2	Vakuumtechnik	11
3.2.1	Pumpenwahl	11
3.2.2	NEG-Pumpen	15
3.2.3	Instrumentierung	16
4.	Aufbau, Messung und Ergebnisse	17
4.1	Betriebsprüfung der NEG-Pumpen	17
4.2	Bestimmung der Kathodenausgasrate	21
4.3	Das Vakuumsystem des Elektronenkühlers	25
4.3.1	Endvakuum des Elektronenkühlers	25
4.3.2	Injektionen	26
4.3.3	Standzeiten	26
4.3.4	Optimierung der Behandlung der NEG-Pumpen	28
5.	Konstruktionsmerkmale des UHV	30
6.	Werkstoffe für UHV	31
7.	Ausheizzyklus	34



1. Einleitung

In diesem Bericht wird das Vakuumsystem der Elektronenkühlanlage für LEAR beschrieben. Die Elektronenkühlanlage wurde als selbständige Apparatur aufgebaut und wird separat getestet. Sie soll 1986 in den Niederenergie-Antiprotonen-Speicherring LEAR (Low Energy Antiproton Ring) eingebaut werden.

Das Vakuumsystem von LEAR ist eine der besten Anlagen auf der Welt, die jemals serienmäßig für einen Beschleuniger erstellt wurden. Ein mittlerer Druck von einigen 10^{-12} mbar wurde im Oktober 1984 nach zweijähriger Betriebszeit erreicht. Dieser Enddruck impliziert entsprechende Anforderungen an den Elektronenkühler, welcher integraler Bestandteil des Rings wird.

Im folgenden werden die Erfahrungen, die beim Aufbau des Vakuumsystem der Elektronenkühlanlage gewonnen wurden, zusammengefaßt. Zunächst wird das Funktionsprinzip des Elektronenkühlers und seine Aufgabe im LEAR beschrieben. Sodann werden die Randbedingungen für das Vakuumsystem dargelegt. Im Anschluß daran wird der Aufbau des Vakuumsystems beschrieben und über die ersten Messungen, die mit Testaufbauten sowie der Anlage durchgeführt wurden, berichtet.

Dieser Bericht bemüht sich, auch die Methoden zur Erzeugung und Messung von Ultrahochvakuum, die im Europäischen Kernforschungszentrum CERN ausgearbeitet wurden, ausführlich zu beschreiben.

2. Das Prinzip der Elektronenkühlung

Die Elektronenkühlung ist ein Verfahren zur Verbesserung von Strahleigenschaften gespeicherter Ionen. Sie beruht auf dem Prinzip der wiederholten Coulombwechselwirkung zwischen einem quasimonoenergetischen und gerichteten Elektronenstrahl mit einem Ionenstrahl gleicher Geschwindigkeit. Der Ionenstrahl ist in einem Ring gespeichert und wird auf einen Teil seines Umfangs dem Elektronenstrahl ausgesetzt. Dort laufen beide Strahlen parallel und überlappen sich. Die wiederholte Wechselwirkung der Ionen mit den Elektronen bewirkt eine Angleichung der Eigenschaften des Ionenstrahls an die des Elektronenstrahls. Schnellere Ionen werden durch die Elektronen abgebremst, langsamere werden beschleunigt, bis sie die Geschwindigkeit der Elektronen erreicht haben. Die Ausrichtung des Elektronenstrahls

bewirkt auch, daß schräg einlaufende Ionen durch wiederholte Stöße auf parallele Bahnen gezwungen werden. Diese Effekte führen dazu, daß der Ionenstrahl zu sehr kleinen Abweichungen von seiner Sollenergie gekühlt werden kann und daß seine Strahldimensionen schrumpfen. In günstigen Fällen können zum Beispiel Strahldurchmesser von einigen Zentimetern auf Bruchteile von Millimetern reduziert und Energieschärfen von unter 10^{-4} erreicht werden. Wichtigstes Element bei den Verfahren der Strahlkühlung ist es, daß die Verbesserung der Strahleigenschaften ohne Verluste an Teilchen erzielt werden kann.

Der Begriff der Kühlung und der Temperatur rührt daher, daß ein Beobachter, der sich mit einem Ion der Sollenergie bewegt, in einem diffusen (heißen) Strahl andere Ionen mit sehr viel unterschiedlicheren Geschwindigkeiten beobachtet. Dies ähnelt der Geschwindigkeitsverteilung von Molekülen in einem heißen Gas. In einem gekühlten Ionenstrahl dagegen laufen alle Ionen nahezu parallel mit fast gleicher Geschwindigkeit. Der sich mit dem Soll-Ion bewegende Beobachter registriert dann die restlichen Ionen mit einer sehr schmalen Geschwindigkeitsverteilung. Dies wiederum entspricht einem kalten Gas, in dem sich die Moleküle mit nur geringen Geschwindigkeitskomponenten bewegen.

Um eine wirkungsvolle Kühlung zu erreichen, ist es notwendig, einen qualitativ hochwertigen Elektronenstrahl zu erzeugen. Elektronen werden von einer heißen Kathode, die auf negativem Potential liegt, erzeugt, mittels eines Anodensystems abgesaugt und auf die gewünschte Energie beschleunigt. Da sich die gleichnamig geladenen Elektronen gegenseitig abstoßen, werden sie in einem längsgerichteten Magnetfeld geführt. Dieses Solenoidalfeld bewirkt, daß Elektronen mit transversalen Geschwindigkeitskomponenten auf Spiralbahnen um die Magnetfeldlinien gezwungen werden. Durch einen geeigneten Wert des Magnetfeldes wird die Größe des Elektronenstrahls auf die der Kathode limitiert. Ein Magnetfeld dient auch dazu, den Elektronenstrahl zum Ionenstrahl zu transportieren. Durch entsprechende Krümmung der Solenoiden (Toroidfeld) wird der Elektronenstrahl in den Ionenstrahl eingelenkt. In der Kühlstrecke liegt wieder ein reines Solenoidfeld vor. Die Trennung des Elektronenstrahls vom Ionenstrahl erfolgt in der gleichen Weise.

2.1 Der Aufbau der Elektronenkühlanlage für LEAR

Der Speicherring LEAR stellt Antiprotonen im Energiebereich zwischen 5 MeV und 130 MeV für Experimente zur Verfügung. Die besondere Eigenschaft dieser Maschine ist, Antiprotonenstrahlen hoher Güte und Intensität im Dauerstrichbetrieb zu liefern. Da das Abschälen der gespeicherten Antiprotonen aus dem Ring während etwa 45 min geschieht, müssen strahlstörende Effekte durch eine Kühlung ausgeglichen werden: Die Lebensdauer des Strahls wird durch das Vakuum aber auch durch Alignierungsfehler u.ä. begrenzt. Während bei hohen Energien die stochastische Kühlung angewendet wird, bedarf es bei niedrigen Energien der Elektronenkühlung. Die Elektronenkühlanlage /1/ für LEAR ist zunächst für Elektronenenergien zwischen wenigen KeV und 40 KeV ausgelegt. Dies entspricht einem Arbeitsbereich zwischen 5 MeV und 70 MeV für die Antiprotonen. Die Aufgabe der Elektronenkühlung im LEAR ist, Antiprotonen, die bei 175 MeV im LEAR eingeschossen, stochastisch vorgekühlt und dann auf 70 MeV abgebremst werden, weiter zu kühlen, um sie sodann zu noch niedrigeren Energien verlustfrei abbremsen zu können. Die Elektronenkühlung mit ihrer hohen Kühlwirkung erlaubt den Betrieb eines ringinternen Gastargets und kompensiert das Aufblähen des Antiprotonenstrahls an diesem Target. Bei Experimenten mit internen Targets sowie der Speicherung der Antiprotonen über lange Zeiträume ist ein niedriges Vakuum erforderlich, da sonst die Antiprotonen durch Wechselwirkung mit dem Restgas verlorengingen. Somit muß die Elektronenkühlanlage auch ein sehr niedriges Endvakuum erlauben.

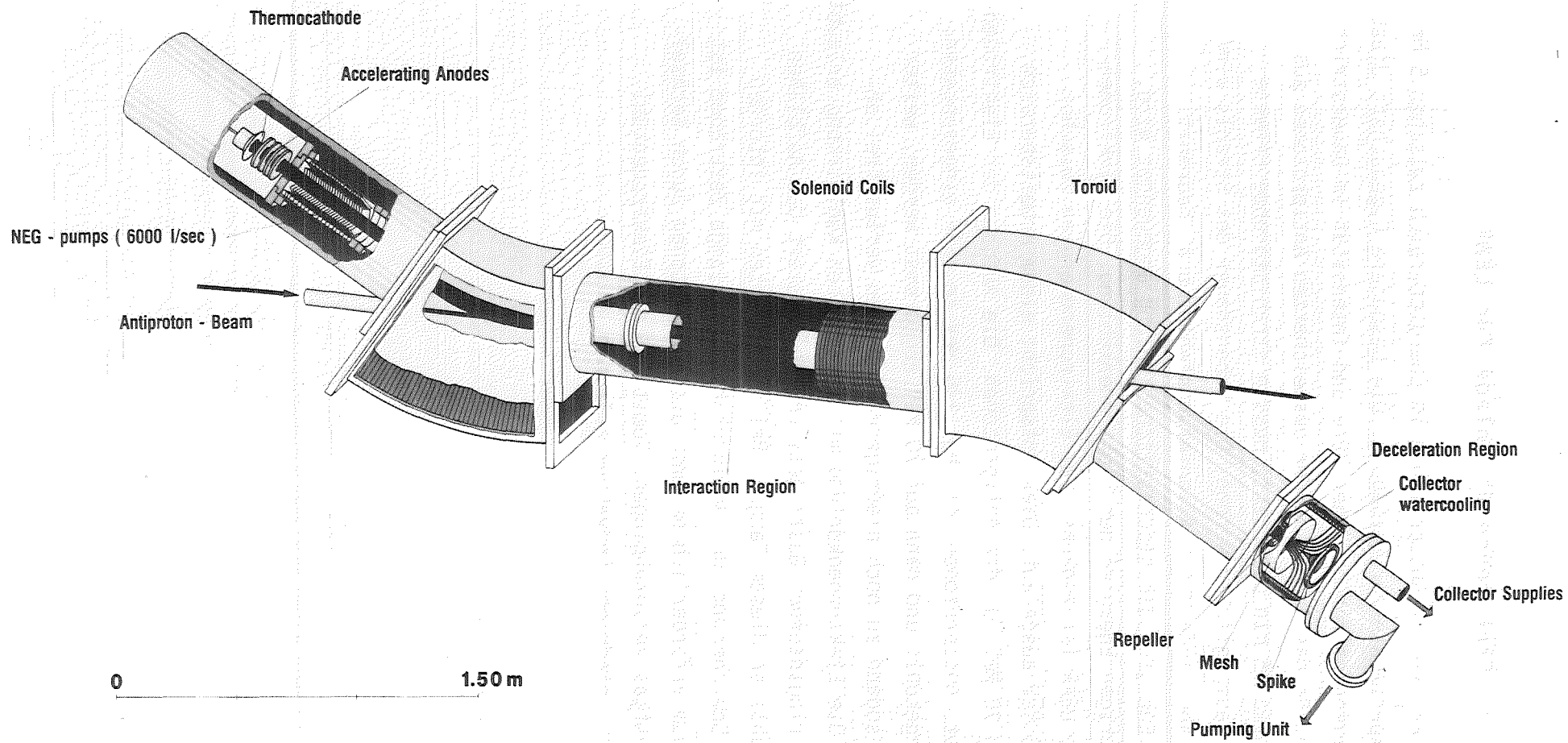


Abb. 1 Schematischer Aufriß des LEAR-Elektronenkühlers
(Zeichnung KfK-1K)

In Abb. 1 ist der Aufbau des Elektronenkühlers für LEAR dargestellt. Der Elektronenstrahl wird in der Elektronenkanone erzeugt und auf die gewünschte Energie beschleunigt. Danach passiert er die erste Driftröhre und eine Pick-up Station zur Messung der Strahlposition und wird im Toroid in den Antiprotonenstrahl gelenkt. In der darauffolgenden Driftstrecke von ca. 1,5 m findet die Kühlung des Antiprotonenstrahls statt. Danach wird der Elektronenstrahl wiederum durch einen Toroid aus dem Antiprotonenaustrahl ausgelenkt. Nach dem Verlassen des zweiten Toroidtanks passiert er nochmals eine Driftstrecke und erreicht den Kollektor. Dort werden die Elektronen auf wenige KeV abgebremst und in dem schnell abfallenden Magnetfeld aufgefächert, so daß sie auf dem zylindrischen Kollektortopf möglichst gleichmäßig verteilt auftreffen. Die Abbremsung der Elektronen ist notwendig, um die im Strahl gespeicherte Energie zu einem großen Teil zurückzugewinnen. Der Kollektortopf liegt nahezu auf Kathodenpotential (bis ca. 2 KV Gegenspannung) und ist wassergekühlt. Dort befinden sich mehrere Elektroden, die die Verteilung der Elektronen im Kollektor beeinflussen und das Entweichen von Sekundärelektronen aus dem Kollektor erschweren.

Der maximale Elektronenstrom bei 40 KV beträgt 5 A, entsprechend 200 KW Strahlleistung. Bei einer Kollektorgegenspannung von ca. 2 KV müssen über den Kollektor etwa 10 KW abgeführt werden. Ein kleiner Bruchteil des Strahls (ca. einige Promille) kann nicht im Kollektor aufgefangen werden und geht verloren. Diese Verluste rühren hauptsächlich von reflektierten Elektronen her, die auf die Vakuumwand treffen, die auf Masse liegt. Diese Verlustleistung beträgt einige hundert Watt.

Aus der Beschreibung der Elektronenkühlanlage ist schon zu erkennen, an welchen Stellen des Systems die größten Vakuumbelastungen zu erwarten sind. Es ist offensichtlich, daß der höchste Gasanfall von der heißen Kathode (maximale Temperatur 1300° K) und vom Kollektor zu erwarten sind. Da die Anlage von einem nahezu geschlossenen Magneten umgeben ist, ist wenig Zugang zu diesen neuralgischen Punkten vorhanden. Die erforderliche Güte des Elektronenstrahls und des Magnetfeldes erlauben auch nur begrenzte Veränderungen der Vakuumkammer.

2.2 Anforderungen an das Vakuumsystem

Es ist ein möglichst niedriges Endvakuum in dem dem Elektronen- und Antiprotonenstrahl gemeinsamen Vakuumsystem zu erreichen, ohne daß einer der beiden Strahlen gestört wird. Der Gasanfall von der Kathode muß in unmittelbarer Nähe effizient abgepumpt werden, d.h. ein großer Druckgradient zwischen Elektronenkanone und Kühlstrecke aufgebaut werden. Ähnliches gilt für den Kollektor.

Da die Kleinwinkelstreuung für Coulombstöße der Antiprotonen am Restgas sehr stark mit der Ladung der Restgasatome zunimmt, ist neben dem Enddruck auch die Zusammensetzung des Restgases von Bedeutung. Die Kathode produziert vorwiegend CO und Kohlenwasserstoffe, während das UHV-typische Restgas aus ausgasenden Oberflächen vor allem aus Wasserstoff besteht. CO und Kohlenwasserstoffe müssen also effektiv abgepumpt werden. Im Vergleich zur Ausgasrate der Kathode und des Kollektors ist die strahlinduzierte Gasrate gering. Im folgenden wird die Konzeption beschrieben, wie diese Anforderungen erreicht werden sollen.

3. Die Apparatur

3.1 Zusammenfassende Übersicht

Zunächst wurde für den Bau der Elektronenkühlanlage versucht, die Apparatur aus dem ICE-Experiment /2/ wieder zu verwenden und an die neuen Anforderungen an das Vakuum anzupassen. Das erwies sich angesichts der hohen Anforderungen an das Vakuum (Verbesserung um 3 Größenordnungen) als unmöglich und so wurden von den Vakuumteilen nur die Elektronenkanone und der Kollektor mit erheblichen Änderungen übernommen.

Die Anlage ist in Fig. 2 in einer Konstruktionszeichnung dargestellt. Die Kathode in der Elektronenkanone besteht aus BaO auf Wolfram, die Anoden aus Titan. Es folgt ein Pumpteil mit ca. 4000 l/sec Saugvermögen (für H₂), das dazu beitragen soll, im Verband mit den übrigen Vakuumpumpen einen so hohen Druckgradienten zu erzeugen, so daß im \bar{p} -Strahlbereich der geforderte Druck auch bei 1300 K heißer Kathode nicht allzusehr ansteigt. In den Toroidvakuumkammern befinden sich zusätzlich Pumpen mit einem Saugvermögen von je 2500 l/sec für H₂.

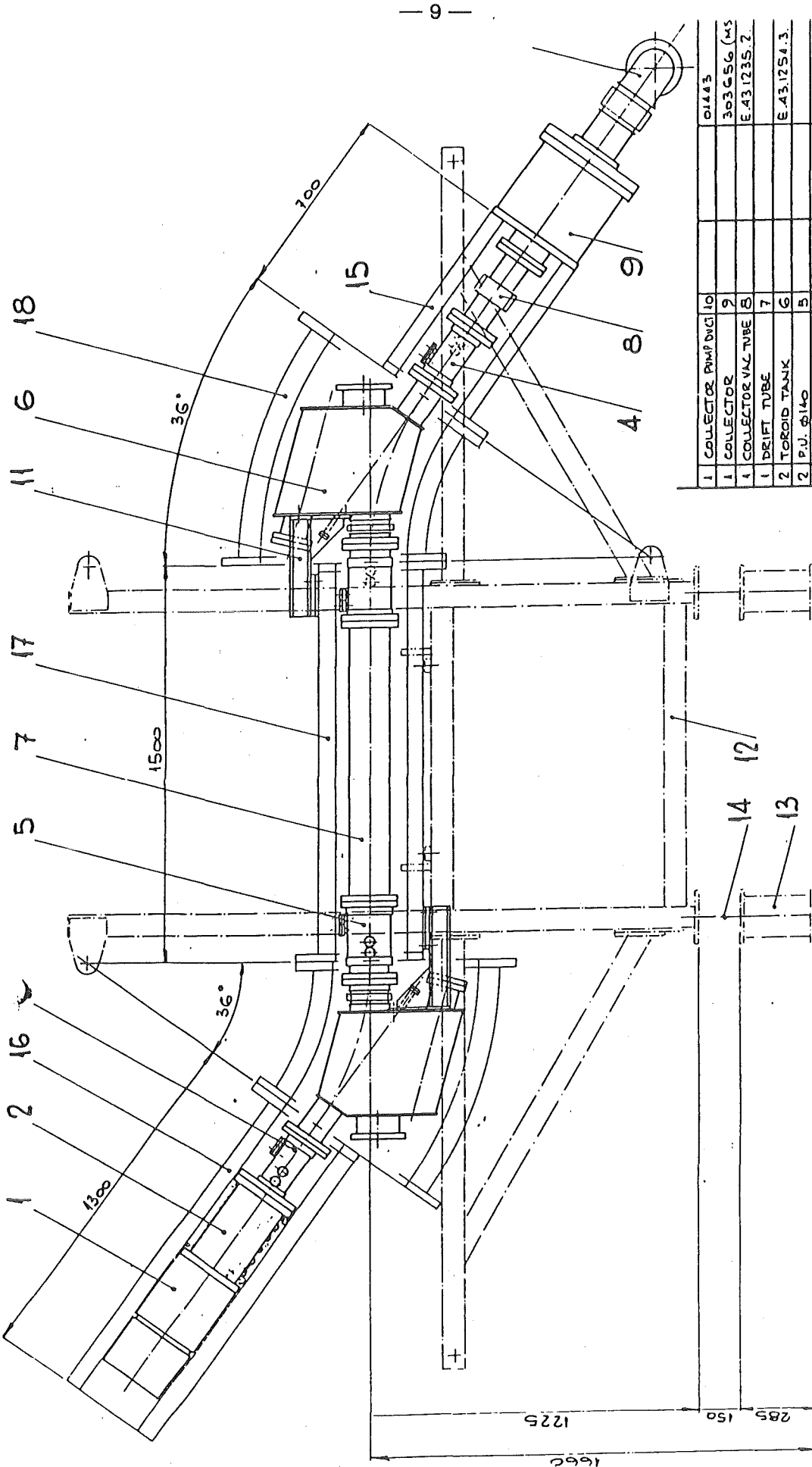


Abb. 2 Konstruktionszeichnung des LEAR-Elektronenkülers

1	COLLECTOR PUMP DUGI	10			01443
1	COLLECTOR	9			303656 (MS)
1	COLLECTOR VAL TUBE	8			E.43.1235.2.
1	DRIFT TUBE	7			
2	TOROID TANK	6			E.43.1254.3.
2	P.U. 8140	5			
1	PULS. COLL. END	4			
1	PULS. COLL. END	3			
1	NEG. PUMP CHAMBER	2			TA 7830.0
1	ELECTRON GUN	1			
ENSEMBLE		3	ENSEMBLE		
LEAR		ECN 3			
VACUUM SYSTEM FOR ELECTRON COOLING		1:10			
REVISIONS					
	DESSINE	L. PELTY	DATE		
	REVISION				
	REVISION				
	REVISION				

2	TOROID 36°	18	TA 7616.0
1	SOLENOID 1500	17	E.36.1004.2.
1	SOLENOID 1300	16	TA 7615-0 DDA
1	SOLENOID 700	15	TA 7615-0 DDB
4	JACK	14	
4	FOOT	13	
1	SUPPORT PRINCIPAL	12	303623 (MS)
2	SUPPORT TANK	11	E.36.1112.2.
DTI	DESCRIPTION	POS	MATIERE
			CODE BRUNS
			N° DESIN

NO. 1	DATE	NOV	ZONE	MODIFICATION

E.43.1255.2.

Der e-Strahl (5 cm Durchmesser) läuft auf seiner ganzen Strecke - außer in Pick-up-Stationen zur Messung der Strahllage - in einem Abschirmrohr, das die Rückwirkungen von Unebenheiten entlang der Innenwand des Rohres auf den Elektronenstrahl vermeiden soll. Der Durchmesser dieses Rohres aus Lochblech und Drahtgeflecht beträgt in Kanone und Kollektor 100 mm und vergrößert sich in den Toroidkammern stetig auf 140 mm. Zur Erreichung von Ultrahochvakuum ist die gesamte Vakuumanlage (Abb. 2) mit Heizbändern und Wärmeisoliermatten umwickelt, die es ermöglichen, die gesamte dem Vakuum zugewandte Fläche auf 300°C zu heizen.

Zum Schutz der äußeren Spulen vor dieser Wärme folgt über die Wärmeisolation ein Kupferblech mit aufgelöteten Kühlschlangen, das die abgestrahlte Wärme aus der Heizung aufnimmt. Der Kühlmantel der NEG-Pumpe an der Kanone kann zudem noch mit Pressluft unterblasen werden, da die NEG-Getter selbst zeitweilig bis 700°C erhitzt werden. Die abgestrahlte Wärme muß von der Vakuumkammer effektiver als durch Strahlungskühlung allein abgeführt werden.

Der Kollektor liegt zwar nicht im Hauptfeld, ist aber von einer 10 mm starken magnetisierten Abschirmung umgeben. An der unteren Stirnfläche des Kollektors befindet sich eine Öffnung mit der Nennweite 150 mm, die den Anschluß eines Pumpstandes ermöglicht. Ebenfalls dort liegt der Stützen für die Hochspannungsdurchführungen und die Wasserversorgung des Elektronenauffängers im Kollektor. Diese Innenteile liegen auf etwa dem gleichen Potential wie die Kathode. Der Zwischenraum zwischen Kollektor und Abschirmung ist ebenfalls mit einer Heizwicklung und der Wärmeisolation aufgefüllt. Die ganze Elektronenkühlanlage liegt auf einem Untergestell und kann - ohne Pumpstand allerdings - ohne Demontage transportiert werden.

Die Anlage wird zunächst außerhalb des Magneten mit erweiterter Instrumentierung getestet um die LEAR-Spezifikationen nachweisen zu können. Dazu wird die unmittelbare Anschlußsituation von LEAR simuliert, d.h. an beiden p-Strahlrohrenden wird je eine Titan-Sublimationspumpe mit 400 l/sec und eine Ionengetterpumpe mit 400 l/sec zusätzlich zu den zur Anlage gehörenden Pumpen angeschlossen. Damit können alle Messungen unter realistischen Bedingungen durchgeführt werden.

Für den Einbau in LEAR wird ein Stück des LEAR-Strahlrohres herausgenommen, das in der Länge dem Strahlrohr der Elektronenkühlanlage und zwei Ventilen entspricht. Dadurch wird es möglich, die Apparatur unter Vakuum als Ganzes zu transportieren und einzubauen.

3.2 Vakuumtechnik

3.2.1 Pumpenwahl

Die Auswahl der Vakuumpumpen wird durch zwei Fakten bestimmt:

- 1) die verlangte Vakuumqualität ist nahezu am technisch Machbaren
- 2) außer dem Vakuumanschluß am Kollektor und dem Ein- und Ausgang des Antiprotonenstrahls gibt es keinen direkten Zugang in den Vakuumraum. Am Kollektor wurde eine 450 l/sec Turbomolekularpumpe kombiniert mit einer 400 l/sec Titan-Ionengetterpumpe installiert, um während der Ausheizung den hohen Gasanfall abpumpen zu können. Diese Turbopumpe kann durch einen (auf 300°C aufheizbaren) Ventilschieber vom Vakuumraum getrennt werden. Mit dem Turbo-Pumpstand wird die Anlage vorevakuiert, bei ca. 10^{-8} mbar wird das Ventil geschlossen und mit den Ionenpumpen weiterevakuiert.

Die übrigen Pumpen innerhalb des Vakuumsystems müssen folgende Kriterien erfüllen:

- 3) maximales Saugvermögen
- 4) genügend hohe Getterkapazität, um dieses Saugvermögen über eine lange Betriebsphase zu erhalten
- 5) die Form muß dem Platzangebot im Inneren des Vakuumraumes anzupassen sein, ohne daß der Strahlraum gestört wird.

Unter diesen Umständen standen zur Diskussion:

a) Titan-Sublimationspumpen

Es ist zu befürchten, daß beim sublimieren Titan auf Kontakte gelangt und zu Kurzschlüssen führt.

b) Kryopumpen

Die Versorgung ist mangels geeigneter Kühlaggregate aufwendig und nicht kompatibel mit den Sicherheitsanforderungen an das Vakuum-system des LEAR

c) Getterpumpen

NEG-Pumpen (Non Evaporable Getter) des Typs ST 101 der Fa. SAES erwiesen sich als geeignet. Der Getter wird in einbaufertigen Modulen angeboten, die ein Saugvermögen von 1250 l/sec bzw. 600 l/sec besitzen. Er wird in anderer Form auch im CERN-Beschleuniger LEP verwendet und erfüllt daher die Sicherheitsanforderungen des CERN.

Der einzige Nachteil des Getters ist, daß er wegen der Besonderheit des Gettermechanismus besonderer Wärmebehandlung bedarf, die konstruktiv berücksichtigt werden mußte. Eine Getterpumpe ist unmittelbar nach der Elektronenkanone angeordnet: Es wurde ein Teil des Strahlrohres als Getterpumpe ausgeführt, d.h. es wurden sechs Module mit insgesamt 3600 l/sec Saugvermögen peripher im Innern des Rohres so angeordnet, daß der Strahlraum nicht gestört wird. Dieser ist durch einen Lochblechzylinder von 100 mm \emptyset auf der ganzen Länge abgeschirmt (Abb. 3). In jeder der beiden Toroidkammern wurden je zwei Module mit zusammen 5000 l/sec Saugleistung installiert. Sie befinden sich ca. 200 mm vom hier gebogenen Elektronenstrahl entfernt (Abb. 4).

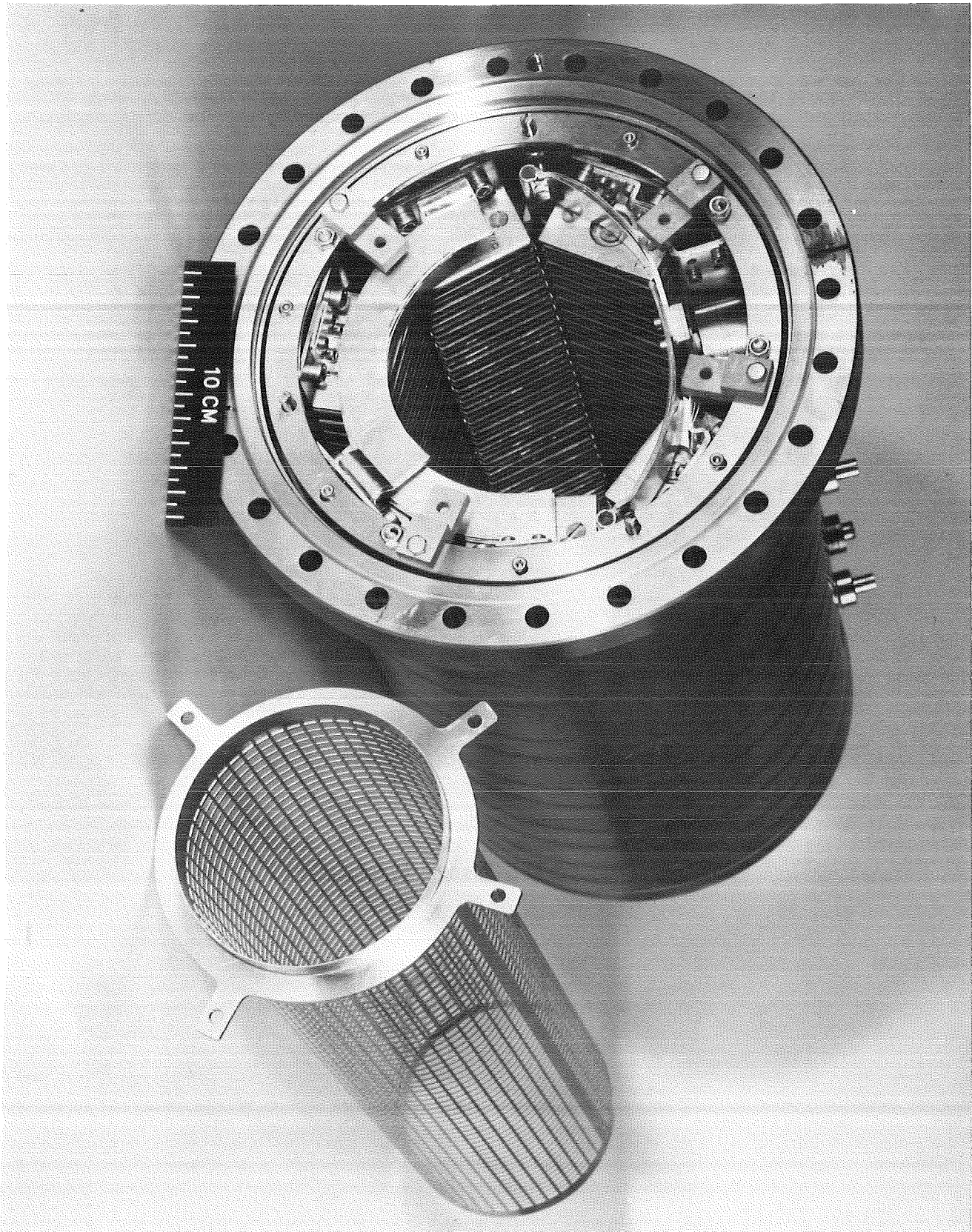


Abb. 3 Kathoden-NEG-Pumpe (Photo CERN)

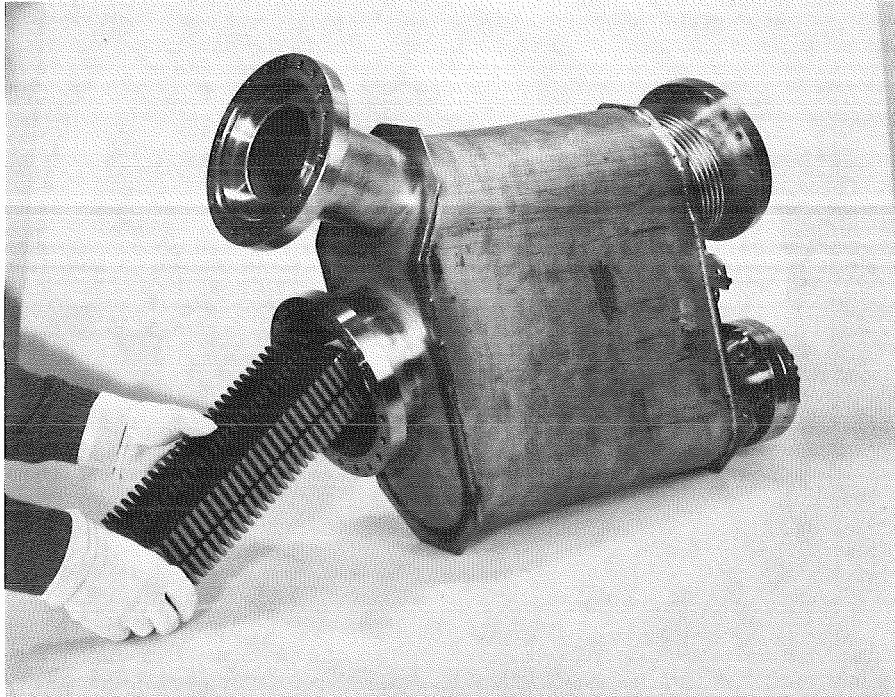


Abb. 4 Toroid-NEG-Pumpe (Photo CERN)

3.2.2 NEG-Pumpen

Die Wirkungsweise der ausgewählten NEG-Pumpen vom Typ Zr-16 % Al St 101 ist grundsätzlich anders als die der üblichen Getter /4/.

Die NEG-Pumpe besteht aus einem 30 mm breiten Streifen aus Konstantanblech als Träger für eine aufgesinterte Zr-Al-Schicht von ca. 0.1 mm Dicke. Dieser Streifen wird so gefaltet, daß rechteckige Flächen im Abstand von 5 mm entstehen. Dieser Abstand ist theoretisch optimiert, da die Form der entstehenden "Taschen" den Sticking-Koeffizienten maximalisiert.

Das Konstantenblech ist gleichzeitig der Heizwiderstand, mit dem der Getterbulk auf die nötige Aktivierungstemperatur von 700⁰C geheizt wird. Bei dieser bulk-Temperatur erhält ein die Oberfläche abschirmendes Molekül die nötige Energie, um in den Getter hineinzudiffundieren und dort thermostabile Bindungen einzugehen: Die Oberfläche wird aktiviert.

Dies gilt für die im Vakuum typischen aktiven Restgase wie N₂, CO, CO₂, O₂ und H₂O. Edelgase werden nicht gepumpt.

Das UHV-typische H₂ braucht eine weitaus geringere Diffusionsenergie und dringt bereits bei Raumtemperatur in den Getter ein, sofern die Oberfläche frei ist. Es geht jedoch keine stabilen Verbindungen ein, sondern wird gelöst. Es kann - als einziges Gas - aus dem Getter herausgeheizt werden. Die Kapazität des Getters für H₂ ist auf 0,6 mbar l/cm² begrenzt; darüber beginnt Versprödung. Die Getterkapazität anderer Gase ist um einen Faktor 2 bis 7 kleiner. Die optimale Betriebstemperatur der NEG-Pumpe hängt vom Umgebungsdruck und Restgaszusammensetzung ab. Sie liegt für schwere Gase und Drucke über 10⁻⁷ mbar bei 400⁰C.

Im UHV wird die Pumpe bei Umgebungstemperatur betrieben, da eine ständige Diffusion in den Getter nicht erforderlich ist. Die Zeiten bis zur vollständigen Belegung der Oberfläche mit absorbierten Gasmolekülen liegen in der Größenordnung von Tagen. der Betriebsablauf der NEG Pumpe sieht daher folgendermaßen aus:

- 1) Aktivierung des Getters nach Lagerung an der Luft 30 min bei 700⁰C.
- 2) Abkühlung auf Raumtemperatur. Gettern bis zur Sättigung der Oberfläche, d.h. Belegung aller Plätze durch die Gasmoleküle (Physisorption). Dieser Zustand zeigt sich an durch Nachlassen des Saugvermögens und Veränderung des Massenspektrums.

- 3) Zufuhr der Diffusionsenergie durch 10-20 min Heizen auf 400°C. Dadurch wird die Oberfläche frei, H₂ wird ausgegast, die schweren Gase diffundieren in den Getter - und kann nach dem Abkühlen wieder gettern.

Diese intermittierende Betriebsweise kann solange fortgesetzt werden, bis die Sättigung des bulks erreicht ist. Die zeitlichen Abstände der Regenerierungen sowie deren mögliche Zahl hängt von der anfallenden Gasrate und der Gasart sowie von der Reihenfolge der Besetzung der Oberflächenplätze ab. Nach Kenntnis dieser Daten kann die Standzeit einer NEG-Pumpe bestimmt werden.

3.2.3 Instrumentierung (für endgültigen Aufbau)

Der Aufbau eines Ultrahochvakuumsystems ist immer mit dem Einsatz einer umfangreichen Instrumentierung verbunden, um die Designparameter mit den tatsächlichen Werten vergleichen zu können. Der Einsatz des Elektronenkühlers in einem Speicherring für niederenergetische Teilchen verlangt nicht nur die Verwendung geeigneter Druckmessröhren, sondern auch die Bestimmung der Restgaszusammensetzung, die die Lebensdauer des gespeicherten Strahls erheblich beeinflusst.

Handelsübliche Ionisationsmanometer sind zur Bestimmung des Restgases nicht geeignet, weil der kleinste nachweisbare Totaldruck von ca. 1×10^{-11} Torr um eine Größenordnung zu hoch ist. Aus diesem Grunde werden in den Speicherringen ISR und LEAR Ionisationsmanometer der Fa. SVT (Société de Verrerie et de thermométrie), Paris, verwendet, die speziell zum Nachweis der Totaldrücke im Bereich von 10^{-12} Torr entwickelt wurden. Diese Röhren des Typs Bayard-Alpert werden zusammen mit einer ebenfalls im CERN entwickelten Elektronik betrieben. Jede Röhre wird vor ihrem Einsatz auf einem Prüfstand kalibriert. Der Leckstrom und die funktionale Abhängigkeit des Kollektorstromes vom Druck werden für verschiedene Gase bis herunter zu 1×10^{-12} Torr protokolliert. Diese Röhren finden auch im Vakuumsystem des Kühlers Einsatz.

Diese Kalibrierung muß auch für das Massenspektrometer durchgeführt werden. Die einzigen kommerziell gefertigten einsetzbaren Spektrometer sind die Quadrupol-Massenspektrometer der Firma Balzers mit Sekundärelektronenvervielfacher.

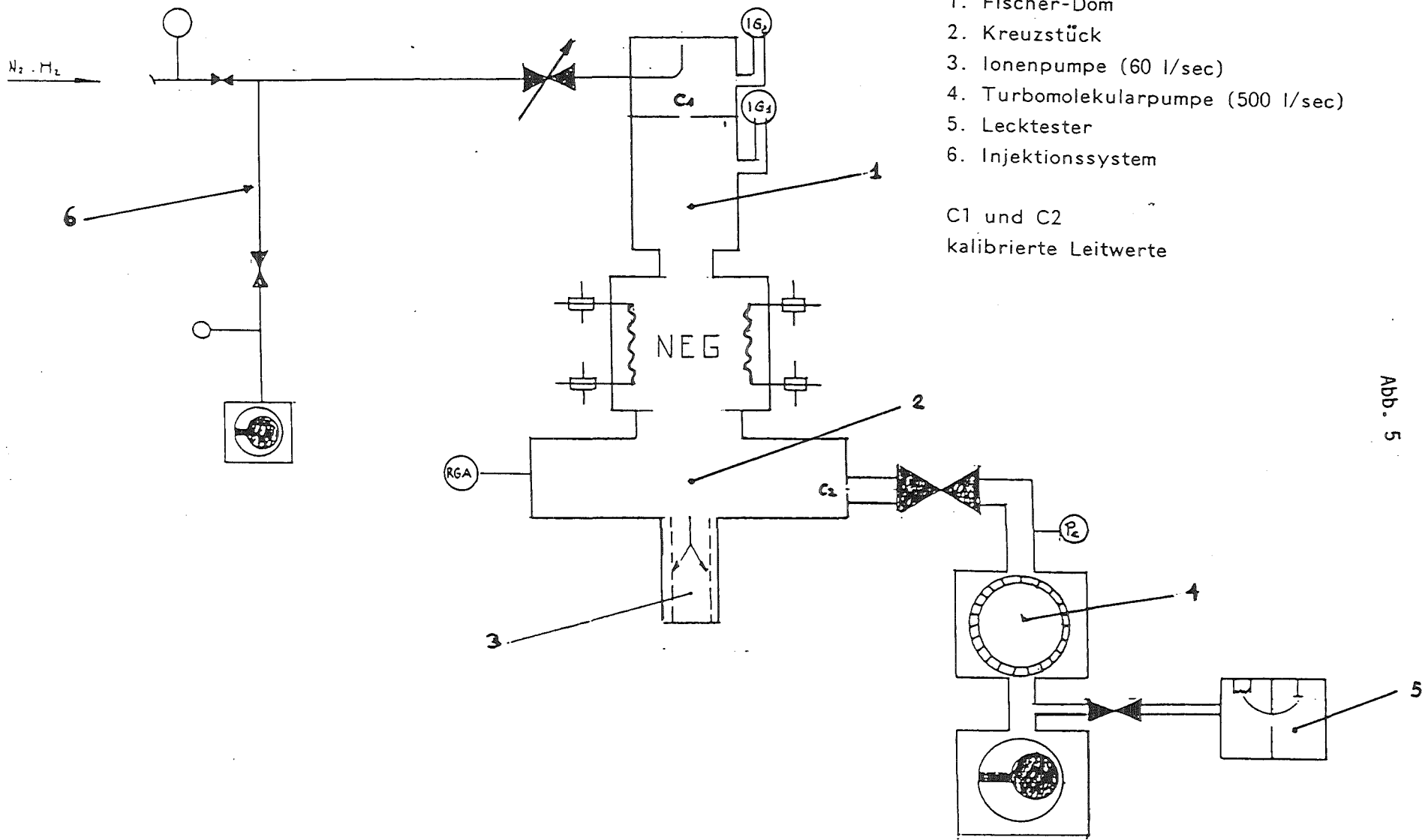
Im vorgesehenen Aufbau finden Ionisationsmanometer nur in den Toroidkammern sowie außerhalb des Magneten Platz. Das Vakuumsystem wurde jedoch separat aufgebaut und getestet, um die Meßmöglichkeiten zu erweitern und einen echten Vergleich zwischen Designparametern und Meßwerten zu ermöglichen. Die in 4.3 geschilderten Messungen fußen auf diesem Aufbau und wären beim sofortigen Einbau des Systems in den Magneten unmöglich gewesen. Im späteren Einsatz ist noch die Bestimmung des Totaldrucks in der Kühlregion sowie die Bestimmung des Restgasspektrums nahe des Kollektors möglich. Die Messungen in den Toroidkammern werden dadurch verfälscht, daß zwischen Kühlstrecke und Meßröhren je zwei NEG-Module einen Gradienten aufbauen.

4. Aufbau, Messung und Ergebnisse

4.1 Betriebsprüfung der NEG-Pumpen

In der Nähe der Kathode ist ein hoher Restgasanteil von CO und Co₂ sowie Kohlenwasserstoffen zu erwarten. Dort sollen hauptsächlich NEG-Pumpen eingesetzt werden. Es wurde deshalb ein Teststand aufgebaut (Abb. 5), auf dem das Verhalten des Zr.Al-Getters bei diesen Gasen untersucht und erste praktische Erfahrung im Betrieb der Pumpen gewonnen wurde /3/.

Vakuumsystem für NEG-Pumpen-Testmessungen



- 1. Fischer-Dom
 - 2. Kreuzstück
 - 3. Ionenpumpe (60 l/sec)
 - 4. Turbomolekularpumpe (500 l/sec)
 - 5. Lecktester
 - 6. Injektionssystem
- C1 und C2
kalibrierte Leitwerte

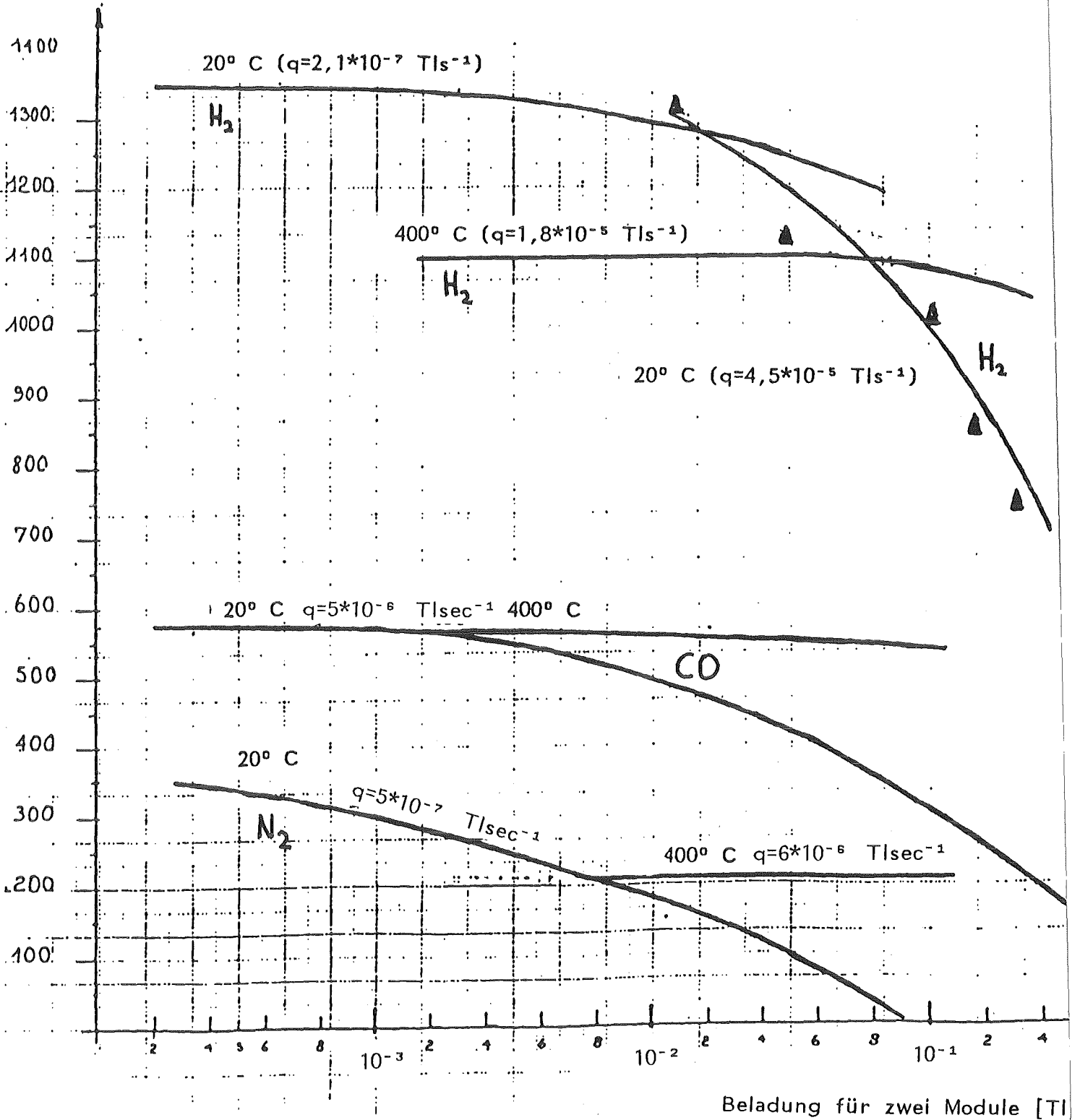
Abb. 5

Dabei geht es im wesentlichen um den Verlauf des Saugvermögens der Getterpumpen in Abhängigkeit von der Gasbeladung und bei verschiedenen Gasen. Das Saugvermögen wurde nach einem der üblichen Verfahren bestimmt: das Gas wird über ein fein regelbares Nadelventil in die Apparatur eingelassen und strömt auf dem Weg zur Pumpe durch eine Blende mit bekanntem Leitwert. Durch Messung des Druckabfalls über der Blende kann die Gasmenge sehr genau bestimmt werden. Damit und mit dem Druck in der Apparatur wird das Saugvermögen errechnet. In Anbetracht der kleinen Gasmengen und niedrigen Drucke wurden als Drucksonden UHV-Bayart-Alpert-Röhren und zur ständigen Kontrolle des Restgas-Spektrums ein Massenspektrometer QMG 101 der Firma Balzers verwendet.

Die Messung wurde nach entsprechender Vorbereitung der Getter (siehe 3.2.2) für CO , N_2 , H_2 und O_2 gemacht, die das zu erwartende Restgas repräsentieren. Die gemessenen Kurven (Abb. 6) zeigen den Verlauf des Saugvermögens der Getterpumpe in Abhängigkeit von der gepumpten Gasmenge und geben so die Möglichkeit der Abschätzung der Standzeit der Pumpen zwischen den nötigen Regenerierungen.

Abb. 6 Pumpgeschwindigkeit der NEG-Pumpen für verschiedene Gase und Temperaturen (aus /3/)

Sauggeschwindigkeit
[lsec⁻¹ von zwei Modulen]



4.2 Bestimmung der Kathodenausgasrate

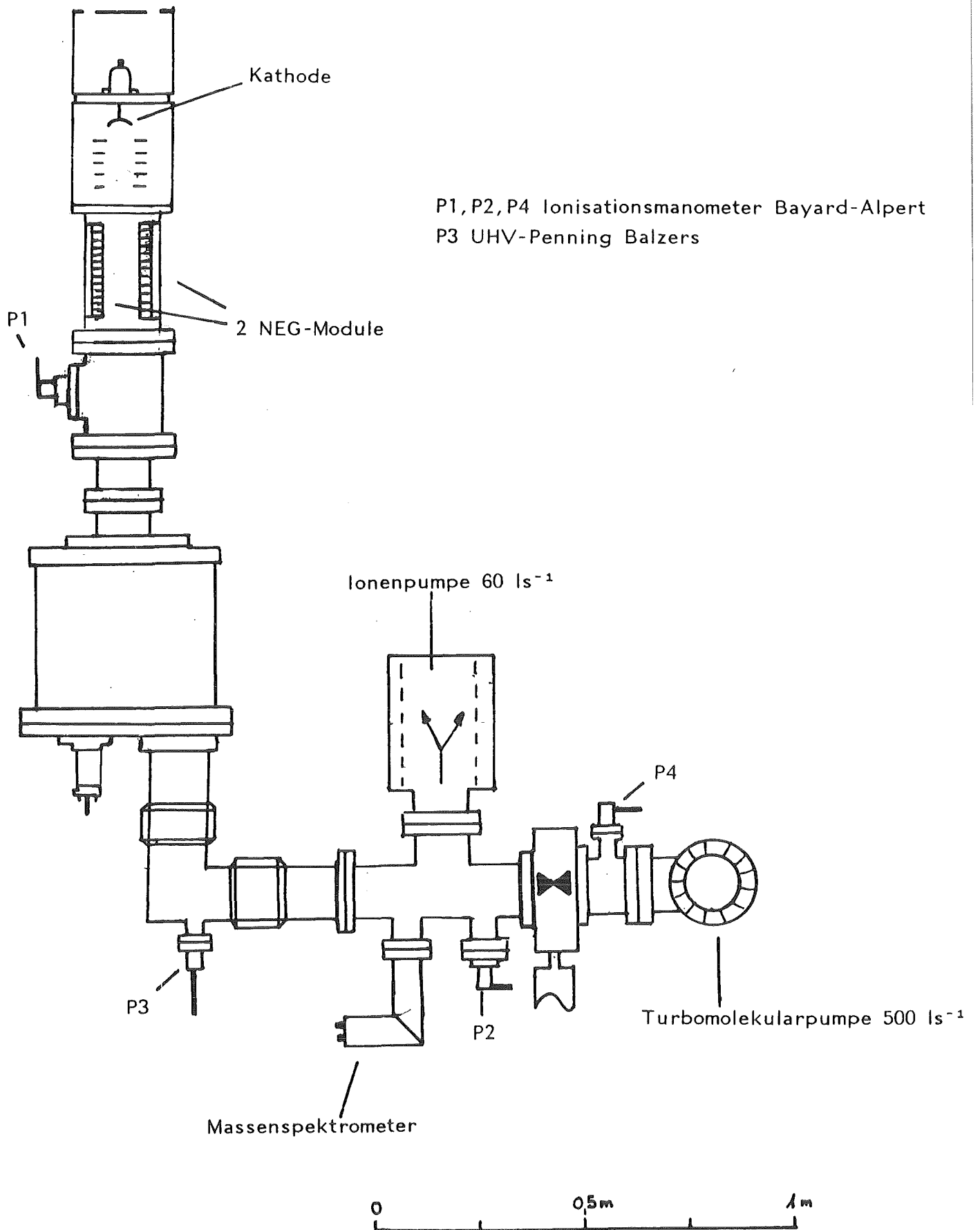
In einem weiteren Versuchsstand (Abb. 7) wurden die Elektronenkanone, eine Driftstrecke (die nach Abschluß der Messungen 4.1 gegen die NEG-Pumpe ausgetauscht wurde) und der Kollektor zusammenmontiert und mit allen Installationen und Versorgungen des endgültigen Systems versehen. Damit konnten alle "aktiven" Teile der Elektronenkühlanlage zusammen unter realistischen Bedingungen betrieben und geprüft werden.

Die Druckmeßstellen waren möglichst so angeordnet, daß aus einer bekannten Gasquelle und dem bekannten Saugvermögen der Pumpen durch Druckmessung die Leitwerte der einzelnen Elemente abgeschätzt werden konnten. Der Druck wurde mit UHV-Bayart-Alpert-Röhren und einem UHV-Penning das Restgas mit Balzers QMG 101 mit Q-Crossbeam-Ionenquelle gemessen und registriert. Der Druckverlauf während eines Experimentierzyklus ist in Abb. 8 dargestellt. Ohne NEG-Pumpen wurde ein Enddruck von ca. 7×10^{-10} mbar erreicht. Nach Herstellen der 0-Bedingungen durch die üblichen Entgasungs- und Aktivierungsprozeduren konnte mit heißer Kathode ein Endvakuum von besser als 10^{-9} mbar und mit kalter Kathode von ca. 7×10^{-12} mbar erreicht werden.

Die wichtigsten Ergebnisse:

- 1) Die Abgasrate der heißen Kathode war anfangs 1.2×10^{-6} mbar l/sec bei voller Kathodenheizung. Bei längerem Betrieb mit heißer Kathode (1300° K) erniedrigte sich diese Rate auf 5×10^{-7} mbar l/sec.. Bei Absenkung dieser Temperatur senkte sich dieser Wert noch erheblich.
- 2) Das Restgasspektrum zeigte rund 25% H_2 und 75% CO und CO_2 -Reaktionsprodukte.
- 3) Die Zeit bis zum Abfallen der Sauggeschwindigkeitskurve des Gettermoduls war mehr als 10.000 sec. bei 1300° K Kathodentemperatur. Es ist in der endgültigen Anlage mit 14 Modulen, also mit einer Betriebszeit von vielen Extraktionszyklen zu rechnen.

Abb. 7 Aufbau zur Messung der Kathodenausgasrate



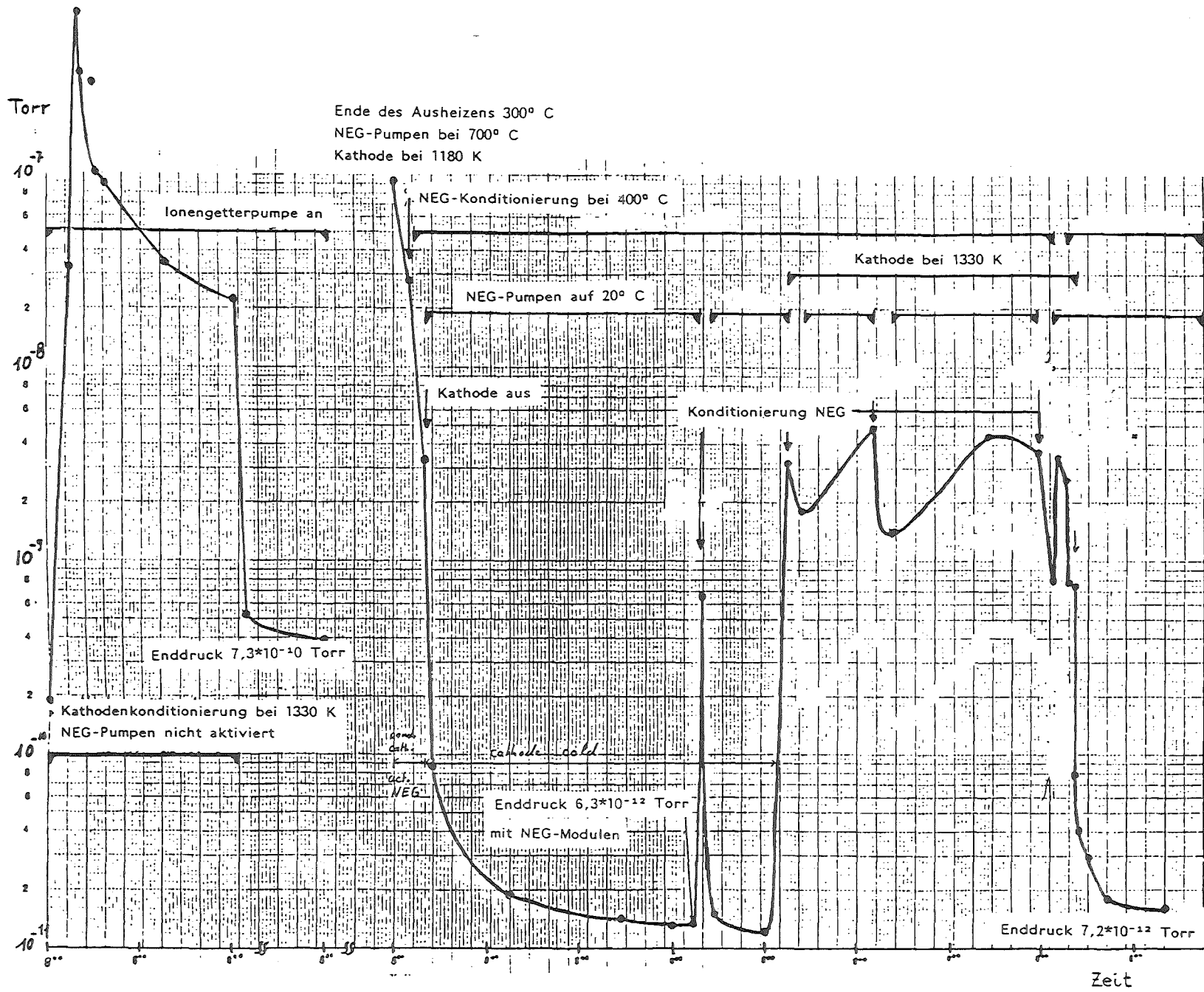
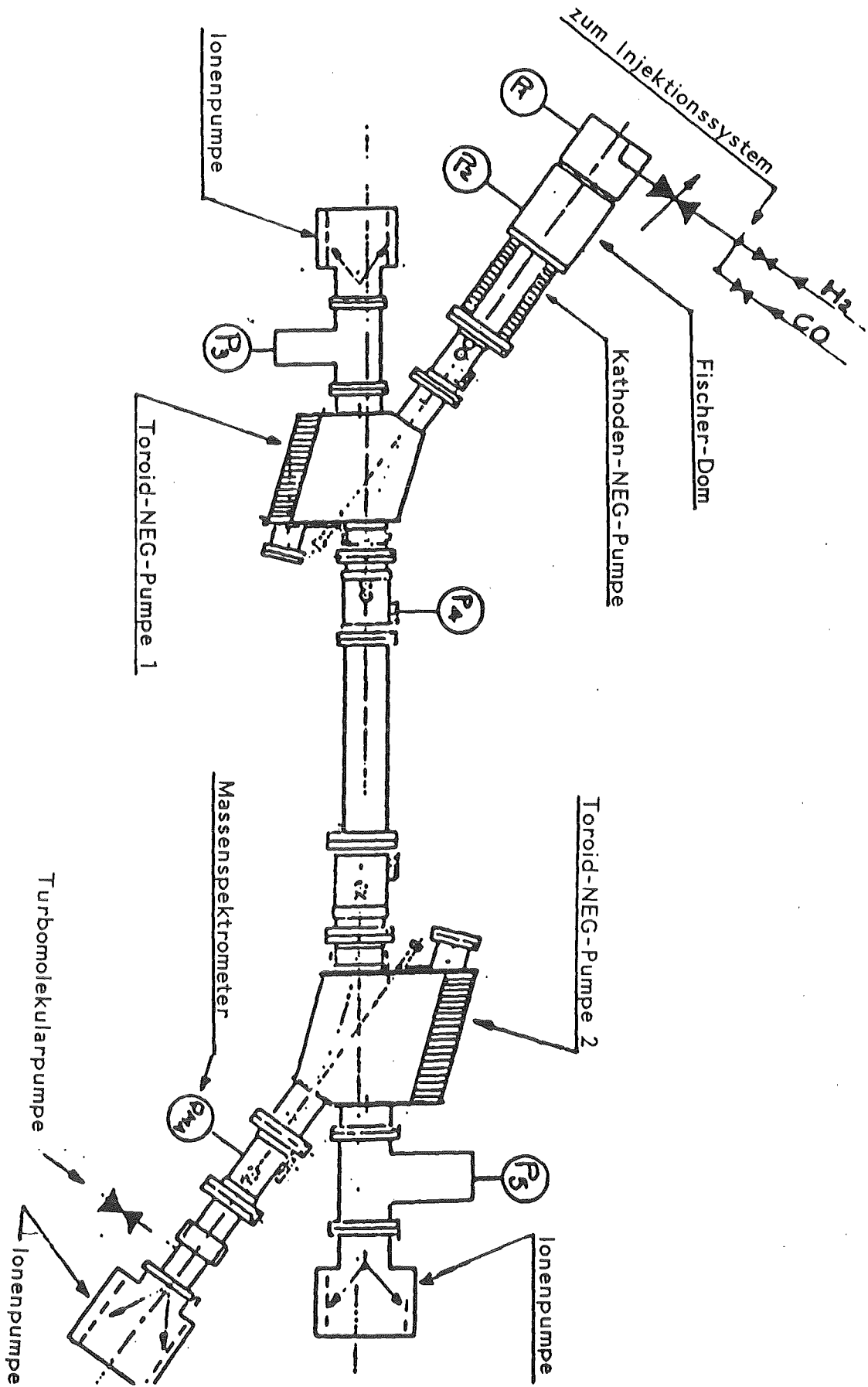


Abb. 8 Druckverlauf während der Messung der Kathodenausgasrate

Abb. 9 Elektronenkühlung für LEAR-experimentelles Vakuumsystem. (aus /5/)



4.3 Das Vakuumsystem des Elektronenkühlers

Das Vakuumsystem wurde parallel zum Testprüfstand mit Elektronenkanone und Kolektor aufgebaut. Es wurden alle Komponenten - bis auf Kolektor und Kanone - auf einem leicht zugänglichen Gestell montiert sowie mit Heizbändern/-matten und thermischer Isolierung versehen. Anstelle der Kanone wurde wieder ein Fischerdom zur kalibrierten Injektion montiert. Eine Schemazeichnung des Aufbaus ist in Fig. 9 dargestellt.

Es wurden fünf Ionisationsmanometer angebracht, die in Fig. 9 mit P1 bis P5 bezeichnet sind. Die Röhre P1 dient der Bestimmung des Gasflusses, P2 bis P5 der Messung des Druckes in der Nähe des simulierten Lecks, in der Nähe der Toroidkammern sowie in der zentralen Kühlregion. Ein Massenspektrometer des Typs Balzers QMG 101 wurde an das Kreuzstück, das sich anstelle des Kolektors im Aufbau befand, angeflanscht.

Bei der Inbetriebnahme des Vakuumsystems traten unvorhergesehene Schwierigkeiten vor allem durch Lecks an elektrischen Durchführungen auf. Während des Ausheizens werden die Durchführungen zu den NEG-Modulen mit dem vorgesehenen maximalen Temperaturanstieg von ca. 30⁰C pro Stunde belastet. Während der Aktivierung ist die thermische Belastung jedoch viel größer. Dieses prinzipielle Problem konnte wegen des Mangels an Platz zur Verlegung der Durchführungen an weniger belastete Stellen nicht gelöst werden. Durch das mehrmalige Öffnen der Apparatur zum Wechseln der Durchführungen wurden mehrere Ausheizzyklen nötig.

Schließlich wurde das System nicht mehr auf 300⁰C, sondern nur noch auf 150⁰C ausgeheizt, um Zeit für Messungen zu gewinnen.

4.3.1 Endvakuum des Elektronenkühlers

Wie aus Fig. 10 hervorgeht, wurde ein Endvakuum von 1×10^{-11} Torr Stickstoffäquivalent erreicht. Dies wird in Anbetracht der verringerten Ausheiztemperatur als befriedigend erachtet. Der Nachweis eines Endvakuums von einigen 10^{-12} Torr ist jedoch für den Einbau in den Speicherring LEAR erforderlich und kann auch mit der Instrumentierung im Magneten erbracht werden.

4.3.2 Injektionen

Der Schwerpunkt der Bemühungen am experimentellen Aufbau lag an der Untersuchung des Einflusses einer ausgasenden Kathode auf das gesamte Vakuumsystem /5/ sowie der möglichen Standzeiten zwischen aufeinanderfolgenden Konditionierungen der NEG-Pumpen.

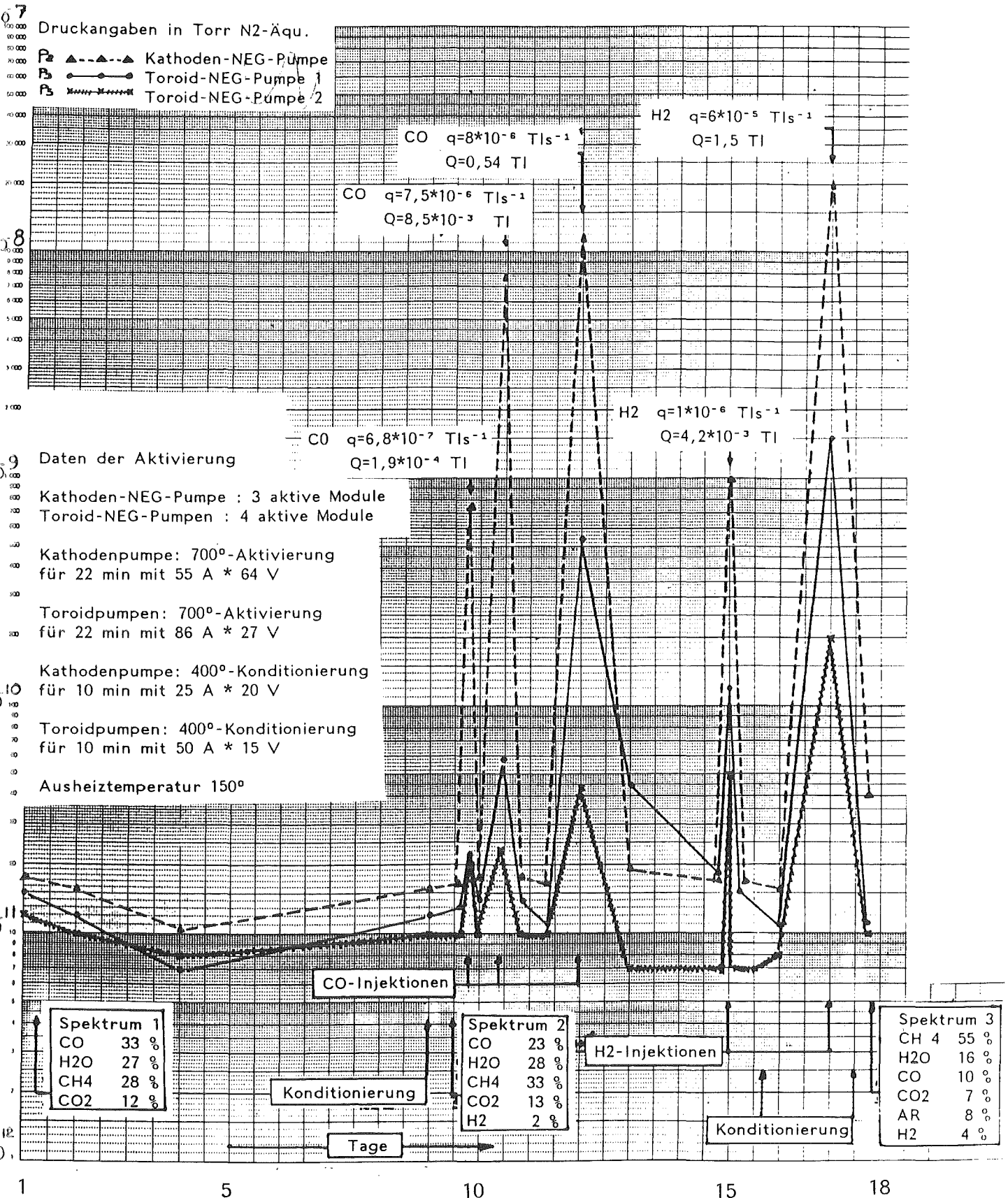
Die gemessenen Druckgradienten für mehrere Injektionen von Co und H₂ sowie die Änderungen der Spektren sind in Fig. 10 dargestellt. Bei einer Injektion von 5×10^{-7} Torr \cdot l/sec⁻¹ CO - entsprechend einer Kathodentemperatur von 1300 K - stieg der Druck in der Kühlstrecke von 1×10^{-11} Torr auf 2×10^{-11} Torr an. Der sich aufbauende Druckgradient ist bei stärkeren Injektionen noch ausgeprägter. Da die Kathodentemperatur im Betrieb jedoch etwa 100 K tiefer liegt, wird die Druckzunahme bei heißer Kathode deutlich unter 10^{-11} Torr und innerhalb der gesetzten Grenzen bleiben.

4.3.3 Standzeiten

Die Erhöhung des Druckes durch Sättigung der Pumpenoberfläche während einer Injektion von 1×10^{-6} Torr \cdot l/sec⁻¹ CO über 166 Stunden zeigt Fig. 11. Bevor sich der Druck in der Kühlstrecke verdoppelte, konnten ca. 0,6 Torr \cdot l CO injiziert werden.

Es ist daher mit Standzeiten von mindestens 300 Stunden Betrieb mit heißer Kathode zu rechnen, bevor eine Konditionierung der Pumpen erfolgen muß.

Abb. 10 Injektion verschiedener Gase in das Vakuumsystem (aus /5/)



4.3.4. Optimierung der Behandlung der NEG-Pumpen

Die wesentlichen Ergebnisse sind in Kap. 7 eingearbeitet. Soweit sie sich von den Informationen des Herstellers unterscheiden, werden sie noch einmal im Überblick dargestellt:

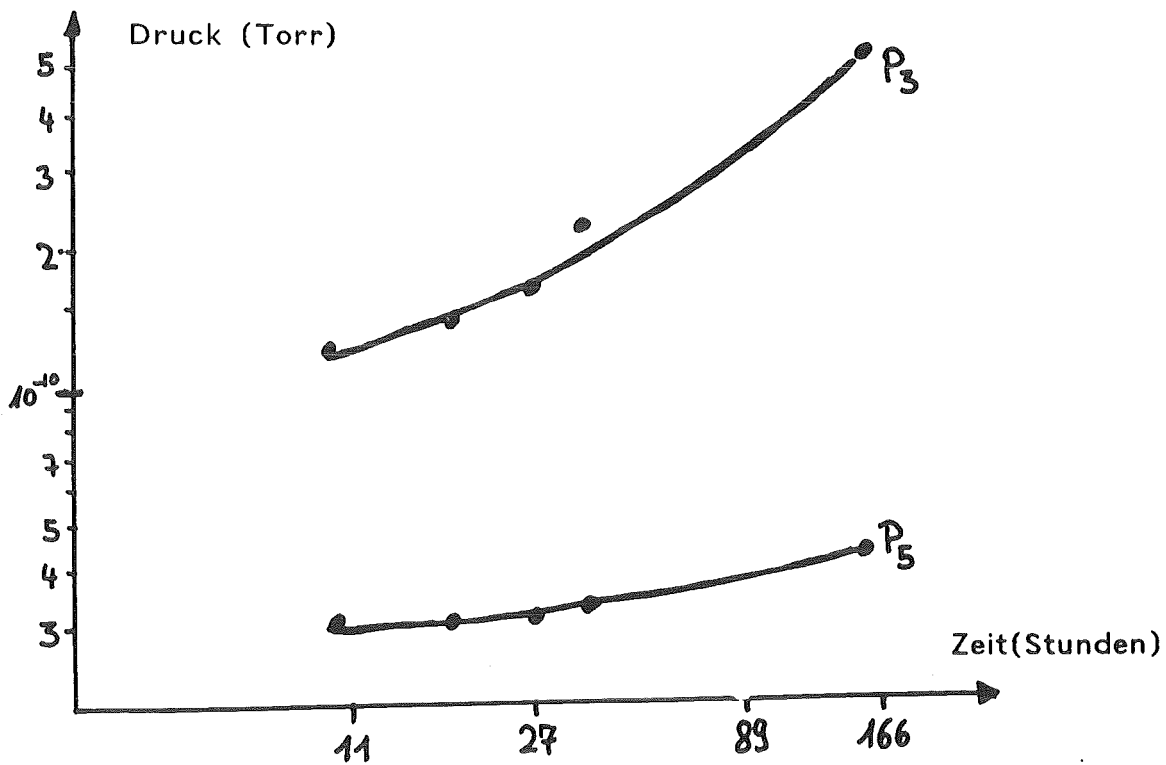
Es ist sehr vorteilhaft, die NEG-Pumpen zum Ausheizen zu benutzen. Die Entgasung der Oberfläche ist bei einer Erhitzung auf ca. 600⁰C für ca. 24 Stunden soweit fortgeschritten, daß die Aktivierung auch bei geschlossenem Ventil zur Turbomolekularpumpe erfolgen kann. Der Druck steigt nicht höher als ca. 1×10^{-6} Torr an.

Die Aktivierung kann auch "gepulst" erfolgen. Die notwendige Zeit von ca. 25 min, während der die Pumpen auf 700⁰C gehalten werden müssen, kann zum Beispiel auf 4 mal 6 min verteilt werden, wobei zwischen den Pulsen eine Abkühlung der Vakuumkammer auf Umgebungstemperatur erfolgt. Die Zwangskühlung der Vakuumkammer kann damit entweder entfallen oder weniger aufwendig ausgelegt werden.

Bei der Konditionierung bildet sich an den Heizfäden der Meßröhren und in den Ionengetterpumpen CH₄, das nur sehr schwer wieder gepumpt werden kann, da die NEG-Pumpen im wesentlichen CO/CO₂ und H₂ pumpen. Es empfiehlt sich daher, während der Konditionierung die Ionengetterpumpen und die Meßröhren abzuschalten.

Die Konditionierungstemperatur kann auf 500⁰C gesteigert werden, bei gleichzeitiger Verkürzung der Dauer auf 10 min. Dadurch ändert sich zwar weder die Restgaszusammensetzung noch das Endvakuum, aber die Zeit bis zum Erreichen des Endvakums sinkt auf 3 Stunden, während sie bei niedrigerer Konditionierungstemperatur ca. 12-15 Stunden beträgt. Diese Beobachtung wie auch die vorangegangene stehen in Einklang mit Messungen der LEP-Vakuum-Gruppe am CERN an NEG-Streifen desselben Typs wie den in diesem Aufbau verwendeten.

Abb. 11 Druckgradient während CO-Injektion über 166 Stunden (aus /5/)



Druckgradient während CO-Injektion mit $8 \cdot 10^{-6} \text{ Tls}^{-1}$ über 166 Stunden
P₂ konstant $1 \cdot 10^{-8}$ Torr

5. Konstruktionsmerkmale des UHV

Ein Endvakuum im 10^{-12} mbar-Bereich ist nur unter konsequenter Einhaltung aller Regeln des UHV-Maschinenbaus möglich, einige durch Erfahrung bestätigte Einzelheiten werden im folgenden aufgelistet:

5.1 Schweißverbindungen

Schweißverbindungen sind vakuumseitig auszuführen. Wenn das nicht möglich ist (z.B. wegen Unzugänglichkeit), müssen sie nach innen durchschweißbar sein, d. h. es ist entsprechende Materialstärke zu wählen. Die Schweißnaht soll ohne Zusatzmaterial ausgeführt werden. Es sollten entsprechende Lippen als Materialvorrat vorgesehen werden.

Schweißverbindungen im Vakuumraum dürfen keine Kapillaren und Hohlräume bilden (z.B. an der Stirnseite eines Blechs, das senkrecht auf der Fläche eines anderen steht). Diese müssen durch Phasen aufgeweitet bzw. durch Durchschweißen verhindert werden.

5.2 Schraubverbindungen

Bei Schraubverbindungen muß ein Zugang in den Gewinderaum gebohrt werden (mind. 2 mm \emptyset), damit die Kapillaren in den Gewindegängen und der tote Raum unter der Schraube frei evakuiert werden können. Eine zweite Möglichkeit ist eine Längsnut in der Schraube.

5.3 Flächenverbindungen

Formschlüssig aufeinanderliegende Flächen müssen vermieden werden. Wenn sie nicht vermieden werden können, müssen durch geeignet platzierte größtmögliche Bohrungen bzw. Nuten Zugänge in die Kapillare zwischen den beiden Flächen geschaffen werden.

5.4 Wärmebehandlung

UHV ist immer mit einer rigorosen Wärmebehandlung des Materials verbunden. Es ist wichtig, unterschiedliche Dehnungen der Konstruktionselemente zu beachten. Ausdehnung der Vakuumteile bei Ausheizung ist durch Wellbälge aufzufangen.

5.5 Lötungen

Lötverbindungen müssen vermieden werden. Wenn das nicht möglich ist, sollte reines Lot verwendet werden. Die Lötung sollte frei liegen, damit sie rückstandsfrei (UHV-gerecht) zu reinigen ist. Nach der Reinigung ist sie zu versilbern.

5.6 Oberflächen

Je höher die Bearbeitungsgüte einer Fläche ist, desto geringer die Entgasung.

5.7 CF-Flansche

Blindflansche immer aus Platten (offene Flansche immer aus Rundmaterial) schneiden lassen, wenn keine geschmiedeten Rohlinge verwendet werden. Schneidereinigung vor der Montage von CF-Flanschen ist sinnvoll.

6.0 Werkstoffe für UHV

Die Auswahl der Werkstoffe erfolgte nach den Vorschriften, die für das Vakuumsystem der Protonenspeicherringe ISR und für den Antiprotonen-Akkumulator AA am CERN ausgearbeitet wurden /6/.

Es wurden nur unlegierte Werkstoffe (außer VA-Stahl) mit niedrigst möglichem Gasanteil (gelöst oder gebunden) und niedrigstem Dampfdruck verwendet. Für alle Werkstücke ist ein einwandfreier Oberflächenzustand ohne Risse und Bearbeitungsriefen vorausgesetzt.

6.1 Stahlsorten

Für die Wahl der Stahlsorten ist die Wärmebehandlung nach der Fertigung und im Betrieb wichtig. Für Behälterwände wurden deshalb DIN 1.4306 oder DIN 1.4311 (304 L bzw. 304 L+N) verwendet.

Für UHV-Flansche kommt nur 1.4429 L+N (316 L+N) infrage. Beide Stähle sind kornerfallbeständig und austenitisch.

Bei der ersten vorzunehmenden Wärmebehandlung des Werkstückes - Austreiben des ungebundenen H_2 bei $950^{\circ}C$ - treten normalerweise Kornumwandlungen auf, die die Eigenschaften des Materials verändern. So wird an Flanschen aus anderen Werkstoffen als 1.4429 L+N (evtl. noch 1.4436 L) die Dichtschneide weich und fällt um. Das geschieht wegen der Stabilisierung mit Stickstoff nicht an Flanschen aus 1.429, sie bleiben auch nach allen übrigen $300^{\circ}C$ -Heizzyklen dicht. Dies ist eine der wichtigsten, streng zu beachtenden UHV-Regeln.

Titanstabilisierte Stähle sind manchmal nicht kompatibel mit anderen Stählen und es gibt Schwierigkeiten mit Schweißverbindungen oder der mechanischen Bearbeitung.

6.1.1 Behandlung der Stahlteile

Nach abgeschlossener Fertigstellung des Anlagenteils erfolgt nachstehender Reinigungsprozeß:

- a) Entfetten in Freon-Dampf mit Ultraschall. Anschließend sorgfältiges Entfernen des Lösungsmittel in Alkohol und Ultraschall.
- b) Dekapieren. Entfernen der Oxyd-Filme auf den angelaufenen Oberflächen.
- c) Reinigen in destilliertem H_2O mit Ultraschall.
- d) 24 h bei $950^{\circ}C$ und ca. 10^{-5} mbar ausheizen. Diese Prozedur muß nur einmalig nach der Fertigung durchgeführt werden.
- f) Einpacken in Alu-Folie. Handschuhe benutzen. Die Oberflächen dürfen nicht mehr mit nackten Fingern berührt werden. Vermeiden von H_2O und Fettspuren.
- g) Das Teil ist fertig zur Endmontage.

Beim Ausheizen von Metallbälgen ist darauf zu achten, daß sich die Lamellen nicht flächig berühren. Durch denProzeß unter Vakuum werden die Oberflächen so sauber, daß sie verschweißen. Die Lamellen sind nicht mehr voneinander zu trennen.

6.2 Isolierkörper

Als handelsübliche Isolierkörper wurden hochgesinterte Al_2O_3 -Körper verwendet mit mehr als 99.52% Al. Anteil.

Für Konstruktionselemente wurde Stumatite verwendet. Dieses Material bietet keine besonderen Schwierigkeiten oder Nachteile, solange keine hohe Maßhaltigkeit nach dem Brennen verlangt wird.

Nach Fertigstellung: 2 Stunden bei 1320°C brennen.

6.3 Kupfer

Es wurde handelsübliches Kupfer verwendet, das zur Verringerung der Ausgasrate versilbert wurde. Bei Werkstücken, die ihre Härte auch nach der Wärmebehandlung noch haben sollten, wurde Cu-Be verwendet. Auch dieses Material wurde versilbert.

6.3.1 Behandlung von Kupferwerkstücken

Nach Fertigstellung (Versilbern)

- a) Entfetten in Freon-Dampf und Ultraschall
- b) Ausheizen 6 h bei 450°C unter Vakuum ca. 10^{-5} mbar

6.4.1 Behandlung von Titanwerkstücken

Behandlung nach der Fertigung:

- a) Entfetten in Freon-Dampf und Ultraschall
- b) Abspülen des Lösungsmittels im destillierten Wasser mit Ultraschall, anschließend im Alkohol.
- c) Im Vakuumofen 2 h bei 700°C ausheizen. (Kornbildung bei Temperaturen über 800°C)

6.5 Durchführungen

In handelsüblichen keramikisolierten Durchführungen wird als Übergang vom Stromleiter auf die Keramik aus löttechnischen Gründen ein hoch nickellegierter Stahl (z.B. INCONEL) verwendet. Dieser Stahl ist magnetisch und kann nicht in allen Fällen verwendet werden. Versuche der Industrie mit Titan als Ersatz für Edelstahl brachten nicht die nötige Zuverlässigkeit bezüglich der Dichtheit von Hochstromdurchführungen nach mehreren Aufheizzyklen bis 300°C.

Es wurden deshalb Durchführungen hergestellt, an denen die Verbindung zur Keramik aus Cu besteht. Da Edelstahl mit Cu wieder gut verlötbar ist, konnte der cf Flansch aus 1.4429 L+N gefertigt sein. Die Innenflächen wurden versilbert. Die Dichtprüfung mit He erfolgte während und nach 5-maliger Ausheizung auf 350°C.

6.6 Dichtungen

Die cf-Dichtungen aus OFHC-Kupfer sollten versilbert sein /7/. Beim Ausheizen der Apparatur verzündert das Kupfer an dem Teil, der nicht im Vakuum liegt. Die Zunderkanäle können unter der Dichtschneide des Flansches hindurchführen und damit ein Leck bilden. Die Versilberung verhindert dies.

7. Ausheizzyklus

Typischer Pumpgang einer UHV-Anlage mit Turbopumpe, Ionengetterpumpe und NEG-Pumpe.

7.1 Alle verwendeten Werkstoffe sind H₂-entgast, d.h. bei INOX z.B. 24 h bei 920°C. (siehe 4.1).

7.2 Die Montage wurde unter UHV-Bedingungen durchgeführt, d.h.: staubfrei, trocken, Handschuhe, Metallfolie als Unterlage usw., graphit-belegte Müttern und Scheiben usw.

7.3 Die Anlage ist leckgetestet.

7.4 Die Anlage ist in eine regelbare und temperaturkontrollierte Heizvorrichtung eingepackt.

7.5 Die Anlage wird mit der Turbopumpe auf Enddruck gepumpt.

7.6 Von etwa 10^{-8} - 10^{-9} mbar an wird die Anlage 24-36 Stunden lang auf 300°C geheizt. Dabei ist darauf zu achten, daß

- a) die maximal zulässigen Temperaturen für die verschiedenen Bauteile (Keramik, Isolatoren, Kupfer, Durchführungen, Fenster, Ventile) nicht überschritten werden;
- b) die Temperatursprünge (Erhöhung der Ausheiztemperatur ca. $30^{\circ}/\text{h}$) nur so groß gewählt werden, daß keine Schäden durch Spannungen und Dehnungen (z.B. an Keramik-Metallverbindungen, Flanschen, Schweißnähten, Bälgen usw.) entstehen. Dazu gibt es für manche Bauteile Vorschriften;
- c) Ganzmetallventile mit wenigen Ausnahmen ab 200°C nicht mehr betätigt werden.

7.7 Die Anlage wird am Anfang und am Ende der Ausheizperiode bei 300°C leckgetestet. Für die Abkühlung gelten dieselben Regeln wie unter 7.6 a) und 7.6 b)

7.8 Während des Abkühlens werden bei ca. 200°C alle Meßröhren 30 min. entgast und danach, außer bei NEG-Aktivierung und Konditionierungen, eingeschaltet belassen.

7.9 Bei etwa 150 - 200°C werden die Ionengetterpumpen durch kurze Einschaltungen (flush) gereinigt und - wenn das Einschalten keinen Druckanstieg mehr bringt - eingeschaltet belassen.

7.10 Nachdem die Ionengetterpumpen eingeschaltet sind und die Röhren entgast sind, wird das Ventil zwischen Anlage und Turbopumpe geschlossen. Dies sollte in jedem Fall so früh als möglich geschehen.

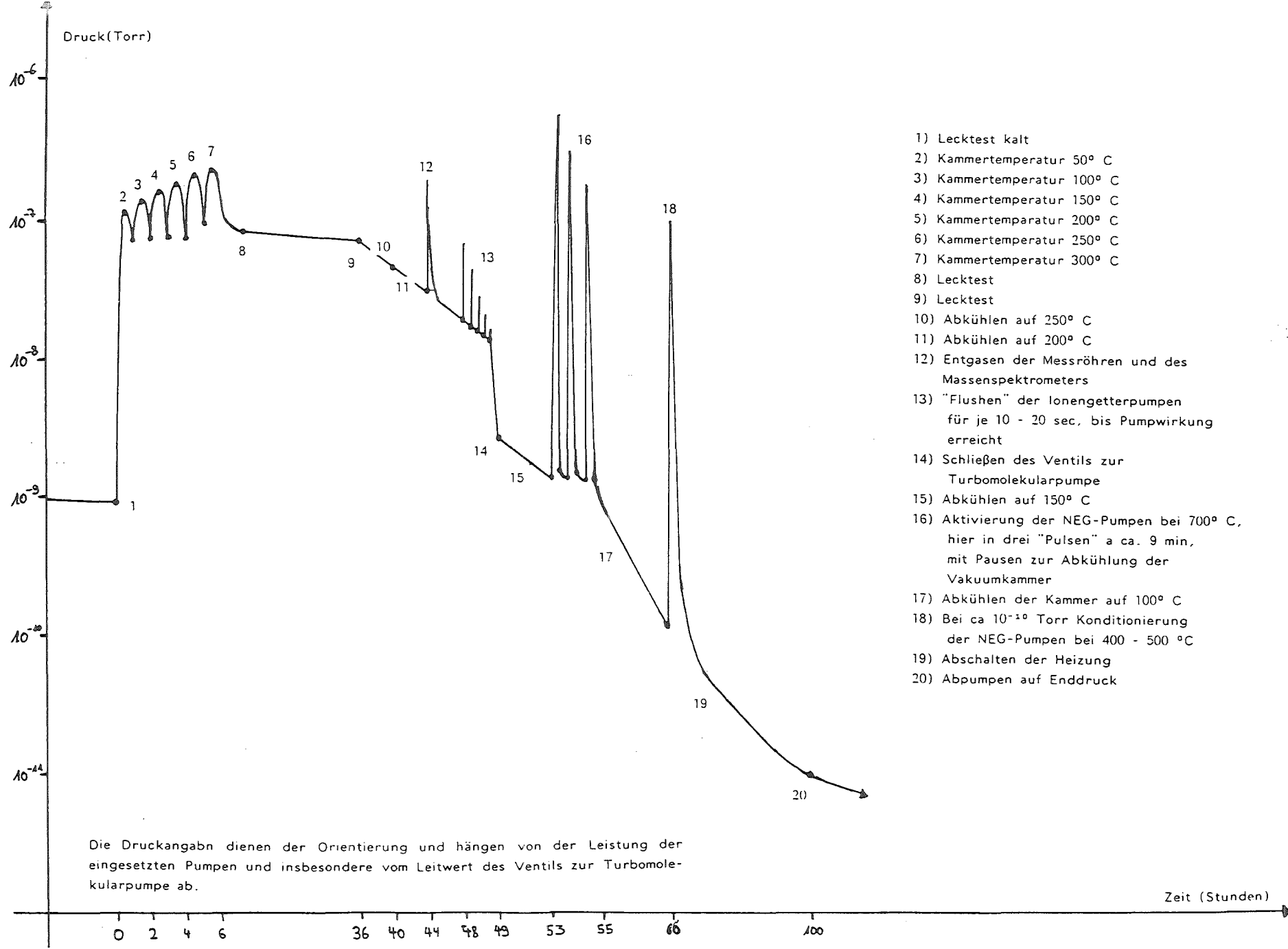
7.11 Die NEG-Pumpen werden etwa 30 min bei 700°C aktiviert, wenn das Vakuumsystem ca. 100°C erreicht hat. Überhitzung über 700°C muß auf jeden Fall vermieden werden, da dadurch Gettermaterial abgedampft wird. Andererseits bedeutet die Unterschreitung der Temperatur um wenige 10°C die Verlängerung der Aktivierungsdauer um viele Stunden /3/.

7 . 1 2 Die Heizung wird abgeschaltet.

7 . 1 3 Nach Erreichen der Raumtemperatur kann die NEG-Pumpe noch einmal bei ca. 450^oC 10-20 min lang rekonditioniert werden.

7 . 1 4 Abpumpen auf Endvakuum.

Abb. 12 Typischer Pumpgang während des Ausheizens und Konditionierens eines UHV-Systems unter Einsatz von NEG-Pumpen



- 1) Lecktest kalt
- 2) Kammertemperatur 50° C
- 3) Kammertemperatur 100° C
- 4) Kammertemperatur 150° C
- 5) Kammertemperatur 200° C
- 6) Kammertemperatur 250° C
- 7) Kammertemperatur 300° C
- 8) Lecktest
- 9) Lecktest
- 10) Abkühlen auf 250° C
- 11) Abkühlen auf 200° C
- 12) Entgasen der Messröhren und des Massenspektrometers
- 13) "Flushen" der Iongetterpumpen für je 10 - 20 sec, bis Pumpwirkung erreicht
- 14) Schließen des Ventils zur Turbomolekularpumpe
- 15) Abkühlen auf 150° C
- 16) Aktivierung der NEG-Pumpen bei 700° C, hier in drei "Pulsen" a ca. 9 min, mit Pausen zur Abkühlung der Vakuumkammer
- 17) Abkühlen der Kammer auf 100° C
- 18) Bei ca 10^{-10} Torr Konditionierung der NEG-Pumpen bei 400 - 500 °C
- 19) Abschalten der Heizung
- 20) Abpumpen auf Enddruck

L i t e r a t u r

- /1/ L. Hütten, H. Poth, A. Wolf, H. Haseroth and Ch. Hill:
The Electron Cooling Device for LEAR
Proc. Workshop on Physics with cooled Low Energy Antiprotons, Erice,
May 1982, ed. U. Gastaldi and R. Klapisch (Plenum Publ. Corp. N.Y., 1984), S. 605
- /2/ M. Bell et al.:
Electron Cooling in ICE at CERN
Nucl. Instr. Meth. 190(1981)237-255
- /3/ M. Girardini:
Pompe modulaire inserable à getter non évaporable -
caracteristiques et vitesses de pompage
CERN-Note technique PS/ML/83-10, 22.9.1983
- /4/ C. Benvenuti:
Nucl. Instr. Meth. 205C(1983)391

C. Benvenuti:
A New Pumping Approach For The Large Electron Positron Collider (LEP)
CERN-Note ISR/VA/82-12
- /5/ Die Ergebnisse sind z.T. auch diskutiert in:

M. Bronet et al.:
An Ultra High-Vacuum System for Coolers
Proceedings of the EC00L-84 Workshop, held Sep. 22 - Sep. 26, 1984 at
Karlsruhe (KfK)
to be published as KfK-Report
- /6/ AA-Vacuum Specification (at 20⁰C)
CERN-Spec. PS/AA/Sepec. 78-25, 25. Oct. 1978
- /7/ Specification pour argenture joint cuirve
CERN-Spec. ISR/VA/JPB/sm, 22.Jan. 1976

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1 Schematischer Aufriß des LEAR-Elektronenkühlers
(Zeichnung KfK-IK)
- Abb. 2 Konstruktionszeichnung des LEAR-Elektronenkühlers
- Abb. 3 Kathoden-NEG-Pumpe (Photo CERN)
- Abb. 4 Toroid-NEG-Pumpe (Photo CERN)
- Abb. 5 Vakuumsystem für NEG-Pumpen-Testmessungen (aus /3/)
- Abb. 6 Pumpgeschwindigkeit der NEG-Pumpen
für verschiedene Gase und Temperaturen (aus /3/)
- Abb. 7 Aufbau zur Messung der Kathodenausgasrate
- Abb. 8 Druckverlauf während der Messung der Kathodenausgasrate
- Abb. 9 Elektronenkühlung für LEAR-experimentelles Vakuumsystem (aus /5/)
- Abb. 10 Injektion verschiedener Gase in das Vakuumsystem (aus /5/)
- Abb. 11 Druckgradient während CO-Injektion über 166 Stunden (aus /5/)
- Abb. 12 Typischer Pumpgang während des Ausheizens und Konditionieren eines
UHV-Systems unter Einsatz von NEG-Pumpen