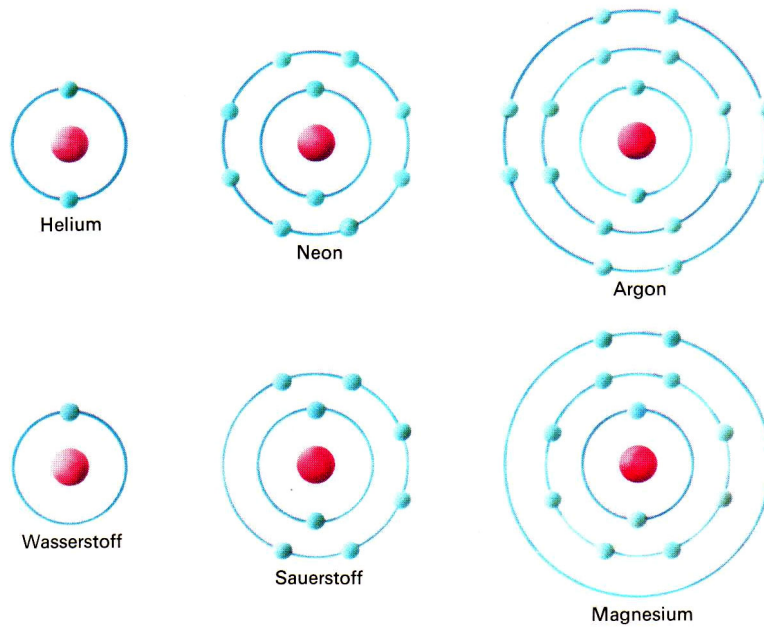
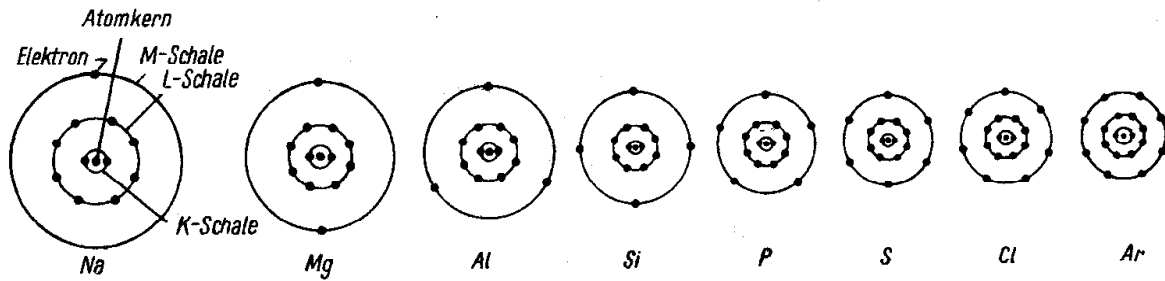


# 1 Begriffsbestimmung

## 1.1 Atommodelle



### Ion [gr.: „Gehendes, Wanderndes“]

Das Ion ist ein elektrisch geladenes Teilchen, das aus neutralen Atomen oder Molekülen durch Anlagerung oder Abgabe (Entzug) von Elektronen, entsteht.

## 1.2 Photoionisation

allgemeine Bezeichnung für die Abspaltung eines Elektrons aus einem Atom oder Molekül durch elektromagnetische Strahlung (z.B. Ultraviolett-, Vakuumultraviolett- oder Röntgenstrahlung).

### 1.3 Ionisationspotential (Ionisationsenergie)

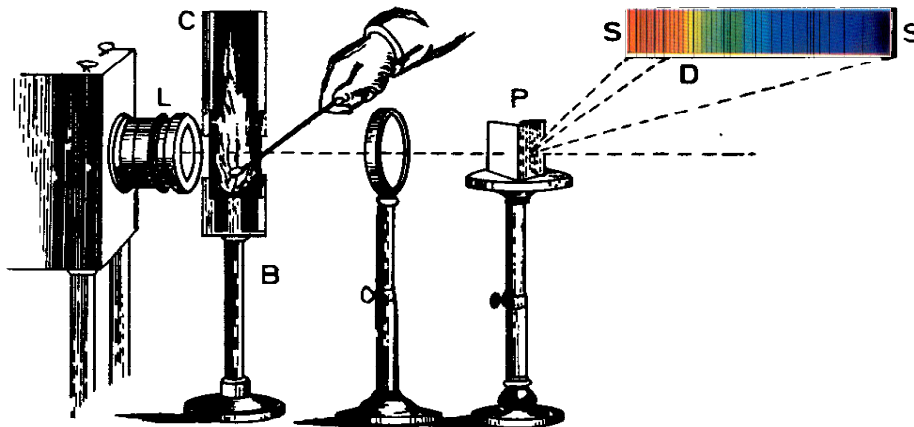
Bezeichnung für die Arbeit, die aufgewendet werden muss, um ein Elektron aus dem Atomverband zu lösen, d.h. es unendlich weit davon zu entfernen. Einheit: Elektronenvolt (eV).

Die Elektronen eines Atomes besitzen potentielle und kinetische Energie. Ihre potentielle Energie ist um so geringer, je stärker sie vom Kern gebunden werden. Um ein Elektron vom Atom abzutrennen, ist ein bestimmter Energieaufwand nötig. Je geringer die Eigenenergie eines Elektrons ist, desto mehr zusätzliche Energie muss aufgewendet werden. Man erhält deshalb wichtige Informationen über den Aufbau der Elektronenhülle, wenn man die zur Abtrennung einzelner Elektronen erforderlichen Energien, die sogenannten **Ionisierungsenergien** miteinander vergleicht.

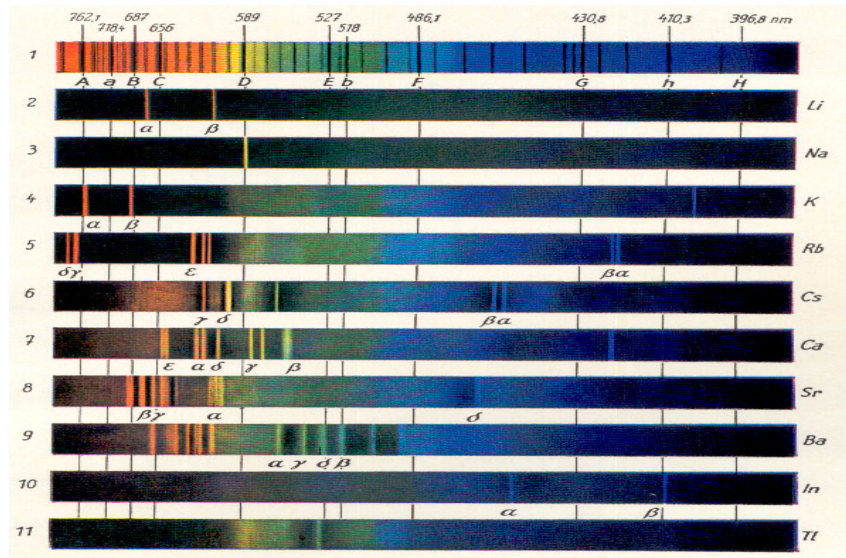
Man erkennt sofort, dass die Abtrennung eines zweiten, dritten usw. Elektrons aus einem Atom immer schwieriger wird (d.h. eine immer größere Ionisierungsenergie erfordert). Durch die Abtrennung eines Elektrons erhält das Atom nämlich eine positive Überschussladung (die Zahl der Protonen im Kern bleibt konstant !), welche die noch vorhandenen Elektronen stärker festhält.

### 1.4 Die Beteiligung des Lichtes an chemischen Reaktionen

Der Chemiker benutzt die Färbung der nichtleuchtenden Bunsenflamme durch die charakteristische Färbung eines bestimmten Stoffes, zum Stoffnachweis. Der Chemiker bedient sich bei der Betrachtung der Flammenfarben eines sogenannten Spektroskops. Im Spektroskop wird das Tageslicht durch ein Prisma in ein leuchtendes Farbband, ein Spektrum, zerlegt.



Die Spektren spezifischer Stoffe enthalten typische Linien, vergleichbar mit einem Fingerabdruck. Ein solches Spektrum wird Linienspektrum genannt. Aufgrund der verschiedenen Lage der Spektrallinien lassen sich die verschiedenen Stoffe zuverlässig unterscheiden.



Es ist bemerkenswert, dass BUNSEN und KIRCHHOFF 1861 bei der spektroskopischen Untersuchung des Bad Dürkheimer Mineralwassers die Elemente Rubidium und Cäsium entdeckten. Stoffuntersuchungen mit Hilfe des Spektroskops nennt man Spektralanalyse.

## 1.5 Screening

Screening (engl.) Rasterung: Hier: Überprüfung der Umgebung auf luftfremde Stoffe.

## 1.6 Responsefaktor

Faktor für die relative Empfindlichkeit von 100 ppm eines Messstoffes bezogen auf die Standard - Kalibrierung von 100 ppm Isobuten (Kalibriergas für PID's).

$$C = RF \times A$$

C = tatsächliche Konzentration des gemessenen Stoffes

RF = Responsefaktor

A = Anzeige des auf Isobuten kalibrierten Gerätes

Je nach der Konzentration, die zu messen ist, können bestimmte Stoffe nur relativ unempfindlich nachgewiesen werden, d.h. der RF ist sehr viel größer als 1. Wenn nicht an der Nachweisgrenze des PID gemessen werden soll, ist dieser Einfluss jedoch durch eine Kalibrierung auf den jeweiligen Stoff auszugleichen.

### 1.6.1 Messung mit vorgegebenen Responsefaktoren

Sollte ein Gerät mit Messgas kalibriert werden oder sind die Responsefaktoren ausreichend genau ?

“Responsefaktoren” werden verwendet, wenn das PID nicht mit dem zu messenden Stoff kalibriert wurde oder wenn verschiedene Stoffe im Wechsel gemessen werden sollen.

Messungen mit Responsefaktoren im Bereich bis 5 stimmen erfahrungsgemäss gut mit den

tatsächlichen Konzentrationen überein. Bei Responsefaktoren  $> 5$  können ggf. größere Abweichungen auftreten, da die gerätespezifischen Einflüsse zunehmen. Für Messaufgaben wie Leckagesuche oder "Screening" ist die Messung mit dem vorgegeben Responsefaktor voll ausreichend. Für Messungen zum Vergleich mit Grenzwerten ist eine höhere Genauigkeit der direkten Kalibrierung erforderlich. Gleiches gilt für die Messung sehr kleiner Konzentrationen oder von komplexen Gasgemischen.

### 1.6.2 Eigene Responsefaktoren festlegen

Wie wird der Responsefaktor eines Stoffes festgelegt, der nicht in der Liste steht ?

Man kann eigene „Responsefaktoren“ wie folgt festlegen:

Beispiel: Es soll der Responsefaktor für Benzol ermittelt werden. Zuerst wird das Instrument mit 100 ppm Isobuten kalibriert (Standardeinstellung). Dann wird (in diesem Beispiel) 100 ppm Benzol aufgegeben. Es wird ungefähr ein Wert von 180 ppm auf dem PID angezeigt. Der Responsefaktor entspricht der tatsächlichen bekannten Konzentration von Benzol, d.h. 100 ppm geteilt durch die Anzeige, in diesem Fall 180, ergibt einen Responsefaktor von 0,56. Es empfiehlt sich, eine Konzentration im Bereich der später nachzuweisenden Konzentrationen zu benutzen. Kann oder will man dies nicht selbst durchführen, kann der Responsefaktor im Rahmen einer Sonderkalibrierung ermittelt werden.

## 2 Photo-Ionisations-Detektor (PID)

Funktionsprinzip

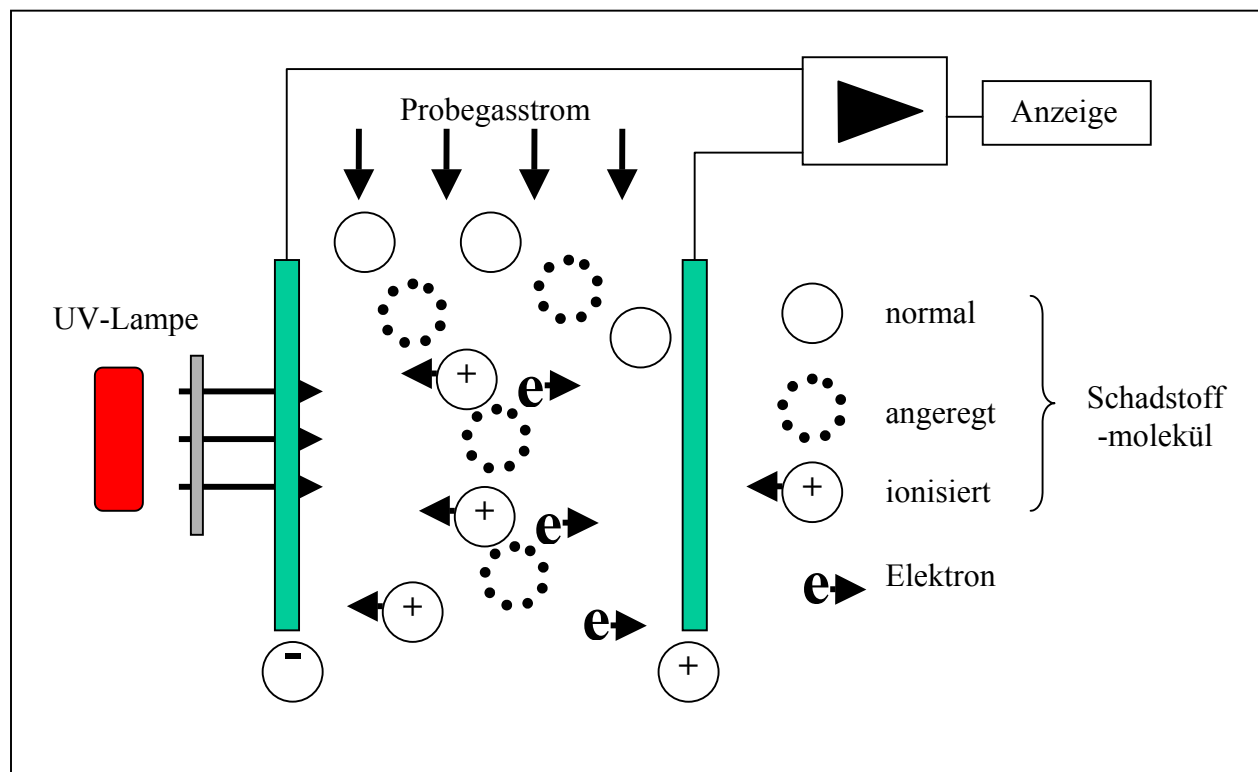
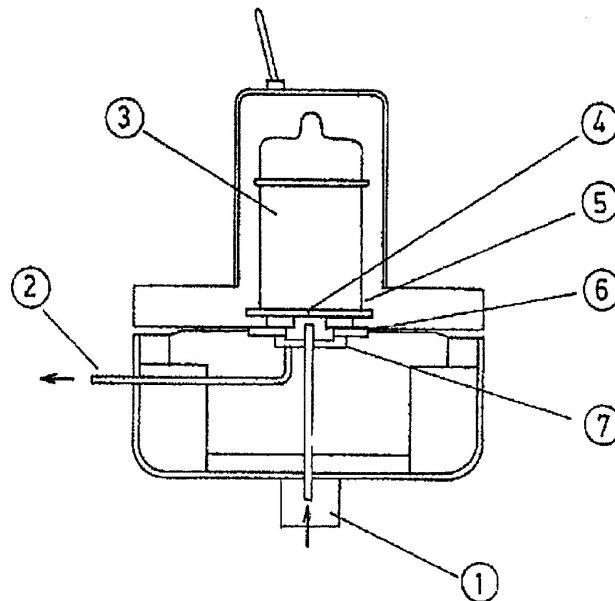


Abb.

## Aufbau des Photo-Ionisations-Detektor (PID)



- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 1 | Meßgas – Eingang, zugleich Elektrode |
| 2 | Meßgas – Ausgang                     |
| 3 | UV – Lampe                           |
| 4 | Fenster (cut-off-Filter)             |
| 5 | Keramik – Isolator                   |
| 6 | Ring – Elektrode (Kollektor)         |
| 7 | Ionisations - Kammer                 |

**Abb.**

### **2.1 Funktionsweise und Leistungsfähigkeit**

#### **2.1.1 Probennahme und Funktion**

Die zu untersuchende Umgebungsluft bzw. gasförmige Proben, werden der Ionisationskammer des PID entweder passiv, direkt durch Diffusion, oder durch eine kleine Membranpumpe aktiv bepumpt, oder durch einen Ventilator zugeführt. Vor dem UV-Lampfenfenster wird in einem ca. 1 cm<sup>3</sup> großen Volumen ionisiert und der Ionenstrom mit einer Anstiegszeit von ca. einer Sekunde gemessen. Befinden sich Substanzen in der Luft, die durch das ultraviolette Licht der Lampe ionisierbar sind, entsteht im elektrischen Feld der Messkammer ein Stromfluss, der auf dem Display des Gerätes als Konzentration angezeigt wird.

Die Bestandteile der Luft (Stickstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid, Wasser, Edelgase) werden von herkömmlichen UV-Lampen mit einer Ionisationsenergie von z. B. 10,6 eV bzw. 11,8 eV nicht ionisiert, dagegen jedoch viele andere chemische Substanzen. Es werden nur Stoffe ionisiert, deren Ionisierungspotential unterhalb der Ionisierungsenergie der UV-Lampe liegen.

Es wird der resultierende Ladefluss zwischen zwei Kondensatorflächen gemessen. Die Ionenausbeute durch die UV-Strahlung ist stoffspezifisch und muss zur Quantifizierung bestimmt oder aus Responsefaktoren-Listen bestimmt werden. Die Nachweisgrenzen für gut ionisierbare Stoffe wie Benzol, Xylol oder Toluol liegen unter 1 ppm. Die Ansprechzeit des Signals liegt bei einigen Sekunden. Es können Störungen durch Luftfeuchtigkeit auftreten, die wesentlich das Ansprechverhalten gegenüber den detektierten Stoffen verändern (Quensch-Effekt).

**Der PID arbeitet kontinuierlich und liefert ein Summensignal**, d. h. es wird die Summe aller ionisierbaren Luftbestandteile angezeigt. Die Messwerte abgesetzter Messungen können in einem geräteinternen Datenlogger gespeichert und von dort auf den Computer des ABC-Erkundungskraftwagens übertragen werden.

Wie misst man ein Gasgemisch und wie erfährt man, wieviel von jeder Chemikalie vorhanden ist ?

Mit einem PID ist das nur nach vorhergehender „Eichung“ möglich. Der PID reagiert (in Abhängigkeit vom „Responsefaktor“ dieser Stoffe) auf alle Stoffe, die er erkennen kann (Summensignal). Will man ein unbekanntes Gasgemisch analysieren und quantifizieren, so ist das z. B. mit dem Probenahmeverfahren TENAX (Fw Mannheim) oder Aktivkohle (z.B. Labor Kuhlmann) möglich.


In unbekanntem Gemischen sind stoffspezifische Aussagen durch Auftrennung mit einer Gaschromatographie-Säule zu erhalten. PIDs in Kombination mit Gaschromatographie benötigen eine Injektion zum Start der Analyse. Je nach Injektorart und Temperierung der Chromatographiesäule, lassen sich Gase und Extrakte bzw. Flüssigkeiten analysieren. Es wird ein Chromatogramm erhalten.

Typische nachweisbare Stoffe bzw. Stoffgruppen sind:

- aliphatische Kohlenwasserstoffe ab einer Kohlenstoff-Zahl von fünf an,
- Benzol,
- Toluol,
- Xylol,
- Aceton,
- viele weitere organische Verbindungen.

### **2.1.2 Durchführung der Analyse**

Der PID erlaubt quantitative Messungen, wenn das System kalibriert worden ist. Diese Kalibrierung sollte mindestens einmal täglich durchgeführt werden, da die PIDs nicht besonders langzeitstabil sind [*Angabe der Hersteller; in der Praxis sicherlich nur schwer durchführbar !*]. Zur Kalibrierung wird zunächst in sauberer oder aktivkohlegefilterter Luft der Nullpunkt abgeglichen. Danach wird dem PID ein Kalibrierstoff mit bekannter Konzentration in Luft zugeführt. Der Kalibrierstoff sollte leicht zu handhaben sein und zu gut reproduzierbaren Messergebnissen führen. Geeignet sind z.B. Toluol oder Ethylacetat. Das Gas wird dem PID entweder aus einer Druckgasflasche mit bekannter Konzentration in synthetischer Luft zugeführt, oder aus einem Gasbeutel, in dem das Kalibriergas durch den Betreiber angemischt worden ist.

Die Kalibrierung wird manuell durchgeführt und muss unbedingt vor einem Messeinsatz erfolgen. Wenn das Kalibriergas angemischt vorliegt, dauert die Kalibrierung ca. 5 – 15 Minuten. 

Die Hersteller schlagen unterschiedliche Kalibrierstoffe vor. Toluol als Stoff mit guter Ionisationsausbeute wird häufig verwendet. Aufgrund der in den Handbüchern der Geräte in Tabellen festgehaltenen Responsefaktoren für eine große Palette unterschiedlicher Stoffe für das jeweilige Gerät, bezogen z.B. auf Toluol, kann dann auch ohne Kalibrierung eine andere als die kalibrierte Substanz zumindest halbquantitativ gemessen werden.

### 2.1.3 Interpretation der Ergebnisse

Der Photoionisationsdetektor erfasst alle Moleküle, deren Ionisationspotential niedriger ist als die UV-Energie der Lampe. Das führt zu einem weiten Bereich von Stoffen, für den der PID empfindlich, aber auch querempfindlich ist. Nur wenn sicher bekannt ist, um welche Substanz es sich handelt, kann dieser quantitativ erfasst und auf der Digitalanzeige in ppm angegeben werden.

Bei Stoffgemischen aus mehreren ionisierbaren Stoffen kommt es zu Fehlinterpretationen aufgrund nicht linearer Überlagerung der Ionisationseffekte der Einzelkonzentrationen. Das führt bei der Messung von Benzol, Toluol und Xylol zum Beispiel dazu, dass das Gemisch mit je 10 ppm lediglich zu einer gemessenen Gesamtkonzentration von 20 ppm führen kann.

Besonders kritisch ist die hohe Empfindlichkeit des PID gegenüber Aromaten, insbesondere Toluol, das aus Abgasen oder Farben stammt und als Hauptkomponente der organischen Chemikalien in der Umwelt zu finden ist. Bei der Messung anderer Stoffe muss sichergestellt sein, dass Störungen durch Aromate nicht vorhanden sind. Der Nutzen dieser Technik wäre stark eingeschränkt, insbesondere, wenn in Städten oder der Nähe von KFZ-Verkehr ein anderer Stoff mit niedrigem MAK-Wert gemessen werden muss.

Kondensierbarer Wasserstoff, der insbesondere bei Chemieunfällen mit Löscheinsatz auftritt, stellt bei den meisten Geräten eine weitere Fehlerquelle dar. In diesen Fällen führt der Einsatz des PID zu Fehlmessungen.

Messungen im Bereich von einigen ppm, die prinzipiell mit dem PID zumindest unter gut definierten Laborbedingungen möglich erscheinen, sind im realen Betrieb mit großen Fehlern behaftet. Im Handbuch eines der meistverkauften PIDs, des Photovac MicroTIP mit 10,6 eV Lampe, wird sehr ehrlich auf die Genauigkeit, die mit dem Gerät erreichbar ist und von anderen Geräten wahrscheinlich nicht überboten wird, hingewiesen. Die Genauigkeit der Ergebnisse beträgt +/- 25 % vom Ergebnis der Messung oder +/- 10 ppm, je nachdem welcher Wert größer ist. Das bedeutet, dass am unteren Messbereichsende, obwohl bei den meisten Geräten mit einer Auflösung von 0,1 ppm angezeigt wird, mit +/- 10 ppm extrem hohe Fehler möglich sind. Es bedeutet auch, dass in diesem kritischen Bereich, in dem zusätzlich noch die Aromate auftreten können, eine extrem unsichere Messung stattfindet. **Als Folge dieser Messungenauigkeit kann die Photoionisation erst ab ca. 10 ppm sicher eingesetzt werden und ist für alle Stoffe, die unterhalb von 10 ppm detektiert werden müssen, im Sicherheitsbetrieb nicht geeignet.**

Diese Angaben zeigen, dass auch mit dem PID nur halbquantitative Messungen oder Trendmessungen durchgeführt werden können, und der Wunsch der quantitativen Messung von Gefahrstoffen, nur unter extrem guten Bedingungen, nicht aber im Feld erfüllbar ist.

Unter dieser Voraussetzung stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, dem Bediener des Gerätes im Einsatzfall die Eingabe von Responsefaktoren zuzumuten. Die sehr viel einfachere Alternative besteht darin, immer mit der gleichen Kalibrierung zu arbeiten. Als Ergebnis der Messung wird dann lediglich der Anzeigewert als Meldung weitergegeben. Von der Einsatzleitung kann dann bei Bedarf mit dem Responsefaktor des jeweiligen Stoffes dessen Konzentration berechnet werden.

## **2.2 Einsatzmöglichkeiten**

Anwendungen für einen PID finden sich in folgenden Bereichen:

- Nachweis von Luft- und Bodenverschmutzungen,
- Lecksuche in Industrieanlagen,
- Arbeitsplatz-Überwachung,
- Messung bei Chemikalienunfällen,
- Überwachung des Dekontaminationsplatzes,
- Überwachung der Einsatzleitzentrale

## **2.3 Ionisierungspotentiale**

Die Angaben der Ionisierungspotentiale erfolgen in Elektronenvolt (eV). Das Ionisierungspotential ist diejenige Energie, die notwendig ist, um ein Molekül zu ionisieren. Die Energie der PID-Standartanregungslampe beträgt 10,6 eV.

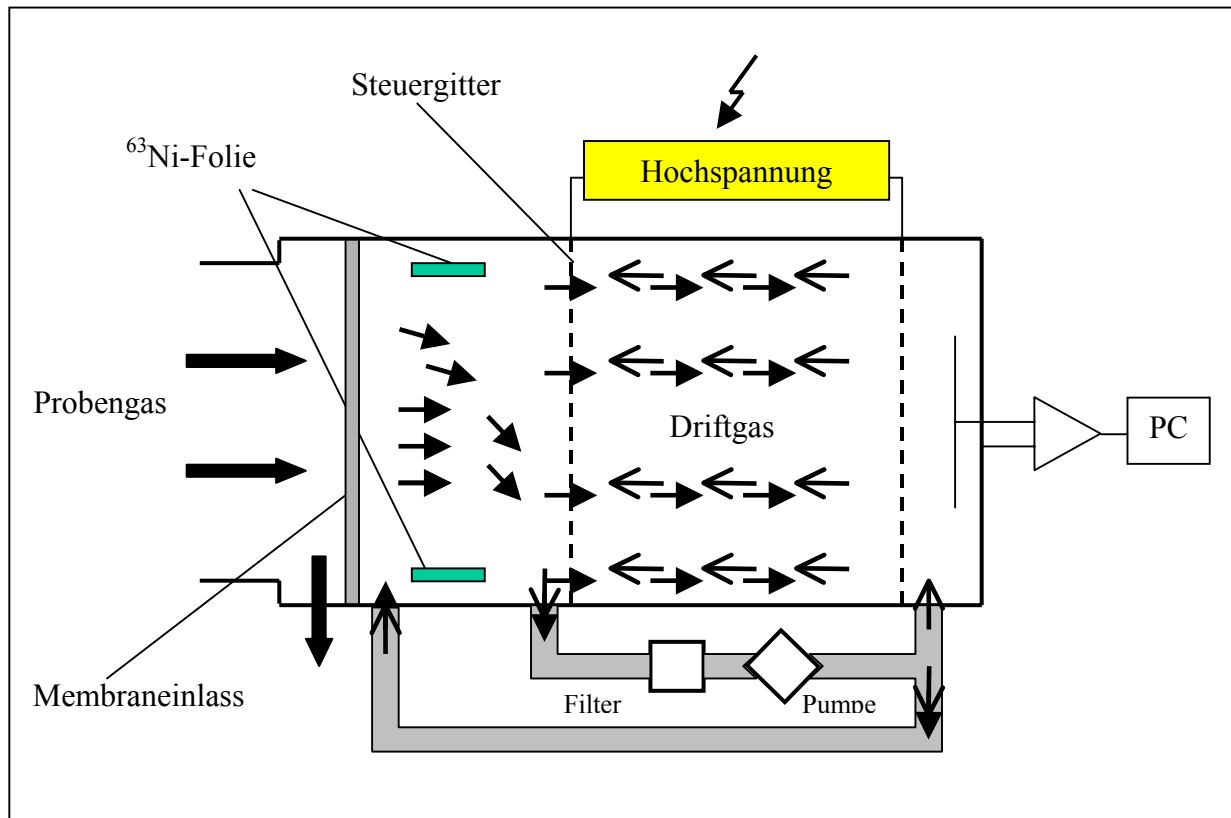
## **3. Ionen-Mobilitäts-Spektrometer (IMS)**

Die Ionenmobilitätsspektrometer sind aufgrund ihres besonders starken Nachweisvermögens für alle elektronegativen und elektropositiven oder polaren Stoffe prädestiniert für die Detektion von Gefahrstoffen, weil deren toxische Wirkung meistens von derselben Stoffeigenschaft ausgeht. Deshalb ist vor allem im militärischen Bereich für die Detektion von chemischen Kampfstoffen die IMS-Technik besonders ausgeprägt und entwickelt worden.

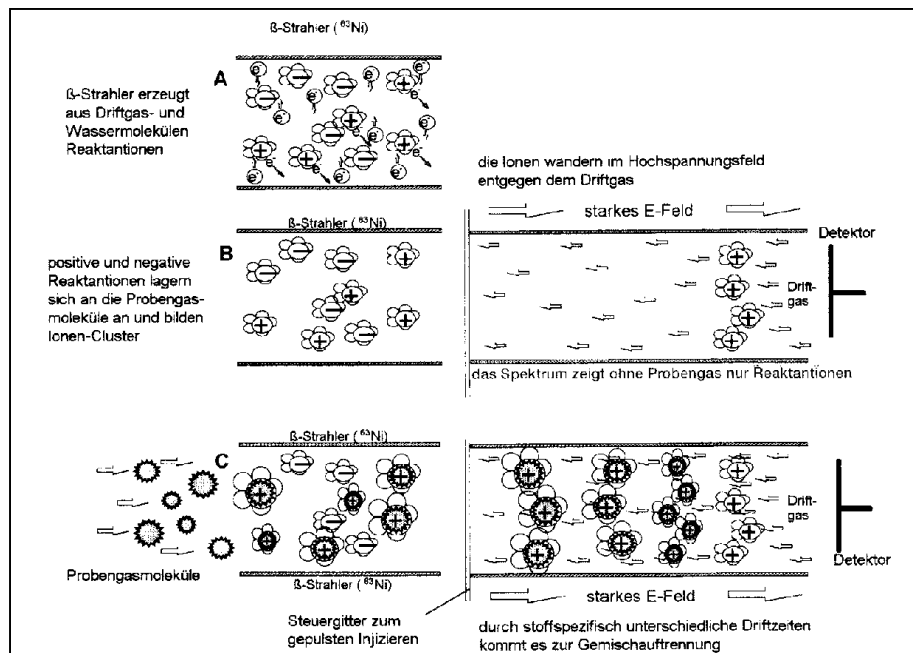
Der Vorteil der IMS-Technik gegenüber der PID-Technik, liegt in der hohen Nachweisstärke und relativ guten identifizierenden Aussagekraft des Mobilitätsspektrums für eine bekannte Stoffpalette.



## Funktionsprinzip



## Aufbau des Ionen-Mobilitäts-Spektrometers



### 3.1 Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

Im Ionen-Mobilitäts-Spektrometer werden in einer Ionisationskammer durch Einstrahlung energiereicher Elektronen aus Bestandteilen des Driftgases negative und positive Reaktantionen gebildet. Die energiereichen Elektronen erhält man aus einer Nickel-63-Quelle. Bei den positiven Reaktantionen handelt es sich um Molekülcluster aus 3 bis 6 Wasser- und Sauerstoffmolekülen. Probengasmoleküle diffundieren durch die Membran, die den Probengasraum von der Ionisationszone trennt, und werden von den Reaktantionen eingefangen. Durch pulsformige Spannungsänderung an einem Injektionsgitter werden aus der Ionenwolke Ionen angesogen und auf eine Driftstrecke gebracht. Dort wandern die Reaktantionen entlang einer Laufstrecke entgegen einem Luftstrom (Driftgas) und werden entsprechend ihrer Größe und Gestalt unterschiedlich stark gebremst. Die Laufzeit ist proportional zur Größe der Ionen. Sie erlaubt neben der Quantifizierung auch eine Stoffidentifizierung. Das Gerät ist ein universeller Detektor und sehr empfindlich für polare Stoffe (< ppm). Nachteile, die sich bei der Überladung durch zu hohe Stoffkonzentrationen ergeben können, lassen sich durch spezielle automatische Spül- und Verdünnungstechnik umgehen.

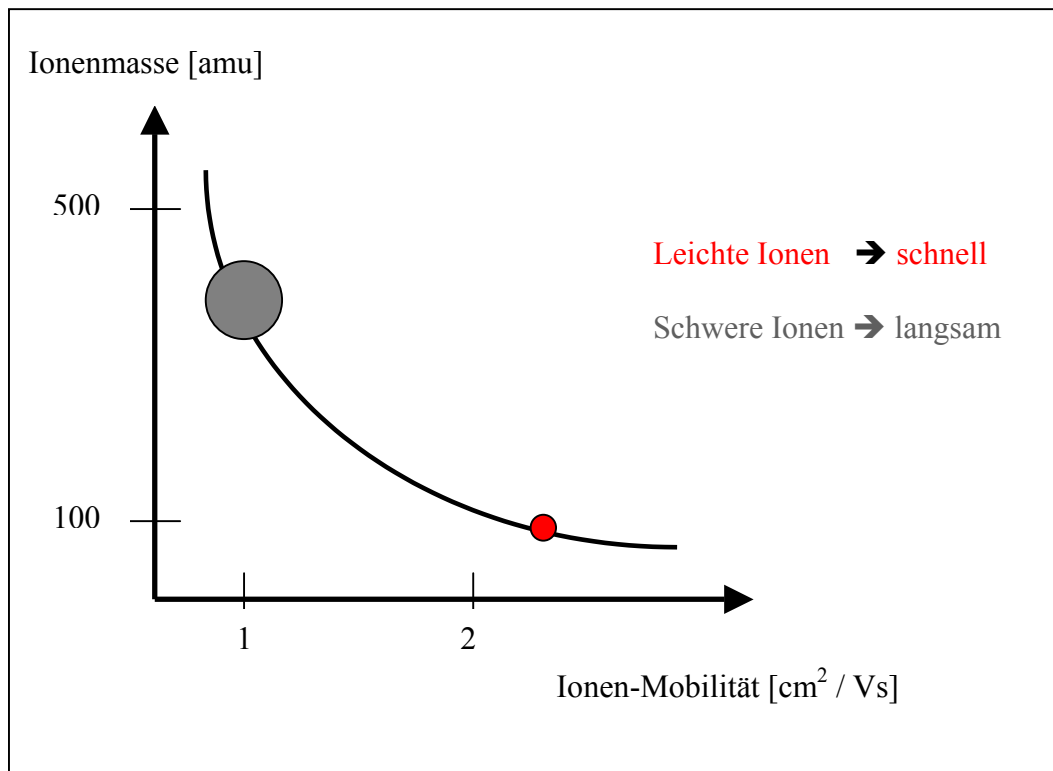
#### 3.1.1 Probenahme und Funktion des RAID-1(- Rapid Alarm and Identification Device -)

Das RAID-1 ist ein Spür- und Warngerät, das automatisch bei Überschreiten einer bestimmten Konzentration akustisch und optisch warnt. Es kann mit einem Gewicht von ca. 3 kg leicht am Mann getragen werden und ist mit Batterien für einen achtstündigen Betrieb ausgestattet. Über zwei Folientasten nimmt der Bediener das Gerät menügesteuert in Betrieb, eine dritte Taste dient zur Auswahl der Betriebsprogramme. Die Stoffanzeige, d.h. die Identität und als Balkendiagramm die Konzentration, sowie die gesamte Bedienerführung, erfolgt über einen LCD-Bildschirm, der mit einer Sparschaltung versehen 10 s lang beleuchtet sein kann.

Mit einer eingebauten Dosiergaspumpe wird Umgebungsluft in das Gerät gesaugt und die Gefahrstoffmoleküle gelangen durch eine auf ca. 75°C geheizte Membran in den Reaktionsraum. Durch diese Membran kann der Innenraum der Messröhre auf einer sehr konstanten Feuchtigkeit gehalten werden, da das Driftgas zusätzlich im Kreislauf durch einen Trockenfilter geführt wird. Diese Maßnahme und die Kontrolle von Druck, Temperatur und Durchfluß durch Sensoren, führt zu einem guten Langzeit-Verhalten des IMS und stabilen korrigierten Driftzeiten, die weitgehend unabhängig von der Feuchte der Probe sind. Im Reaktionsraum erfolgt die Ionisierung der Luft- und Gefahrstoffmoleküle und ihre Reaktion miteinander.

An den Reaktionsraum schließt sich, getrennt durch ein Schaltgitter, der Driftraum an, in dem die entstandenen Ionen über ihre Beweglichkeit voneinander getrennt werden. An einer Kollektorelektrode werden sie schließlich entladen und erzeugen damit einen Stromfluss, der als Spektrum geräteintern aufgezeichnet wird. Die Laufzeit die die Ionen vom Gitter zum Detektor benötigen, ist von der elektrischen Feldstärke und der Ionenmobilität abhängig und wird als Ionenmobilitätsspektrum aufgezeichnet.

## Ionenmobilität:



Durch Vergleich des aufgenommenen Spektrums mit denen einer geräteinternen Bibliothek bekannter Substanzen, können diese identifiziert und quantifiziert werden.

Zur Nullpunktmessung oder bei zu hohem Signal aufgrund zu hoher Konzentration kann der Messgasstrom umgeleitet werden. In diesem Rückspülmodus wird Umgebungsluft über einen Aktivkohlefilter angesaugt und an der Membran vorbeigeführt. Das geschieht automatisch, wenn das Signal einen bestimmten Grenzwert überschreitet, so dass die IMS-Röhre vor zu großer Verunreinigung geschützt wird. Die Folge ist, dass sehr kurze Signalarückkehrzeichen erreicht werden und das Gerät den Messbetrieb schnell wieder aufnehmen kann.

### 3.1.2 Interpretation der Ergebnisse

Anhand der gemessenen Spektren werden vom Mikrokontroller die Ionenbeweglichkeitskoeffizienten (k-Faktoren) bestimmt. Diese sind für eine große Anzahl von Stoffen bekannt, können für neue Stoffe sehr leicht gewonnen werden und bilden die Grundlagen für eine Bibliothek, aus der die Identifizierung eines bestimmten Stoffes abgeleitet werden kann. Die vom Bund ausgelieferte Bibliothek, kann nach Aussage der Entwickler, für neue Stoffe erweitert werden. Sie raten allerdings davon ab, da zum einen die Anzahl der gespeicherten Stoffe ausreichend erscheint und zum anderen eine Zusatzprogrammierung in einen sehr sensiblen und Fehler anfälligen Bereich eingreifen würde. Die Identifizierung funktioniert in der Regel für Einzelstoffe sehr gut, bei Gemischen hängt sie davon ab, inwieweit die Ionen-Molekül-Reaktionen der einzelnen Komponenten in Konkurrenz zueinander ablaufen.

### 3.1.2.1 Detektion von chemischen Kampfstoffen

Folgende Kampfstoffe sind programmiert und führen bei Überschreiten des angegebenen Wertes zu einem Alarm:

Nervenkampfstoffe		
Sarin	GB	80 µg/m <sup>3</sup>
Soman	GD	80 µg/m <sup>3</sup>
Tabun	GA	80 µg/m <sup>3</sup>
VX	VX	40 µg/m <sup>3</sup>

Hautkampfstoffe		
S-Lost	HD	ab 200 µg/m <sup>3</sup>
N-Lost	HN	ab 200 µg/m <sup>3</sup>
Lewisit	L	ab 200 µg/m <sup>3</sup>

Blut- und Lungenkampfstoffe		
Blausäure	AC	ab 10 mg/m <sup>3</sup>
Phosgen	CG	ab 10 mg/m <sup>3</sup>

### Querempfindlichkeiten

Die auf unterschiedliche militärische Einsatzfälle optimierte Software ermöglicht eine sichere Identifikation selbst bei Vorhandensein typischer Hintergrundstoffe, wie z.B. Brand- und Kfz-Abgase. In der nachfolgenden Tabelle, sind reale Störgaskonzentrationen angegeben, bei denen noch kein Fehlalarm ausgelöst wird.

Störgaskonzentrationen, bei denen für das Kampfstoffwarnprogramm noch keine Fehlalarme ausgelöst werden.

Brandgase (Konzentrationen 5 000 - 10 000 mg/m <sup>3</sup> ):	
Holz	
Laub und Gase	
Baumwollstoff	
Gummi	
Partonenpulver (Nitrocellulose)	
Overgament mit bzw. ohne Kohle	
PVC	
Polypropylen	
Diesel-Kraftstoff	
Vergaser-Kraftstoff	
Treibstoffe:	
Diesel	500 mg/m <sup>3</sup>
Benzin	1 500 mg/m <sup>3</sup>

Einzelkomponenten:	
Chlorwasser	20 mg/m <sup>3</sup>
Chlor	10 mg/m <sup>3</sup>
Stickoxide	5 mg/m <sup>3</sup>
Schwefeldioxid	7 mg/m <sup>3</sup>
Kohlenmonoxid	80 mg/m <sup>3</sup>
Kohlendioxid	60 000 mg/m <sup>3</sup>
Formaldehyd	20 mg/m <sup>3</sup>

### 3.1.2.2 Detektion organischer Gefahrstoffe

Für die Detektion von Gefahrstoffen kann das IMS mit folgenden Aufgaben arbeiten:

- (1) Detektion von in der Spektrenbibliothek abgelegten Verbindungen;
- (2) Summarische Erfassung ausgewählter Stoffklassen;
- (3) Integrale Detektion unbekannter Stoffe oder Gemische;
- (4) Teach-in zur Aufnahme von Spektren und weiteren Verfolgung des Stoffes.

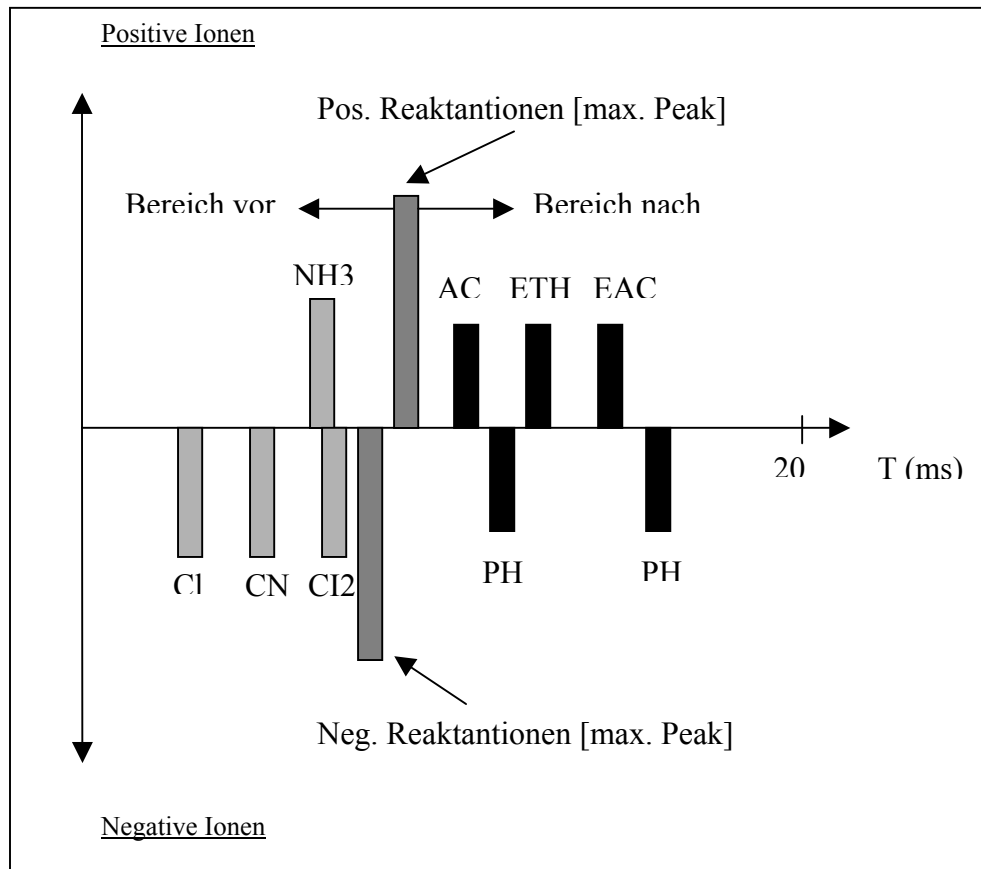
Bei der Detektion mittels Spektren, die in der Spektrenbibliothek abgelegt sind, muss berücksichtigt werden, dass die Ionisierungsmechanismen zu starker Querempfindlichkeiten führen können, wenn Stoffe mit ähnlichen Wirkmechanismen in der Luft auftreten. Das hängt mit der im Vergleich z.B. zum Massenspektrometer geringen Auflösung der IMS-Röhre zusammen und kann bei Stoffgemischen zur Fehlinterpretation der Ergebnisse führen. **Deshalb sollten die Spektrenbibliotheken nicht mehr als ca. 10 organische Verbindungen enthalten und die Bibliotheken auf die erwartete Stoffpalette eingerichtet sein.**

Besonders interessant ist aber die Betrachtung der Signale, die bei unterschiedlicher Polarität des Ionenstromes gemessen werden. So erscheint für die positiven Ionen ein starker Reaktant-Ionenpeak mit dem k-Faktor 2,12; für negative Ionen einer mit k-Faktor 2,28. Diese Peaks sind unter Reinluftbedingungen konstant, und jede Abnahme weist auf das Vorhandensein eines anderen Stoffes hin. Somit kann bei Abnahme dieses Peaks und Zunahme anderer Signale eine integrale Detektion ohne Stoffidentifikation erfolgen.

Außerdem erscheinen die Reaktant-Ionen im ersten Drittel der Driftzeitachse, wodurch sich die Bereiche vor und hinter dem Reaktantionenpeak als signifikant für bestimmte Stoffklassen herausstellen, wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. **Hinter dem Reaktantionenpeak können alle organischen Verbindungen mit höheren Molekulargewicht erscheinen, und für diesen Bereich kann es leicht zu Fehlinterpretationen kommen, wenn nicht erwartete Substanzen auftreten.**

Fehlinterpretationen bei organischen Verbindungen mit höherem Molekulargewicht, welche nach dem letzt identifizierten Stoff, hinter dem Reaktionspeak liegen entstehen, da die leichteren Moleküle schneller die Detektor-Elektrode erreichen und sich die größeren und langsameren Moleküle auf der Zeitachse dahinter befinden.

## IMS-Spektrum



**Abb.xx:** Negativ- und Positiv-Ionenmobilitätsspektren mit Reaktantionenpeaks und Bereiche, in denen bestimmte Stoffe oder Stoffklassen auftreten.

### 3.1.2.3 Detektion anorganischer Gefahrstoff-Massenprodukte

Vor den Reaktantionenpeaks ergibt sich jedoch ein sehr signifikanter Bereich, in dem polare Verbindungen wie Chlor, Chlorwasserstoff, Phosgen und Blausäure sowie die Chlorethene im negativen Mode detektiert werden, während im positiven Mode nur Ammoniak auftritt und sicher detektiert wird. Das bedeutet, dass mit dem IMS eine ideale Ergänzung zum GC-MS existiert, da gerade diese Stoffe mit dem Massenspektrometer schlecht detektiert werden können. Das IMS kann damit zudem die Elektrochemischen Zellen ersetzen, die gerade für diese Stoffe bisher benötigt wurden.

Aufgrund der Tatsache, dass diese Palette der Stoffe wahrscheinlich nie im Gemisch oder gleichzeitig auftritt und eine Warnung in jedem Fall abgegeben wird, lässt die besondere Bedeutung des IMS für den Chemieunfalleinsatz erkennen. **Es kann somit als einziges Messsystem neben den chemischen Kampfstoffen und organischen Gefahrstoffen, auch die am wahrscheinlichsten auftretenden gefährlichen anorganischen Massenprodukte, detektieren. Das Ionenmobilitätsspektrometer ist daher für den praktischen Einsatz zur Analyse von Chemieunfällen der wichtigste Detektor.**

### 3.1.4 Nachweisbarkeit

Das IMS ist sehr nachweisstark und in der Lage, organische Verbindungen im Bereich von  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  zu detektieren. Es besitzt aber nur einen relativ kleinen dynamischen Bereich von ca. zwei Größenordnungen. Die für viele Stoffe erforderliche Nachweisstärke wird zum Nachteil, wenn deutlich höhere Konzentrationen im Bereich von 10 ppm auftreten und gemessen werden sollen, das Messsystem aber Vollausschlag anzeigt. In diesem Fall kann das Messsystem nur zur einmaligen Detektion eingesetzt werden und schaltet, wenn ein entsprechendes Programm aktiviert ist, in den Rückspülmodus.

### 3.2 Einsatzmöglichkeiten

Das Gerät wurde ursprünglich für militärische Anwendungen konzipiert. Daher ist es originär für den Nachweis von und die Warnung vor chemischen Kampfstoffen vorgesehen.

Das RAID-1 des Einsatzfahrzeuges besitzt jedoch neben dem Kampfstoffmodus (CWA) noch die Betriebsart ITOX zur Messung von Industriechemikalien.

Folgende Kampfstoffe werden nachgewiesen:

- VX
- Soman
- Sarin
- Tabun
- Schwefel-Lost
- Stickstoff-Lost
- Lewisit

Im Industriechemikalienmodus werden nachgewiesen:

- Ammoniak
- Chlor
- Schwefeldioxid
- Blausäure
- Chlorierte Kohlenwasserstoffe
- Toluoldiisocyanat
- Essigsäure