

**dr. berndt  
- Ingenieurbüro -**

**Sachverständigengutachten - Systemuntersuchungen - Technikbewertung  
Beratung und Ausführung  
Dokumentation**

Öffentlich bestellt und vereidigt  
von der IHK Karlsruhe für das  
Sachgebiet „Tauchausrüstungen -  
Unfallursachenermittlung / Technikbewertung“



**Expertise**

Exp/It-K-02/2002

**Auftraggeber:** Firma  
Infotech Kuhlmann  
Pommernstraße 4  
37603 Holzminden

**Auftragnehmer:** Ingenieurbüro - dr. berndt -  
Dr. Dietmar Berndt  
Belchenstraße 17  
76297 Stutensee-Büchig

**Gegenstand:** Technologiegutachten / Expertise über Funktionalität von  
Atemreglerprüfsystemen des Typs Pressure Guard

..12

## I. Auftrag

Gemäß telefonischem Auftrag bin ich mit der Erstattung einer schriftlichen Expertise über die Funktionalität der Pressure Guard Messsysteme für Atemregler beauftragt. Der telefonische Auftrag wurde mit dem schriftlichen Vertrag SV/lt-K-02/2002 vom 05.03.2002 präzisiert und bestätigt.

### **Auftragsinhalt:**

Ihm Rahmen des beauftragten Sachverständigengutachtens übernahm der Auftragnehmer die folgenden Aufgaben:

- Im Vorfeld der Messungen
  - Festlegung eines Messprotokolls
  - Festlegung des Messverfahrens und
  - Festlegung des Messprogramms
- Überprüfung und Bestätigung der Funktionalität des eingesetzten Prüfgerätes vor und während der Messungen
- Überprüfung und Bestätigung der Genauigkeit und der Reproduzierbarkeit der Mess- und Rechenergebnisse mittels Testnormal und Parametervariation - Vergleich (wo möglich) mit theoretischen Modellen und mit mindestens einer Referenzmaschine anderen Ursprungs
- Überprüfung und Bestätigung der Genauigkeit und der Reproduzierbarkeit der Mess- und Rechenergebnisse mittels realer Atemregler; Vergleich mit mindestens einer Referenzmaschine anderen Ursprungs
- Überwachung und Bestätigung insbesondere, dass an dem Probanden keinerlei Manipulationen durchgeführt wurden, die das Überprüfungsergebnis - in welcher Weise auch immer - beeinflussen könnten
- Überwachung und Bestätigung des korrekten Messverfahrens gemäß der vorherigen Festschreibung
- Eine schriftliche Expertise, die die Zusammenfassung, Interpretation und Bewertung der Überprüfungsergebnisse, insbesondere im Hinblick auf die gewerbliche Nutzung des Probanden beinhaltet

Darüber hinaus verpflichtet sich der Auftragnehmer, die im Rahmen der vertragsgegenständlichen Untersuchung erhobenen Daten ausschließlich dem Auftraggeber zur vertragsgemäßen Nutzung zur Verfügung zu stellen bzw. vor anderweitiger Verfügung die Zustimmung des Auftraggebers einzuholen.

### **Zweck der gutachterischen Tätigkeit:**

Die erhobenen und durch die gutachterische Tätigkeit des Auftragnehmers abgesicherten Daten dienen im Falle der Mängelfreiheit des/der Probanden der Feststellung der Übereinstimmung mit den Vorgaben in Ableitung von der EN 250 in der neuesten Fassung mit Hinblick auf die gewerbliche Nutzung der betreffenden Gerätschaft bei bestimmungsgemäßer Nutzung im Rahmen von Atemreglerüberprüfungen im Servicebereich.

Der Auftraggeber wird dieses Gutachten zur Absicherung seiner zu gewerblichen Zwecken künftig nach dem überprüften Baumuster hergestellten Pressure-Guard-Systeme verwenden.

Der Auftraggeber kann/wird die Inhalte und Aussagen dieses Gutachten zu seiner rechtlichen Absicherung sowie für werbliche Zwecke verwenden.

## **II. Grundlagen**

### **Grundlage der Expertise waren:**

1. Ein für die Serie repräsentatives „Pressure Guard“-Exemplar mit der Serien-Nummer 37000004. Die Software ist genuin eine Eigenentwicklung der Firma Infotech, Holzmin-den.
  - a) Das Gerät in der vorgestellten Version ist unmittelbar für den Serviceeinsatz zur Überprüfung/Instandhaltung/Instandsetzung von Atemreglern nach heute üblichen und anerkannten Standards vorgesehen.
  - b) Ein künftiger Druckkammereinsatz ist vorgesehen.
  - c) Die künftige Öffnung für andere Applikationen ist vorgesehen.
2. Ein im Kern konstruktiv anders aufgebautes Gerät des Typs Regulator Control II „Standgerät Prototyp“ der Firma Tauchertechnik Brandenburg GmbH, dem jedoch die gleiche Verarbeitungs- und Darstellungssoftware wie dem Probanden (unter 1.) zugrunde lag.
3. Ein im Kern konstruktiv gleich wie unter 2. aufgebautes Gerät des Typs Regulator Control älterer Bauart der Firma Tauchertechnik Brandenburg GmbH, dem jedoch eine ältere Verarbeitungs- und Darstellungssoftware unter dem Betriebssystem DOS zugrunde lag.
4. Ein Satz Messblenden unterschiedlicher Durchlassquerschnitte. Diese wurden nach Skizze des Auftragnehmers von Tauchertechnik Brandenburg GmbH gefertigt.
5. Eine Kalibrierdüse 12,8 mm zur Kalibrierung des Systems. Diese wurde nach konstruktiver Vorgabe gemäß EN 250 von Tauchertechnik Brandenburg GmbH geliefert und von einem Hersteller-Zertifikat begleitet (Kopie bei mir z. d. A.).



6. Ein Millibarmanometer der Güteklasse 0,6 zur Grundkalibrierung des Systems. Dieses ist Eigentum der Tauchertechnik Brandenburg GmbH und wurde für die Validierungsmessungen leihweise zur Verfügung gestellt. Das Gerät trägt die Instrumenten-Nr. 1147987 (Inventar-Nr. 0004) und wird von einem „Abnahmeprüfzeugnis B nach EN 10 204“ vom 14.10.1999 begleitet (Kopie bei mir z. d. A.).
7. Zur Systemkalibrierung die Vorschrift der EN 250 in der Fassung vom März 2000 über Prüfmittel und Prüfverfahren (Kap. 6.1.3). Dies, obgleich gerade an dieser Vorschrift seit letzter Revision wissenschaftliche Kritik anzubringen ist - gleichwohl ist die Norm in der derzeit vorliegenden Form gültig und damit Maßstab.

### Vorgehensweise:

Die Messungen für die vorliegende Expertise wurden auf Basis oben beschriebener Grundlagen am 19.02.2002 am Probanden und an der Referenzanlage (gem. II. 2.) in den Räumen des Auftraggebers und an der Referenzanlage (gem. II. 3.) in den Räumen der Tauchertechnik Brandenburg GmbH durchgeführt.

Zur Erhebung der Feststellungen wurden folgende Schritte in der nachstehenden Reihenfolge getan:

1. Durchsprache und Aktualisierung des Messprogramms.
2. Verschaffung eines ersten Überblicks durch visuelle Inaugenscheinnahme des Probanden und der Referenzanlage (gem. II. 2.). Hierbei insbesondere Augenmerk auf die konstruktiven und funktionellen Unterschiede.
3. Beschaffung der relevanten mechanischen Parameter, um die korrekte Herstellung der Atemzugsvolumina und Atemfrequenzen nachvollziehen zu können.
4. Kalibrierung des Probanden mittels Millibarmanometer nach II. 6.
5. Überprüfung der Kalibrierung des Gesamtsystems gemäß II. 7. mittels Kalibrierdüse nach II. 5.
6. Überprüfung des Probanden mittels des Satzes Messblenden nach II. 4.
7. Überprüfung des Probanden mittels eines Atemreglers „Suunto Teno“ in den verschiedenen möglichen Einstellungen.
8. Überprüfung des Probanden mittels eines Atemreglers „Scubapro R. 190“ bei den verschiedenen möglichen Einstellungen und mit unterschiedlichen 1. Stufen. Letzteres auch zur Überprüfung des Probanden hinsichtlich der korrekten Behandlung von Überdruckspitzen bei realem Atemregler.
9. Überprüfung des Probanden mittels eines Atemreglers „Atomic Ti2 Titanium“ in den verschiedenen möglichen Einstellungen.
10. Kalibrierung der Referenzanlage nach II. 2. mittels Millibarmanometer nach II. 6.

11. Überprüfung der Kalibrierung des Gesamtsystems der Referenzanlage nach II. 2. gemäß II. 7. mittels Kalibrierdüse nach II. 5.
  12. Aufnahme Vergleichsmesswerte der Referenzanlage nach II. 2. mittels des Satzes Messblenden nach II. 4.
  13. Aufnahme Vergleichsmesswerte der Referenzanlage nach II. 2. mittels des nämlichen Atemreglers „Suunto Teno“ in den verschiedenen möglichen Einstellungen.
  14. Aufnahme Vergleichsmesswerte der Referenzanlage nach II. 2. mittels des nämlichen Atemreglers „Scubapro R 190“ bei den verschiedenen möglichen Einstellungen und unterschiedlichen 1. Stufen.
  15. Aufnahme Vergleichsmesswerte der Referenzanlage nach II. 2. mittels des nämlichen Atemreglers „Atomic Ti2 Titanium“ in den verschiedenen möglichen Einstellungen.
  16. Überprüfung des Probanden mittels einer Messreihe mit Kalibrierdüse nach II. 5. und Variation der Atemfrequenz.
  17. Überprüfung des Probanden hinsichtlich der korrekten Behandlung von Überdruckspitzen mittels willkürlich eingepägter Störungen.
  18. Überprüfung des Probanden mittels einer Messreihe mit Kalibrierdüse nach II. 5. und Variation des Atemzugsvolumens (AZV).
  19. Überprüfung der Kalibrierung des Gesamtsystems der Referenzanlage nach II. 3. gemäß II.7. mittels Kalibrierdüse nach II. 5.
  20. Aufnahme Vergleichsmesswerte der Referenzanlage nach II. 3. mittels des Satzes Messblenden nach II. 4.
  21. Aufnahme Vergleichsmesswerte der Referenzanlage nach II. 3. mittels des nämlichen Atemreglers „Scubapro R 190“ bei den verschiedenen möglichen Einstellungen und unterschiedlichen 1. Stufen.
  22. Aufnahme Vergleichsmesswerte der Referenzanlage nach II. 3. mittels des nämlichen Atemreglers „Atomic Ti2 Titanium“ in den verschiedenen möglichen Einstellungen.
- Zunächst gewissermaßen „außer Konkurrenz“ wurden am Beispiel des „Scubapro R 190“ vergleichende Messungen mit einer sogenannten „Luftfalle“ gemacht. Diese hat die Aufgabe, bei „flatternden“ Membranen der Atemregler (geschieht praktisch nur bei der Überprüfung an Luft) die Luftsäule zu beruhigen.

Die Verifizierung/Validierung der Messergebnisse des Probanden wurde in der späteren Auswertephase durch den Vergleich mit den Ergebnissen der Referenzgeräte nach II. 2. und II. 3. und/oder mittels theoretischer Berechnungen durchgeführt.

### III. Feststellungen

#### 1. Grundsätzliches

- Alle Informationen, die notwendig waren, um die gestellte Aufgabe zu lösen, wurden vorbehaltlos gegeben. Jede Anforderung hinsichtlich des Messprogramms gemäß der vorherigen Festschreibung, aber auch Änderungen und Ergänzungen wurden in der gebotenen Art und Weise verzögerungslos erfüllt.
- Es kann durch Beobachtung, durch Cross-Checks und die Übereinstimmung der Resultate mit unabhängigen theoretischen Modellen ausgeschlossen werden, dass an dem Probanden, den eingesetzten Prüf- und Messgeräten sowie den Referenzanlagen vor oder während der Überprüfung Manipulationen durchgeführt wurden, die das Überprüfungsergebnis - in welcher Weise auch immer - beeinflussen konnten.
- Über alle Messungen wurden EDV-Aufzeichnungen gemacht und Ausdrucke erstellt. Die EDV-Aufzeichnungen liegen bei den jeweiligen Messapparaturen.

Ein Satz Originalausdrucke befindet sich beim Auftragnehmer. Auf Basis dieser Ausdrucke wurden die späteren Auswertungen durchgeführt und die folgenden Feststellungen abgeleitet.

Die Originalausdrucke werden dieser Expertise nicht beigelegt, sondern verbleiben beim Auftragnehmer zur Archivierung als Beweismittel für die getroffenen gutachterischen Aussagen.

Dieser Expertise beigelegt werden

- Eine tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse (Anlage 1)
- die Berechnung zur Systemkalibrierung in Ableitung von der EN 250 (Anlage 2)
- eine Kurvendarstellung „Atemarbeit in Abhängigkeit vom Blendenquerschnitt“ im Vergleich mit Referenzanlagen und theoretischen Relativwerten (Anlage 3 a)
- eine Wertetabelle „Atemarbeit in Abhängigkeit vom Blendenquerschnitt“ im Vergleich mit theoretischen Absolutwerten (Anlage 3 b)
- eine Kurvendarstellung „Atemarbeit in Abhängigkeit von der Atemfrequenz  $f'$ “ im Vergleich mit theoretischen Relativwerten (Anlage 4)
- eine Kurvendarstellung „Atemarbeit in Abhängigkeit vom Atemzugsvolumen AZV“ im Vergleich mit theoretischen Relativwerten (Anlage 5)
- eine Grundlage der planimetrischen Verifizierung realer Atemreglerkurven (Anlage 6).



## 2. Feststellungen im Einzelnen

### a) Relevanz der Vergleiche

Die Vergleiche können als zuverlässig und relevant eingestuft werden, da die Anlagen untereinander nur bedingt oder gar keine gegenseitigen Abhängigkeiten in Hard- oder Software hatten.

- Proband <-> Referenzanlage nach II. 2.:  
Hardware prinzipiell unterschiedlich; Auswertesoftware gleich.
- Proband <-> Referenzanlage nach II. 3.:  
Hardware prinzipiell unterschiedlich; Auswertesoftware prinzipiell unterschiedlich.
- Referenzanlage nach II. 2. <-> Referenzanlage nach II. 3.:  
Hardware gleich; Auswertesoftware prinzipiell unterschiedlich.
  - Die grundsätzlichen Unterschiede im Hardwarebereich sind:
    - Beim Probanden der Antrieb der Lunge durch einen DC-Motor, Steuerung in Abhängigkeit einer Inkrementscheibe vorwärts/rückwärts und Übersetzung der Bewegung auf eine Spindel, auf der gedichtet die Kolbenplatte zur „Atmung“ läuft.
    - Bei den beiden Referenzmaschinen (II. 2./3.) ist der Antrieb ein netzfrequenzabhängiger AC-Motor, der eine einförmige Rotationsbewegung starr über eine Pleuelstange auf die Außenseite der Kolbenplatte überträgt. Hiermit sind daher Volumens- und Frequenzänderungen der „Atmung“ nicht (so ohne weiteres) möglich.
  - Die grundsätzlichen Unterschiede im Softwarebereich sind:
    - Beim Probanden und der Referenzmaschine nach II. 2. genuine Software der Fa. Infotech auf Windows xx-Basis.
    - Bei der Referenzmaschine nach II. 3. Software auf Basis der kommerziellen Software „Next View“ (BMC) unter DOS.

### b) Verifizierung der dargestellten Atemzugsvolumina

Auf eine explizite Nachrechnung der Atemzugsvolumina konnte verzichtet werden, da spätere Ergebnisse aus den Messungen mit Blenden-, AZV- und f-Variationen die Richtigkeit der dargestellten Volumina implizit bestätigten.

**c) Verifizierung der dargestellten Atemzugsvolumina**

Auf eine explizite Nachrechnung der Atemfrequenzen konnte verzichtet werden, da spätere Ergebnisse aus den Messungen mit Blenden-, AZV- und f-Variationen die Richtigkeit der dargestellten Frequenzen implizit bestätigten.

**d) Verifizierung der Messgenauigkeit absolut mit der Kalibrierdüse nach II. 5.**

Die Messgenauigkeit des Probanden liegt bei dieser Messung (2,5 l AZV,  $f = 25 \text{ Zyklen min}^{-1}$ ) deutlich innerhalb des Toleranzbandes von  $\pm 5 \%$  relativ zu den Referenzmessungen.

Die Messgenauigkeit des Probanden liegt im Absolutwert bei dieser Messung (2,5 l AZV,  $f = 25 \text{ Zyklen min}^{-1}$ ) mit nur  $\pm 1,82 \%$  Abweichung sehr dicht am theoretisch erwartbaren Wert (siehe Anlage 3 b).

**e) Verifizierung der Messgenauigkeit über größeren Strömungsdynamikbereich mit dem Messblendensatz nach II. 4.**

Ausgehend von der Validierung der Absolutwertmessungen folgen die Messwerte bei dieser Messung (2,5 l AZV,  $f = 25 \text{ Zyklen min}^{-1}$ ) hinreichend genau den Werten der Referenzmessungen und der theoretisch erwartbaren Abhängigkeit der Atemarbeit vom Blendenquerschnitt (Anlage 3 a).

Ausgehend von der Validierung der Absolutwertmessungen folgen die Messwerte bei dieser Messung mit 2,5 l AZV und  $f = 25 \text{ Zyklen min}^{-1}$  hinreichend genau den theoretisch erwartbaren Werten, wie sie sich in Ableitung aus der Forderung nach EN 250 errechnen (Anlage 3 b).

**f) Verifizierung der Messgenauigkeit über größeren Strömungsdynamikbereich mit Variation der Atemfrequenz**

Ausgehend von der Validierung der Absolutwertmessungen folgen die Messwerte bei dieser Messung sehr genau, d. h. deutlich innerhalb des Toleranzbandes von  $5 \%$ , der theoretisch erwartbaren Abhängigkeit der Atemarbeit von der Atemfrequenz (Anlage 4).

**g) Verifizierung der Messgenauigkeit über größeren Strömungsdynamikbereich mit Variation des Atemzugsvolumens**

Ausgehend von der Validierung der Absolutwertmessungen folgen die Messwerte bei dieser Messung sehr genau, d. h. deutlich innerhalb des Toleranzbandes von  $5 \%$ , der theoretisch erwartbaren Abhängigkeit der Atemarbeit vom Atemzugsvolumen (Anlage 5).



**h) Verifizierung der Mess- und Rechengenauigkeit sowie der korrekten Behandlung komplexer Kurvencharakteristiken realer Atemregler**

Diese konnte zum einen mittels der Referenzdaten und zum anderen mittels planimetrischer Nachmessung der Kurven als hinreichend genau, d. h. deutlich innerhalb des Toleranzbandes von 5 %, verifiziert werden (Anlage 6).

**i) Verifizierung der Mess- und Rechengenauigkeit sowie der korrekten Behandlung von positiven Atemdruckspitzen in der Phase der Einatmung**

Die Mess- und Rechengenauigkeit konnte mittels planimetrischer Nachmessung der Kurven als hinreichend genau verifiziert werden (siehe ebenfalls Anlage 6).

Die korrekte Behandlung konnte mittels der willkürlich eingepprägten Störungen verifiziert werden.

Allerdings waren die gemessenen positiven Druckspitzen sehr gering in Höhe und Dauer, so dass vor Einsatz von Pressure Guard in der Druckkammer und/oder im Wasserbad, wo deutlich höhere positive Druckspitzen zu erwarten sind, deren korrekte Berechnung und Behandlung nach allen Facetten der EN 250 nochmals zu verifizieren ist.

**j) Verifizierung der Mess- und Rechengenauigkeit sowie der korrekten Behandlung von positiven Atemdruckspitzen in der Phase der Einatmung**

Die versuchsweise eingeführte Luftfalle zeigte die gewünschte Wirkung; d. h. die durch das Flattern des Atemreglers auftretenden schnellen Druckspitzen wurden unterdrückt.

Der Einfluss der Luftfalle auf Kurvencharakteristik, Spitzendrücke ein/aus und die errechneten Ergebnisse für die Atemarbeit bzw. die positive Druckspitze im Einatemzyklus lag innerhalb des 5 %-Toleranzbandes.

Allerdings wurde diese Wirkung nur an einem Beispiel gemessen. Der Einfluss der Luftfalle muss noch durch eine qualifizierende Messreihe abgesichert werden, bevor diese - ggf. nach Korrektur im Berechnungsalgorithmus - in der Serie eingesetzt werden kann.

## **IV. Schlussfolgerungen**

Aus den bei den oben festgehaltenen detaillierten Untersuchungen gewonnenen Feststellungen und auf der unter „Grundlagen“ benannten Basis können nunmehr folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

Es konnte gezeigt werden, dass dynamische Leistungsmessungen bei Atemreglern an Luft mit dem Probanden hinsichtlich

- Genauigkeit der Druckverlaufsmessung,
- Reproduzierbarkeit der Druckverlaufsmessung,
- Folgegeschwindigkeit des Messverfahrens bei dynamischen Druckwechseln,
- Genauigkeit der Atemarbeitsberechnung,
- Reproduzierbarkeit der Atemarbeitsberechnung,
- Messung und Berechnung positiver Druckspitzen im Einatemzyklus und
- normkonformer Behandlung positiver Druckspitzen im Einatemzyklus

zuverlässig und sicher innerhalb eines Toleranzbereichs von +/- 5 % durchgeführt werden können.

Das Messprogramm und die Verifizierung der Ergebnisse orientierten sich so eng wie möglich an den entsprechenden Vorgaben der einschlägigen Paragraphen der EN 250 in ihrer derzeit gültigen Fassung vom März 2000.

Damit steht aus messtechnischer Sicht einer Inverkehrbringung von Seriengeräten „Pressure Guard“, konzipiert und gefertigt gemäß dem überprüften Probanden (Baumuster) als Mess- und Prüfanlage zur bestimmungsgemäßen gewerblichen Nutzung, d. h. der Überprüfung von Atemreglern nach II. 1. a), nichts entgegen.

Dies bezieht sich auch - nach entsprechender Validierung - auf den Einsatz der „Luftfalle“ in der Serie.

Konstruktive Merkmale hinsichtlich Mechanik, Elektrik, Leistungs- und Steuerelektronik sowie die Steuer- und Auswertesoftware waren nicht Gegenstand der Überprüfung. Allein die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen waren Gegenstand der Überprüfung, nicht, wie diese technisch realisiert wurden.

Erfordernisse, wie beispielsweise die Verpflichtung zur Einhaltung von Sicherheitsrichtlinien nach MaschRiLi, VDE, etc. sind durch die vorgelegte Expertise daher unberührt. Sie ist insbesondere *keine Zertifizierung* nach DIN, EN, ISO oder Ersatz für eine ggf. erforderliche *CE- oder vergleichbare Kennzeichnung*.

Besonderes Potenzial bieten Besonderheiten von „Pressure Guard“, wie z. B. die Möglichkeit, Atemfrequenzen und/oder Atemzugvolumina innerhalb physiologisch vernünftiger Grenzen zuverlässig zu variieren. Hieraus können sich durchaus über das derzeit unmittelbar zu bedienende Marktsegment hinaus Applikationen ergeben.

Soweit es aber Anwendungen nach II. 1. b) und c) anlangt, ist seitens des Auftraggebers vor deren Realisierung und In Verkehrbringung zu prüfen, in wieweit die vorliegende Expertise dies sachlich und inhaltlich abdeckt.




## V. Zusammenfassung

Würdigt man die oben genannten Sachverhalte, sind Pressure Guard-Systeme, die nach dem geprüften Baumuster konzipiert und gefertigt werden, - nach deren entsprechender Validierung - auch mit „Luftfalle“, aus messtechnischer Sicht für die bestimmungsgemäße Nutzung bei der Überprüfung von Atemreglern uneingeschränkt einsetzbar.

Soweit es Applikationen anlangt, die an die Geräte und die Messtechnik/Datenauswertung neue, zusätzliche oder erweiterte Anforderungen stellen, ist vor deren Realisierung und Inverkehrbringung zu prüfen, in wieweit die vorliegende Expertise dies sachlich und inhaltlich abdeckt.

÷

Diese Expertise wurde von mir nach den Regeln der Kunst, mit dem erforderlichen Sachverstand und mit der gebotenen Sorgfalt in uneingeschränkter Unabhängigkeit nach den Vorgaben der Sachverständigenordnung sowie nach bestem Wissen und Gewissen erstellt.

  
Stutensee-Büchig den 15.03.2002  
Dr. Dietmar Berndt



Validierungsmessungen - Zusammenfassung

Lfd. Nr.	Prüfgerät	Bedingungen	Prüfband										Regulator Control mit Infotech-Software										Regulator Control mit DOS-Software										Bemerkungen
			MD min [bar]	MD max [bar]	p ein [mbar]	p aus [mbar]	W ein [l/j]	W aus [l/j]	W pos [l/j]	W ges [l/j]	MD min [bar]	MD max [bar]	p ein [mbar]	p aus [mbar]	W ein [l/j]	W aus [l/j]	W pos [l/j]	W ges [l/j]	MD min [bar]	MD max [bar]	p ein [mbar]	p aus [mbar]	W ein [l/j]	W aus [l/j]	W pos [l/j]	W ges [l/j]							
1	Var. Meßblende	14,0 mm			2,90	2,90	0,70	0,80	0,041	0,052	0,190	0,190	0,380			3,30	3,00	0,190	0,190	0,380			2,60	2,80	0,338	0,338	ist-Mat.: 14,06 mm						
2	Regelblende	12,8 mm			4,20	4,20	1,50	1,60	0,098	0,105	0,270	0,280	0,550			4,60	4,40	0,270	0,280	0,550			4,00	4,20	0,498	0,498	ist-Mat.: 12,45 mm						
3	Var. Meßblende	12,5 mm			4,70	4,60	2,80	2,70	0,170	0,184	0,300	0,310	0,610			5,10	4,90	0,300	0,300	0,600			4,40	4,65	0,538	0,538	ist-Mat.: 12,80 mm						
4	Var. Meßblende	10,0 mm			10,90	11,30	6,00	5,90	0,400	0,390	0,730	0,750	1,480			12,20	12,30	0,730	0,760	1,480			10,20	11,60	1,308	1,308	ist-Mat.: 10,02 mm						
5	Var. Meßblende	8,5 mm			20,60	21,20	10,60	10,20	0,700	0,680	1,410	1,400	2,810			22,20	15,80	1,380	1,200	2,580			19,10	21,90	2,473	2,473	ist-Mat.: 8,51 mm						
6	Var. Meßblende	7,0 mm			29,40	29,20	16,00	15,80	0,900	0,880	1,800	1,780	3,600			30,40	22,00	1,800	1,600	3,200			16,40	18,80	3,008	3,008	ist-Mat.: 7,02 mm						
7	Regelblende	AZV = 1,0 l			0,70	0,80	0,70	0,80	0,041	0,052	0,190	0,190	0,380			3,30	3,00	0,190	0,190	0,380			2,60	2,80	0,338	0,338							
8	Regelblende	AZV = 1,5 l			1,50	1,60	1,50	1,60	0,098	0,105	0,270	0,280	0,550			4,60	4,40	0,270	0,280	0,550			4,00	4,20	0,498	0,498							
9	Regelblende	AZV = 2,0 l			2,80	2,70	2,80	2,70	0,170	0,184	0,300	0,310	0,610			5,10	4,90	0,300	0,300	0,600			4,40	4,65	0,538	0,538							
10	Regelblende	AZV = 2,5 l			4,20	4,10	4,20	4,10	0,275	0,271	0,545	0,545	1,090			9,10	8,50	0,545	0,545	1,090			8,00	8,60	1,388	1,388							
11	Regelblende	Zykluszeit = 5,0 s			1,00	1,00	1,00	1,00	0,060	0,070	0,130	0,130	0,260			1,30	1,30	0,130	0,130	0,260			1,00	1,00	0,200	0,200							
12	Regelblende	Zykluszeit = 4,0 s			1,60	1,50	1,60	1,50	0,100	0,100	0,200	0,200	0,400			2,00	2,00	0,200	0,200	0,400			1,60	1,60	0,320	0,320							
13	Regelblende	Zykluszeit = 3,0 s			2,70	2,70	2,70	2,70	0,170	0,180	0,350	0,350	0,700			3,50	3,50	0,350	0,350	0,700			2,70	2,70	0,540	0,540							
14	Regelblende	Zykluszeit = 2,4 s			4,20	4,10	4,20	4,10	0,280	0,270	0,550	0,550	1,100			5,50	5,50	0,550	0,550	1,100			4,20	4,20	0,840	0,840							
15	Regelblende	Zykluszeit = 2,0 s			6,00	5,90	6,00	5,90	0,400	0,390	0,790	0,790	1,580			7,90	7,90	0,790	0,790	1,580			6,00	6,00	1,180	1,180							
16	Regelblende	Zykluszeit = 1,5 s			10,60	10,20	10,60	10,20	0,700	0,680	1,380	1,380	2,760			1,380	1,380	1,380	1,380	2,760			10,60	10,20	1,760	1,760							
17	Scuba R 190	Klappe: max	8,6	9,3	5,80	4,70	10,60	10,20	0,700	0,680	1,380	1,380	2,760			1,380	1,380	1,380	1,380	2,760			10,60	10,20	1,760	1,760							
18	Scuba R 191	Klappe: min	8,6	9,4	5,30	5,10	10,20	10,20	0,610	0,410	1,020	1,020	2,040			1,020	1,020	1,020	1,020	2,040			10,20	10,20	1,020	1,020							
19 a	Scuba R 192	Klappe: max	10,1	11,1	4,40	16,30	?	0,160	0,380	0,020	0,540	0,540	1,080			1,080	1,080	1,080	1,080	2,160			10,1	11,1	1,080	1,080							
19 b	Scuba R 190	Mit Luftföhrle, Klappe: max	10,2	10,9	4,30	4,50	0,65	0,190	0,370	0,010	0,550	0,550	1,100			1,100	1,100	1,100	1,100	2,200			10,2	10,9	1,100	1,100							
20	Scuba R 193	Klappe: min. (MD = 9,5 bar)	10,2	10,9	4,30	4,50	0,65	0,190	0,370	0,010	0,550	0,550	1,100			1,100	1,100	1,100	1,100	2,200			10,2	10,9	1,100	1,100							
21	Suunto Teno	Klapp +, Widerst. min	8,9	9,5	5,50	4,10	10,60	10,20	0,700	0,680	1,380	1,380	2,760			1,380	1,380	1,380	1,380	2,760			10,60	10,20	1,760	1,760							
22	Suunto Teno	Klapp -, Widerst. min	8,9	9,6	7,80	4,10	10,60	10,20	0,700	0,680	1,380	1,380	2,760			1,380	1,380	1,380	1,380	2,760			10,60	10,20	1,760	1,760							
23	Suunto Teno	Klapp +, Widerst. max	8,9	9,5	12,10	4,10	10,60	10,20	0,700	0,680	1,380	1,380	2,760			1,380	1,380	1,380	1,380	2,760			10,60	10,20	1,760	1,760							
24	Suunto Teno	Klapp -, Widerst. max	8,9	9,5	10,50	4,10	10,60	10,20	0,700	0,680	1,380	1,380	2,760			1,380	1,380	1,380	1,380	2,760			10,60	10,20	1,760	1,760							
25	Atomic Ti.2	Widerst. min	10,2	10,9	2,69	4,90	10,60	10,20	0,700	0,680	1,380	1,380	2,760			1,380	1,380	1,380	1,380	2,760			10,60	10,20	1,760	1,760							
26	Atomic Ti.2	Widerst. max	10,2	10,8	4,50	4,90	10,60	10,20	0,700	0,680	1,380	1,380	2,760			1,380	1,380	1,380	1,380	2,760			10,60	10,20	1,760	1,760							
27	Regelblende	"Pos" Spitze durch Verschiebung			4,20	4,10	4,20	4,10	0,200	0,271	0,277	0,277	0,277			0,277	0,277	0,277	0,277	0,277			4,20	4,10	0,277	0,277							
28	Regelblende	"Pos" Spitze Recheneingprägung			4,20	4,10	4,20	4,10	1,00	0,208	0,271	0,024	0,479			0,479	0,479	0,479	0,479	0,479			4,20	4,10	0,479	0,479							

Eingangsleistung = 1 sec.

Anlage 1

## Anlage 2

Microsoft Excel - Sinus\_25

Daten Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras D-Info Dialog Fenster

F4 W Ideal [10]

	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>Berechnung der Atemarbeit am idealen Sinus</b>						
2							
3			Eingabe p max.	25,00 mbar	Nach EN 250 auf 50 m (6 bar abs)		
4	Zeit [PI]	Sinus	Volumen	p ideal	W Ideal [10]		
97	1,44513262	0,992114701	1,1500000	24,8028675	0,03097091		
98	1,46084058	0,993960955	1,1625000	24,8490239	0,03103243		
99	1,47654855	0,995561965	1,1750000	24,8890491	0,0310863		
100	1,49225651	0,996917334	1,1875000	24,9229333	0,03113249		
101	1,50796447	0,998026728	1,2000000	24,9506682	0,031171		
102	1,52367244	0,998889875	1,2125000	24,9722469	0,03120182		
103	1,5393804	0,99950656	1,2250000	24,987664	0,03122494	Atemarbeit in J	Relative Atemarbeit in J/l für Vollwelle, also: 4xAtemarbeit Viertelwelle/2,5l Atemvolumen <b>3,30</b>
104	1,55508836	0,999876632	1,2375000	24,9969158	0,03124036	für Viertelwelle	
105	1,57079633	1	1,2500000	25,0000000	0,03124807	2,060019436	(Integrationsfehler ca. 0,35% korrigiert)
106							
107							
108							
109							
110							
111							
112							
113							
114							
115							
116							
117							
118							

Zichnen - AutoFormen - Bereit

Microsoft Excel - Sinus\_25

Daten Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras D-Info Dialog Fenster

G109

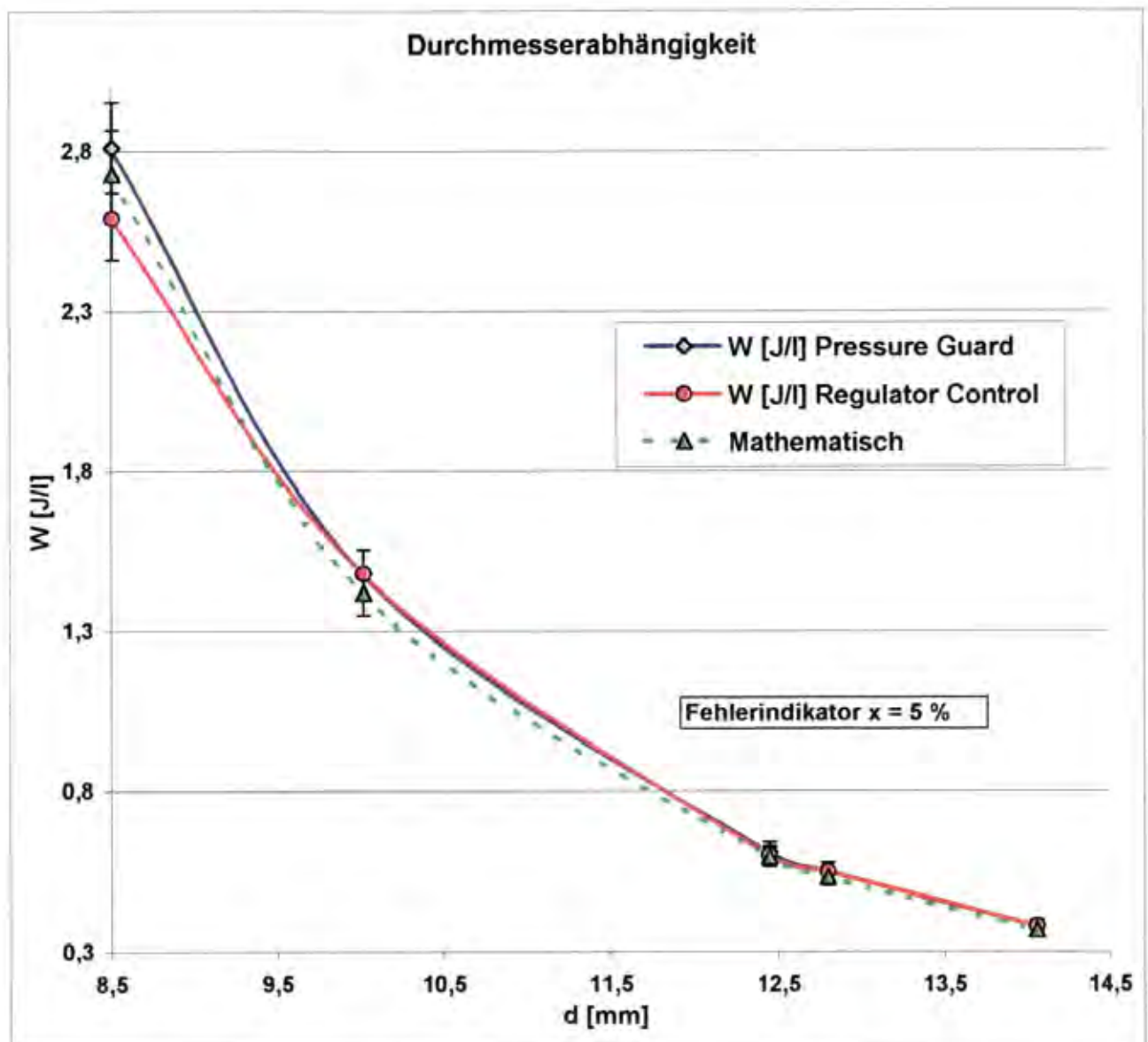
	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>Berechnung der Atemarbeit am idealen Sinus</b>						
2							
3			Eingabe p max.	4,17 mbar	von EN 250 abgeleitet: -> 0 m (1 bar abs)		
4	Zeit [PI]	Sinus	Volumen	p ideal	W Ideal [10]		
98	1,46084058	0,993960955	1,1625000	4,14150401	0,00517207		
99	1,47654855	0,995561965	1,1750000	4,14817489	0,00518105		
100	1,49225651	0,996917334	1,1875000	4,15382226	0,00518875		
101	1,50796447	0,998026728	1,2000000	4,15844474	0,00519517		
102	1,52367244	0,998889875	1,2125000	4,16204118	0,0052003		
103	1,5393804	0,99950656	1,2250000	4,1646107	0,00520416	Atemarbeit in J	Relative Atemarbeit in J/l für Vollwelle, also: 4xAtemarbeit Viertelwelle/2,5l Atemvolumen <b>0,56</b>
104	1,55508836	0,999876632	1,2375000	4,16615267	0,00520673	für Viertelwelle	
105	1,57079633	1	1,2500000	4,1666667	0,00520801	0,343336575	(Integrationsfehler ca. 0,35% korrigiert)
106							
107							
108							
109							
110							
111							
112							
113							
114							
115							
116							
117							
118							
119							

Zichnen - AutoFormen - Bereit



**Atemarbeit = f(Durchmesser)**

d [mm]	W [J/l] Pressure Guard	W [J/l] Regulator Control	Mathematisch
7,02			
8,51	2,81	2,59	2,73
10,02	1,48	1,48	1,42
12,45	0,61	0,6	0,60
12,80	0,55	0,55	0,53
14,06	0,38	0,38	0,37



$$\begin{aligned}
 W &\propto E_{\text{kin}} = (m/2) \times v^2 \\
 v &\propto 1/A \propto 1/d^2 \\
 \rightarrow W &\propto (1/d^2)^2 \propto 1/(d^4)
 \end{aligned}$$



Anlage 3 b

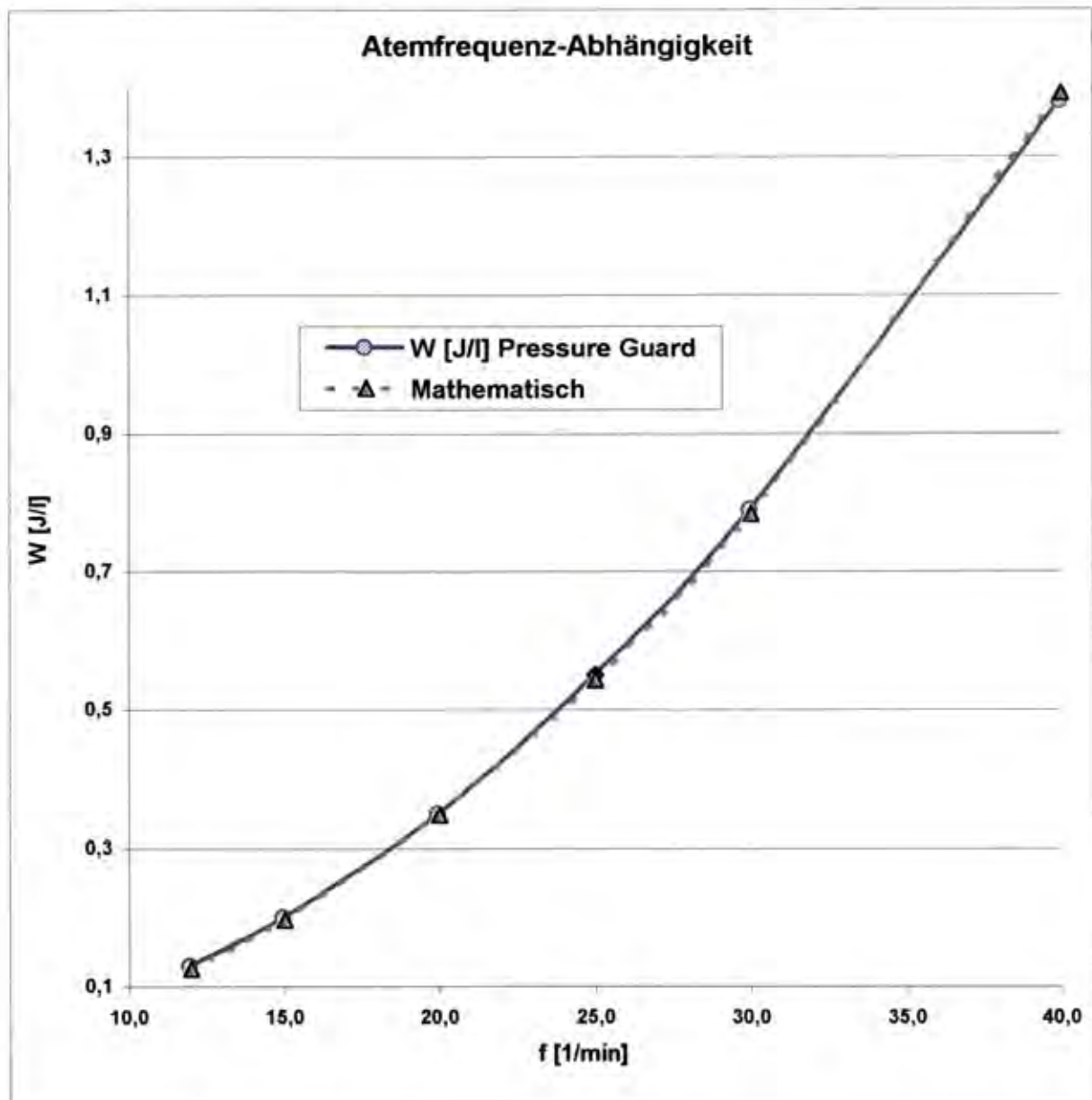
Praxis-Theorievergleich p <-> W

Blende d [mm]	Ist					Soll					Abweichung		
	p ein [mbar]	p aus [mbar]	W ein [J/l]	W aus [J/l]	W ges. [J/l]	W ein [J/l]	W aus [J/l]	W ges [J/l]	W ein [%]	W aus [%]	W ges [%]		
14	2,900	2,900	0,190	0,190	0,380	0,1910	0,1910	0,3820	-0,52	-0,52	-0,52		
12,8	4,200	4,200	0,270	0,280	0,550	0,2750	0,2750	0,5500	-1,82	1,82	0,00		
12,5	4,700	4,600	0,300	0,310	0,610	0,3100	0,3030	0,6130	-3,23	2,31	-0,49		
10	10,900	11,300	0,730	0,750	1,480	0,7190	0,7450	1,4640	1,53	0,67	1,09		

Normblende

### Atemarbeit = f(f)

1/f [s]	f [1/min]	W [J/l] Pressure Guard	Mathematisch
5,0	12,0	0,130	0,125
4,0	15,0	0,200	0,196
3,0	20,0	0,350	0,348
2,4	25,0	0,550	0,543
2,0	30,0	0,790	0,783
1,5	40,0	1,380	1,391

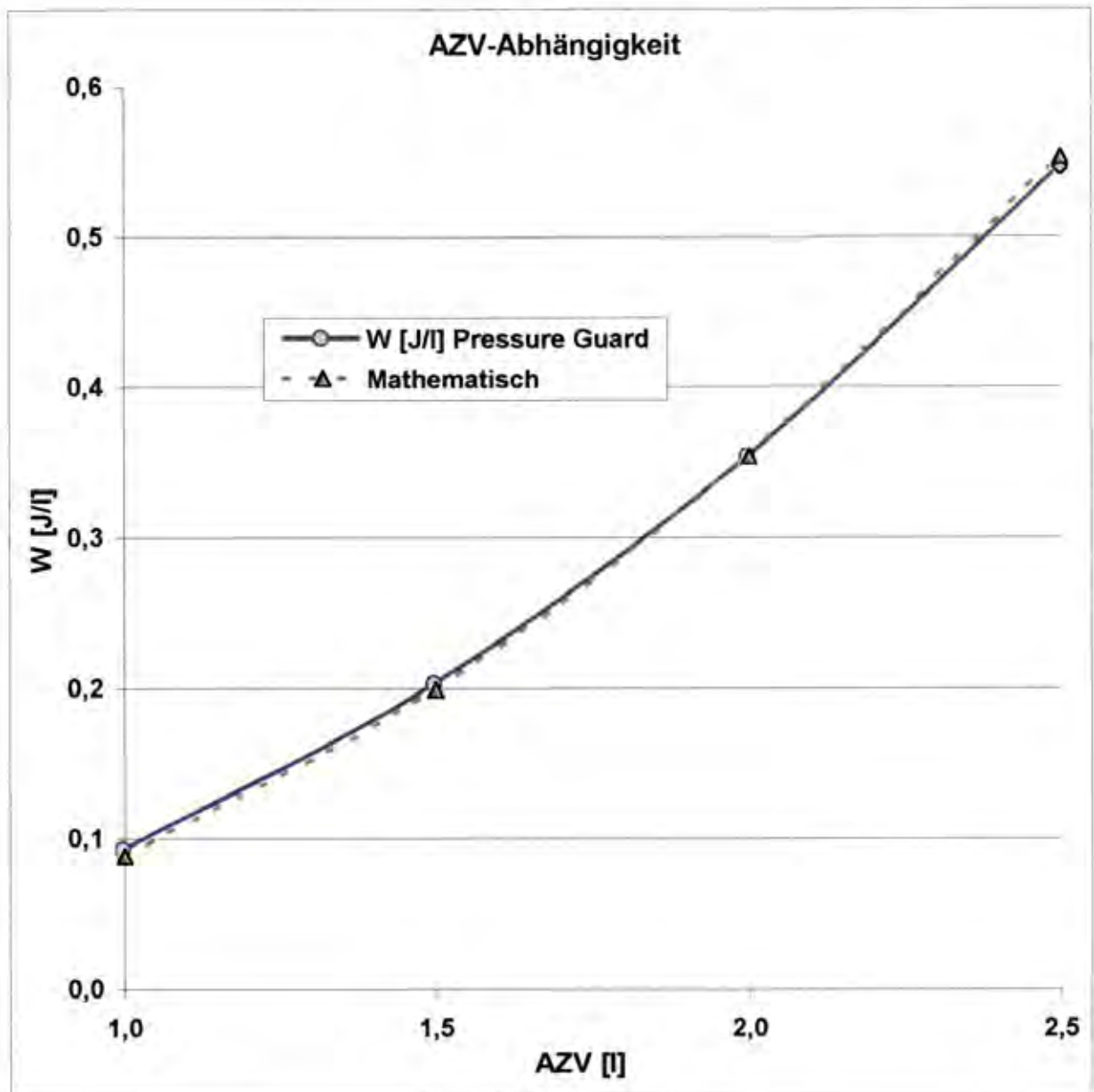


$$W \propto E_{\text{kin}} = (m/2) \times v^2$$
$$v \propto f$$
$$\rightarrow W \propto f^2$$

Anlage 5

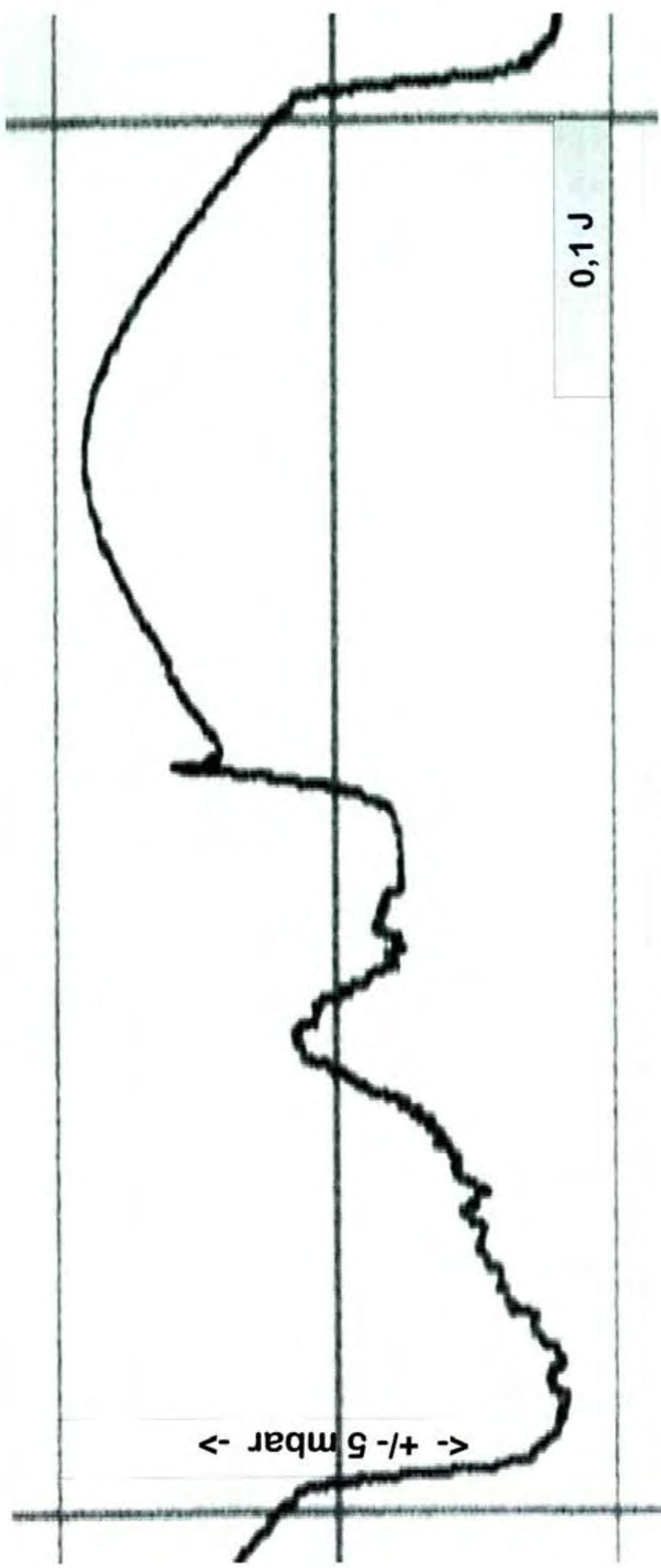
Atemarbeit = f(AZV)

AZV [l]	W [J/l] Pressure Guard	Mathematisch
1,0	0,093	0,088
1,5	0,203	0,199
2,0	0,354	0,354
2,5	0,546	0,553



$$W \propto E_{\text{kin}} = (m/2) \times v^2$$
$$v \propto \text{AZV}$$
$$\rightarrow W \propto \text{AZV}^2$$





<- 2 x 2,5 l ->

<- +/- 5 mbar ->