

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Institut für Rechtsmedizin  
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. B. Brinkmann -

**Vergleichende Untersuchungen zwischen Blutalkoholkonzentration und  
Atemalkoholkonzentration mit dem Alcotestgerät 7110 Evidential**

INAUGURAL - DISSERTATION  
zur  
Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von  
Dr. rer. nat. Eva Cramer, geb. Bovenschulte  
aus Ibbenbüren  
2005

gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-  
Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. H. Jürgens

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. B. Brinkmann

2. Berichterstatter: Prof. Dr. U. Mußhoff

Tag der mündlichen Prüfung: 30.06.2005

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Institut für Rechtsmedizin  
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. B. Brinkmann -  
Referent: Univ. Prof. Dr. B. Brinkmann  
Koreferent: Prof. Dr. U. Mußhoff

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Vergleichende Untersuchungen zwischen Blutalkoholkonzentration und  
Atemalkoholkonzentration mit dem Alcotestgerät 7110 Evidential

Dr. rer. nat. Cramer, Eva

In einer experimentellen Studie wurden 239 Wertepaare, bestehend aus zeitgleichen Blutalkoholkonzentrationen (BAK) und Atemalkoholkonzentrationen (AAK) erhoben. Die statistische Auswertung der Daten führte zu einer mittleren Paardifferenz (BAK - AAK-Analogwert) von  $\mu = 0,01671 \text{ ‰}$  und einer Streuung von  $\sigma = 0,08461 \text{ ‰}$ . Die höchsten Paardifferenzen betragen  $- 0,30 \text{ ‰}$  und  $+ 0,26 \text{ ‰}$ . Die Paardifferenzen sind unabhängig von der Alkoholkonzentration. Im gesamten forensischen Konzentrationsbereich ist mit einer Streuung von  $\pm 0,30 \text{ ‰}$  zu rechnen.

Die Präzision und Richtigkeit der angewandten Messmethoden wurden untersucht. Sowohl für die Blutalkoholbestimmung als auch für die Atemalkoholbestimmung ergab sich für Präzision und Richtigkeit ein ausgezeichnetes Ergebnis, wobei die Richtigkeit der Atemalkoholbestimmung aufgrund nicht zur Verfügung stehender Testlösungen nur eingeschränkt beurteilt werden konnte.

Die Auswertung des Datenmaterials in Hinblick auf den BAK/AAK-Quotienten, welcher nach einem BGA-Gutachten von 1992 bei 2100 l/kg liegt, ergab nahezu eine Normalverteilung des Quotienten mit einem Mittelwert von 2142 l/kg und einer Streuung von  $s = 164 \text{ l/kg}$ . Die Schwankungsbreite des Quotienten lag zwischen 1528 und 2605 l/kg.

Der BAK/AAK-Quotient sollte ein von Variablen unabhängiger Wert sein. Die Untersuchungen ergaben aber eine Abhängigkeit von der Zeit nach Trinkende, vom Alkoholisierungsgrad und vom Alter. Eine geschlechtsspezifische Abhängigkeit ist nicht zu beobachten.

Tag der mündlichen Prüfung: 30.06.2005

*Für Edwin, Felix und Jonas*

# INHALTSVERZEICHNIS

	<b>Seite</b>
<b>Formelsammlung</b>	
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Physiologische und physikalische Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1. Resorption, Verteilung und Elimination des Alkohols im Körper	3
2.2. Atemphysiologische Grundlagen	6
2.3. Physikalische Grundlagen	7
<b>3. BGA-Gutachten</b>	<b>10</b>
<b>4. AAK – BAK Vergleichsuntersuchungen mit dem „beweissicheren“ Alcotestgerät 7110 Evidential</b>	<b>13</b>
4.1. Material und Methoden	13
4.1.1. Bestimmung der Atemalkoholkonzentration (AAK)	13
4.1.2. Bestimmung der Blutalkoholkonzentration	14
4.1.3. Probanden und Versuchsablauf	15
4.1.4. Bestimmung des Wassergehaltes in Vollblutproben	16
4.2. Ergebnisse	17
4.3. Diskussion	24

<b>5.</b>	<b>Untersuchung der Präzision und Richtigkeit der angewandten Messmethoden</b>	<b>26</b>
5.1.	Analyse der Blutproben	26
5.1.1.	Die Gaschromatographie	26
5.1.1.1.	Kalibrierung des Gaschromatographen	26
5.1.1.2.	Präzision der gaschromatographischen Methode	30
5.1.1.3.	Richtigkeit der gaschromatographischen Methode	33
5.1.2.	Vergleich der GC-Methode mit der ADH-Methode	40
5.1.3.	Präzision des Mittelwertes aus den vier Einzelbestimmungen	43
5.1.4.	Zusammenfassung	45
5.2.	Analyse der Atemproben	47
5.2.1.	Messpräzision und Richtigkeit des Alcotestgerätes 7110 Evidential	47
5.2.1.1.	Vergleich von IR <sub>2</sub> und EC <sub>2</sub>	47
5.2.1.2.	Vergleich von IR <sub>1</sub> und EC <sub>2</sub>	49
5.2.2.	Präzision des Mittelwertes aus IR <sub>1</sub> und EC <sub>2</sub>	51
<b>6.</b>	<b>Untersuchung der Variabilität des BAK/AAK-Quotienten</b>	<b>54</b>
6.1.	Das BAK/AAK-Verhältnis in Relation zur Zeit nach Trinkende	54
6.1.1.	Auswertung der Daten pro Proband	55
6.1.2.	Auswertung der Daten pro Versuchstag	58
6.1.3.	Auswertung der Daten insgesamt	61
6.2.	Untersuchung anderer Abhängigkeiten	65
6.2.1.	Abhängigkeit des BAK/AAK-Quotienten vom Alkoholisierungsgrad	65
6.2.2.	Alters- und geschlechtsspezifische Abhängigkeit des BAK/AAK-Quotienten	67
6.3.	Verteilung des BAK/AAK-Quotienten	71

<b>7.</b>	<b>Betrachtung der juristisch relevanten Grenzbereiche</b>	<b>73</b>
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>79</b>
<b>9.</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>82</b>
	<b>Anhang</b>	<b>84</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>102</b>



## FORMELSAMMLUNG

- Ficksches Gesetz (S. 3):

$$\vec{J}_A = -D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta x} \quad [1]$$

$\vec{J}_A$  : Diffusionsfluß

$D_{AB}$  : Diffusionskoeffizient

$C_A$  : Konzentration [A]

$x$  : Strecke

- Henry-Daltonsches Gesetz (S. 8):

$$p_i = kx_i^{fl} \quad [2]$$

$p_i$  : Partialdruck [i]

$k$  : Löslichkeitskoeffizient

$x_i^{fl}$  : Molenbruch [i]

- lineare Geradengleichung (S. 27):

$$y = a + bx \quad [3]$$

- linearer Korrelationskoeffizient  $r$  (S. 29):

$$r = \frac{\sum X_i Y_i}{\sqrt{\sum X_i^2 \cdot \sum Y_i^2}} \quad [4]$$

$$X_i = x_i - \bar{x}$$

$$Y_i = y_i - \bar{y}$$

- Reststandardabweichung  $s_{y,x}$  (S. 30):

$$s_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - bx_i)^2}{n-1}} \quad [5]$$

- Verfahrensstandardabweichung  $s_{x0}$  (S. 32):

$$s_{x0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - b_x y_i)^2}{n-1}} \quad [6]$$

- Standardabweichung  $s_x$  (S. 33):

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{soll})^2}{n}} \quad [7]$$

- Prüfgröße  $PG_F$  (S. 34):

$$PG_F = \left( \frac{s_x}{s_{x0}} \right)^2 \quad [8]$$

- Prüfgröße  $PG_t$  (S. 37):

$$PG_t = \frac{|\bar{x} - x_{soll}|}{s_{x0}} \sqrt{n} \quad [9]$$

- Standardabweichung der Steigung  $s_b$  (S. 42):

$$s_b = s_{y.x} \cdot \frac{1}{\sqrt{Q_x}} \quad [10]$$

$$\text{mit } Q_x = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad [11]$$

- Standardvarianz  $s_i^2$  (S. 43):

$$s_i^2 = \frac{(x_{i1} - X_i)^2 + (x_{i2} - X_i)^2 + (y_{i1} - X_i)^2 + (y_{i2} - X_i)^2}{n-1} \quad [12]$$

- Standardabweichung  $s_i$  (S. 43):

$$s_i = \sqrt{\frac{(x_{i1} - X_i)^2 + (x_{i2} - X_i)^2 + (y_{i1} - X_i)^2 + (y_{i2} - X_i)^2}{n-1}} \quad [13]$$

- Standardabweichung  $s_i$  (S. 51):

$$s_i = \sqrt{\frac{(IR_{i1} - X_i)^2 + (EC_{i2} - X_i)^2}{n-1}} \quad [14]$$

- Prüfgrösse  $t$  des Korrelationskoeffizienten  $r$  (S. 57):

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \quad [15]$$

## 1. Einleitung

Alkohol im Straßenverkehr gehört neben nicht angepasster Geschwindigkeit, Nichtbeachtung der Vorfahrt und ungenügendem Sicherheitsabstand zu den Hauptunfallursachen. Eine exakte Feststellung des Alkoholisierungsgrades der Verkehrsteilnehmer ist deshalb von forensischer Bedeutung bei der Beurteilung der Fahrtüchtigkeit.

In Deutschland war bisher die Blutalkoholbestimmung das alleinig zugelassene Verfahren vor Gericht. Mit der Neufassung des § 24 a StVG (1), verkündet am 30.04.1998, wurden zwei wesentliche Neuregelungen getroffen (2,3). Zum einen wurde neben dem bisherigen Gefahrengrenzwert von 0,80 ‰ Blutalkoholkonzentration (BAK) ein weiterer, niedrigerer Grenzwert von 0,50 ‰ BAK eingeführt. Zum anderen wurde die seit vielen Jahren kontrovers diskutierte Atemalkoholmessung als Grundlage für eine Verurteilung wegen ordnungswidriger Teilnahme am motorisierten Straßenverkehr unter Alkoholeinfluss zugelassen.

Die Aufnahme der Atemalkoholgrenzwerte als gesetzliche Tatbestandsmerkmale in das Gesetz ist heftig umstritten, da aus Sicht der Kritiker die Blutalkoholkonzentrationsbestimmung bis dato die einzige Methode ist, die die geforderten Maßstäbe zu liefern im Stande ist. Die Befürworter der Atemalkoholkonzentrationsbestimmung führen dagegen an, dass durch die Einführung derselben eine bessere Überwachung des Straßenverkehrs, eine relative Einsparung von Personal und Kosten und die Wahrung der körperlichen Unversehrtheit möglich ist.

Die Geschichte der quantitativen Atemalkoholanalyse beginnt bereits Mitte des 18. Jahrhunderts (4,5,6). *Harger* (7) entwickelte 1931 das erste Gerät zur Atemalkoholbestimmung, welches mit Kaliumpermanganat-Schwefelsäurelösung als Reagenz arbeitete. Es folgten Geräte von *Jetter et al.* 1941 (8), *Greenberg* und *Keator* 1941 (9) und *Borkenstein* 1957 (10). Das Prinzip dieser Geräte beruht auf einer Oxidation des Ethanol zu Essigsäure, wobei als Reagenzien Kaliumpermanganat-Schwefelsäurelösung, Jodpentoxyd oder

Kaliumdichromat eingesetzt wurden. Auch moderne Geräte (11) zur Atemalkoholbestimmung arbeiten z.T. nach diesem Redox-Prinzip. Sie bedienen sich dabei elektrochemischer Oxidationsverfahren auf der Basis der Brennstoffzelle. Daneben werden andere Verfahren wie die Gaschromatographie, die Infrarotspektroskopie und der Halbleitersensoren eingesetzt.

In den letzten Jahren wurden Messgeräte zur Bestimmung der Atemalkoholkonzentration (AAK) entwickelt und getestet, die sich auch für den Einsatz in der Praxis eignen sollen (12-21).

Basierend auf dem Gutachten „Beweissicherheit der Atemalkoholanalyse“ des damaligen Bundesgesundheitsamtes von 1992 (22) entwickelte die Fa. Dräger AG das Atemalkoholmessgerät „Alcotest 7110 Evidential“, das den Anforderungen der Beweissicherheit genügen soll.

In der vorliegenden Arbeit werden die Trinkversuche, die an der Universität Münster mit einem Prototyp des Gerätes „Alcotest 7110 Evidential“ durchgeführt wurden, beschrieben und ausgewertet.

## 2. Physiologische und physikalische Grundlagen

### 2.1. Resorption, Verteilung und Elimination des Alkohols im Körper

Oral aufgenommenes Ethanol wird zu 20 % über die Magenschleimhaut und zu 80 % über den Dünndarm resorbiert. Die *Resorption* erfolgt durch passive Diffusion. Die Geschwindigkeit der Alkoholaufnahme hängt dabei von folgenden Faktoren ab (23):

- Zunächst bedingt die Schnelligkeit der Magenentleerung die Alkoholaufnahme. Sie wird entscheidend vom Fettgehalt der zu sich genommenen Lebensmittel beeinflusst. Fett hemmt die Magensaftproduktion und die Magenentleerung und verlängert somit die Verweildauer des Ethanols im Magen.
- Weiterhin ist der in der Zeiteinheit aufgenommene Alkohol abhängig vom Konzentrationsgefälle des Alkohols zwischen Darmbereich und dem bereits im Körper vorhandenen Alkohol. Physikalisch erfassen kann man das Konzentrationsgefälle mit dem 1. Fickschen Gesetz [1]:

$$\vec{J}_A = -D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta x} \quad [1]$$

$\vec{J}_A$  : Diffusionsfluss

$D_{AB}$  : Diffusionskoeffizient

$C_A$  : Konzentration[A]

$x$  : Strecke

Es besagt, dass der Diffusionsfluss eines Stoffes proportional zum Konzentrationsgefälle ist. Je größer das Konzentrationsgefälle, desto größer der Teilchenfluss (24).

- Weitere die Resorptionsgeschwindigkeit beeinflussende Faktoren sind die Getränkeart und die Alkoholmenge. Konzentrierte Getränke werden - besonders bei leerem Magen - schneller resorbiert als Getränke mit

reichlich Flüssigkeitsanteil, wie etwa Bier und Wein. Konzentrierter Alkohol, auf leeren Magen getrunken, kann aber auch einen Pylorusspasmus hervorrufen und somit die Resorption verzögern. Desweiteren wird Alkohol unter dem Einfluss von Kohlensäure (Sekt) schneller resorbiert als Alkohol in Wasser (25).

Üblicherweise geht man von einer Resorptionsdauer von 60 bis 90 Minuten aus (26).

Gleichzeitig mit der Resorption beginnt die *Verteilung* des Alkohols im Körper (27). Zum einen geschieht dies mit Hilfe des Blutstromes und zum anderen durch Diffusion aus den Blutgefäßen in die einzelnen Gewebe und Körperflüssigkeiten.

Das venöse Blut aus dem Magendarmbereich wird über die Pfortader der Leber zugeführt. Von dort aus gelangt es über den rechten Vorhof und die rechte Herzkammer in die Lunge. Nach O<sub>2</sub> - Aufnahme und CO<sub>2</sub> - Abgabe wird das Blut über den linken Vorhof und die linke Herzkammer in den arteriellen Kreislauf gepumpt.

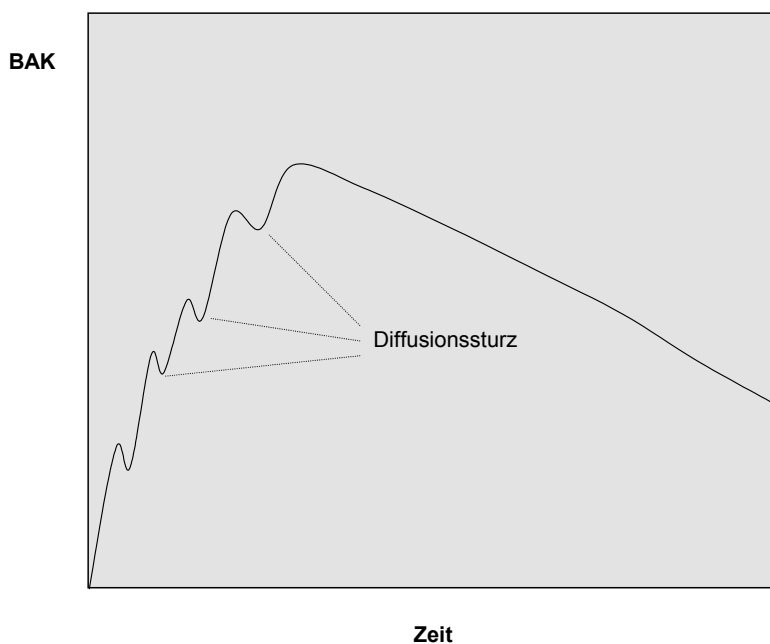
Ethanol befindet sich in allen Organen, Geweben und Flüssigkeiten des Körpers. Blut-Hirn- und Blut-Liquor-Schranke sowie die Plazenta bieten keinen Schutz vor Ethanol. Aufgrund der hydrophilen Eigenschaften reichert sich die Verbindung in Geweben mit hohem Wasseranteil mehr an als in Geweben mit prozentual geringerem Wasseranteil.

Die *Elimination* des Alkohols beginnt bereits mit seiner Aufnahme in die Leberzellen. Dort werden etwas mehr als 90 % des Ethanols durch die Alkoholhydrogenase und ca. 6 % am Cytochrom P-450 abhängigen Enzymsystem zu Acetaldehyd oxidiert. Der Aldehyd wird durch weitere Enzymsysteme zu Essigsäure und schließlich zu Acetyl-CoA metabolisiert, welches in den C<sub>2</sub> - Pool der Zelle einfließt oder in H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> umgewandelt wird. Maximal 10 % des in die Leber aufgenommenen Ethanols werden

unverändert oder nach Konjugation mit Glukuron- oder Schwefelsäure eliminiert.

Insgesamt werden 90 – 98 % des in den Körper aufgenommenen Alkohols oxidiert und 2 – 10 % über Lunge und Niere unverändert ausgeschieden. Spuren von Ethanol können in Schweiß, Tränen, Speichel, Gallenflüssigkeit, Magensaft und anderen Sekreten enthalten sein. Erfahrungsgemäß nimmt der Blutalkoholgehalt pro Stunde um 0,1 bis 0,2 Promille ab.

Der typische Verlauf einer Blutalkoholkurve ist in Abb. 1 dargestellt (26):



**Abb. 1:** Typischer Verlauf einer Blutalkoholkurve

Die ansteigenden Zacken der Resorption werden durch abfallende Zacken der Diffusion unterbrochen. Im Gipfel beginnt die Resorption abzuklingen und der Abbau allmählich zu überwiegen, bis er im „linearen“ Abfall ausschließlich in Erscheinung tritt. Dieser regelmäßige Verlauf kann ausnahmsweise durch einen steilen Diffusionssturz - nach überstürztem Trinken größerer Mengen konzentrierten Alkohols - oder ein flaches Plateau - nach reichlicher Nahrungsaufnahme oder nach reichlichem Bier- oder Weingenuss - unterbrochen werden.

## **2.2. Atemphysiologische Grundlagen**



Die Voraussetzung für eine Atemalkoholbestimmung ist der Gasaustausch zwischen dem Blut der Lungenkapillaren und der Luft in den Lungenbläschen. Jede Alveole wird von dünnwandigen Kapillaren umgeben, die das aus der rechten Herzkammer kommende Blut enthalten. Zwischen dem Blut der Kapillaren und der Luft in den Alveolen befindet sich eine dünne Gewebsschicht, die die Blut-Luft-Schranke darstellt. Die Dicke dieser Gewebsschicht bestimmt den Gasaustausch zwischen Blut und Luft (Ficksches Gesetz, Gl. [1]). Sie ist zum Teil sehr dünn (0,15 – 0,50  $\mu\text{m}$ ) kann aber auch durch einen breiten Bindegewebsraum wesentlich verdickt sein (28).

Sowohl die Expirationsluft, die von den Alveolen nach außen strömt, als auch die Inspirationsluft, die den umgekehrten Weg nimmt, passiert die zuführenden Atemwege. In diesem „anatomischen Totraum“ findet kein nennenswerter Gasaustausch statt.

Bedeutend für die Atemalkoholbestimmung ist aber, dass sich die Expirationsluft auf dem Weg von den Alveolen bis zum Mund abkühlt. Mehrere Arbeitsgruppen beschäftigten sich mit diesem Thema (29-31). A.W. Jones (32) konnte nachweisen, dass die Atemlufttemperatur während der frühen Phase der Expiration schnell zunimmt und ein Plateau erreicht, wenn ca. 70 % der Vitalkapazität ausgeatmet sind. Die Temperatur liegt dabei etwas über 34°C, kann jedoch je nach Außentemperatur erheblich schwanken (zwischen 25 bis 37°C).

Diese Temperaturveränderung hat u.a. Einfluss auf die Atemluftfeuchtigkeit und den Ostwaldschen Verteilungskoeffizienten. Nach Walker et al. (33) kann man davon ausgehen, dass das Alveolargas bei 37°C (Körpertemperatur) mit Wasserdampf gesättigt ist. Bei der Ausatmung findet mit dem Absinken der Temperatur eine beständige Abnahme des absoluten Wassergehaltes der Luft statt, die aber trotzdem mit Wasser gesättigt ausgeatmet wird. Mit der kühleren Mucosa findet bei der Expiration ein Wärme- und Feuchtigkeitsaustausch statt (34). Mit anderen Worten, die Mucosa wird durch turbulente Konvektion erwärmt und nimmt durch Kondensation Wasser auf. Diese Temperatur- und

Feuchtigkeitsveränderungen sind ihrerseits abhängig von der Atemtechnik und evtl. von patho-physiologischen Voraussetzungen (33). Z.B. bei Fieber durch erhöhte Mucosatemperatur, bei entzündlichen Veränderungen der Schleimhaut des Respirationstraktes durch Vasodilatation und bei Hyperventilation durch vergrößertes Ausatemungsvolumen werden größere Wärme- und Wassermengen eliminiert. Bei chronischer Bronchitis, Emphysem und Asthma ist die Fähigkeit der Schleimhaut zum Wärme- und Wasseraustausch herabgesetzt. Desweiteren kann man annehmen, dass bei Abkühlung der Alveolarluft von 37°C auf die Ausatemungstemperatur ein Druckausgleich zwischen der Expirationsluft und dem Feuchtigkeitsfilm im oberen Respirationstrakt eintritt; d.h. es findet eine Alkoholabgabe an die Schleimhäute statt. Bei der Inspiration kehren sich die Verhältnisse um. Wärme, Wasser und Alkoholmoleküle werden an die eingeatmete Luft abgegeben (35).

### 2.3. Physikalische Grundlagen (Grüner S. 8, 57)

Wie oben ausgeführt, befindet sich zwischen dem Blut in den Lungenkapillaren und der Luft in den Alveolen eine dünne Gewebsschicht, die als Blut-Luft-Schranke bezeichnet wird. Ihre Dicke bestimmt den Gasaustausch (36). Diese Gewebsschicht ist normalerweise so dünn, dass sie kein Hindernis für eine rasche Einstellung des Gleichgewichtes zwischen der Alkoholkonzentration in dem Lungenkapillarblut und der Alveolarluft darstellt. Diese Gleichgewichtseinstellung folgt dem *Henry-Dalton'schen Gesetz* (Gl. [2]) (37), welches als Grenzgesetz für stark verdünnte Lösungen von idealen Gasen in Flüssigkeiten gilt. Es besagt, dass bei Vorliegen idealer Gasmischungen der Partialdruck eines gelösten Gases „i“ über der Lösung seinem Molenbruch in der Lösung proportional ist:

$$p_i = kx_i^{fl} \quad [2]$$

$p_i$  : Partialdruck [i]  
 $k$  : Löslichkeitskoeffizient  
 $x_i^{fl}$  : Molenbruch [i] fl. Phase

Der *Henry'sche Löslichkeitskoeffizient*  $k$  stellt dabei den Proportionalitätsfaktor zwischen dem *Partialdruck*  $p_i$  und dem *Molenbruch*  $x_i^{fl}$  dar;  $k$  wird in der Einheit eines Druckes [Pa] angegeben und ist nur von der Temperatur abhängig. Der *Molenbruch*  $x_i$  ist ein relatives Konzentrationsmaß, welches den Bruchteil der Stoffmenge  $n_i$  von der Stoffmenge des gesamten Systems darstellt:  $x_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$ .

Für ideale Gase gilt weiterhin, dass der *Molenbruch*  $x_i^{gas}$  des Gases in der gasförmigen Phase proportional seinem *Partialdruck*  $p_i$  ist:  $x_i^{gas} = \frac{p_i}{p}$ , wobei  $p$  dem *Gesamtdruck* des Systems entspricht. Somit ist der Zusammenhang zwischen der Konzentration eines Gases in der gasförmigen Phase und seiner Konzentration in der flüssigen Phase dargestellt.

Das *Henry-Dalton'sche Gesetz* [2] ist Voraussetzung für den *Ostwald'schen Löslichkeitskoeffizienten*  $Q$ , welcher als Grundlage der BAK-Bestimmung aus der Atemalkoholkonzentration dient. Er beschreibt das Verteilungsverhältnis des Alkohols zwischen der flüssigen und gasförmigen Phase und wird als Quotient  $Q = C_{Lösung} / C_{Luft}$  angegeben. Dabei entsprechen  $C_{Lösung} = mg \text{ Alkohol} / 100 \text{ ml Flüssigkeit}$  und  $C_{Luft} = mg \text{ Alkohol} / 1000 \text{ ml Luft}$ .  $Q$  ist ebenfalls temperaturabhängig.

*Harger et al.* ermittelten 1950 (31) in sorgfältigen Versuchen die temperaturabhängigen Verteilungskoeffizienten. Sie verwendeten dabei nicht den *Ostwald'schen Löslichkeitskoeffizienten*  $Q$ , sondern den Verteilungskoeffizienten  $k_{Luft / Lösung} = \frac{mg \text{ Alkohol} / ml \text{ Luft}}{mg \text{ Alkohol} / ml \text{ Lösung}}$ , den sie mit  $10^3$  multiplizierten.

Bei 37°C fanden sie für das System „Luft / Wasser“ einen Wert von 0,470. Dies bedeutet, dass einer Luftalkoholkonzentration von 0,470 mg/l eine Wasseralkoholkonzentration von 1,0 mg/ml entspricht. Anders ausgedrückt heißt dies, dass in 2,127 l Luft ebensoviel Alkohol enthalten ist wie in 1 ml Wasser (da  $1/0,470 = 2,127$ ). Ebenfalls kann man sagen: In einem bestimmten

Wasservolumen befinden sich 2127 mal so viel Alkohol wie im gleichen Luftvolumen. Das Alkoholkonzentrationsverhältnis „Luft / Wasser“ bei 37°C beträgt also 1 : 2127.

Neben *Harger et al.* (31) beschäftigten sich in der Vergangenheit zahlreiche Autoren (38-40) mit der Bestimmung des Alkoholverteilungsverhältnisses „Luft / Wasser“ bzw. „Luft / Blut“ bei verschiedenen Temperaturen. 1953 einigte man sich schließlich im „United States National Safety Council“ auf ein Konzentrationsverhältnis der Alveolarluft zum Blut von 1 : 2100, das *Harger* und Mitarbeiter (31) in ihren Versuchen festgestellt hatten. Mit anderen Worten ausgedrückt heißt dies, dass die Konzentration des Alkohols im Blut um den Faktor 2100 größer ist als in der Alveolarluft. Die Umrechnung einer Atemalkoholkonzentration, die in mg/l angegeben wird in einen AAK - Analogwert, angegeben in ‰ (g/kg), erfolgt demnach durch Multiplikation mit dem Faktor 2,100 (l/g).

### 3. BGA-Gutachten

Das BGA befasst sich seit 1966 (41, 42) mit der Thematik der Atemalkoholbestimmung. In einem weiteren Bericht von 1973 (43) sowie einem 2. Gutachten des BGA (1977) (44) werden die Möglichkeiten des Einsatzes von Atemalkoholmessgeräten und der hierfür notwendigen Bedingungen beurteilt.

Eine Prüfung der Messgenauigkeit von Atemalkoholtestgeräten erfolgte von Schoknecht 1981 (45). Die getesteten Geräte erwiesen sich als für forensische Zwecke ungeeignet, da die gewünschten exakten Schlüsse von der AAK auf die BAK nicht möglich waren. Ausgehend vom „Verkehrssicherheitsprogramm“ der Bundesregierung von 1984 bekam das BGA 1987 den Auftrag zur Prüfung der Beweissicherheit der Atemalkoholanalyse. In dem Gutachten „Beweissicherheit der Atemalkoholanalyse“ (22) sind die Anforderungen an beweissichere Atemalkoholmessgeräte ausführlich dargelegt (s. auch Ref. 46). Sie werden im folgenden Abschnitt kurz zusammengefasst.

Der wesentliche Unterschied gegenüber früheren Veröffentlichungen ist, dass man nicht mehr davon ausgeht, dass eine direkte Konvertierbarkeit der AAK-Werte in die venösen BAK-Werte möglich ist. Dies wird zum einen darauf zurückgeführt, dass die AAK in ihrem zeitlichen Verlauf der arteriellen und nicht der venösen BAK folgt (47). Zum anderen wird angeführt, dass die Umrechnung der venösen BAK auf die BAK des Vollblutes individuellen Schwankungen unterliegt und nur näherungsweise unter Anwendung eines konstanten Divisors möglich ist. Deshalb wird eine für die Atemalkoholanalyse eigene Messgröße, die Ethanolkonzentration in der Atemluft ( $\text{mg EtOH pro l Atemluft} = \text{mg/l}$ ), eingeführt. Aufgrund von Trinkversuchen und Praxistests werden Grenzwerte für die Atemalkoholmessung angegeben, die den bestehenden Blutalkoholgrenzwerten entsprechen.

Weitere Anforderungen an die AAK-Messung und die sich daraus ergebenden zu erfüllenden Maßnahmen sind:

- **Einhaltung der OIML-Empfehlungen (Organisation Internationale de Metrologie Legale):** Bauartzulassung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Eichung und Nacheichung durch Eichbehörden.
- **Erfassung von Alveolarluft:** Vorgabe von Mindestvolumina in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter, Messung des Expirationsvolumens, Messung der Expirationsdauer.
- **Vermeidung von Einflüssen der Körper- und Umgebungstemperatur:** Messung der Atemtemperatur und Umrechnung der AAK auf die Bezugstemperatur (34°C).
- **Vermeidung von Einflüssen der Atemtechnik (Hyper- und Hypoventilation, Mundkühlung):** Messung der Atemtemperatur und Umrechnung der AAK auf die Bezugstemperatur (34°C).
- **Vermeidung von Messwertbeeinflussung durch Mundrestalkohol und Mundalkohol:** Doppelmessung und Beurteilung der Messwertdifferenz, „slope detection“, Wartezeit von 20 Minuten nach Trinkende.
- **Ausschluss von Substanzen, die die Messung beeinflussen können (Rauchen, Mundwasser, Spray):** Kontrollzeit von 10 Minuten (sie kann in der Wartezeit von 20 Minuten enthalten sein).
- **Funktions- und Kalibrierungskontrolle bei jeder Messung:** Messung von zwei voneinander unabhängigen Messsystemen (redundante Messsysteme), elektronische Selbstkontrolle.

- **Ethanolnachweis, Erkennung von Fremdgasen:** Messung von zwei Wellenlängenbereichen bei der Infrarotmessung.

Die o.g. Punkte sind in der Norm DIN VDE 0405 „Ermittlung der Atemalkoholkonzentration“ umgesetzt. Basierend auf diesem Anforderungskatalog entwickelte die Fa. Dräger AG das Atemalkoholmessgerät „Alcotest 7110 Evidential“.

#### 4. AAK - BAK Vergleichsuntersuchungen mit dem „beweissicheren“ Alcotestgerät 7110 Evidential

Mit dem von der Firma Dräger AG entwickelten Atemalkoholmessgerät „Alcotest 7110 Evidential“ sind zum Zeitpunkt der Durchführung unserer Trinkversuche noch keine systematischen Vergleichsuntersuchungen zwischen Blutalkohol und Atemalkohol durchgeführt worden. Zu diesem Zweck wurden in Zusammenarbeit mit der Herstellerfirma in Trinkversuchen 239 Wertepaare bestehend aus zeitgleichen Blutalkoholkonzentrationen (BAK) und Atemalkoholkonzentrationen (AAK) erhoben.

##### 4.1. Material und Methoden

###### 4.1.1. Bestimmung der Atemalkoholkonzentration (AAK)

Eine Anforderung an die AAK-Messung ist die Erfassung von Alveolarluft. Aus diesem Grund wird ein Mindestvolumen an Atemluft gefordert, das abhängig ist vom Alter und Geschlecht der Probanden. Im BGA-Gutachten von 1992 (22) werden Erfahrungswerte für die geforderten Mindestvolumina mitgeteilt. Sie basieren auf epidemiologischen Studien an ca. 4000 Probanden (48, 49). Die Werte sind in Tab. 1 aufgelistet.

Alter	< 20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	> 80	Jahre
Männer	2,6	3,0	2,6	2,5	2,3	2,1	2,0	1,6	Liter
Frauen	1,9	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	Liter

(nach Schoknecht G., 1996)

Tab. 1: Gefordertes Mindestvolumen zur Erfassung von Alveolarluft



Um Einflüsse der Umgebungs- und Körpertemperatur auszuschließen, die das Messergebnis entscheidend beeinflussen können (50), wird die bei einer bestimmten Atemlufttemperatur gemessene Ethanolkonzentration auf eine festgelegte Richttemperatur von 34°C umgerechnet.

Für eine gültige Bestimmung der Atemalkoholkonzentration müssen zwei Messzyklen durchgeführt werden, in denen nach zwei voneinander unabhängigen Verfahren die Ethanolkonzentration der Atemluft ermittelt wird. Im ersten Messzyklus wird die AAK über die Infrarotabsorption des Ethanols bei 9 µm gemessen (IR<sub>1</sub>). Nach einer vom Messgerät vorgegebenen Zeit von etwa 2 - 3 Minuten wird in einer zweiten Atemprobe die AAK sowohl erneut durch IR-Absorption (IR<sub>2</sub>) als auch anschließend durch elektrochemische Reaktion (Oxidation) in einer Brennstoffzelle (EC<sub>2</sub>) bestimmt. Das Messergebnis wird als Mittelwert aus IR<sub>1</sub> und EC<sub>2</sub> in der SI-Einheit mg/l angegeben.

#### **4.1.2. Bestimmung der Blutalkoholkonzentration (BAK)**

Die Bestimmung der Blutalkoholkonzentration erfolgte gaschromatographisch nach den Richtlinien des Bundesgesundheitsamtes am Serum mit anschließender Umrechnung auf Vollblut (Division mit 1,20). Die Untersuchungen wurden im Rahmen der routinemäßigen Blutalkoholuntersuchung nach vorhergehender Kalibrierung mit Standardlösungen (12-Punkt-Kalibrierung) und Untersuchung von Serumstandards als positive Kontrollen durchgeführt. In 126 Fällen wurde ebenfalls eine Bestimmung nach der ADH-Methode durchgeführt.

### 4.1.3. Probanden und Versuchsablauf

Insgesamt wurden 8 Trinkversuche mit jeweils 5 - 6 Probanden durchgeführt. Die Gesamtzahl der Versuchsteilnehmer betrug 40, davon 15 weibliche und 25 männliche Teilnehmer. Das Lebensalter der männlichen und weiblichen Probanden variierte zwischen 19 und 71 Jahren. Die Probanden (VP) konnten innerhalb von 2 Stunden ad libitum trinken. Es wurde eine BAK im Bereich von 0,5 - 1,5 ‰ angestrebt. 25 Minuten nach Trinkende begann die Testphase, d.h. von Proband „1“ erfolgte der 1. BAK-/AAK-Test (Abb. 2).

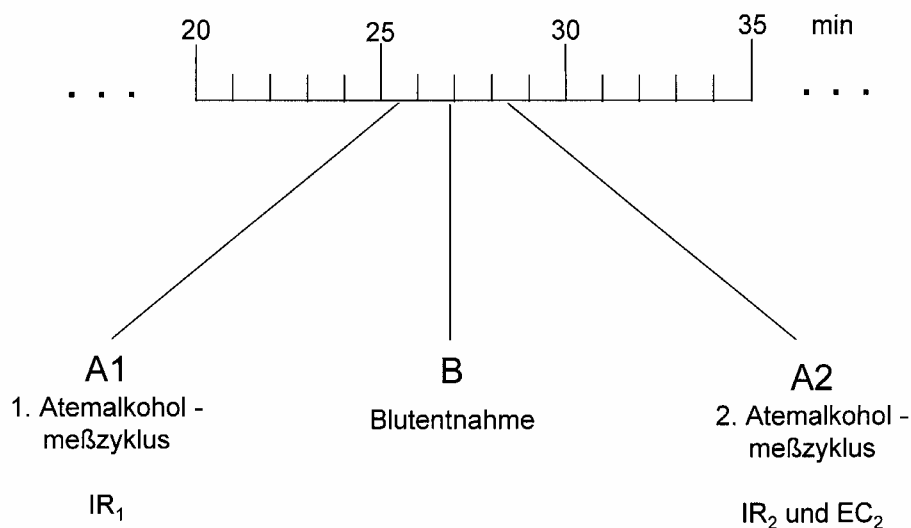
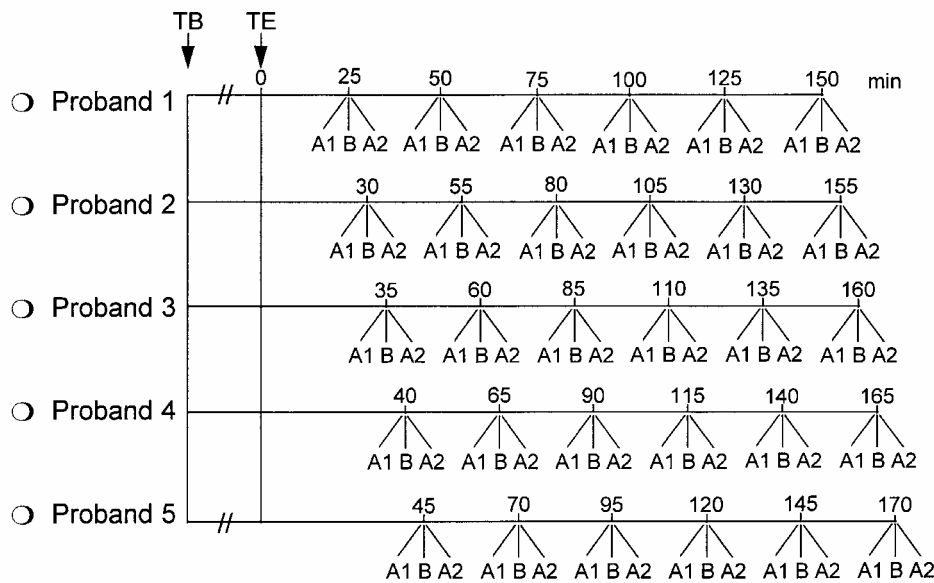


Abb. 2: Testablauf

Die Zeitgleichheit zwischen AAK- und BAK-Messung wurde sichergestellt, indem die Blutentnahme in der kurzen Messpause zwischen den beiden Atemtests erfolgte. Jeder Test dauerte maximal 5 Minuten, so dass jeweils zeitlich um 5 Minuten versetzt die weiteren Versuchspersonen getestet wurden (Abb. 3).



**Abb. 3:** Testphase (TB = Trinkbeginn, TE = Trinkende)

Pro Versuchsperson wurden 6 Tests durchgeführt. Durch diesen Testablauf variierte das trinkfreie Intervall bis zur Durchführung des ersten Tests zwischen 25 und 45 Minuten und die gesamte Testzeit nach Trinkende zwischen 150 und 170 Minuten. Während des gesamten Testzeitraumes nach Trinkende erfolgte strenge Kontrolle einer absoluten Alkoholkarenz, weiterhin durfte 15 Minuten vor jedem Test nicht mehr geraucht werden. Auch diese Vorgabe wurde streng eingehalten. Die Atemtests erfolgten jeweils unter Aufsicht eines Mitarbeiters der Herstellerfirma.

#### 4.1.4. Bestimmung des Wassergehaltes in Vollblutproben

In etwa 2/3 der Blutproben wurde auch eine Wassergehaltsbestimmung durch Lyophilisation bis zur Gewichtskonstanz durchgeführt.

## 4.2. Ergebnisse

Insgesamt wurden 239 Wertepaare erhoben, d.h. je 239 Atemalkohol- und 239 zeitgleiche Blutalkoholwerte. Zum Vergleich der AAK-Werte (mg/l) mit den BAK-Werten (‰) trägt man diese gegeneinander auf und legt mittels linearer Regression eine Ausgleichsgerade durch die Punktwolke (Abb. 4). Man erhält so einen *Korrelationskoeffizienten* von  $r = 0,95$ . Für den *Ordinatenabschnitt*  $a$  und die *Geradensteigung*  $b$  ergeben sich Werte von  $a = 0,05 ‰$  und  $b = 2,03 ‰/mg$ .

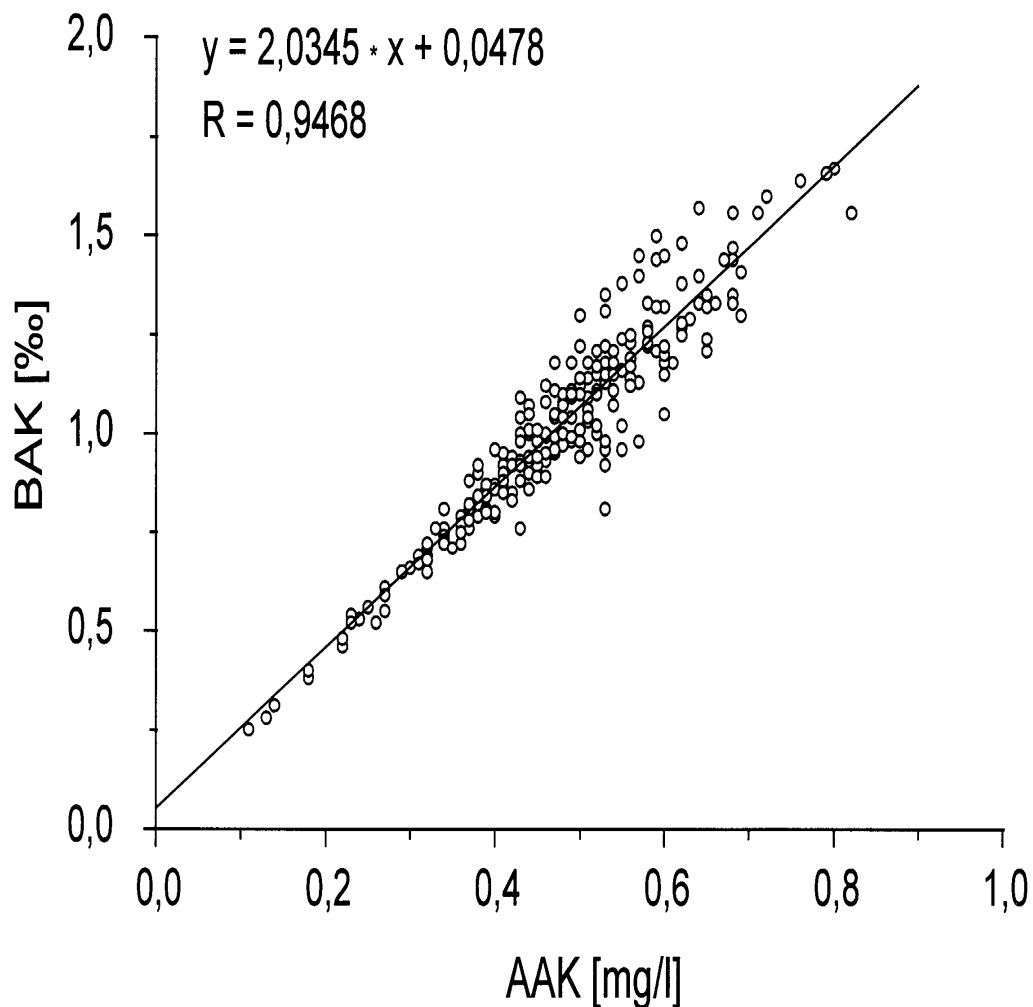


Abb. 4: Punktwolke der BAK/AAK-Wertepaare mit der zugehörigen Regressionsgeraden

Zum direkten Vergleich der Wertepaare wird die AAK mit dem Faktor 2,100 (l/g) multipliziert (s. S.9). Dies ist der mittlere Umrechnungsfaktor, wie er sich aus dem BGA-Gutachten ergibt und auch international anerkannt ist. Mit den so erhaltenen AAK-Analogwerten sowie mit den simultanen BAK-Werten werden für jede Testperson die AAK-/BAK-Kurven konstruiert. Die approximative Auswertung dieser Kurven erlaubt eine Unterteilung in drei Grundtypen (Abb. 5 - 7), zwischen denen allerdings auch Übergänge vorkommen. In den folgenden drei Abbildungen sind exemplarisch jeweils von fünf Probanden die AAK-/BAK-Kurven dargestellt, d.h. eine Grafik stellt jeweils die Verhältnisse bei einem Probanden dar.

1. Beim **Typ 1** (Abb. 5: Rauten = BAK, Quadrate = AAK, jeweils  $n=1$ ) steigt die BAK zunächst noch an und im Beginn finden sich ausgeprägte Differenzen zwischen AAK und BAK. Beide Kurven konvergieren mit zunehmendem Abstand zum Trinkende. Frühestens nach einer Stunde, spätestens nach knapp 2 Stunden ist die Konvergenz beendet.

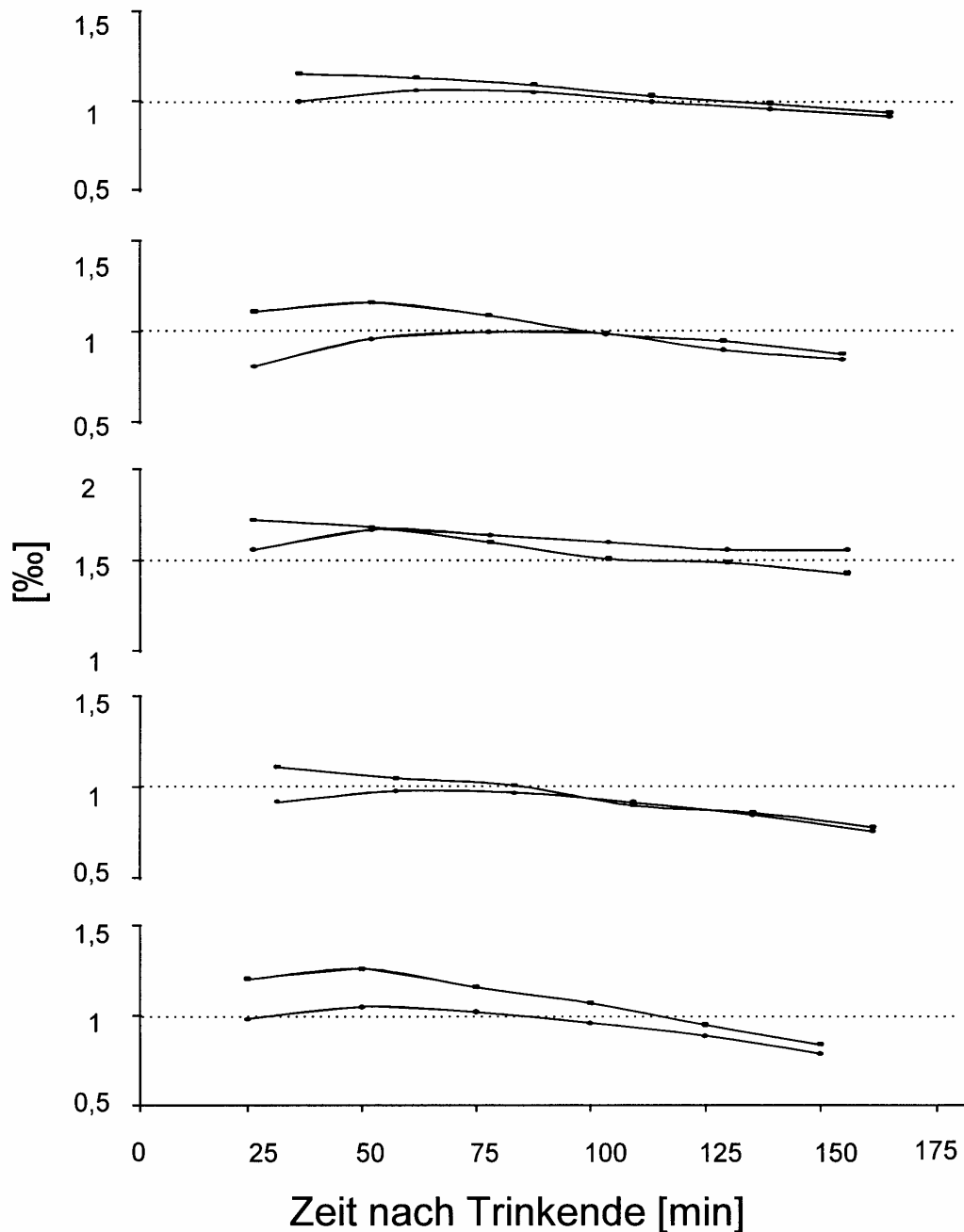
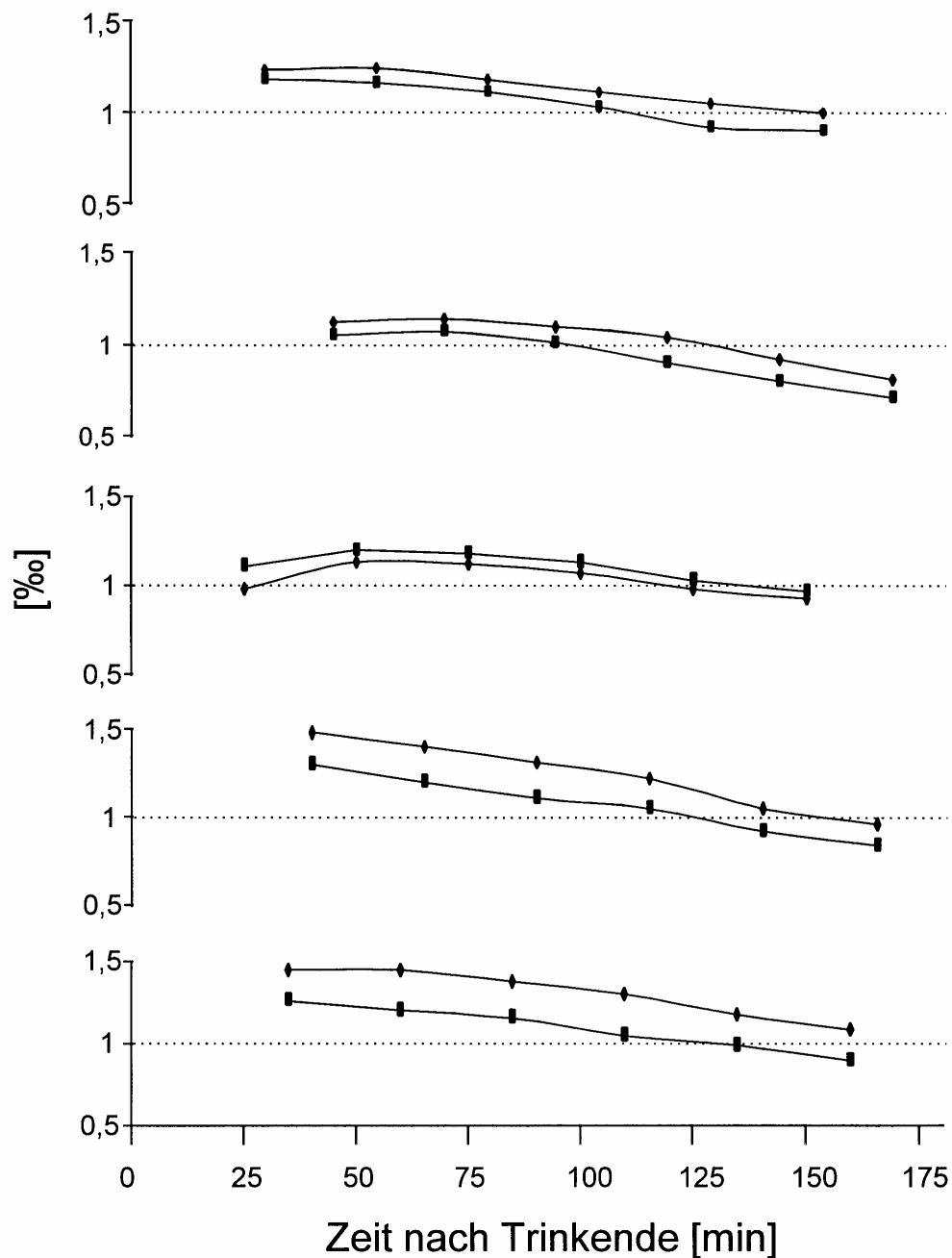


Abb. 5: Fünf beispielhafte BAK- bzw. AAK-Analogwerte-Kurven vom **Typ 1**

2. Beim **Typ 2** (Abb. 6: Rauten = BAK, Quadrate = AAK, jeweils n=1) verlaufen beide Kurven parallel, zeigen jedoch beträchtliche Unterschiede. Die Blutalkoholkurven sind überwiegend postresorptiv. Dennoch ist auch nach 3 Stunden noch keine Kurvenidentität erreicht.



**Abb. 6:** Fünf beispielhafte BAK- bzw. AAK-Analogwerte-Kurven vom **Typ 2**

3. **Typ 3** (Abb. 7: Rauten = BAK, Quadrate = AAK, jeweils  $n=1$ ) zeigt eine ideale Übereinstimmung zwischen BAK und umgerechneter AAK. Die Differenzen zwischen beiden Kurven sind minimal. Dieser Kurventyp tritt mit weitem Abstand am häufigsten auf. Die Kurventypen 1 und 2 sind hingegen eher die deutlichen Ausnahmen.

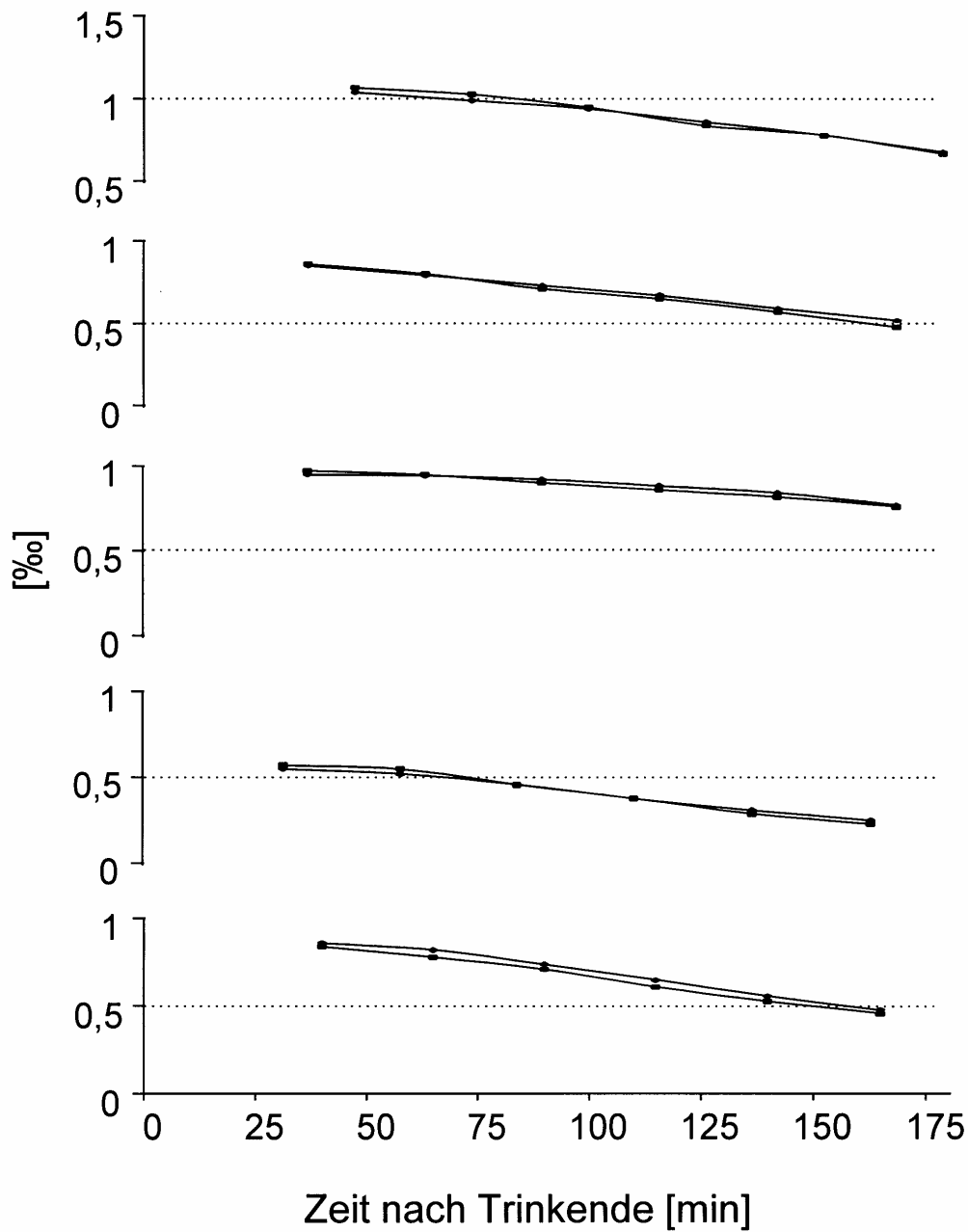


Abb. 7: Fünf beispielhafte BAK- bzw. AAK-Analogwerte-Kurven vom **Typ 3**



Aufschluss über die Verteilung der absoluten Differenzen zwischen BAK und AAK-Analogwert gibt Abb. 8. Die Paardifferenzen werden aus BAK minus AAK-Analogwert gebildet und mit Angabe der Anzahlen und der Größen der Differenzen im Säulendiagramm dargestellt. Es findet sich eine gaußähnliche Verteilung mit einem *Mittelwert* von  $\mu = 0,02 \text{ ‰}$ , d.h. im Mittel sind die BAK-Werte etwas höher als die AAK-Analogwerte. Die höchsten Paardifferenzen liegen zwischen  $-0,30 \text{ ‰}$  und  $+0,26 \text{ ‰}$ . Die *Standardabweichung*  $\sigma$  errechnet sich mit  $0,08 \text{ ‰}$ .

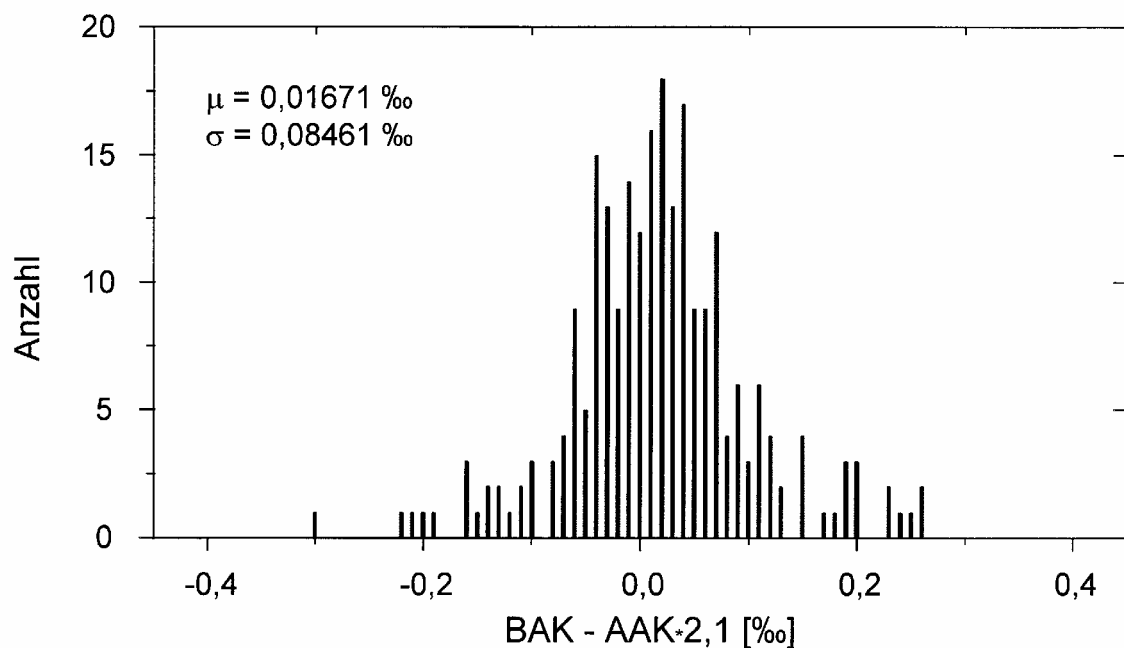


Abb. 8: Paardifferenzen: BAK – AAK-Analogwert (‰)

Ein weiterer zu klärender Punkt ist, ob die Streubreite der Paardifferenzen von der Konzentration abhängt. Dazu werden die Paardifferenzen in verschiedenen Konzentrationsbereichen aufgetragen (Abb. 9).

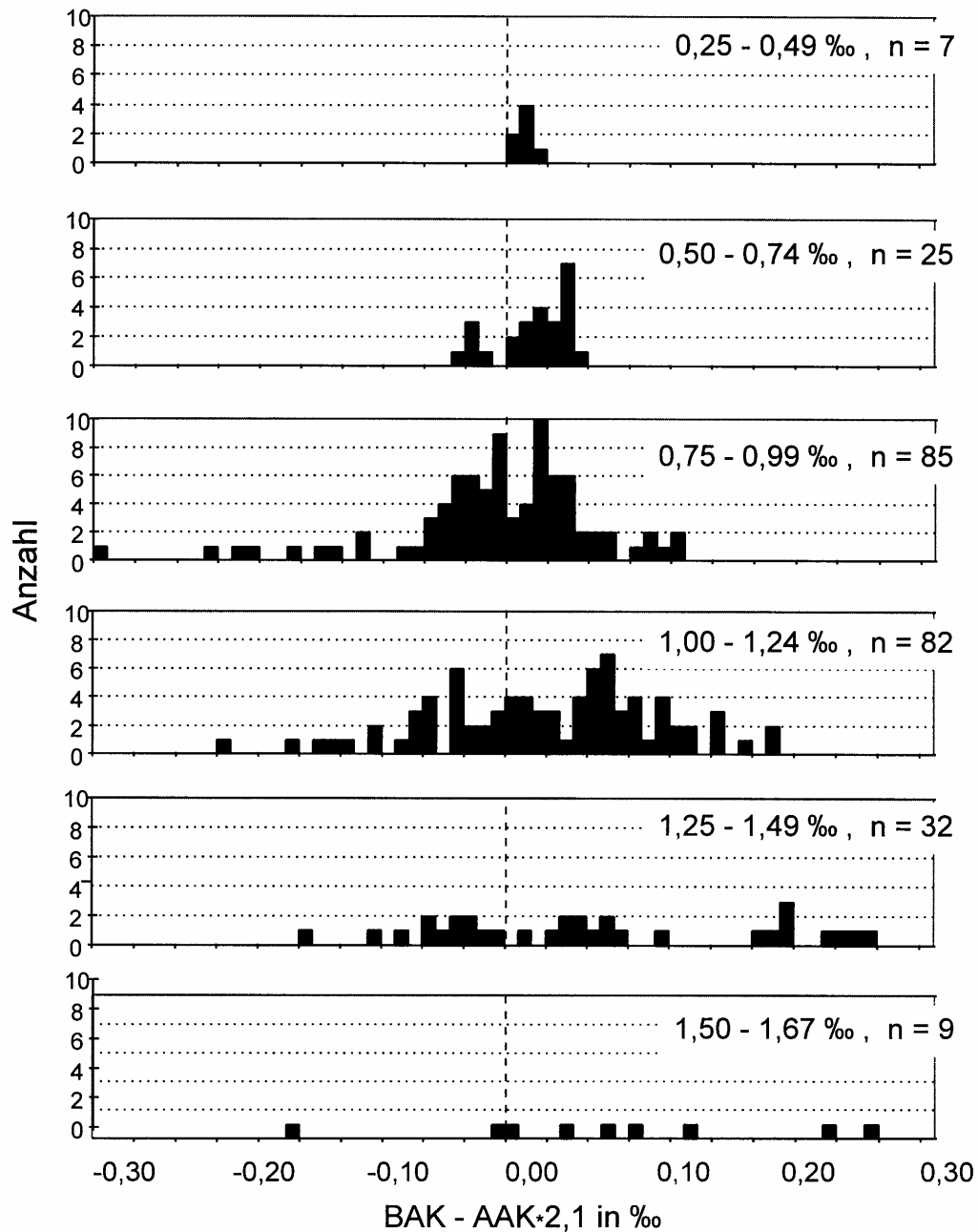


Abb. 9: Paardifferenzen: BAK – AAK – Analogwerte (‰) in verschiedenen Konzentrationsbereichen

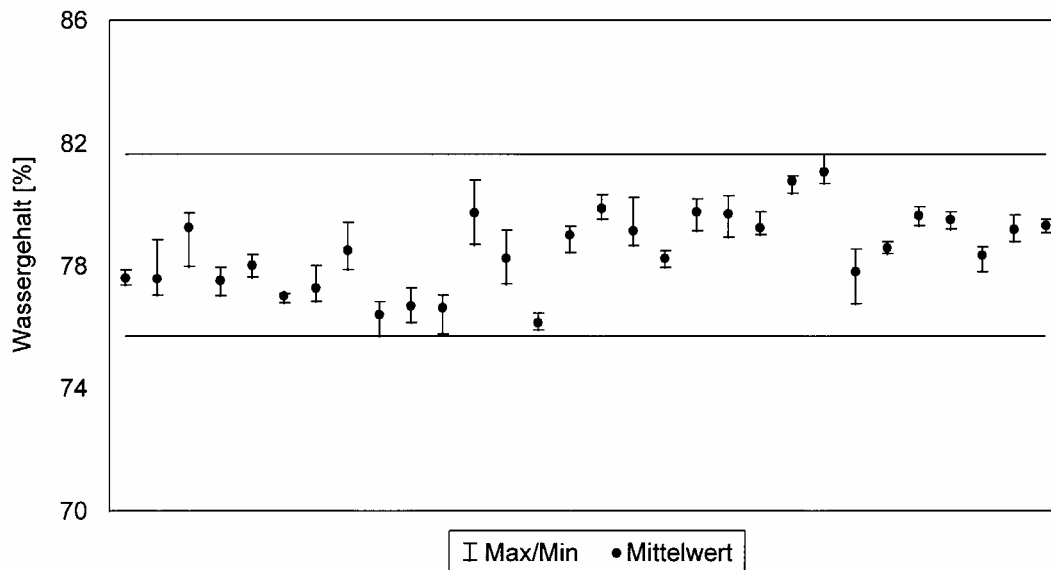
Es lässt sich keine Konzentrationsabhängigkeit feststellen. Für sämtliche forensisch relevanten Konzentrationsbereiche ist mit einer Differenz von  $\pm 0,3$  ‰ zu rechnen.

### 4.3. Diskussion

Der Vergleich der AAK-Werte (mg/l) mit den BAK-Werten (‰) in Abb. 4 zeigt, dass eine recht guter linearer Zusammenhang zwischen den Werten besteht ( $r = 0,95$ ). Der kleine Wert für den *Ordinatenabschnitt* ( $a = 0,05$  ‰) drückt aus, dass kaum eine Nullpunktverschiebung vorliegt. Die *Geradensteigung* ist mit  $b = 2,03$  ‰ l/mg etwas niedriger als die theoretisch zu erwartende Steigung von 2,10.

Ins Auge fallen allerdings die unerwartet großen Differenzen zwischen BAK und AAK-Analogwert im Einzelfall, die zwischen  $- 0,30$  ‰ und  $+ 0,26$  ‰ betragen. Für dieses Phänomen bieten sich folgende Erklärungen an:

1. *Schwankungen des Wassergehaltes im Blut*: Diese Ursache wird von Schoknecht im BGA-Gutachten von 1992 als wesentlicher Faktor bezeichnet. In einer umfangreichen Stichprobe ( $n = 175$ ) haben wir parallel zu den gemessenen Blutalkoholkonzentrationen auch den Wassergehalt der Blutproben bestimmt. Die Wassergehalte betragen im Mittel  $78,51\% \pm 1,32\%$ , mit einem minimalen Wassergehalt von  $H_2O_{\min} = 75,70\%$  und einem maximalen Wassergehalt von  $H_2O_{\max} = 81,65\%$ . Damit ist die Streubreite der Proben äußerst gering. Auch die Streuungen der Wassergehalte der 6 Blutproben pro Proband sind bei allen Probanden sehr gering (Abb. 10). Die Spanne liegt zwischen  $\Delta H_2O_{\min} = 0,32\%$  und  $\Delta H_2O_{\max} = 2,12\%$ . Die Schwankungen des Blutwassergehaltes scheidet somit als Ursache aus.



**Abb. 10:** Streuung des Wassergehaltes in den jeweils 6 Blutproben von 30 Probanden

2. *Differenzen zwischen pulmonalarteriell und system-venösem Alkoholgehalt:* Dieses Argument erklärt Unterschiede in der Resorptionsphase, sollte aber in der postresorptiven Phase keine Rolle mehr spielen. Dennoch kann ein Teil der Differenzen (Typ 1, Abb. 5) durch diesen Effekt erklärt werden. Allerdings gibt es auch in der spätesorptiven Phase Differenzen (Typ 2, Abb. 6).
3. *Die Atemphysiologie:* Die Erfassung von Mischluft zur AAK-Bestimmung und nicht, wie gefordert, von Alveolarluft wird die Ursache für einen weiteren Teil der Differenzen sein (Typ 2, Abb. 6).

In den folgenden Kapiteln sollen die Ursachen der z.T. großen Diskrepanzen zwischen Blutalkoholkonzentration und Atemalkoholkonzentration näher untersucht werden.

## **5. Untersuchung der Präzision und Richtigkeit der angewandten Messmethoden**

Bei der Auswertung der Vergleichsuntersuchungen zwischen Blutalkohol und Atemalkohol mit dem Alcotestgerät 7110 Evidential ergeben sich im Einzelfall erhebliche Differenzen zwischen BAK und AAK-Analogwert (s. Kap. 4). Auf der Suche nach den Gründen für diese Differenzen wird deshalb in den folgenden Kapiteln die Messpräzision und Richtigkeit der angewandten Methoden untersucht.

### **5.1. Analyse der Blutalkoholkonzentrationen**

Die Bestimmung der Blutalkoholwerte erfolgte mit der Gaschromatographie und in 126 Fällen zusätzlich nach dem ADH-Verfahren. Die headspace-gaschromatographischen Analysen an Serum wurden an dem Perkin Elmer Gerät F45 Head-Space-GC durchgeführt. Die Temperatur des Injektors betrug 130°C. Als Säule wurde eine 2 m Glassäule 1/4“ mit 0,2% Carbowax 1500 auf Carbopack 80/100 mesh eingesetzt. Die Oventemperatur lag bei 98°C (isotherm). Stickstoff diente als Trägergas und die Detektion erfolgte mit einem Flammenionisationsdetektor (FID). Die Detektortemperatur betrug 250°C. Den Serumproben wurde als interner Standard tert.-Butanol zugesetzt.

#### **5.1.1. Die Gaschromatographie**

##### **5.1.1.1. Kalibrierung des Gaschromatographen**

An jedem Messtag wird vor den Routineuntersuchungen eine Kalibrierung des Gaschromatographen vorgenommen. Zur Erstellung der Kalibriergeraden werden sechs Proben vermessen, die den erwarteten Konzentrationsbereich gleichmäßig abdecken. Von jeder Probe wird eine Doppelbestimmung

durchgeführt. Die wässrigen Standardlösungen der Firma Merck<sup>®</sup>, die dazu verwendet werden, enthalten folgende Ethanolkonzentrationen: 0,5 / 0,8 / 1,0 / 1,3 / 1,5 / 2,0 mg/ml. Die zwölf erhaltenen Messpunkte werden in ein lineares Koordinatensystem eingetragen, auf dessen Abszisse der Analysenwert  $x$  = Ethanolkonzentration (g/l) und auf dessen Ordinate der Informationswert  $y$  = Verhältnis der Peakflächen von Ethanol zum internen Standard tert. Butanol (dimensionslos) aufgetragen sind.

Nach der „Methode der kleinsten Quadrate“ („lineare Regression“) wird eine Ausgleichsgerade berechnet, die die Lage der Messpunkte im Koordinatensystem beschreibt. Die Gerade wird bei dieser Methode so berechnet, dass die Summe der quadrierten Abstände zwischen Messpunkt und Regressionsgerade parallel zur Ordinate am kleinsten ist (Regression 1.

Art:  $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \text{Minimum}; \text{Abb. 11) (51).}$

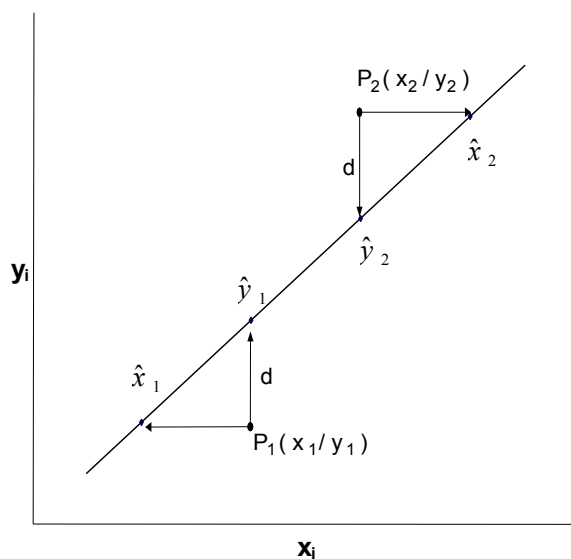


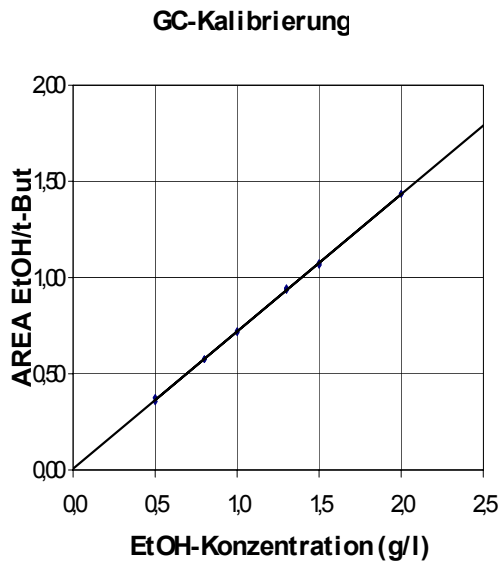
Abb. 11: Regressionsgerade.

Die *Differenz*  $d$  ist der Abstand zwischen dem  $y$ -Wert des Messpunktes  $P_i$  (hier  $P_1$  und  $P_2$ ) und dem erwarteten  $\hat{y}$ -Wert ( $\hat{y}_1$  und  $\hat{y}_2$ ).

Da die Messgröße  $y$ , hier das Verhältnis der Peakflächen, eine lineare Funktion der Konzentration  $x$  ist, besitzt die Kalibriergerade die Gleichung:

$$y = a + bx \quad [3]$$

Eine repräsentative Kalibriergerade ist in Abb. 12 dargestellt.



**Abb. 12:** Repräsentative Kalibriergerade des verwendeten Gaschromatographen mit folgenden Parametern:

- $y = 0,0064 + 0,7134 x$
- $r = 0,9998$

Die Regressionsgerade wird durch zwei Kennzahlen charakterisiert:

- den *Ordinatenabschnitt*  $a$ , auch als Intercept bezeichnet, und
- die *Steigung*  $b$ , auch als Richtungskonstante oder Regressionskoeffizient bezeichnet.

Der *Ordinatenabschnitt*  $a$  entspricht in diesem Fall dem *Blindwert*  $y_b$ . Bei dem dimensionslosen *Blindwert*  $y_b$  handelt es sich um den bei der Ethanolkonzentration  $x = 0$  g/l gemessenen  $y$ -Wert, der idealerweise auch gleich Null sein sollte.

Die *Steigung*  $b$  der Kalibriergeraden entspricht der *Empfindlichkeit*  $E$  des Verfahrens.  $E$  gibt an, wie stark das Messergebnis auf Konzentrationsänderungen reagiert.

Der Parameter, der die Stärke des linearen Zusammenhangs beschreibt, ist der dimensionlose *lineare Korrelationskoeffizient*  $r$ . Er wird nach folgender Formel berechnet (Gl. [4]) (52):

$$r = \frac{\sum X_i Y_i}{\sqrt{\sum X_i^2 \cdot \sum Y_i^2}} \quad [4] \quad \begin{array}{l} X_i = x_i - \bar{x} \\ Y_i = y_i - \bar{y} \end{array}$$

Der Grad des Zusammenhangs zwischen den Größen  $x$  und  $y$  ist um so besser, je näher sich  $r$  dem Wert  $+1$  oder  $-1$  nähert. Bei  $r = 0$  besteht kein linearer Zusammenhang.

### Auswertung und Diskussion der Kalibrierungsergebnisse

Die Werte für  $a$  ( $= y_b$ ),  $b$  ( $= E$ ) und  $r$  während der 15 Messtage sind in Tab. 2 zusammengefasst.

Meßtag	$a$	$b$	$r$	$s_{y,x}$	$s_{x0}$
1	-0,00768	0,71767	0,99958	0,01079	0,01504
2	-0,00098	0,71556	0,99989	0,00546	0,00763
3	-0,00301	0,71241	0,99988	0,00575	0,00807
4	-0,00529	0,68611	0,99986	0,00583	0,00849
5	-0,00013	0,68177	0,99963	0,00957	0,01404
6	-0,00284	0,69334	0,99935	0,01290	0,01861
7	-0,01146	0,70924	0,99903	0,01612	0,02272
9	-0,00297	0,71198	0,99980	0,00741	0,01041
10	0,00152	0,70818	0,99986	0,00614	0,00867
11	0,00240	0,69618	0,99922	0,01417	0,02036
12	-0,00026	0,69923	0,99911	0,01528	0,02186
13	0,00218	0,69640	0,99915	0,01487	0,02136
14	-0,00791	0,71948	0,99922	0,01470	0,02044
15	-0,00384	0,71347	0,99977	0,00787	0,01103

**a:** Ordinatenabschnitt ( $= y_b$ : Blindwert)  
**b:** Steigung ( $= E$ : Empfindlichkeit) (l/g)  
**r:** Korrelationskoeffizient  
 **$s_{y,x}$ :** Reststandardabweichung  
 **$s_{x0}$ :** Verfahrensstandardabweichung (g/l)

Tab. 2: Zusammenfassung der Kalibrierungsgeradenparameter

Man erkennt, dass die *Blindwerte*  $y_b$  gegen Null streben. Sie sind, bis auf eine Ausnahme, erst in der dritten Nachkommastelle von Null verschieden, was einer Änderung der Ethanolkonzentration ebenfalls in der dritten Stelle nach dem Komma entspricht und somit ausreichend exakt ist. Die Werte für die *Empfindlichkeit*  $E$  liegen zwischen 0,68 und 0,71 l/g.



Der *lineare Korrelationskoeffizient*  $r$  liegt ohne Ausnahme an allen Messtagen bei 0,99 und repräsentiert somit den ausgezeichneten linearen Zusammenhang zwischen der Konzentration  $x$  und dem Peakflächenverhältnis  $y$ .

#### 5.1.1.2. Präzision der gaschromatographischen Methode

Die *Präzision* ist ein Maß für den Grad der Reproduzierbarkeit der Analysenergebnisse. Sie hängt von den zufälligen Fehlern des Verfahrens ab. Als zufällige Fehler bezeichnet man die statistische Verteilung der Messergebnisse um den Mittelwert in Form einer Gaußschen Glockenkurve.

Ein Streuungsparameter zur Beurteilung der Streuung der Messpunkte um die Regressionsgerade ist der Standardfehler der Schätzung  $s_{y,x}$ , auch als *Reststandardabweichung* bezeichnet (51). Die *Reststandardabweichung*  $s_{y,x}$  ist ein Maß für den Fehler bei der Schätzung von  $y$  (Peakflächenverhältnis; abhängige Variable) aus vorgegebenen  $x$ -Werten (Ethanolkonzentration; unabhängige Variable). Mit anderen Worten, sie ist ein Maß für die Unsicherheit bei der Bestimmung des Peakflächenverhältnisses  $y$ .

$$s_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - bx_i)^2}{n-1}} \quad [5]$$

Das Quadrat  $s_{y,x}^2$  wird als *Restvarianz* bezeichnet. Zwei Parallelen zur Regressionslinie im Abstand von  $2s_{y,x}$  bilden ein Band, das 95% aller Beobachtungen enthält (Abb. 13) (51).

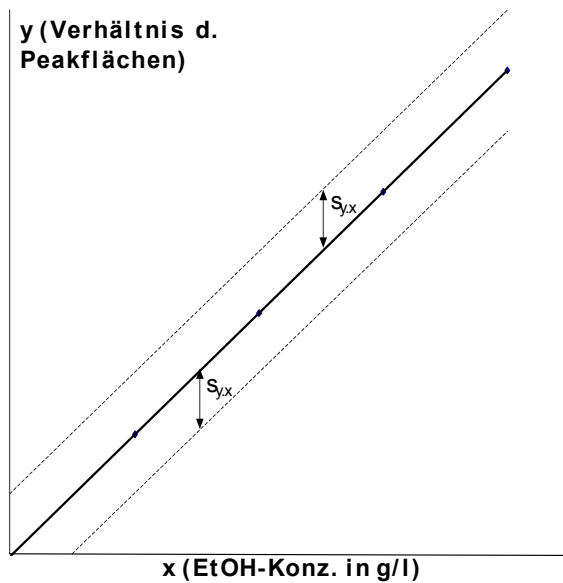


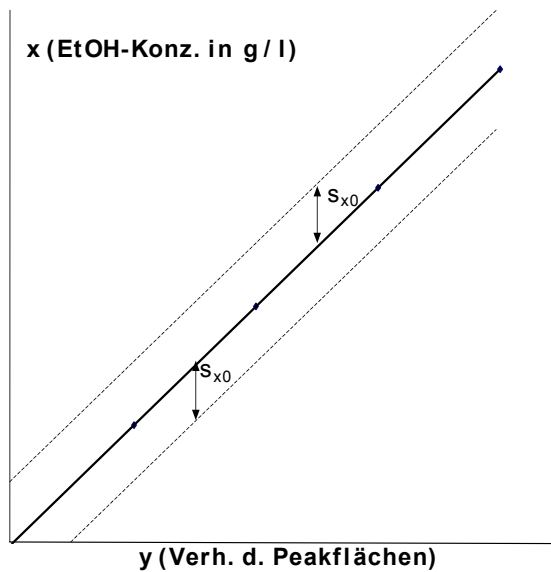
Abb. 13: Zusammenhang zwischen der Analysenfunktion  $y = a + bx$  und der *Reststandardabweichung*  $s_{y,x}$

Die Werte für die *Reststandardabweichung*  $s_{y,x}$  an den 15 Messtagen sind in Tab. 2 (S. 29) zusammengefasst. Wie man sieht, ist  $s_{y,x}$  an allen Tagen nur geringfügig von Null verschieden. Dies spricht für die geringe Streuung der Messpunkte um die Regressionsgerade und es liegt demzufolge eine ausgezeichnete Reproduzierbarkeit der Analysenergebnisse vor.

Der andere Streuungsparameter ist die *Verfahrensstandardabweichung*  $s_{x0}$ . Sie ist ein Maß für die Genauigkeit bei der Bestimmung der Ethanolkonzentration  $x$  (abhängige Variable) aus einem vorgegebenen Peakflächenverhältnis  $y$  (unabhängige Variable) (53). Ihre Ermittlung wird im folgenden beschrieben. Zuerst werden die aus der Kalibrierung erhaltenen zwölf Messpunkte wieder in ein lineares Koordinatensystem eingetragen. Auf dessen Abszisse wird diesmal jedoch der Informationswert  $y$  (Verhältnis der Peakflächen von Ethanol zum internen Standard tert. Butanol [dimensionslos] ) und auf dessen Ordinate der Analysenwert  $x$  (Ethanolkonzentration [g/l] ) aufgetragen. Mittels linearer Regression wird eine Ausgleichsgerade durch die Messpunkte gelegt und die zugehörigen Konstanten für den *Ordinatenabschnitt*  $a_x$  und die *Steigung*  $b_x$  bestimmt. Die *Verfahrensstandardabweichung*  $s_{x0}$  berechnet sich jetzt analog zur *Reststandardabweichung*  $s_{y,x}$  (Gl. [6]):

$$s_{x0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - b_x y_i)^2}{n-1}} \quad [6]$$

Ebenso bilden hier zwei Parallelen zur Regressionslinie im Abstand von  $2s_{x0}$  ein Vertrauensintervall, in dem 95% aller Beobachtungen liegen (Abb. 14).



**Abb. 14:** Zusammenhang zwischen der Analysenfunktion  $x = a_x + b_x y$  und der *Verfahrensstandardabweichung*  $s_{x0}$ .

Die Werte für die *Verfahrensstandardabweichung*  $s_{x0}$  an den 15 Messtagen sind ebenfalls in Tab. 2 (S. 29) aufgelistet. Auch sie sind, wie die Werte für  $s_{y,x}$  an allen Tagen sehr niedrig und sprechen für ein geringes Unsicherheitsmaß bei der Bestimmung der Ethanolkonzentration  $x$ . Insgesamt lässt sich sagen, dass eine ausgezeichnete Reproduzierbarkeit der Analyseergebnisse vorliegt.

### 5.1.1.3. Richtigkeit der gaschromatographischen Methode

Die *Richtigkeit* gibt die Abweichung des Messwertes vom richtigen („wahren“) Wert an. Als Ursache der Abweichungen sind systematische Fehler anzusehen. Die Richtigkeit wird im allgemeinen mit Testlösungen geprüft, deren wahrer Gehalt bekannt ist. Die gefundenen Istwerte werden mittels statistischer Tests mit den Sollwerten verglichen. In dem vorliegenden Fall werden Doppelbestimmungen von einer Serum- und einer wässrigen Testlösung durchgeführt.

Die Untersuchung der Richtigkeit der Messwerte umfasst zwei Operationen. Im ersten Schritt werden die ermittelten Messwerte auf ihre *Präzision* hin überprüft, d.h. die Abweichungen der einzelnen Doppelbestimmungen werden betrachtet. Im zweiten Schritt wird die *Richtigkeit* der Analyseergebnisse kontrolliert, indem der wahre Gehalt der Proben mit dem gefundenen Wert verglichen wird.

#### (1) Präzisionskontrolle der Messwerte

Zuerst wird eine *Präzisionskontrolle* der erhaltenen Messwerte  $x_{ist/1}$  und  $x_{ist/2}$  vorgenommen. Dazu wird aus den beiden Analysenwerten  $x_{ist/1}$  und  $x_{ist/2}$  die *Standardabweichung*  $s_x$  (Gleichung [7]) (54) berechnet und mit der *Reststandardabweichung*  $s_{x0}$  (s. Kap. 5.1.1.2., Gleichung [6]) als Sollwert verglichen.

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{soll})^2}{n}} \quad [7]$$

Ist  $s_x < s_{x0}$ , so ist die Messung ausreichend genau und zur weiteren Berechnung wird die *Reststandardabweichung*  $s_{x0}$  herangezogen. Ist hingegen  $s_x > s_{x0}$ , so wird mit dem *F-Test* (s.u.) geprüft, ob die *Standardabweichung*  $s_x$

signifikant oder hochsignifikant größer ist als die *Reststandardabweichung*  $s_{x0}$ . Ist dies nicht der Fall, wird mit  $s_{x0}$  weitergerechnet. Anderenfalls muss  $s_x$  verwendet werden, wodurch ein größerer Unsicherheitsbereich toleriert wird.

### Durchführung des *F-Testes*

Der *F-Test* ist ein statistischer Test, der Varianzen oder Standardabweichungen aus zwei Datenreihen miteinander vergleicht. Im vorliegenden Fall wird mit seiner Hilfe die Hypothese überprüft, ob die *Standardabweichung*  $s_x$  und die *Reststandardabweichung*  $s_{x0}$  nur zufällig voneinander abweichen. Dazu wird die *Prüfgröße*  $PG_F$  berechnet (Gleichung [8]) (55) und später mit einem tabellierten Wert  $F_{f_1;f_2;1-\alpha}$  verglichen (56, 57).

$$PG_F = \left( \frac{s_x}{s_{x0}} \right)^2 \quad [8]$$

Benötigt wird außerdem der zur verwendeten Standardabweichung zugehörige Freiheitsgrad  $f$ :

- für  $s_x$  :  $f_1 = n_1 - 1 = 1$  (mit  $n_1$  = Zahl der Bestimmungen der Testlösungen)
- für  $s_{x0}$  :  $f_2 = n_2 - 1 = 11$  (mit  $n_2$  = Zahl der Messpunkte der Kalibriergeraden)

Der Freiheitsgrad  $f$  dient als Suchgröße in den Tabellen.

Letztlich müssen noch Grenzen festgelegt werden, bis zu denen Unterschiede zwischen den verglichenen Standardabweichungen  $s_x$  und  $s_{x0}$  akzeptiert werden können. Üblicherweise werden vier Arten von Unterschieden vereinbart:

- a) zufälliger Unterschied
- b) wahrscheinlicher Unterschied
- c) signifikanter Unterschied
- d) hochsignifikanter Unterschied

Diese vier Arten von Unterschieden werden zum *Signifikanzniveau*  $\alpha$  ( $\alpha = 0,1; 0,05; 0,01; 0,001$ ) in Beziehung gesetzt. Dies geschieht durch Vergleich der

berechneten Prüfgröße  $PG_F$  mit den tabellierten  $F_{f_1;f_2;1-\alpha}$  – Werten. Der Entscheid, welche Art von Unterschied vorliegt, wird nach folgenden Regeln gefällt:

$$\begin{aligned}
 PG_F < F_{f_1;f_2;0,950} & : \text{ zufälliger Unterschied,} \\
 F_{f_1;f_2;0,950} \leq PG_F < F_{f_1;f_2;0,990} & : \text{ wahrscheinlicher Unterschied,} \\
 F_{f_1;f_2;0,990} \leq PG_F < F_{f_1;f_2;0,999} & : \text{ signifikanter Unterschied,} \\
 F_{f_1;f_2;0,999} \leq PG_F & : \text{ hochsignifikanter Unterschied.}
 \end{aligned}$$

Im vorliegenden Fall werden zufällige und wahrscheinliche Unterschiede akzeptiert, signifikante und hochsignifikante Unterschiede hingegen nicht mehr.

In der F-Tabelle (56) findet man für  $f_1 = 1$  und  $f_2 = 11$  folgende  $F_{f_1;f_2;1-\alpha}$  – Werte:

- $F_{1;11;0,950} = 4,84$
- $F_{1;11;0,990} = 9,65$
- $F_{1;11;0,999} = 19,69$

Ist  $PG_F < 4,84$ , so ist der Unterschied zwischen den Standardabweichungen nicht signifikant (zufällig). Bei  $4,84 \leq PG_F < 9,65$  spricht man von einem schwach signifikanten (wahrscheinlichen) Unterschied, der aber noch akzeptiert werden kann. Liegt  $PG_F$  hingegen über 9,65 bzw. 19,69, so besteht ein signifikanter bzw. hochsignifikanter Unterschied zwischen den Standardabweichungen und das Analyseergebnis kann nicht akzeptiert werden.

Die Ergebnisse der Präzisionskontrolle für die Serumtestlösung und die wässrige Testlösung sind in Tab. 3 und 4 zusammengefasst.

	$X_{soll}$ (g/l)	$X_{ist/1}$ (g/l)	$X_{ist/2}$ (g/l)	$\bar{x}$ (g/l)	$s_x$ (g/l)	$s_{x0}$ (g/l)	$PG_F$	
1.	0,8	0,79	0,80	0,795	0,0071	0,0150	0,22	$s_x < s_{x0}$
2.	0,8	0,82	0,81	0,815	0,0158	0,0076	4,29	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
3.	1,1	1,11	1,12	1,115	0,0158	0,0081	3,84	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
4.	0,8	0,79	0,80	0,795	0,0071	0,0085	0,69	$s_x < s_{x0}$
5.	1,1	1,11	1,15	1,130	0,0361	0,0140	6,59	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
6.	1,1	1,14	1,14	1,140	0,0400	0,0186	4,62	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
7.	1,1	1,13	1,12	1,125	0,0255	0,0227	1,26	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
8.	0,8	0,81	0,81	0,810	0,0100	0,0061	2,71	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
9.	0,8	0,80	0,81	0,805	0,0071	0,0104	0,46	$s_x < s_{x0}$
10.	1,1	1,11	1,12	1,115	0,0224	0,0087	6,65	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
11.	1,1	1,12	1,15	1,135	0,0381	0,0204	3,50	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
12.	1,1	1,10	1,14	1,120	0,0283	0,0219	1,67	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
13.	1,1	1,14	1,14	1,140	0,0500	0,0214	5,48	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
14.	0,8	0,79	0,82	0,805	0,0158	0,0204	0,60	$s_x < s_{x0}$
15.	0,8	0,81	0,80	0,805	0,0071	0,0110	0,41	$s_x < s_{x0}$

Tab. 3: Ergebnisse der Präzisionskontrolle der Serumtestlösung

	$X_{soll}$ (g/l)	$X_{ist/1}$ (g/l)	$X_{ist/2}$ (g/l)	$\bar{x}$ (g/l)	$s_x$ (g/l)	$s_{x0}$ (g/l)	$PG_F$	
1.	1,0	1,00	1,00	1,000	0,0000	0,0150	0,00	$s_x < s_{x0}$
2.	1,0	1,02	1,01	1,015	0,0158	0,0076	4,29	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
3.	0,8	0,79	0,80	0,795	0,0071	0,0081	0,77	$s_x < s_{x0}$
4.	1,0	1,01	1,01	1,010	0,0100	0,0085	1,39	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
5.	0,8	0,79	0,81	0,800	0,0100	0,0140	0,51	$s_x < s_{x0}$
6.	0,8	0,82	0,80	0,810	0,0141	0,0186	0,58	$s_x < s_{x0}$
7.	0,8	0,79	0,80	0,795	0,0071	0,0227	0,10	$s_x < s_{x0}$
8.	1,0	1,01	1,01	1,010	0,0158	0,0061	6,76	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
9.	1,0	1,01	1,00	1,005	0,0071	0,0104	0,46	$s_x < s_{x0}$
10.	entfällt							
11.	0,8	0,79	0,81	0,800	0,0100	0,0204	0,24	$s_x < s_{x0}$
12.	0,8	0,83	0,81	0,820	0,0224	0,0219	1,05	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
13.	0,8	0,84	0,85	0,845	0,0510	0,0214	5,70	$PG_F < F_{1;11;0,990}$
14.	1,0	1,01	1,02	1,015	0,0158	0,0204	0,60	$s_x < s_{x0}$
15.	1,0	1,00	0,99	0,995	0,0071	0,0110	0,41	$s_x < s_{x0}$

Tab. 4: Ergebnisse der Präzisionskontrolle der wässrigen Testlösung

### Auswertung der Präzisionskontrolle

Der Vergleich von  $s_x$  mit  $s_{x0}$  bei den Bestimmungen mit der Serumtestlösung ergibt, dass in zehn Fällen  $s_x > s_{x0}$  ist. Die Überprüfung dieser Fälle mit dem *F-Test* ergibt, dass der Unterschied zwischen  $s_x$  und  $s_{x0}$  als wahrscheinlicher (zufälliger) Unterschied zu bezeichnen ist. Die gefundene *Standardabweichung*  $s_x$  kann daher akzeptiert werden, und es wird mit  $s_{x0}$  weitergerechnet.

Für die wässrige Testlösung ergibt sich beim Vergleich von *Standardabweichung*  $s_x$  und *Verfahrensstandardabweichung*  $s_{x0}$  in fünf Fällen  $s_x < s_{x0}$ . Der *F-Test* ergibt auch hier, dass der Unterschied zufälliger Natur ist. Es kann mit  $s_{x0}$  weitergerechnet werden.

### **(2) Richtigkeitskontrolle der Messwerte**

Die *Richtigkeit* der Analyseergebnisse wird mit dem *Sollwert-t-Test* kontrolliert (58).

Hierbei wird der wahre Gehalt  $x_{soll}$  mit dem gefundenen Mittelwert  $\bar{x}$  und der *Verfahrensstandardabweichung*  $s_{x0}$  in Beziehung gesetzt. Die so errechnete *Prüfgröße*  $PG_t$  (Gleichung [9]) wird wiederum mit tabellierten  $t_{f;1-\alpha}$  – Werten verglichen.

$$PG_t = \frac{|\bar{x} - x_{soll}|}{s_{x0}} \sqrt{n} \quad [9]$$

In der t-Tabelle findet man für  $f = 11$  ( $f = N - 1$ ) folgende  $t_{f;1-\alpha}$  – Werte (59):

- $t_{11;0,950} = 2,201$
- $t_{11;0,990} = 3,106$
- $t_{11;0,999} = 4,437$

Analog zu den  $F_{f1;f2;1-\alpha}$  – Werten gilt folgendes: Ist  $PG_t < 2,201$ , so ist der Unterschied zwischen den Standardabweichungen nicht signifikant (zufällig).



Bei  $2,201 \leq PG_t < 3,106$  spricht man von einem schwach signifikanten Unterschied, der aber noch akzeptiert werden kann. Liegt  $PG_t$  hingegen über 3,106 bzw. 4,437, so besteht ein signifikanter bzw. hochsignifikanter Unterschied zwischen den Standardabweichungen und das Analysenergebnis kann nicht akzeptiert werden.

Die Ergebnisse der Richtigkeitskontrolle für die Serumtestlösung und die wässrige Testlösung sind in Tab. 5 und 6 zusammengefasst.

	$x_{soll}$ (g/l)	$\bar{x}$ (g/l)	$s_{x0}$ (g/l)	$PG_t$	
1.	0,8	0,795	0,0150	-0,470	$PG_t < t_{11;0,950}$
2.	0,8	0,815	0,0076	2,780	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
3.	1,1	1,115	0,0081	2,629	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
4.	0,8	0,795	0,0085	-0,833	$PG_t < t_{11;0,950}$
5.	1,1	1,130	0,0140	3,022	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
6.	1,1	1,140	0,0186	3,040	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
7.	1,1	1,125	0,0227	1,556	$PG_t < t_{11;0,950}$
8.	0,8	0,810	0,0061	2,326	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
9.	0,8	0,805	0,0104	0,679	$PG_t < t_{11;0,950}$
10.	1,1	1,115	0,0087	2,447	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
11.	1,1	1,135	0,0204	2,431	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
12.	1,1	1,120	0,0219	1,294	$PG_t < t_{11;0,950}$
13.	1,1	1,140	0,0214	2,648	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
14.	0,8	0,805	0,0204	0,346	$PG_t < t_{11;0,950}$
15.	0,8	0,805	0,0110	0,641	$PG_t < t_{11;0,950}$

Tab. 5: Ergebnisse der Richtigkeitskontrolle der Serumtestlösung

	$x_{soll}$ (g/l)	$\bar{x}$ (g/l)	$s_{x0}$ (g/l)	$PG_t$	
1.	1,0	1,000	0,0150	0,000	$PG_t < t_{11;0,950}$
2.	1,0	1,015	0,0076	2,780	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
3.	0,8	0,795	0,0081	-0,876	$PG_t < t_{11;0,950}$
4.	1,0	1,010	0,0085	1,666	$PG_t < t_{11;0,950}$
5.	0,8	0,800	0,0140	0,000	$PG_t < t_{11;0,950}$
6.	0,8	0,810	0,0186	0,760	$PG_t < t_{11;0,950}$
7.	0,8	0,795	0,0227	-0,311	$PG_t < t_{11;0,950}$
8.	1,0	1,010	0,0061	2,326	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
9.	1,0	1,005	0,0104	0,679	$PG_t < t_{11;0,950}$
10.	entfällt				
11.	0,8	0,800	0,0204	0,000	$PG_t < t_{11;0,950}$
12.	0,8	0,820	0,0219	1,294	$PG_t < t_{11;0,950}$
13.	0,8	0,845	0,0214	2,979	$t_{11;0,950} < PG_t < t_{11;0,990}$
14.	1,0	1,015	0,0204	1,038	$PG_t < t_{11;0,950}$
15.	1,0	0,995	0,0110	-0,641	$PG_t < t_{11;0,950}$

Tab. 6: Ergebnisse der Richtigkeitskontrolle der wässrigen Testlösung

#### Auswertung der Richtigkeitskontrolle

Der anschließende Vergleich der Tabellenwerte von  $t_{\bar{x};1-\alpha}$  mit den berechneten Prüfgrößen  $PG_t$  zeigt, dass in der Mehrzahl der Fälle  $PG_t < t_{11;0,950}$ . In den anderen Fällen liegt der Wert der  $PG_t$  zwischen  $t_{11;0,950}$  und  $t_{11;0,990}$ . Dies lässt insgesamt gesehen auf einen zufälligen Unterschied zwischen Mittelwert  $\bar{x}$  und dem wahren Gehalt  $x_{soll}$  schließen. Dies wiederum bedeutet, dass sich keine systematischen Fehler nachweisen lassen.

### 5.1.2. Vergleich der GC-Methode mit der ADH-Methode

Die Präzision und Richtigkeit der Ergebnisse der Blutalkoholanalysen kann auch mittels Vergleich der angewandten Methoden (GC- und ADH-Methode) überprüft werden. Dazu werden die Messwerte in ein linear eingeteiltes Koordinatensystem eingetragen. Die Ergebnisse der GC-Methode werden auf der Abszisse ( $x_i$ ) und die Ergebnisse der ADH-Methode auf der Ordinate ( $y_i$ ) abgetragen. Für diese Punktwolke mit  $n = 126$  wird eine Ausgleichsgerade nach der Methode der linearen Regression berechnet (Abb. 14). Aus der Lage der Ausgleichsgeraden lassen sich verschiedene Fehlertypen erkennen.

Weicht die Lage der Ausgleichsgeraden von der Ursprungsgeraden  $y = bx$  ab, die bei gleichen Koordinateneinheiten einen Steigungswinkel von  $45^\circ$  ( $b = 1$ ) hat, liegen **systematische Fehler** vor. Parallelverschiebung nach oben oder unten deutet auf einen **konstanten Fehler** hin, dessen Größe dem Schnittpunkt der Achse mit der Ordinate (*Ordinatenabschnitt*  $a$ ) entspricht. Dies gilt nur, wenn  $b$  sich nicht signifikant von 1 unterscheidet. Ist die *Steigung*  $b$  hingegen signifikant verschieden von 1, so liegt ein **proportionaler Fehler** vor (51).

Die *Reststandardabweichung*  $s_{y,x}$ , die die Streuung der Messwerte um die Regressionslinie bezeichnet (Kap. 5.1.1.2.), wird nur durch **zufällige Fehler** beeinflusst. Ihr Wert ist daher ein Maß für die Präzision der verglichenen Methoden (51).

## Ergebnisse und Diskussion

Die lineare Regression berechnet folgende Ausgleichsgerade:

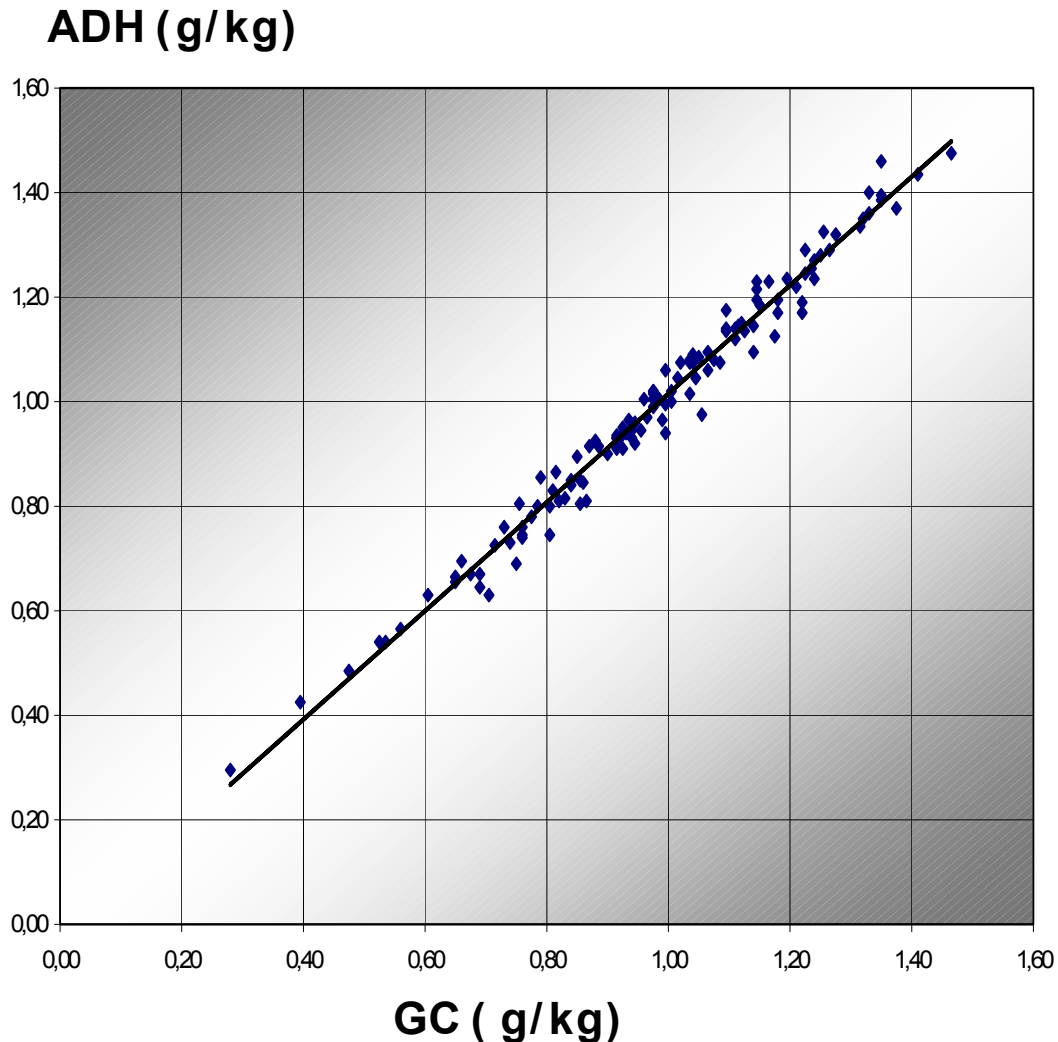


Abb. 14: Vergleich der GC- mit der ADH-Methode

Für  $n = 126$  Wertepaare erhält man einen *Korrelationskoeffizienten* von  $r = 0,99$ , welcher den ausgezeichneten linearen Zusammenhang zwischen den Messwerten beschreibt.

Die Berechnung der *Steigung*  $b$  ergibt einen Wert von  $b = 1,03$ . Zur Prüfung, ob sich die *Steigung*  $b$  signifikant von 1,00 unterscheidet, wird die *Standardabweichung der Steigung*  $s_b$  nach folgender Formel berechnet:

$$s_b = s_{y.x} \cdot \frac{1}{\sqrt{Q_x}} \quad [10]$$

$$\text{mit } Q_x = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad [11]$$

Für ein 95%-Konfidenzintervall gilt:  $b \pm 2s_b$ . In dem vorliegenden Fall ergibt sich für  $s_b = 0,02$  mg/l und damit eine Steigung mit den Grenzen für ein 95%-Vertrauensintervall von  $b = 1,03 \pm 0,04$  mg/l. Dies spricht nicht für eine signifikante Abweichung der Steigung von 1,00. Ein proportionaler Fehler kann somit ausgeschlossen werden.

Der Ordinatenabschnitt berechnet sich zu  $a = 0,02$  g/l. Es zeigt sich damit keine nennenswerte Nullpunktverschiebung und auch ein konstanter Fehler kann damit ausgeschlossen werden.

Für die *Reststandardabweichung*  $s_{y.x}$  ergibt sich ein Wert von  $s_{y.x} = 0,03$  g/l. Diese geringe Streuung der Messwerte spricht für ein geringes Auftreten von zufälligen Fehlern und somit für ein hohes Maß an Präzision.

### 5.1.3. Präzision des Mittelwertes aus den vier Einzelbestimmungen

Der BGH fordert, „durch die Bekanntgabe der vier bzw. fünf Einzelmesswerte jeder Blutalkoholbestimmung nachzuweisen, dass die sich ergebende Standardabweichung unter den im Gutachten 1989 angegebenen Maximalwerten liegt“ (60). Daher wird im Folgenden die Standardabweichung der Mittelwerte der Einzelmessungen untersucht.

Die Bestimmung der Blutalkoholkonzentration einer Blutprobe Nr.  $i$  erfolgt durch vier Einzelmessungen und zwei verschiedene Verfahren. Für jede Probe  $i$  liegen somit insgesamt vier Messergebnisse vor:

$$x_{i1} \quad x_{i2} \quad y_{i1} \quad y_{i2}$$

Dabei bedeuten die x-Werte die Ergebnisse, die mit der GC-Methode bestimmt wurden und die y-Werte, die nach der ADH-Methode bestimmten Werte (zulässige Variationsbreite 10 %). Unter der Annahme, dass die Einzelmessungen  $x_{ij}$  bzw.  $y_{ij}$  zufällig um einen gemeinsamen Mittelwert  $X_i$  schwanken, kann die *Standardvarianz*  $s_i^2$  des Mittelwertes  $X_i$  der Blutalkoholbestimmung nach Gleichung [12] bestimmt werden (61, 62):

$$s_i^2 = \frac{(x_{i1} - X_i)^2 + (x_{i2} - X_i)^2 + (y_{i1} - X_i)^2 + (y_{i2} - X_i)^2}{n - 1} \quad [12]$$

Daraus ergibt sich für die *Standardabweichung*  $s_i$ :

$$s_i = \sqrt{\frac{(x_{i1} - X_i)^2 + (x_{i2} - X_i)^2 + (y_{i1} - X_i)^2 + (y_{i2} - X_i)^2}{n - 1}} \quad [13]$$

Nach Sammler et al. (62) ist es statthaft, die beiden Einzelwerte der zwei Verfahren zu einer Gruppe zusammenzufassen, da die systematischen Abweichungen nur von geringem Ausmaß sind. Auch sind die Bedingungen der Normalverteilung trotz der geringen Anzahl von Einzelmessungen erfüllt, da man bei genügend häufiger Wiederholungsmessung mit dem GC- bzw. ADH-

Verfahren eine gut angenäherte Gaußsche Normalverteilung der einzelnen Messwerte erhält.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Berechnung der *Standardabweichung*  $s_i$  für 126 Mittelwerte  $X_i$  ergibt im Durchschnitt einen Wert von  $\bar{s}_i = 0,02$  g/kg. Die Häufigkeitsverteilung der Standardabweichungen ist in Abb. 15 dargestellt.

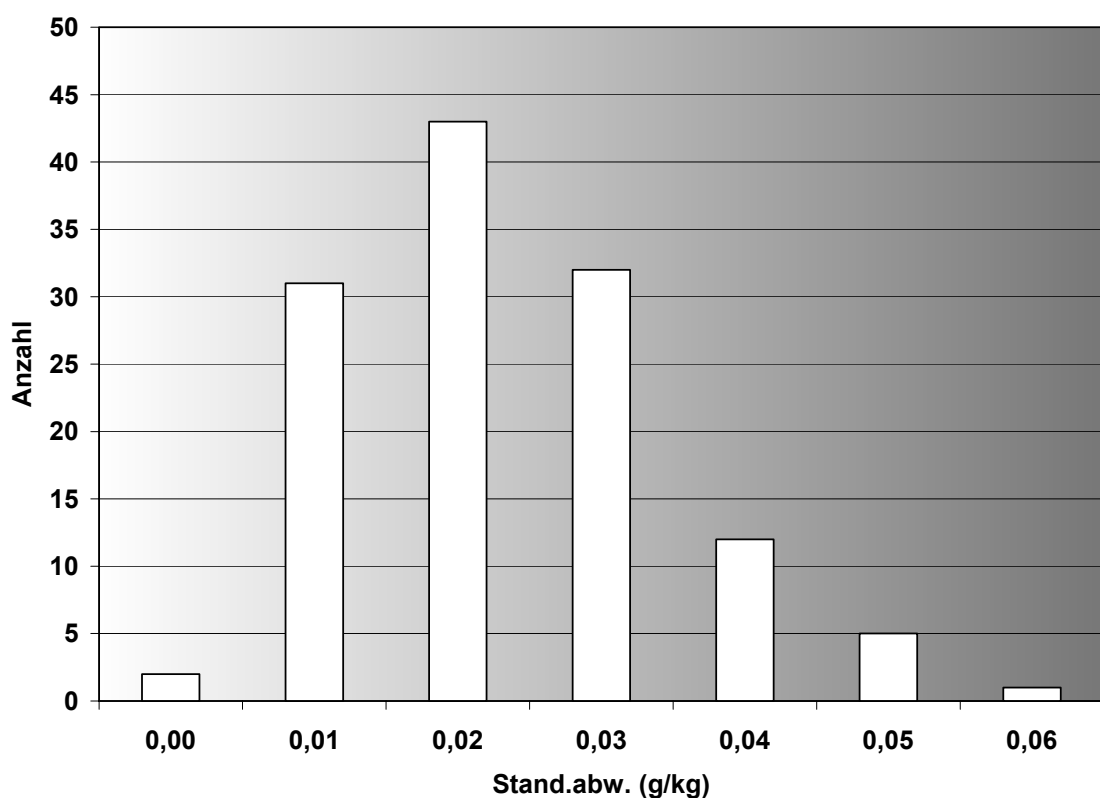


Abb. 15: Die Häufigkeitsverteilung der *Standardabweichungen*  $s_i$  bei der Blutalkoholanalyse

In der Mehrzahl der Fälle ( $n = 76$ ) ist die *Standardabweichungen*  $s_i \leq 0,02$  g/kg. In 108 Fällen liegt sie unter dem vom BGH geforderten Maximalwert von 0,03 g/kg. Aber auch in den Fällen, in denen die Standardabweichung über den geforderten Grenzen liegt, kann das betreffende Blutalkoholergebnis

vorbehaltlos Verwendung finden. Nach Sammler et al. (62) ist der Parameter Standardabweichung nicht geeignet, im nachhinein aus den Einzelwerten die geforderte Verfahrenspräzision nachzuweisen. Diese wird bereits durch Teilnahme an Ringversuchen, tägliche Kalibrierungen und Mitführen von Standards und Kontrolllösungen belegt. In der vorliegenden Studie wird die Präzision der angewandten Methoden in Kapitel 5.1.1.2. untersucht und für gut befunden.

#### 5.1.4. Zusammenfassung

Für die Beurteilung der Aussagekraft der forensischen **Blutalkoholbestimmung** ist auf der einen Seite der *Zufallsfehler* und auf der anderen Seite der *systematische Fehler* von Bedeutung. Bei dem *Zufallsfehler* ist zu unterscheiden zwischen dem Fehler in der Serie, der die Reproduzierbarkeit der Messmethode charakterisiert, und dem Zufallsfehler in der Routinemessung.

Die Bewertung der Reproduzierbarkeit der GC-Methode erfolgte durch Untersuchung der *Reststandardabweichung*  $s_{y,x}$  und der *Verfahrensstandardabweichung*  $s_{x0}$ . Mit einem Durchschnittswert von  $s_{y,x} = 0,01049$  und  $s_{x0} = 0,01491$  ergibt sich eine hohe Messpräzision für die GC-Methode.

Der Zufallsfehler in der Routinemessung wurde durch Bestimmung der *Standardabweichung*  $s_i$  der vier Einzelmesswerte - 2 GC-Werte und 2 ADH-Werte - abgeschätzt. Es ergibt sich ein Mittelwert von  $\bar{s}_i = 0,02$  g/l. Dieser liegt unter dem vom BGH geforderten Maximalwert von 0,03 g/l und zeugt von einer sehr guten Präzision in der Routinemessung.

Auch die Bewertung der Reproduzierbarkeit der ADH-Methode durch Vergleich mit der GC-Methode ergibt eine geringe Streuung der Messwerte ( $s_{y,x} = 0,03$  g/l), was für eine hohe Präzision spricht.



Ob *systematische Fehler* bei dem GC-Verfahren vorliegen, wurde durch Richtigkeitskontrollen mit Testlösungen untersucht. Laut Ergebnis dieser Kontrollen sind keine systematischen Fehler nachzuweisen.

Die Untersuchung des systematischen Fehlers bei der ADH-Methode durch Vergleich mit der GC-Methode zeigt, dass auch hier keine systematischen Fehler vorliegen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Bestimmung der Blutalkoholkonzentration mit den beschriebenen Methoden als ausreichend exakt und richtig anzusehen ist und somit nicht als Grund für die z.T. großen Differenzen zwischen BAK- und umgerechnetem AAK-Wert in Frage kommt.

## 5.2. Atemalkoholanalysen

### 5.2.1. Messpräzision und Richtigkeit des Alcotestgerätes 7110 Evidential

Für eine gültige Bestimmung der Atemalkoholkonzentration mit dem Alcotestgerät 7110 Evidential der Firma Dräger müssen zwei gültige Messzyklen durchgeführt werden. Die Ethanolkonzentration in der Atemluft wird in zwei voneinander unabhängigen Verfahren folgendermaßen ermittelt. Im ersten Messzyklus wird die AAK über die IR-Absorption des Ethanols bei  $9\ \mu\text{m}$  gemessen ( $\text{IR}_1$ ). Nach einer vom Messgerät vorgegebenen Zeit von etwa 2-3 min wird in der zweiten Atemprobe die AAK sowohl erneut durch IR-Absorption ( $\text{IR}_2$ ) als auch anschließend durch eine elektrochemische Reaktion (Oxidation) in einer Brennstoffzelle ( $\text{EC}_2$ ) bestimmt. Bei zu großen Abweichungen zwischen  $\text{IR}_2$  und  $\text{EC}_2$  wird der Messzyklus für ungültig erklärt. Das Messergebnis wird als Mittelwert aus  $\text{IR}_1$  und  $\text{EC}_2$  in der SI-Einheit mg/l angegeben.

Da uns sowohl keine Kalibrierergebnisse als auch keine Richtigkeitskontrollen zur Verfügung stehen, sind wir zur Beurteilung der Präzision und Richtigkeit der Messungen folgendermaßen vorgegangen. Man vergleicht sowohl die Messwerte, die simultan aus einer Atemprobe gewonnen werden ( $\text{IR}_2$  und  $\text{EC}_2$ ) miteinander, als auch die in unterschiedlichen Atemproben ermittelten Messwerte  $\text{IR}_1$  und  $\text{EC}_2$ . Es werden insgesamt nur 228 Atemproben ausgewertet, da von den restlichen zwar das Endergebnis, nicht aber die Ergebnisse der Einzelmessungen zu ermitteln waren.

#### 5.2.1.1. Vergleich von $\text{IR}_2$ und $\text{EC}_2$

Zuerst werden die beiden Messwerte miteinander verglichen, die gleichzeitig aus einer Atemprobe mit unterschiedlichen Methoden gewonnen werden. Dies sind bei der zweiten Atemprobe der  $\text{IR}_2$  - und  $\text{EC}_2$  - Messwert. In Abb. 16 sind

die Wertepaare aus 228 Atemproben mit der zugehörigen Regressionsgeraden gegeneinander aufgetragen.

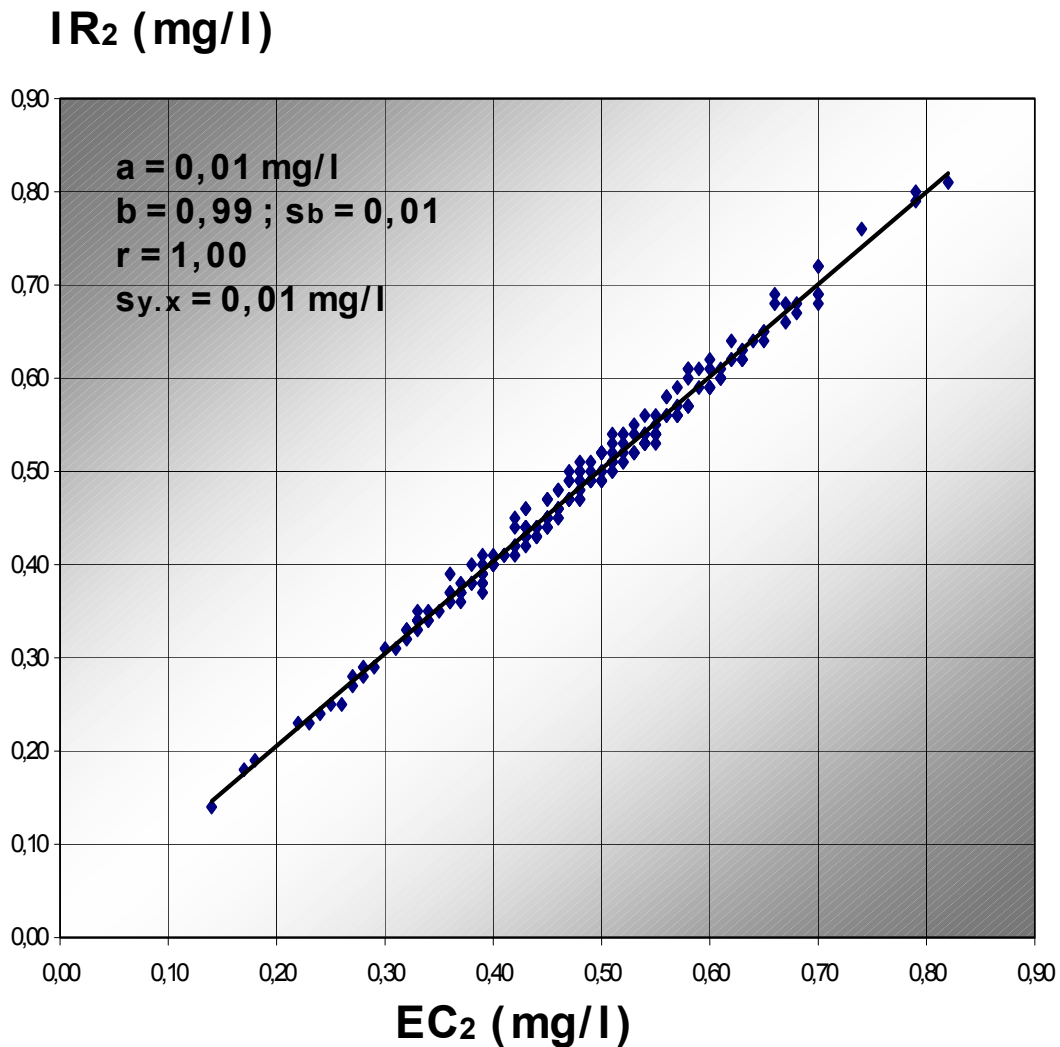


Abb. 16: Vergleich des EC<sub>2</sub> – Wertes mit dem IR<sub>2</sub> – Wert

Wird mit beiden Methoden das gleiche Ergebnis erzielt, so kann man annehmen, dass das Gerät den richtigen („wahren“) Wert dieser 2. Atemprobe misst. Dies bedeutet für den *Achsenabschnitt*  $a$  und die *Steigung*  $b$  der Regressionsgeraden, dass  $a = 0 \text{ mg/l}$  und  $b = 1$  sein muss. Für den *Achsenabschnitt*  $a$  ergibt sich ein Wert von  $a = 0,0 \text{ mg/l}$ . Die Berechnung der *Steigung*  $b$  ergibt einen Wert von  $b = 0,99 \pm 0,01$  (Berechnung der

*Standardabweichung der Steigung*  $s_b$  s. Gleichung [8] und [9]). Es sind also weder proportionale systematische Fehler durch Abweichung von  $b = 1$ , noch konstante systematische Fehler durch Parallelverschiebung der Regressionsgeraden zu entdecken. Denkbar ist allerdings die Möglichkeit, dass beide Bestimmungen einen gleichsinnigen konstanten systematischen Fehler aufweisen; in diesem Fall würden beide Methoden den Wert um den gleichen Betrag zu niedrig bzw. zu hoch analysieren.

Die *Reststandardabweichung*  $s_{y,x}$  als Maß für die Streuung der Messpunkte um die Regressionsgerade zeigt mit  $s_{y,x} = 0,01$  mg/l eine sehr geringe Streubreite. Dies zeugt von einer hohen Präzision bei der Bestimmung der  $IR_2$  - und  $EC_2$  - Werte.

Die Präzision und - eingeschränkt - die Richtigkeit des  $EC_2$  - Wertes, der mit dem  $IR_1$  - Wert des ersten Messzyklus das Endergebnis bildet, sind somit sehr gut.

#### **5.2.1.2. Vergleich von $IR_1$ und $EC_2$**

Vergleicht man nun die beiden Messwerte miteinander, die aus unterschiedlichen Atemproben gewonnen werden, so lässt sich - wiederum eingeschränkt - eine Aussage über die Richtigkeit des Endergebnisses (Mittelwert aus  $IR_1$  und  $EC_2$ ) und seine Präzision machen. Dies sind der IR-Wert aus dem ersten Messzyklus ( $IR_1$ ) und der EC-Wert aus dem zweiten Messzyklus ( $EC_2$ ). Die entsprechenden Wertepaare der 228 Atemproben mit der zugehörigen Regressionsgerade sind in Abb. 17 aufgetragen.

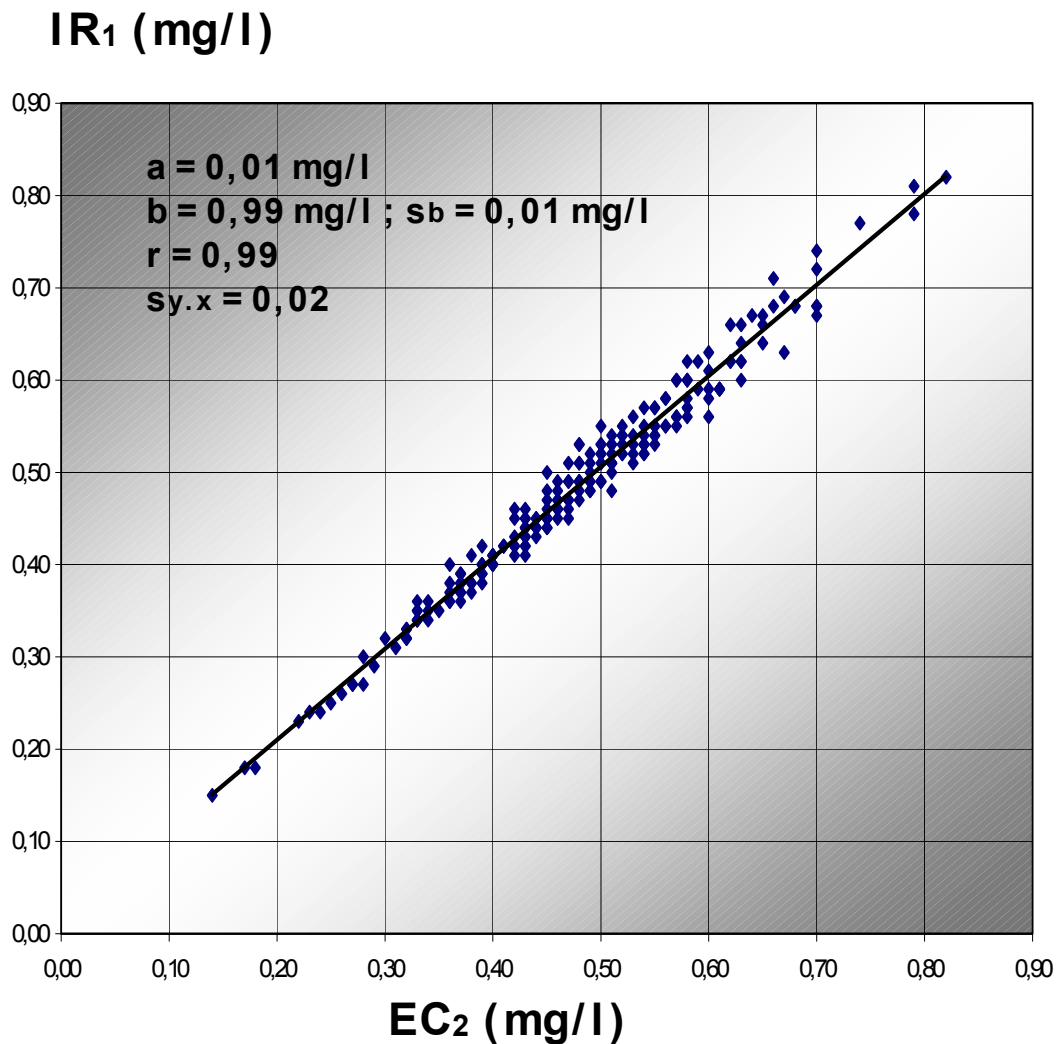


Abb. 17: Vergleich des EC<sub>2</sub> – Wertes mit dem IR<sub>1</sub> – Wert

In Abb. 16 und Abb. 17 liegen nahezu identische Regressionsgeraden vor, was beim Vergleich der Parameter deutlich wird. Für den *Achsenabschnitt*  $a$  ergibt sich ein Wert von  $a = 0,01 \text{ mg/l}$ . Die Berechnung der *Steigung*  $b$  ergibt einen Wert von  $b = 0,99 \pm 0,01$ . Wie beim obigen Vergleich sind weder proportionale systematische Fehler (durch Abweichung von  $b = 1$ ), noch konstante systematische Fehler (durch Parallelverschiebung der Regressionsgeraden) zu entdecken. Denkbar ist allerdings auch hier wieder das Vorliegen eines gleichsinnigen konstanten systematischen Fehlers bei beiden Methoden.

Die *Reststandardabweichung* zeigt mit  $s_{y,x} = 0,02 \text{ mg/l}$  eine sehr geringe Streubreite.

Der Vergleich der  $EC_2$  - mit den  $IR_1$  - Werten zeigt ein hohes Maß an Präzision bei der Bestimmung der Messwerte. Eingeschränkt kann auch davon ausgegangen werden, dass die Richtigkeit der Methoden sehr gut ist. Dies kann letztendlich jedoch nur durch Bestimmungen von Kontrollproben, deren wahrer Gehalt bekannt ist, festgestellt werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sowohl die Präzision des Messgerätes als auch (eingeschränkt) die Richtigkeit der Ergebnisse sehr gut sind.

### 5.2.2. Präzision des Mittelwertes aus $IR_1$ und $EC_2$

Das Endergebnis der Atemalkoholanalyse wird als Mittelwert  $X_i$  aus dem IR-Wert des ersten Messzyklus ( $IR_1$ ) und dem EC-Wert des zweiten Messzyklus ( $EC_2$ ) bestimmt. Bei den Blutalkoholanalysen wird die Angabe aller vier Einzelwerte gefordert, um anhand der Standardabweichung auf die Präzision der Bestimmung Rückschlüsse ziehen zu können. Dass dieses problematisch ist, wurde bereits in Kap. 5.1.1.5. diskutiert. Trotzdem soll hier vollständigheitshalber die *Standardabweichung*  $s_i$  des Mittelwertes  $X_i$  aus  $IR_1$  und  $EC_2$  bestimmt werden.

Die Bestimmung der *Standardabweichung*  $s_i$  erfolgt nach folgender Gleichung:

$$s_i = \sqrt{\frac{(IR_{i1} - X_i)^2 + (EC_{i2} - X_i)^2}{n-1}} \quad [14]$$

### Ergebnisse und Diskussion

Die Berechnung der *Standardabweichungen*  $s_i$  für 228 Mittelwerte  $X_i$  ergibt im Durchschnitt einen Wert von  $\bar{s}_i = 0,01$  mg/l. Die Häufigkeitsverteilung der Standardabweichungen sind in Abb. 18 dargestellt.

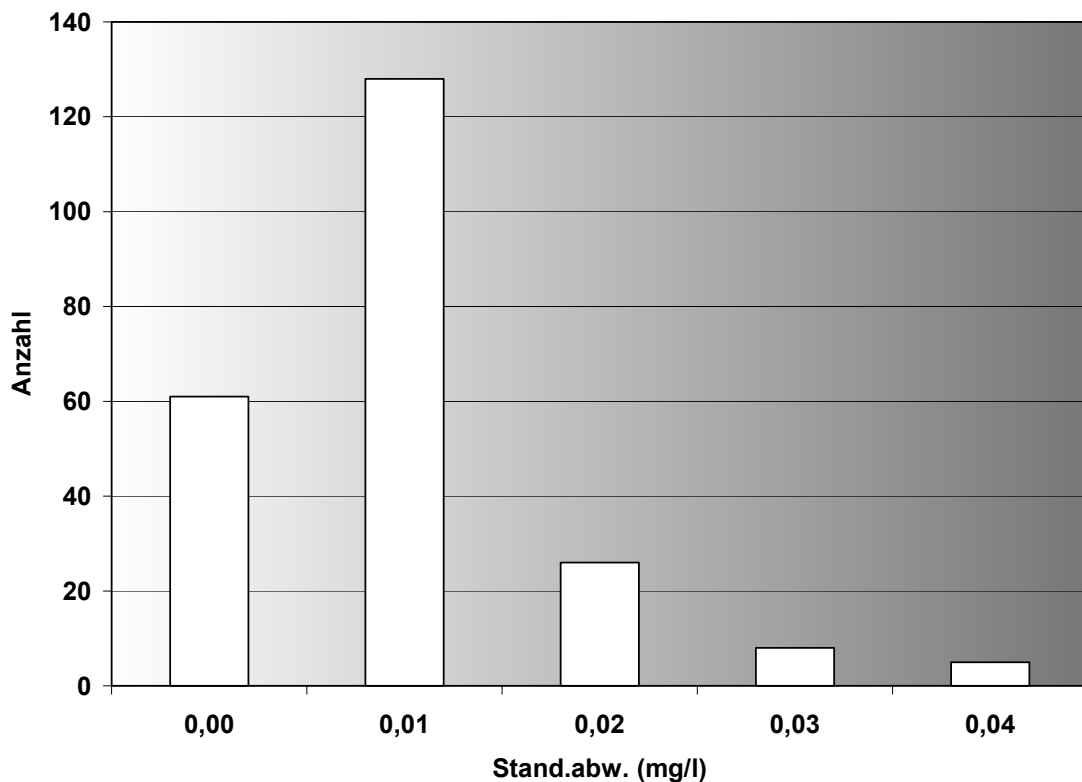


Abb. 18: Die Häufigkeitsverteilung der *Standardabweichungen*  $s_i$  bei der Atemalkoholanalyse

In der Mehrzahl der Fälle ( $n = 189$ ) ist die *Standardabweichungen*  $s_i \leq 0,01$  mg/l. Um einen Vergleich mit den Standardabweichungen der Endergebnisse bei der Blutalkoholbestimmung ziehen zu können, müssen die Werte für  $s_i$  der AAK mit 2100 l/kg multipliziert werden. Man erhält so in beiden Fällen eine ähnliche Verteilung der Standardabweichungen. Ein wichtiger anzumerkender Punkt ist aber, dass die Standardabweichungen bei der Blutalkoholbestimmung aus vier Einzelwerten errechnet wird, bei der AAK-Bestimmung hingegen nur aus zwei Einzelwerten. Dies hat zur Folge, dass im

Fall der AAK die Standardabweichung eine unschärfere Aussage über Abweichungen vom Mittelwert macht.



## **6. Untersuchung der Variabilität des BAK/AAK-Quotienten**

Wie vorne bereits ausgeführt (S. 9), wird bei der Umrechnung der AAK (mg/l) in die analoge BAK (g/kg) von einem Alkoholkonzentrationsverhältnis zwischen Blut und Alveolarluft von 2100 : 1 ausgegangen. Um die in unseren Trinkversuchen im Einzelfall auffallenden unerwartet großen Differenzen zwischen der BAK und dem AAK-Analogwert erklären zu können, sollen in diesem Kapitel eventuelle Abhängigkeiten des BAK/AAK-Quotienten von verschiedenen Faktoren untersucht werden. Dazu werden die gefundenen BAK/AAK-Verhältnisse als Funktion der Zeit nach Trinkende, des Geschlechtes und Alters der Probanden und der Blutalkoholkonzentration dargestellt und ausgewertet.

### **6.1. Das BAK/AAK-Verhältnis in Relation zur Zeit nach Trinkende**

Die Untersuchung der Veränderung des BAK/AAK-Verhältnisses mit der Zeit nach Trinkende soll die Möglichkeit einer Einflussnahme der Stoffwechsellage beleuchten. Dabei stellen sich folgende Fragen:

1. Ist ein Trend pro Proband zu erkennen?
2. Ist ein Trend pro Versuchstag zu erkennen?
3. Wie ist der Trend insgesamt?

Zu diesem Zweck haben wir für jeden Probanden, für jeden Versuchstag und für die Werte insgesamt die Veränderung des BAK/AAK-Quotienten in Abhängigkeit von der Zeit nach Trinkende ausgewertet.

### 6.1.1. Auswertung der Daten pro Proband

An den Trinkversuchen nahmen 40 Probanden teil, bei denen 5 bzw. 6 BAK/AAK-Tests durchgeführt wurden. Die Zeit nach Trinkende, in der die Tests stattfanden, schwankt zwischen 14 und 218 Minuten. Im Schnitt wurde alle 20 Minuten ein BAK/AAK-Test so durchgeführt, dass in der kurzen Messpause zwischen den beiden Atemtests die Blutabnahme erfolgte.

Die Berechnung des BAK/AAK-Quotienten erfolgt nach vorheriger Umrechnung des BAK Wertes in die Einheit (mg/kg). Eine Division der BAK (mg/kg) durch die AAK (mg/l) muss dann theoretisch den Wert 2100 (l/kg) ergeben. Für jeden Probanden werden die 6 bzw. 5 BAK/AAK-Werte berechnet und in Abhängigkeit von der Zeit nach Trinkende in einem Diagramm dargestellt. Die Darstellung erfolgt zum einen als Säulendiagramm, um die Abweichungen von dem idealen Wert 2100 zu verdeutlichen. Zur Überprüfung eines linearen Zusammenhanges werden die Wertepaare zum anderen als Punktwolke in einem linearen Koordinatensystem dargestellt, auf dessen Abszisse die Zeit nach Trinkende ( $t$  in Minuten) und auf dessen Ordinate der BAK/AAK-Quotient (l/kg) aufgetragen ist. (s. Anhang Abb. 23 - 30). Anschließend wird mittels linearer Regression eine Ausgleichsgerade in die Punktwolke gelegt und die folgenden Parameter werden ermittelt: der *Minimal- u. Maximalwert* ( $y_{min}$  und  $y_{max}$ ), die *Schwankungsbreite* (*range*), sowie der *Mittelwert* des BAK/AAK-Quotienten ( $\bar{y}$ ) und die *Standardabweichung* ( $s_y$ ). Die Regressionsanalyse liefert den *Korrelationskoeffizienten*  $r$ , den *Ordinatenabschnitt*  $a$  und die *Steigung*  $b$ . Die Werte sind in Tab. 7 zusammengefasst.

## Ergebnisse:

Regressionsanalyse													$t_{t,1-\alpha/2}$		
													$t_{4,0,975} = 2,776$		
*	A	$y_{min}$	$y_{max}$	range	$\bar{y}$	$s_y$	r	a	b	n	t	$t_{3,0,975} = 3,182$	BAK		
1	TV1/P1	m	27	1902	2294	392	2144	137	0,92	1916	2,74	6	4,75	$t > t_{4,0,975}$	1,60
2	TV1/P3	m	27	1934	2280	346	2147	122	0,88	1952	2,45	6	3,63	$t > t_{4,0,975}$	1,16
3	TV1/P4	w	19	2106	2261	156	2179	66	0,86	2062	1,30	6	3,39	$t > t_{4,0,975}$	1,07
4	TV1/P5	m	28	2117	2317	200	2208	80	0,83	2071	1,50	6	2,96	$t > t_{4,0,975}$	1,35
5	TV2/P1	m	33	2404	2544	140	2474	63	-0,56	2522	-0,49	5	1,18	$t < t_{3,0,975}$	1,33
6	TV2/P2	m	56	2307	2432	125	2353	49	0,48	2313	0,44	6	1,11	$t < t_{4,0,975}$	1,07
7	TV2/P3	m	70	2420	2605	185	2523	61	0,50	2467	0,59	6	1,15	$t < t_{4,0,975}$	1,31
8	TV2/P4	m	69	2388	2475	87	2425	36	-0,24	2441	-0,17	6	0,50	$t < t_{4,0,975}$	1,24
9	TV2/P5	m	31	2239	2414	175	2333	83	0,87	2188	1,38	6	3,61	$t > t_{4,0,975}$	1,02
10	TV4/P1	m	23	1528	2106	578	1882	211	0,83	1584	3,08	6	3,03	$t > t_{4,0,975}$	0,92
11	TV4/P2	m	18	1981	2227	247	2100	90	0,92	1963	1,43	6	4,54	$t > t_{4,0,975}$	0,41
12	TV4/P3	w	24	1802	2043	241	1982	93	0,80	1866	1,29	6	2,69	$t < t_{4,0,975}$	0,96
13	TV4/P4	w	25	1854	2056	202	1977	90	0,82	1862	1,26	6	2,86	$t > t_{4,0,975}$	1,19
14	TV4/P5	m	24	1880	2085	205	2022	76	0,89	1902	1,19	6	3,82	$t > t_{4,0,975}$	0,90
15	TV5/P1	m	26	1849	2022	173	1972	62	0,77	1889	0,91	6	2,38	$t < t_{4,0,975}$	1,04
16	TV5/P2	m	24	1736	2140	404	1997	141	0,80	1802	2,07	6	2,67	$t < t_{4,0,975}$	0,90
17	TV5/P3	m	25	2065	2238	173	2170	59	0,38	2125	0,42	6	0,82	$t < t_{4,0,975}$	0,82
18	TV5/P4	m	25	1967	2205	238	2068	82	0,62	1958	0,99	6	1,60	$t < t_{4,0,975}$	1,07
19	TV5/P5	m	27	1767	2295	528	2131	187	-0,46	2324	-1,64	6	1,04	$t < t_{4,0,975}$	0,88
20	TV6/P1	w	30	1900	2056	156	2008	57	0,66	1938	0,74	6	1,73	$t < t_{4,0,975}$	1,13
21	TV6/P2	w	18	2188	2375	188	2270	66	0,83	2171	1,09	6	2,96	$t > t_{4,0,975}$	1,13
22	TV6/P3	m	30	2032	2226	194	2168	72	0,81	2063	1,15	6	2,72	$t < t_{4,0,975}$	0,83
23	TV6/P4	m	30	2114	2235	122	2179	42	0,74	2120	0,61	6	2,18	$t < t_{4,0,975}$	0,82
24	TV6/P5	m	24	1991	2219	228	2127	80	0,66	2015	1,04	6	1,77	$t < t_{4,0,975}$	1,04
25	TV7/P1	w	38	2033	2378	345	2256	120	0,82	2086	1,88	6	2,84	$t > t_{4,0,975}$	1,08
26	TV7/P2	w	36	2080	2234	154	2172	52	0,58	2112	0,60	6	1,41	$t < t_{4,0,975}$	1,10
27	TV7/P3	w	31	2065	2146	81	2120	34	0,84	2063	0,57	6	3,07	$t > t_{4,0,975}$	0,88
28	TV7/P4	w	35	1956	2240	285	2106	119	0,94	1861	2,22	6	5,33	$t > t_{4,0,975}$	1,25
29	TV7/P5	w	34	1962	2163	202	2087	85	0,84	1932	1,58	5	2,69	$t < t_{4,0,975}$	0,96
30	TV8/P1	m	28	2185	2235	50	2219	21	0,35	2205	0,12	6	0,75	$t < t_{4,0,975}$	1,19
31	TV8/P2	m	29	2043	2218	174	2137	59	0,40	2093	0,37	6	0,86	$t < t_{4,0,975}$	1,28
32	TV8/P3	w	30	2077	2241	164	2181	60	0,18	2160	0,18	6	0,37	$t < t_{4,0,975}$	0,56
33	TV8/P4	w	26	2150	2241	91	2197	41	0,25	2176	0,16	6	0,52	$t < t_{4,0,975}$	0,68
34	TV8/P5	m	24	2073	2326	253	2215	97	0,93	2018	1,45	6	4,87	$t > t_{4,0,975}$	0,79
35	TV8/P6	m	25	2020	2138	117	2080	46	0,77	1997	0,62	6	2,43	$t < t_{4,0,975}$	0,88
36	TV9/P1	w	25	1711	1975	264	1855	109	0,98	1672	2,11	6	11,08	$t > t_{4,0,975}$	0,95
37	TV9/P2	w	24	1908	2077	169	2016	59	0,74	1937	0,86	6	2,20	$t < t_{4,0,975}$	1,28
38	TV9/P3	m	24	2066	2261	195	2144	73	0,96	2009	1,38	6	6,64	$t > t_{4,0,975}$	0,69
39	TV9/P4	m	30	1964	2118	153	2048	67	0,78	1942	1,03	6	2,53	$t < t_{4,0,975}$	0,75
40	TV9/P5	w	44	1924	2069	146	2007	57	0,66	1928	0,73	6	1,74	$t < t_{4,0,975}$	0,77

 $y_{min}$  : BAK/AAK Minimalwert (l/kg) $t > t_{t,1-\alpha}$  : 16 $y_{max}$  : BAK/AAK Maximalwert (l/kg) $t < t_{t,1-\alpha}$  : 24 $\bar{y}$  : BAK/AAK Mittelwert (l/kg)

r: Korrelationskoeffizient

range:  $y_{max} - y_{min}$  (l/kg)

a: Ordinatenabschnitt (l/kg)

 $s_y$  : Standardabweichung (l/kg)b: Steigung (l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>)

A: Alter

n: Anzahl

\*: Geschlecht (weibl. Prob.)

t: Prüfgröße

grau unterlegt)

BAK: BAK-Mittelwert der Probanden (%)

Tab. 7: Auswertung des Verhältnisses der BAK/AAK-Quotienten der einzelnen Probanden zur Zeit nach Trinkende

Die Auswertung der Daten der 40 Probanden liefert mit  $y_{min} = 1528$  l/kg den niedrigsten und mit  $y_{max} = 2605$  l/kg den höchsten BAK/AAK-Quotienten. Die Schwankungen der BAK/AAK-Quotienten bei den einzelnen Probanden bewegen sich zwischen 50 und 578 l/kg, was einen Mittelwert für die Schwankungsbreite von 213 l/kg ergibt ( $s = 111$  l/kg). Die Mittelwerte der BAK/AAK-Quotienten, errechnet für jeden einzelnen Probanden, liegen zwischen 1855 und 2523 l/kg, was im Mittel einem Wert von 2142 l/kg entspricht ( $s = 145$  l/kg).

Die Regressionsanalyse liefert Werte für den Korrelationskoeffizienten, die zwischen  $r_{min} = -0,56$  und  $r_{max} = 0,98$  liegen. Die Werte für den Ordinatenabschnitt  $a$  und die Steigung  $b$  bewegen sich zwischen  $a_{min} = 1584$  l/kg und  $a_{max} = 2522$  l/kg bzw.  $b_{min} = -1,64$  l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> und  $b_{max} = 3,08$  l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, was einen Mittelwert für den Ordinatenabschnitt von  $a = 2043$  l/kg ( $s = 195$  l/kg) bzw. für die Steigung von  $b = 1,03$  l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> ergibt ( $s = 0,88$  l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>).

Der *Korrelationskoeffizient*  $r$  ist ein Maß für die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen  $x$ - und  $y$ -Werten, aber nur, wenn ein solcher Zusammenhang besteht. Um zu beurteilen, ob eine Korrelation zwischen dem BAK/AAK-Quotienten und der Zeit nach Trinkende vorliegt, wird eine Prüfung des *Korrelationskoeffizienten*  $r$  vorgenommen. Geht man von einer Normalverteilung der beobachteten Merkmale aus, so kann folgende Formel als Prüfgröße verwendet werden (63):

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \quad [15]$$

Die Werte der Quantile  $t_{f;1-\alpha/2}$  der  $t$ -Verteilung mit  $f = n - 2$  Freiheitsgraden sind in Lehrbüchern der Statistik tabelliert (64). Im vorliegenden Fall haben wir ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  gewählt und die tabellierten  $t$ -Werte mit den nach obiger Formel berechneten  $t$ -Werten verglichen. Liegt der berechnete  $t$ -

Wert über dem Tabellenwert von  $t_{f;1-\alpha/2}$ , so liegt kein Widerspruch zur Hypothese einer linearen Abhängigkeit vor. In 16 von 40 Fällen liegt der berechnete  $t$ -Wert über dem tabellierten ( $t > t_{f;1-\alpha/2}$ ) und in 24 Fällen ist  $t < t_{f;1-\alpha/2}$ . Für das gewählte Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ , dies entspricht einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, ergibt sich damit in 16 von 40 Fällen kein Widerspruch zu der Hypothese, dass ein linearer Zusammenhang zwischen dem BAK/AAK-Quotienten und der Zeit nach Trinkende besteht, da  $t > t_{f;1-\alpha/2}$ . In allen diesen Fällen ist der *Korrelationskoeffizient*  $r$  positiv und bewegt sich zwischen  $r = 0,82$  und  $r = 0,98$ . Dies bedeutet einen Anstieg des BAK/AAK-Verhältnisses mit zunehmender Zeit nach Trinkende, was sich auch in den Werten für die *Steigung*  $b$  ausdrückt, die sich zwischen  $b = 0,57$  und  $b = 3,08 \text{ l kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$  bewegen (s. Tab. 7).

In der Mehrzahl der Fälle (24) ist  $t < t_{f;1-\alpha/2}$ , und es kann somit nicht von einer Korrelation zwischen den beiden Merkmalen ausgegangen werden.

### 6.1.2. Auswertung der Daten pro Versuchstag

Die Anzahl der BAK/AAK-Tests pro Versuchstag schwankt zwischen 24 und 36. Die errechneten und tageweise zusammengefassten BAK/AAK-Quotienten werden auch hier in Abhängigkeit von der Zeit nach Trinkende in einem linearen Koordinatensystem (Abb. 31) dargestellt und der linearen Regression unterworfen. Es werden die gleichen Parameter wie oben berechnet. Sie sind in Tab. 8 zusammengefasst.

Um die zeitliche Verteilung der negativen und positiven Abweichungen der Quotienten von 2100 veranschaulichen zu können, werden zusätzlich die Differenzen der BAK/AAK-Quotienten zu 2100 berechnet und in Abhängigkeit von der Zeit nach Trinkende in Säulendiagrammen (Abb. 31) dargestellt.

Ergebnisse:

		Regressionsanalyse										$t_{f;1-\alpha/2}$
		$y_{min}$	$y_{max}$	range	$\bar{y}$	$s_y$	$r$	$a$	$b$	$n$	$t$	$t_{22;0,975} = 2,074$
1	<b>TV1</b>	1902	2441	538	2177	112	0,85	1992	2,14	24	7,66	$t > t_{22;0,975}$
2	<b>TV2</b>	2239	2605	365	2420	92	0,14	2395	0,25	29	0,74	$t < t_{27;0,975}$
3	<b>TV4</b>	1528	2227	699	1994	135	0,65	1836	1,64	30	4,59	$t > t_{28;0,975}$
4	<b>TV5</b>	1736	2295	560	2068	133	0,30	1985	0,79	30	1,65	$t < t_{28;0,975}$
5	<b>TV6</b>	1900	2375	475	2151	106	0,37	2070	0,84	30	2,14	$t > t_{28;0,975}$
6	<b>TV7</b>	1956	2378	422	2150	103	0,54	2031	1,20	29	3,35	$t > t_{27;0,975}$
7	<b>TV8</b>	2020	2326	306	2172	74	0,36	2113	0,46	36	2,23	$t > t_{40;0,975}$
8	<b>TV9</b>	1711	2261	550	2014	118	0,55	1882	1,36	30	3,49	$t > t_{28;0,975}$

 $y_{min}$ : BAK/AAK Mindestwert (l/kg) $r$ : Korrelationskoeffizient $y_{max}$ : BAK/AAK Maximalwert (l/kg) $a$ : Ordinatenabschnitt (l/kg)range:  $y_{max} - y_{min}$  (l/kg) $b$ : Steigung (l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>) $\bar{y}$ : BAK/AAK Mittelwert (l/kg) $n$ : Anzahl $t > t_{f;1-\alpha} : 6$  $s_y$ : Standardabweichung (l/kg) $t$ : Prüfgröße $t < t_{f;1-\alpha} : 2$ 

**Tab. 8:** Auswertung des Verhältnisses der BAK/AAK-Quotienten zur Zeit nach Trinkende; Zusammenfassung der Ergebnisse pro Versuchstag

An den acht Versuchstagen liegen die Differenzen zwischen höchstem und niedrigstem BAK/AAK-Quotienten zwischen 306 und 699 l/kg (range). Die Mittelwerte pro Trinkversuch liegen bei  $y_{min} = 1994$  l/kg und  $y_{max} = 2420$  l/kg, was im Mittel einem Wert von 2143 l/kg entspricht ( $s = 133$  l/kg). Die lineare Regression liefert Werte für den *Korrelationskoeffizienten*  $r$  von  $r_{min} = 0,14$  und  $r_{max} = 0,85$ . Die Werte für den *Ordinatenabschnitt*  $a$  und die *Steigung*  $b$  bewegen sich zwischen  $a_{min} = 1836$  l/kg und  $a_{max} = 2395$  l/kg bzw.  $b_{min} = 0,25$  l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> und  $b_{max} = 2,14$  l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, was einen Mittelwert für den Ordinatenabschnitt von  $a = 2038$  ( $s = 171$  l/kg) bzw. für die Steigung von  $b = 1,08$  l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> ergibt ( $s = 0,63$  l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>).

Die Prüfung des *Korrelationskoeffizienten*  $r$  wird wieder mit der oben angegebenen Gleichung [15] für die *Prüfgröße*  $t$  vorgenommen. Für  $\alpha = 0,05$  ergibt sich an 6 Versuchstagen (TV1, TV4, TV6, TV7, TV8, TV9), dass der

berechnete t-Wert über dem Tabellenwert liegt ( $t > t_{f;1-\alpha/2}$ ). Dies bedeutet, dass mit 95% Sicherheit ein linearer Zusammenhang zwischen BAK/AAK-Quotient und der Zeit nach Trinkende angenommen werden kann. Der *Korrelationskoeffizient*  $r$  bewegt sich zwischen 0,36 und 0,85, was einen Anstieg der BAK/AAK-Werte mit der Zeit bedeutet. Dies spiegelt sich auch in den Werten für die *Steigung*  $b$  wider ( $b$  zwischen 0,46 und 2,14 l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>). An zwei Tagen hingegen ist  $t < t_{f;1-\alpha/2}$  und die obige Hypothese somit nicht haltbar.

Die Darstellung der Differenzen zum Idealwert 2100 in Abb. 31 zeigt an einigen Versuchstagen eine eindeutig einseitige Verteilung (TV1, TV2, TV4, TV7, TV8 und TV9). Bei TV1, TV7 und TV8 liegen die Abweichungen überwiegend im positiven Bereich, bei TV2 sind es sogar ausschließlich positive Differenzen, die insgesamt sehr hoch ausfallen. Dies drückt sich auch in dem Mittelwert  $y = 2420$  l/kg für den BAK/AAK-Quotienten dieses Versuchstages aus. Überwiegend negative Abweichungen sind hingegen bei TV4 und TV9 zu beobachten, TV5 und TV6 zeigen keine eindeutige Verteilung der Differenzen. Berechnet man den *BAK/AAK-Mittelwert* aus den Mittelwerten der 8 Versuchstage, so ergibt sich mit  $y = 2143$  l/kg ( $s = 133$  l/kg) ein Wert, der dem theoretischen Wert von 2100 l/kg sehr nahe kommt.

### 6.1.3. Auswertung der Daten insgesamt

Um die zusammengefassten Daten aus allen Trinkversuchen auszuwerten, werden Zeitklassen von 10 Minuten gebildet. In diesen Zeitklassen werden die BAK/AAK-Quotienten zusammengefasst und der Mittelwert gebildet (Tab. 9). Diese Mittelwerte der BAK/AAK-Quotienten werden in Abhängigkeit von den Klassenmitten der Zeitklassen in einem Diagramm (Abb. 32) dargestellt und ebenfalls der linearen Regression unterzogen. Die ermittelten Parameter sind die gleichen wie oben.

#### Ergebnisse

	(Klassengrenzen) t nach TE (min)	(Klassenmitten) t nach TE (min)	(Klassenmittelwerte) BAK/AAK (l/kg)	Anzahl n
1	14. - 25. Min.:	20	1961	16
2	26. - 35. Min.:	30	2126	12
3	36. - 45. Min.:	40	2048	12
4	46. - 55. Min.:	50	2071	19
5	56. - 65. Min.:	60	2199	9
6	66. - 75. Min.:	70	2137	15
7	76. - 85. Min.:	80	2145	16
8	86. - 95. Min.:	90	2178	13
9	96. - 105. Min.:	100	2200	15
10	106. - 115. Min.:	110	2193	15
11	116. - 125. Min.:	120	2112	10
12	126. - 135. Min.:	130	2151	12
13	136. - 145. Min.:	140	2176	18
14	146. - 155. Min.:	150	2205	14
15	156. - 165. Min.:	160	2175	12
16	166. - 175. Min.:	170	2178	14
17	176. - 185. Min.:	180	2226	9
18	186. - 218. Min.:	202	2186	7

$y_{min}$ =	1961 l/kg	<u>Regressionsanalyse:</u>	
$y_{max}$ =	2226 l/kg	Korr.koeff. r =	0,69
range =	264 l/kg	Ord.abschn. a =	2060 l/kg
Mittelwert =	2148 l/kg	Steigung b =	0,83 l kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>
Stand.abw. s =	65 l/kg		

Tab. 9: Zusammenfassung des BAK/AAK-Quotienten in Zeitklassen.

Ergebnis der Regressionsanalyse.



Es ergeben sich 18 Zeitklassen mit BAK/AAK-Klassenmittelwerten die zwischen 1961 und 2226 l/kg liegen. Dies entspricht einer Schwankungsbreite von 264 l/kg und einem Mittelwert über alle Zeitklassen von 2148 l/kg ( $s = 66$  l/kg). Stellt man die Wertepaare nach obigem Muster graphisch dar und unterzieht die Daten der lineareren Regression, so erhält man eine Ausgleichsgerade mit einem *Korrelationskoeffizienten* von  $r = 0,69$ . Für den *Ordinatenabschnitt*  $a$  und die *Steigung*  $b$  ergeben sich Werte von  $a = 2060$  l/kg und  $b = 0,83$  l kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> (Anhang Abb. 32).

Um eine Aussage über den linearen Zusammenhang machen zu können, wird wieder die *Prüfgröße*  $t$  nach Gleichung [15] berechnet. Es ergibt sich, dass der berechnete  $t$ -Wert von 3,78 über dem Tabellenwert  $t_{16;0,975} = 2,120$  und auch über  $t_{16;0,999} = 3,686$  liegt. Letzterer entspricht einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,2%.

### Diskussion

Die Fragestellung in diesem Kapitel lautet, ob sich das BAK/AAK-Verhältnis in Abhängigkeit von der Zeit nach Trinkende verändert und ob ein Trend in einer eventuellen Veränderung zu beobachten ist. Im theoretischen Fall müsste der Quotient über die Zeit konstant bleiben, was einer Parallele zur x-Achse in den Diagrammen in Abb. 23 - 32 entsprechen würde.

Betrachtet man die Diagramme (Abb. 23 - 30), die sich für die einzelnen Probanden ergeben, so kann man jedoch nur in 4 Fällen (TV2/P4, TV8/P1, TV8/P3, TV8/P4) eine annähernde Parallelität beobachten. Durch Prüfung des Korrelationskoeffizienten ergibt sich jedoch in 16 Fällen, dass mit 95%-iger Sicherheit von einer linear steigenden Beziehung zwischen BAK/AAK-Quotient und der Zeit nach Trinkende ausgegangen werden kann (Tab. 7). In den restlichen Fällen kann nicht von einer linearen Korrelation gesprochen werden. Ähnlich verhält es sich bei der Auswertung der Daten pro Versuchstag (Tab. 8 und Abb. 31). Auch hier besteht in 6 von 8 Fällen kein Widerspruch zu der

Hypothese, dass eine linear steigende Beziehung zwischen den Merkmalen vorliegt. Dieser Trend wird ebenfalls von der Auswertung der von allen Versuchstagen zusammengefassten Daten bestätigt. Hier kann sogar auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,002$ , dies entspricht einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,2%, von einer linearen Korrelation ausgegangen werden. Mit einer Steigung von  $b = 0,83 \text{ l kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$  bedeutet dies einen Anstieg des BAK/AAK-Quotienten um 0,83 pro Minute. Diese Änderung pro Zeiteinheit ist sehr gering und würde sich bei der Umrechnung eines AAK-Wertes in einen BAK-Analogwert auch nach 100 Minuten nur in der zweiten Stelle hinter dem Komma bemerkbar machen. Entscheidender sind hingegen die intraindividuellen Unterschiede bei den BAK/AAK-Quotienten. Schwankungen zwischen 1528 und 2605 l/kg sind nicht mehr vernachlässigbar. Große Schwankungsbreiten finden auch andere Autoren. Nach Gilg und Eisenmenger (66) liegt in 99% aller Fälle das Verhältnis zwischen 1128 und 2989 l/kg. Jones (67) fand bei 793 Trunkenheitsfahrten Werte zwischen 1400 und 2900 l/kg. Ein Praxistest der Polizei (68) mit dem Prototypen des "Alcotest 7110 Evidential" ergab einen Mittelwert von 2121 l/kg mit Grenzwerten von 1607 und 2515 l/kg. Bilzer et al. (69) fanden einen Durchschnitt von 2163 l/kg und Grenzwerte von 1195 und 2911 l/kg.

Interessant ist es, wenn man die positiven und negativen Abweichungen des BAK/AAK-Quotienten vom Idealwert 2100 l/kg, die sich bei den einzelnen Versuchstagen ergeben, miteinander vergleicht (Abb. 31). An einigen Tagen treten fast ausschließlich positive Differenzen auf, was in TV2 besonders deutlich wird, während an anderen Versuchstagen hauptsächlich negative Abweichungen zu beobachten sind. Der BAK/AAK-Mittelwert über alle Versuchstage ist dennoch mit 2143 l/kg fast gleich dem theoretischen Wert von 2100 l/kg. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Bedingungen an den einzelnen Versuchstagen nicht gleich sein können. Ob dies an den BAK- oder AAK-Bestimmungen liegt, oder ob andere bislang unvermutete Faktoren eine Rolle spielen, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass in dem von uns gemessenen Bereich mit einer linear positiven, wenn auch nicht besonders großen, Korrelation zwischen dem BAK/AAK-Quotienten und der Zeit nach Trinkende zu rechnen ist. Ferner treten starke intraindividuelle Unterschiede und Unterschiede zwischen den Versuchstagen auf.

Eine Erklärung für den mit der Zeit nach Trinkende ansteigenden BAK/AAK-Quotienten könnte sein, dass in der Resorptionsphase die analogen AAK-Werte (die mit dem Faktor 2,100 g/l multiplizierten AAK-Werte) größer als die BAK-Werte sind. Dass dem so ist, wurde in zahlreichen Publikationen festgestellt (70). In der Eliminationsphase hingegen ist  $AAK-anlog < BAK$ . Ursache dieses Phänomens könnte sein, dass in der Resorptionsphase das alkoholreiche Blut der Pfortader zum Herzen und dann in die Lunge transportiert wird. Zu diesem Zeitpunkt ist die Alkoholkonzentration im Blut der Cubitalvene, das in den meisten Fällen zur Bestimmung herangezogen wird, niedriger als im Blut der Lungenarterien. In der Eliminationsphase hingegen fließt im Vergleich zu den venösen Gefäßen alkoholärmeres Blut durch die Lungengefäße. Dies liegt zum einen daran, dass kein Alkohol mehr resorbiert wird, zum anderen ist die Gewebswasseralkoholkonzentration noch relativ hoch. Durch Rückdiffusion des Ethanols aus dem Gewebe in die venösen Gefäße wird die Alkoholkonzentration hier erhöht.

## 6.2. Untersuchung anderer Abhängigkeiten

### 6.2.1. Abhängigkeit des BAK/AAK-Quotienten vom Alkoholisierungsgrad

Auf der Suche nach den Gründen für die Schwankungen des Alkoholkonzentrationsverhältnisses zwischen Blut und Alveolarluft soll im folgenden eine eventuelle Abhängigkeit des BAK/AAK-Quotienten vom Alkoholisierungsgrad der Versuchspersonen untersucht werden.

Dazu werden für jeden Probanden seine mittlere BAK (g/kg) und sein mittlerer BAK/AAK-Quotient (l/kg) berechnet (s. Tab. 7, S. 56). Die sich ergebenden 40 Wertepaare werden in Alkoholkonzentrationsklassen von 0,10 ‰ zusammengefasst. Innerhalb der Klassen wird der mittlere BAK/AAK-Quotienten berechnet. Diese Mittelwerte werden nun in Abhängigkeit von den Klassenmitten in einem Diagramm dargestellt und der linearen Regression unterworfen. Zusätzlich werden die zugehörigen mittleren Streuungen des Quotienten aufgetragen (Abb. 19). Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tab. 10 zusammengefasst.

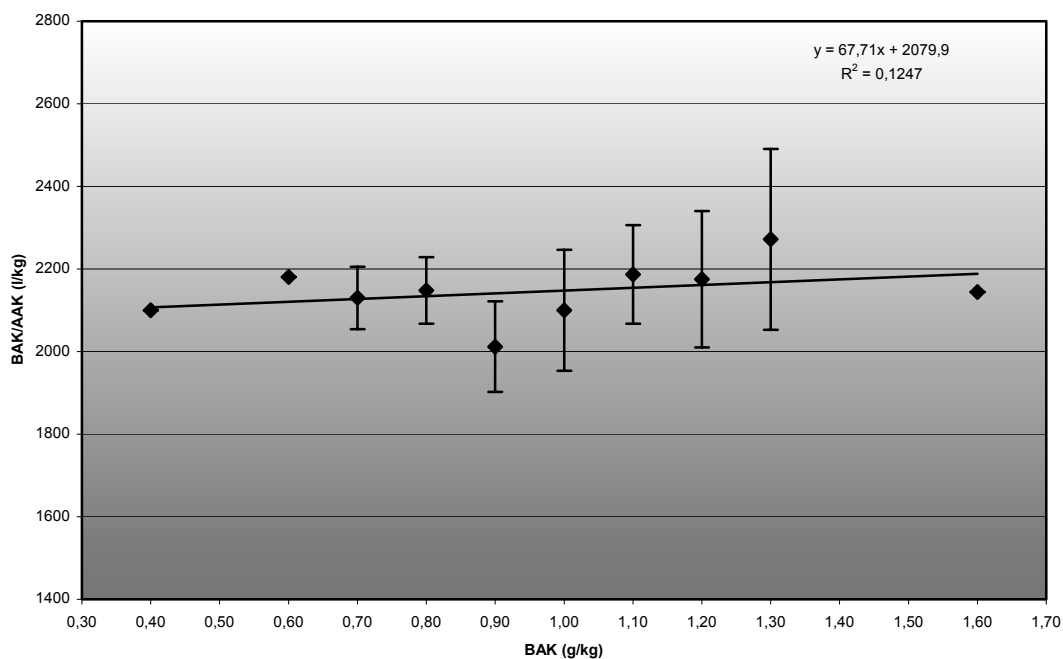
#### Ergebnisse:

	(Klassengrenzen)	(Klassenmitten)	(Klassenmittelwerte)	(Stand.abw.)	
	BAK (g/kg)	BAK (g/kg)	BAK/AAK (l/kg)	s (l/kg)	Anzahl n
1	<b>0,36 - 0,45</b>	0,40	2100	0	1
2	<b>0,46 - 0,55</b>	0,50	-	-	0
3	<b>0,56 - 0,65</b>	0,60	2181	0	1
4	<b>0,66 - 0,75</b>	0,70	2130	76	3
5	<b>0,76 - 0,85</b>	0,80	2148	81	5
6	<b>0,86 - 0,95</b>	0,90	2012	110	7
7	<b>0,96 - 1,05</b>	1,00	2100	146	5
8	<b>1,06 - 1,15</b>	1,10	2187	119	7
9	<b>1,16 - 1,25</b>	1,20	2175	165	5
10	<b>1,26 - 1,35</b>	1,30	2272	219	5
11	<b>1,36 - 1,45</b>	1,40	-	-	0
12	<b>1,46 - 1,55</b>	1,50	-	-	0
13	<b>1,56 - 1,65</b>	1,60	2144	0	1

$Y_{min} =$	2012 l/kg	<u>Regressionsanalyse:</u>	n = 10
$Y_{max} =$	2272 l/kg	Korr.koeff. r =	0,35
range =	260 l/kg	Ord.abschn. a =	2080 l/kg
Mittelwert =	2144,9 l/kg	Steigung b =	68 l/g
Stand.abw. =	68 l/kg		

Tab. 10: Zusammenfassung der BAK/AAK-Quotienten in BAK-Klassen

Es ergeben sich 13 Alkoholkonzentrationsklassen von 0,40 ‰ bis 1,60 ‰, von denen aber drei nicht besetzt sind (0,50 ‰, 1,40 ‰, 1,50 ‰). Die BAK/AAK-Klassenmittelwerte schwanken zwischen 2012 und 2272 l/kg. Dies entspricht einer *Schwankungsbreite* von 260 l/kg und einem *Mittelwert* über alle Klassen von 2145 l/kg. Man trägt nun die Wertepaare in ein lineares Koordinatensystem so ein, dass die BAK-Werte auf der Abszisse und die Quotientenwerte auf der Ordinate abgetragen werden (Abb. 19). Führt man mit der sich ergebenden Punktwolke eine lineare Regression durch, so ergeben sich für den *Ordinatenabschnitt*  $a$  und die *Steigung*  $b$  Werte von  $a = 2080$  l/kg und  $b = 68$  l/g. Der *Korrelationskoeffizient* errechnet sich zu  $r = 0,35$ .



**Abb. 19:** Klassenmittelwerte mit Streuungen ( $\pm s$ )

Um die Hypothese zu überprüfen, ob ein linearer Zusammenhang zwischen den Wertepaaren existiert, wird wieder die *Prüfgröße*  $t$  nach Gleichung [15] berechnet. Für  $t$  ergibt sich ein Wert von  $t = 1,067$ . Dieser ist kleiner als der Tabellenwert  $t_{8;0,900} = 1,397$ . Mit anderen Worten, es kann nicht von einer linearen Korrelation zwischen dem BAK/AAK-Quotienten und der Blutalkoholkonzentration (g/kg) ausgegangen werden. Eine Abhängigkeit des BAK/AAK-Quotienten von der Blutalkoholkonzentration ist nicht nachzuweisen.

### Diskussion

Der BAK/AAK-Quotient sollte von der Blutalkoholkonzentration unabhängig sein. Die obigen Überlegungen zeigen, dass eine derartige Abhängigkeit tatsächlich nicht vorliegt. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Ergebnissen aus Kapitel 4.2. (S. 23), wo eine Abhängigkeit der Streubreite der Paardifferenzen (BAK - AAK-Analogwert) von der Blutalkoholkonzentration ebenfalls nicht festgestellt werden konnte.

### **6.2.2. Alters- und geschlechtsspezifische Abhängigkeit des BAK/AAK-Quotienten**

Für eine Untersuchung der Altersabhängigkeit des BAK/AAK-Quotienten werden Altersklassen von 10 Jahren gebildet. In diesen Altersklassen werden die BAK/AAK-Quotienten zusammengefasst und der Mittelwert gebildet. Die Ergebnisse sind in Tab. 11 und einem Säulendiagramm (Abb. 20) dargestellt.

An den Trinkversuchen haben 15 weibliche und 25 männliche Versuchspersonen teilgenommen. In Tab. 7 sind die Daten der weiblichen Probanden zur besseren Unterscheidung grau unterlegt. Zur Untersuchung der Abhängigkeit des BAK/AAK-Quotienten vom Geschlecht werden wieder die mittleren BAK/AAK-Quotienten für jedes Geschlecht und für jedes Geschlecht abhängig vom Alter berechnet. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Tab. 11 und Abb. 20 dargestellt.

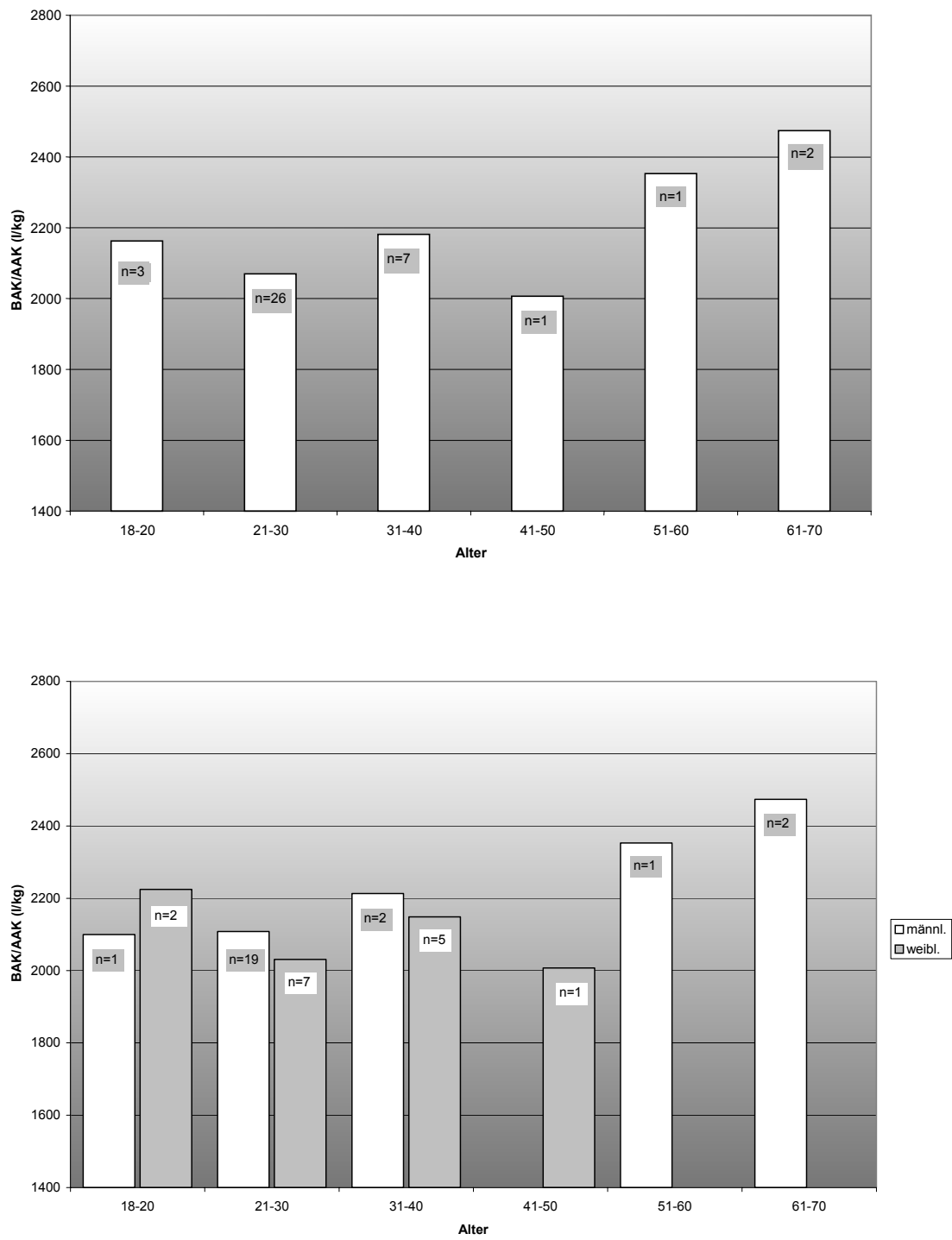
## Ergebnisse

Wertet man die Daten getrennt nach Geschlecht aus, so erhält man bei den männlichen Probanden einen *mittleren BAK/AAK-Quotienten* von 2171 l/kg ( $s = 154$  l/kg). Bei den weiblichen Versuchspersonen ergibt sich ein *Mittelwert* von 2094 l/kg ( $s = 118$  l/kg).

Die Auswertung der nach Alter und Geschlecht differenzierten Daten ergibt Folgendes (Tab. 11 und Abb. 20):

<b>Gesamtergebnis:</b>			
	(Klassengrenzen)	(Klassenmittelwerte)	
	Alter (Jahren)	BAK/AAK (l/kg)	Anzahl n
1	<b>18 - 20 Jahre</b>	2162	3
2	<b>21 - 30 Jahre</b>	2070	26
3	<b>31 - 40 Jahre</b>	2181	7
4	<b>41 - 50 Jahre</b>	2007	1
5	<b>51 - 60 Jahre</b>	2353	1
6	<b>61 - 70 Jahre</b>	2474	2
Mittelw. aller Prob. = 2142 l/kg			40
<b>männliche Probanden:</b>			
	(Klassengrenzen)	(Klassenmittelwerte)	
	Alter (Jahren)	BAK/AAK (l/kg)	Anzahl n
1	<b>18 - 20 Jahre</b>	2100	1
2	<b>21 - 30 Jahre</b>	2108	19
3	<b>31 - 40 Jahre</b>	2213	2
4	<b>41 - 50 Jahre</b>	-	-
5	<b>51 - 60 Jahre</b>	2353	1
6	<b>61 - 70 Jahre</b>	2474	2
Mittelw. d. männl. Prob. = 2171 l/kg			25
<b>weibliche Probanden:</b>			
	(Klassengrenzen)	(Klassenmittelwerte)	
	Alter (Jahren)	BAK/AAK (l/kg)	Anzahl n
1	<b>18 - 20 Jahre</b>	2225	2
2	<b>21 - 30 Jahre</b>	2031	7
3	<b>31 - 40 Jahre</b>	2148	5
4	<b>41 - 50 Jahre</b>	2007	1
5	<b>51 - 60 Jahre</b>	-	-
6	<b>61 - 70 Jahre</b>	-	-
Mittelw. d. weibl. Prob. = 2094 l/kg			15

Tab. 11: Mittlere BAK/AAK-Quotienten für die verschiedenen Altersklassen und Geschlechter.



**Abb. 20:** Darstellung der mittleren BAK/AAK-Quotienten für die verschiedenen Altersklassen und Geschlechter



Bei den männlichen Probanden sind alle Altersklassen bis auf die Klasse von 41 bis 50 Jahren besetzt. Mit steigendem Alter steigt hier auch der mittlere BAK/AAK-Quotient. Bei den weiblichen Versuchspersonen sind die Altersgruppen ab 51 Jahren nicht vertreten. In den Gruppen von 18 bis 50 Jahren erkennt man keine Tendenz, dass mit steigendem Alter auch der BAK/AAK-Quotient steigt. Die Verteilung ist eher zufällig. Fasst man die Daten der männlichen und weiblichen Versuchspersonen zusammen, so resultiert insgesamt die Tendenz, dass mit steigendem Alter auch der BAK/AAK-Quotient steigt.

### Diskussion

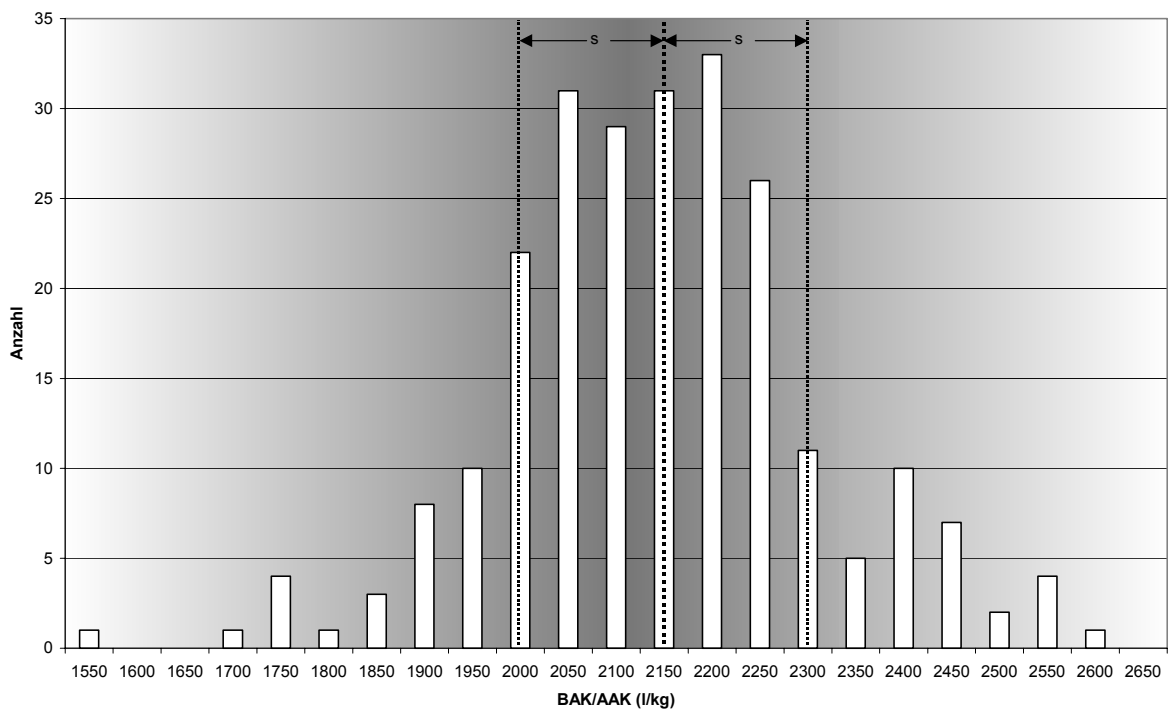
Eine geschlechtsspezifische Abhängigkeit des BAK/AAK-Verhältnisses ist nicht zu beobachten, wenn man die mittleren Quotientenwerte für die weiblichen (2094 l/kg) und männlichen Probanden (2171 l/kg) betrachtet. Vergleicht man die bei den einzelnen Probanden durchgeführten Regressionsanalysen und die anschließende Prüfung auf einen linearen Zusammenhang zwischen BAK/AAK-Verhältnis und der Zeit nach Trinkende (s. Kap. 6.1.1.), so sind auch hier keine geschlechtsspezifischen Unterschiede auszumachen. Von 15 teilnehmenden weiblichen Versuchspersonen konnte bei 10 Probandinnen eine lineare Abhängigkeit festgestellt werden, bei den 25 männlichen Probanden ist dies in 15 Fällen so.

Bei der nach Altersgruppen aufgesplitteten Betrachtung der BAK/AAK-Quotienten zeigt sich die Tendenz, dass mit steigendem Alter auch der Quotientenwert steigt. Dies ist besonders bei den männlichen Probanden zu beobachten. Ein direkter Vergleich mit den Daten der weiblichen Versuchsteilnehmer ist aber insofern nicht aussagekräftig, da bei den Frauen die Altersgruppen von 51 bis 70 Jahren nicht besetzt sind. Eine Erklärung für den Anstieg des BAK/AAK-Verhältnisses mit steigendem Alter könnte sein, dass die Diffusion des Ethanols aus den Lungenkapillaren in die Alveolen

aufgrund eines Umbaus der trennenden Bindegewebsschicht nicht mehr ungehindert stattfinden kann. Dadurch würde sich ein im Verhältnis zur BAK kleinerer AAK-Wert ergeben.

### 6.3. Verteilung des BAK/AAK-Quotienten

Am Ende dieses Kapitels über die Untersuchungen des BAK/AAK-Quotienten soll die zahlenmässige Verteilung der ermittelten Quotientenwerte dargestellt werden. Dazu werden die Werte der BAK/AAK-Quotienten in 50er-Klassen zusammengefasst und in einem Säulendiagramm (Abb. 21) in Abhängigkeit von ihrer Anzahl dargestellt.



**Abb. 21:** Verteilung der BAK/AAK-Quotienten

Wie die Abb. 21 zeigt, ergibt sich eine Normalverteilung mit einem Mittelwert von  $\bar{x} = 2142$  I/kg und einer Standardabweichung von  $s = 164$  I/kg. Dies ist eine leicht positive Verschiebung gegenüber dem theoretischen Wert von 2100 I/kg.

Das Ergebnis korreliert mit unserer Beobachtung, dass auch die Paardifferenzen zwischen BAK und AAK<sub>B</sub>-Wert leicht in den positiven Bereich verschoben sind ( $\bar{x} = 0,02$  g/kg). Auch Grüner weist darauf hin, dass die durch Multiplikation der AAK-Werte mit dem Faktor 2,100 l/g berechneten analogen AAK-Werte in den meisten Fällen tiefer liegen als die direkt bestimmten BAK-Werte (71). Trotz der im Durchschnitt guten Übereinstimmung zeigen unsere Untersuchungen aber, dass sich im Einzelfall erhebliche inter- und intraindividuelle Schwankungen ergeben (s. Kap. 6.1.).

## 7. Betrachtung der juristisch relevanten Grenzbereiche

Die Differenzen zwischen der BAK und der analogen AAK betragen, wie in Kapitel 4. gezeigt, im Durchschnitt +0,01671 ‰. Dieser im Schnitt geringen Abweichung stehen Streuungen im Einzelfall von bis zu  $\pm 0,30$  ‰ gegenüber. Bedeutung bekommen die Abweichungen im Bereich der juristisch relevanten Grenzwerte, da sich hier rechtliche Konsequenzen für den Verkehrsteilnehmer ergeben können, die u.U. mit der anderen Messmethode nicht auf ihn zukommen würden.

Die juristisch relevanten Grenzwerte (71) liegen bei einer BAK von 0,30 ‰, 0,50 ‰, 1,10 ‰ und 1,60 ‰. Der Bereich der „relativen Fahruntauglichkeit“ beginnt bereits bei 0,30 ‰ BAK (§ 24a StVG). Fällt ein alkoholisierte Autofahrer ab 0,30 ‰ (0,15 mg/l AAK) aufgrund von Schlangenlinienfahrten oder durch Verwicklung in einen Unfall auf, so besteht der Verdacht einer Straftat.

Neu eingeführt wurde der Grenzwert von 0,50 ‰ BAK (0,25 mg/l AAK) (§ 24a StVG). Dieser Grenzwert steht für den Tatbestand der Ordnungswidrigkeit, wenn trotz dieser oder einer höheren im Körper vorhandenen Alkoholmenge ein Fahrzeug geführt wird. Bei einer BAK ab 0,50 ‰ (0,25 mg/l AAK) bis unter 1,10 ‰ (0,55 mg/l AAK) muss man mit Bußgeld, Fahrverbot und 4 Punkten im Verkehrszentralregister des Kraftfahrtbundesamtes in Flensburg rechnen. Liegen Anzeichen für eine Fahruntüchtigkeit vor, besteht der Verdacht einer Straftat. Das Bußgeld beträgt beim ersten Mal 250 €, beim zweiten Mal 500 € und beim dritten Mal 750 €, danach bis max. 1500 €. Das Fahrverbot wird beim ersten Mal für einen Monat erteilt, danach stets für drei Monate. Der zuvor geltende Grenzwert von 0,80 ‰ BAK (0,15 mg/l AAK) wurde gestrichen. Der Vollständigkeit halber wurde er dennoch in unsere Betrachtungen miteinbezogen.

Die „absolute Fahruntauglichkeit“ fängt bei 1,10 ‰ BAK (0,55 mg/l AAK) (§ 315/316 StGB) an. Eine Alkoholkonzentration in dieser Höhe hat einen sofortigen Führerscheinentzug und evtl. eine „Medizinisch Psychologische Untersuchung“ (MPU) zur Folge. Ab 1,60 ‰ BAK (0,80 mg/l AAK) (§ 13 FeV) wird in jedem Fall eine MPU gefordert.

In der Neufassung des § 24a StVG wird zur Feststellung der Alkoholisierung neben der Blutalkoholbestimmung die Atemalkoholmessung als gleichwertiges Verfahren zugelassen. Für die Atemalkoholanalyse werden mit 0,40 mg/l bzw. 0,25 mg/l eigene Grenzwerte festgelegt. In den Rechtsfolgen sind diese Werte äquivalent zu 0,80 ‰ bzw. 0,50 ‰. Eigene Atemalkoholgrenzwerte für die übrigen, oben erläuterten, juristisch relevanten Grenzwerte sind nicht definiert. Um diese Grenzwerte ebenfalls in unsere Untersuchungen einbeziehen zu können, werden die BAK-Grenzwerte 0,30 ‰, 1,10 ‰ und 1,60 ‰ analog zu dem obigen Vorgehen durch den Faktor 2,000 l/g dividiert. Man erhält so die entsprechenden AAK-Grenzwerte 0,15 mg/l, 0,55 mg/l und 0,80 mg/l. Bei der Umrechnung wird nicht der theoretische Faktor 2,100 l/g verwendet, dessen Herleitung in Kapitel 2.3. erläutert wird. Der verwendete Faktor 2,000 l/g enthält einen sogenannten Sicherheitsbonus, der die Akzeptanz der Atemalkoholanalyse in der Bevölkerung erhöhen soll.

Das vorhandene Datenmaterial unserer Trinkversuche wurde auf die oben erläuterten Grenzbereiche hin ausgewertet. Es wurden die Fälle herausgesucht, bei denen ein Messwert oberhalb, der andere dagegen unterhalb einer der o.g. Grenzwerte liegt. Die Ergebnisse sind in Tab. 12 zusammengestellt und in Abb. 22 graphisch dargestellt.

### Ergebnisse

Von den 239 Wertepaaren sind insgesamt 58 Fälle betroffen, bei denen ein Wert oberhalb, der andere dagegen unterhalb einer der genannten 5 Grenzwerte gemessen wurde. Dabei liegt in 7 Fällen die AAK über der BAK und in 51 Fällen unter der BAK.

Im einzelnen betrachtet ergibt sich für die 0,30 ‰ - Grenze (0,15 mg/l AAK) ein Fall, in dem die BAK oberhalb und die AAK unterhalb des Grenzwertes liegt. Der umgekehrte Fall ist bei unseren Versuchen nicht zu beobachten. Auch bei 0,50 ‰ tritt kein Fall auf, bei dem die BAK unter dem Grenzwert, die AAK

hingegen darüber liegt. Die andere Konstellation ( $BAK \geq 0,50 \text{ ‰}$ ,  $AAK < 0,25 \text{ mg/l}$ ) kommt dagegen dreimal vor.

Bezüglich des Gefahrengrenzwertes von  $0,80 \text{ ‰}$  ( $0,40 \text{ mg/l}$ ) liegt in 2 Fällen die AAK über der Grenze, obwohl die BAK-Bestimmung Werte unter  $0,80 \text{ ‰}$  ergibt. Umgekehrt überschreitet die BAK in 12 Fällen den Grenzwert, während die AAK darunter bleibt.

Beim Grenzwert der absoluten Fahrunsicherheit von  $1,10 \text{ ‰}$  ( $0,55 \text{ mg/l}$ ) wird sogar bei 32 Testpersonen eine BAK oberhalb und eine AAK unterhalb der Grenze festgestellt, während die umgekehrte Konstellation ( $BAK < 1,10 \text{ ‰}$ ,  $AAK \geq 0,55 \text{ mg/l}$ ) viermal auftritt.

Auch hinsichtlich der  $1,60 \text{ ‰}$ -Grenze überwiegt die Zahl der Fälle, bei denen die BAK über dem Grenzwert liegt, obwohl die AAK-Messung Werte unter  $0,80 \text{ mg/l}$  ergibt. Dies ist bei 3 Testpersonen der Fall, bei einem Probanden ergibt sich die umgekehrte Situation ( $BAK < 1,60 \text{ ‰}$ ,  $AAK \geq 0,80 \text{ mg/l}$ ).

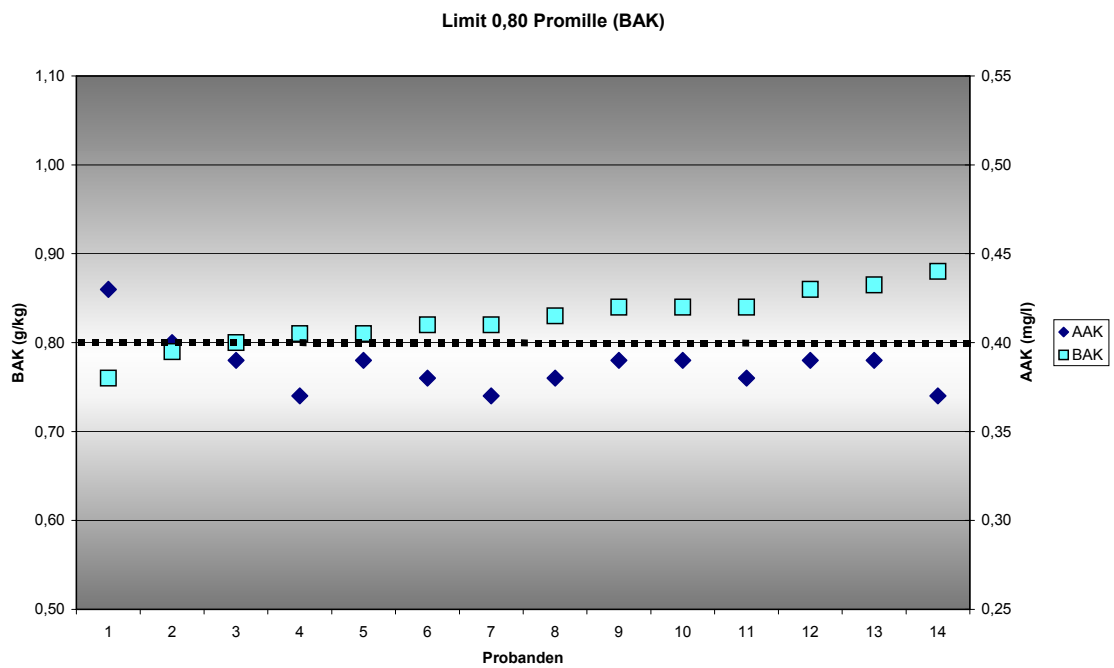
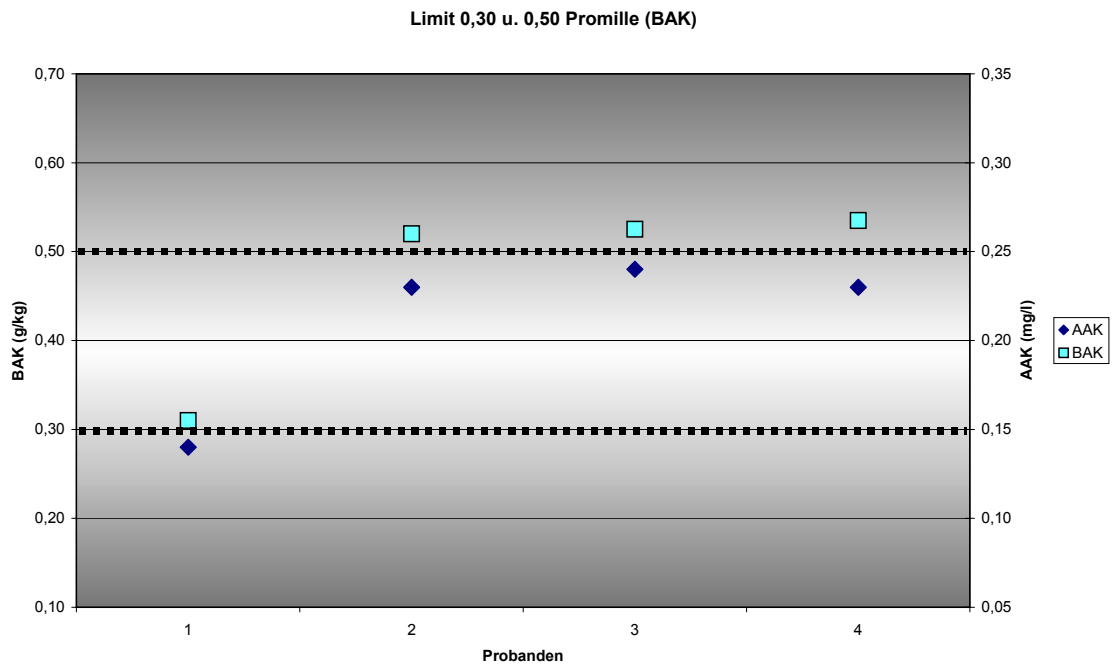
#### **BAK < AAK**

<b>Konstellation:</b>	<b>n</b>
BAK < $0,30 \text{ ‰}$ / AAK $\geq 0,15 \text{ mg/l}$	0
BAK < $0,50 \text{ ‰}$ / AAK $\geq 0,25 \text{ mg/l}$	0
BAK < $0,80 \text{ ‰}$ / AAK $\geq 0,40 \text{ mg/l}$	2
BAK < $1,10 \text{ ‰}$ / AAK $\geq 0,55 \text{ mg/l}$	4
BAK < $1,60 \text{ ‰}$ / AAK $\geq 0,80 \text{ mg/l}$	1
<b>n<sub>ges.</sub> = 7</b>	

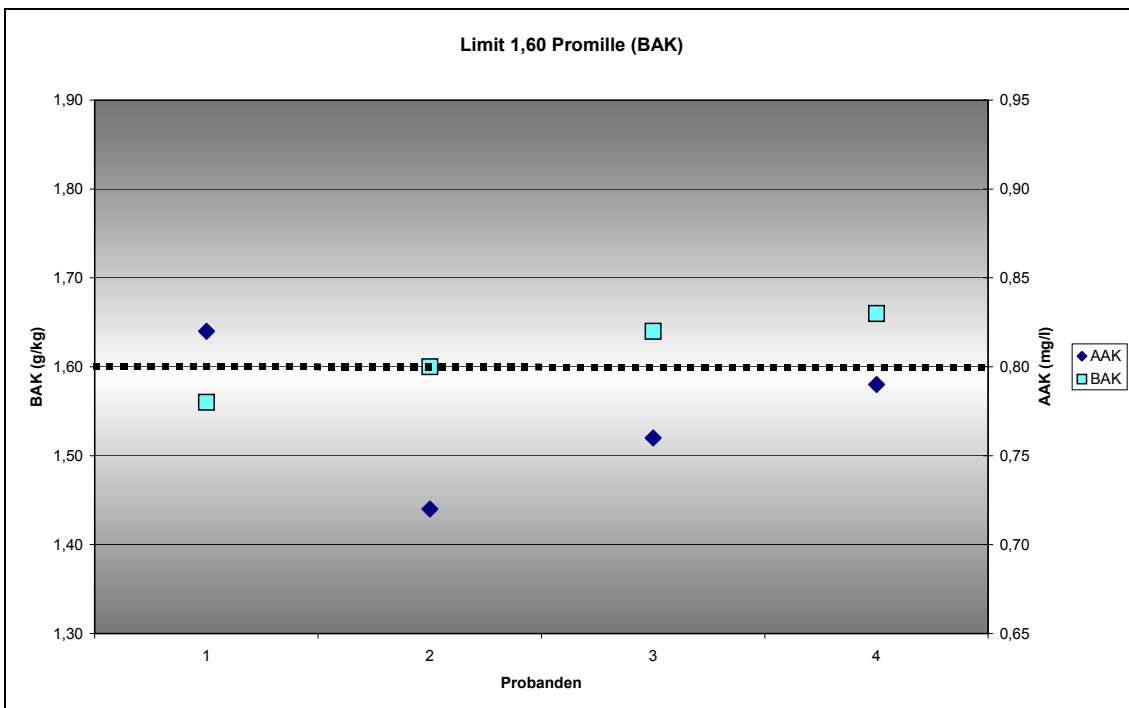
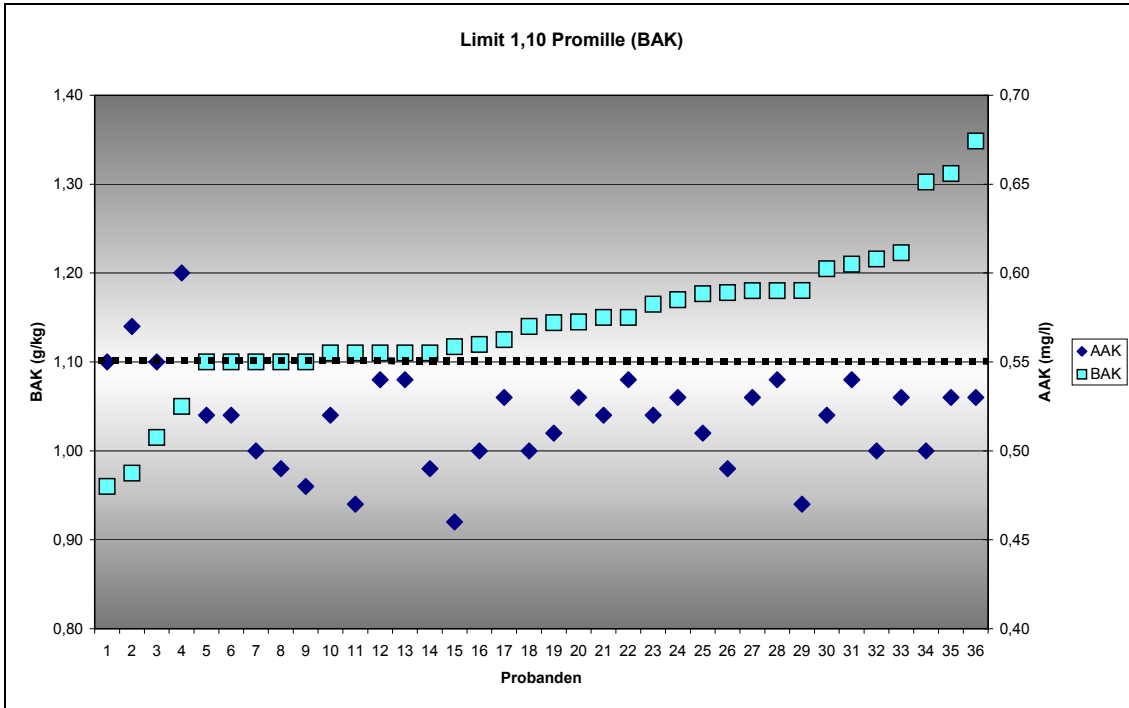
#### **BAK > AAK**

<b>Konstellation:</b>	<b>n</b>
BAK $\geq 0,30 \text{ ‰}$ / AAK < $0,15 \text{ mg/l}$	1
BAK $\geq 0,50 \text{ ‰}$ / AAK < $0,25 \text{ mg/l}$	3
BAK $\geq 0,80 \text{ ‰}$ / AAK < $0,40 \text{ mg/l}$	12
BAK $\geq 1,10 \text{ ‰}$ / AAK < $0,55 \text{ mg/l}$	32
BAK $\geq 1,60 \text{ ‰}$ / AAK < $0,80 \text{ mg/l}$	3
<b>n<sub>ges.</sub> = 51</b>	

Tab. 12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Grenzwertbetrachtung



**Abb. 22:** Graphische Darstellung der Ergebnisse der Grenzwertbetrachtung



**Abb 22. (Forts.):** Graphische Darstellung der Ergebnisse der Grenzwertbetrachtung



## Diskussion

Die Auswertung unserer Daten ergibt in 24 % der Fälle eine Diskrepanz zwischen den AAK- und BAK-Messwerten, die für die betroffenen Probanden zu juristischen Konsequenzen führen könnte, obwohl ein Messwert unterhalb der jeweiligen Grenze liegt. In 7 Fällen (12 %) liegt der AAK-Wert über der jeweiligen Grenze, während der BAK-Wert darunter liegt. Bei 51 Wertepaaren (88 %) findet sich dagegen die umgekehrte Situation.

Dies würde für die Mehrheit der Testpersonen eine Bevorzugung im Falle einer Atemalkoholmessung bedeuten. Demgegenüber steht aber die Benachteiligung derjenigen Personen, die die Atemalkoholmessung verweigern oder nicht durchführen können, wie z.B. Verletzte und Kranke. Insgesamt gesehen ist es als sehr kritisch anzusehen, dass in nahezu einem Viertel der Fälle an den forensisch relevanten Grenzwerten Unsicherheiten auftreten. Für einen Autofahrer kann dies u.U. bei einem Fahrverbot oder Führerscheinentzug eine Gefährdung der beruflichen Existenz bedeuten, die bei Verwendung der jeweils anderen Methode nicht auf ihn zukommen würde.

## 8. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit vergleichenden Untersuchungen von Blutalkohol- und Atemalkoholmessungen, die in systematischen Trinkversuchen am Rechtsmedizinischen Institut der Universität Münster 1996 durchgeführt wurden. Dabei wurden 239 Wertepaare, bestehend aus zeitgleichen Blutalkoholkonzentrationen (BAK) und Atemalkoholkonzentrationen (AAK), erhoben. Für die Atemalkoholmessungen wurde das Gerät „Alcotest 7110 Evidential“ der Fa. Dräger AG verwendet.

Die statistische Auswertung der Daten führte zu einer mittleren Paardifferenz (BAK – AAK-Analogwert) von  $\mu = 0,01671 \text{ ‰}$  und einer Streuung von  $\sigma = 0,08461 \text{ ‰}$ . Die höchsten Paardifferenzen betragen  $- 0,30 \text{ ‰}$  und  $+ 0,26 \text{ ‰}$ . Die Paardifferenzen sind unabhängig von der Alkoholkonzentration.

Die parallele Bestimmung des Wassergehaltes in 175 Blutproben ergab einen Wert von  $78,51 \% \pm 1,32 \%$ . Mit dieser geringen Streubreite scheiden Schwankungen des Wassergehaltes im Blut als Ursache für die z.T. großen Paardifferenzen aus.

Auf der Suche nach den Gründen für die im Einzelfall erheblichen Unterschiede zwischen BAK und AAK-Analogwert wurde die Präzision und Richtigkeit der angewandten Messmethoden untersucht.

Für die Blutalkoholbestimmung ergab sich sowohl für die Präzision, welche durch die Zufallsfehler charakterisiert ist, als auch für die Richtigkeit, bestimmt durch systematische Fehler, ein ausgezeichnetes Ergebnis. Es waren keine der genannten Fehler nachzuweisen.

Die Überprüfung der Messpräzision des „Alcotest 7110 Evidential“ durch Vergleich der Messwerte aus verschiedenen Verfahren und Atemzyklen ergab ebenfalls eine sehr geringe Streuung und somit hohe Präzision der Ergebnisse. Bei der Untersuchung der Richtigkeit konnten keine systematischen Fehler nachgewiesen werden. Die Richtigkeit der Messungen konnte allerdings nur

eingeschränkt beurteilt werden, da Ergebnisse von Richtigkeitskontrollen mit Testlösungen nicht zur Verfügung standen.

Da die Überprüfung der Präzision und Richtigkeit der angewandten Messmethoden keinen Anhaltspunkt dafür bot, dass sie als Ursache für die im Einzelfall großen Paardifferenzen anzusehen sind, wurde das Verhältnis der Blutalkoholkonzentration zur Atemalkoholkonzentration näher untersucht.

Die Auswertung des Datenmaterials ergab nahezu eine Normalverteilung des BAK/AAK-Quotienten mit einem Mittelwert von 2142 l/kg und einer Streuung von  $s = 164$  l/kg. Die Schwankungsbreite des Quotienten lag zwischen 1528 und 2605 l/kg.

Die Untersuchung der Veränderung des BAK/AAK-Verhältnisses in Relation zur Zeit nach Trinkende bei jedem Probanden ergab nur in vier Fällen einen von der Zeit unabhängigen, nahezu konstanten Quotienten. Bei 40 % der Probanden ergab sich eine linear steigende Abhängigkeit zwischen dem BAK/AAK-Quotienten und der Zeit nach Trinkende.

Betrachtete man die zusammengefassten Daten der einzelnen Versuchstage, so bestätigte sich auch hier der Trend einer linear positiven, wenn auch nicht besonders großen, Korrelation zwischen den beiden Variablen. Weiterhin fiel auf, dass die Verteilung der Abweichungen des BAK/AAK-Quotienten vom Idealwert 2100 l/kg vom Versuchstag abhängig ist. An einigen Tagen traten fast ausschließlich positive Differenzen auf, während an anderen Versuchstagen hauptsächlich negative Abweichungen zu beobachten waren.

Die Auswertung der Zusammenfassung der gesamten BAK/AAK-Quotienten in Zeitklassen von 10 Minuten ergab ebenfalls die oben beschriebene linear positive Abhängigkeit.

Das BAK/AAK-Verhältnis sollte auch vom Alkoholisierungsgrad der Probanden unabhängig sein. Unsere Daten ergaben aber für eine Blutalkoholkonzentration im Bereich von 0,70 ‰ bis 1,30 ‰, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % von einem linear steigenden Zusammenhang zwischen BAK/AAK-Quotient und BAK (g/kg) ausgegangen werden kann.

Desweiteren wurden noch die alters- und geschlechtsspezifische Abhängigkeit des Alkoholverteilungsverhältnisses zwischen Blut und Luft untersucht. Während der BAK/AAK-Quotient vom Geschlecht unabhängig erschien ( $\varphi = 2094 \text{ l/kg}$ ,  $\sigma = 2171 \text{ l/kg}$ ), konnte eine Altersabhängigkeit festgestellt werden. Über den Bereich von 18 bis 70 Jahren zeigt sich die Tendenz, dass mit steigendem Alter auch der Quotientenwert steigt.

Um die Auswirkungen zu verdeutlichen, die die Abweichungen zwischen BAK und AAK-Wert mit sich ziehen können, wurden die Messergebnisse im Bereich der juristisch relevanten Grenzwerte analysiert. Insgesamt wurde in 24 % der Fälle ein Wert oberhalb, der andere dagegen unterhalb einer der gesetzlichen Grenzwerte gemessen. In 12 % dieser Fälle lag der AAK-Wert über dem BAK-Wert. Bei 88 % fand sich dagegen die umgekehrte Situation.

## 9. Schlussbetrachtung

Die Ergebnisse unserer Studien zeigen, dass im Mittel die Übereinstimmungen zwischen BAK und AAK sehr gut sind, im Einzelfall jedoch erhebliche Differenzen zu beobachten sind. Die Gründe dieser Abweichungen sind individueller Natur, d.h., sie werden durch physiologische bzw. pathophysiologische Gegebenheiten beeinflusst. Genannt seien hier akute und chronische Erkrankungen, altersbedingte Faktoren und auch die Phase des Trinkverlaufs.

Die Auswirkungen solcher Differenzen zwischen BAK und AAK können für den Betroffenen weitreichend sein, wenn sich die Messwerte an den gesetzlichen Grenzwerten bewegen. Wie wir in unseren Untersuchungen gezeigt haben, fielen in diesen Fällen das Strafmaß sehr unterschiedlich aus, je nachdem welche Messmethode zur Feststellung der Alkoholkonzentration Verwendung fände.

Die Konsequenz, die sich aus den z.T. großen Abweichungen ergibt, ist folgende. Nimmt man z.B. den BGH-Basiswert von 1 ‰ für die absolute Fahruntüchtigkeit, so erfolgt die BAK-Bestimmung mit entsprechender, auch nachzuweisender Präzision bekanntlich mit dem durch den Messfehler erforderlichen Sicherheitszuschlag von 0,1 ‰. Bei AAK-Bestimmung muss dieser Zuschlag unter Berücksichtigung unserer experimentellen Untersuchungen 0,3 ‰ betragen. Der analoge AAK-Grenzwert wäre also 1,3 ‰. Allerdings ist dieser Zuschlag nach allen bisherigen Erfahrungen mit anderen Atemtestgeräten unrealistisch, denn er basiert auf experimentellen Untersuchungen. Man benötigt noch die Präzisionsparameter aus Feldversuchen. Diese lagen bei allen bisherigen Vergleichen zwischen Experiment und Feldversuch deutlich höher. Gründe dafür sind: Zunahme verschiedener Variablen auf die Streuung, z.B. unachtsame Polizisten bei der Überwachung der Atemprobe, unkooperative Probanden. Bei vorsichtiger Einschätzung wird man insoweit von einer Streuung von  $\pm 0,4$  ‰ ausgehen müssen.

Ein weiterer Kritikpunkt, wie er auch von Iffland (73) und Gilg (2) angemerkt wird, ist eine mit der Blutalkoholanalytik vergleichbare Kontrolle der Meßgeräte. Die vorgesehenen halbjährlichen Eichungen sind kein Ersatz für tägliche Messungen von Kontrolllösungen.

Desweiteren muss die Angabe von nur zwei statt vier Messwerten kritisiert werden. Eine Überprüfung der Standardabweichung, wie sie vom BGH gefordert wird, ist so nicht möglich.

Kritisch gesehen werden muss auch die Ungleichbehandlung der Betroffenen in Abhängigkeit von der Wahl des Messverfahrens. Aus der Gleichstellung im neugefassten § 24a StVG von 0,25 mg/l Atemalkohol mit 0,5 ‰ Blutalkohol bzw. 0,4 mg/l mit 0,8 ‰ errechnet sich ein Verteilungsverhältnis von 1:2000. Gegenüber dem Mittelwert von 1:2100 bedeutet dies einen um 5 % höheren Grenzwert oder eine Begünstigung der Atemmessung um 5 % gegenüber dem Blutalkohol. Dies bedeutet aber für Personen, die die Atemalkoholmessung verweigern oder nicht durchführen können, wie z.B. Verletzte oder Kranke, eine Benachteiligung.

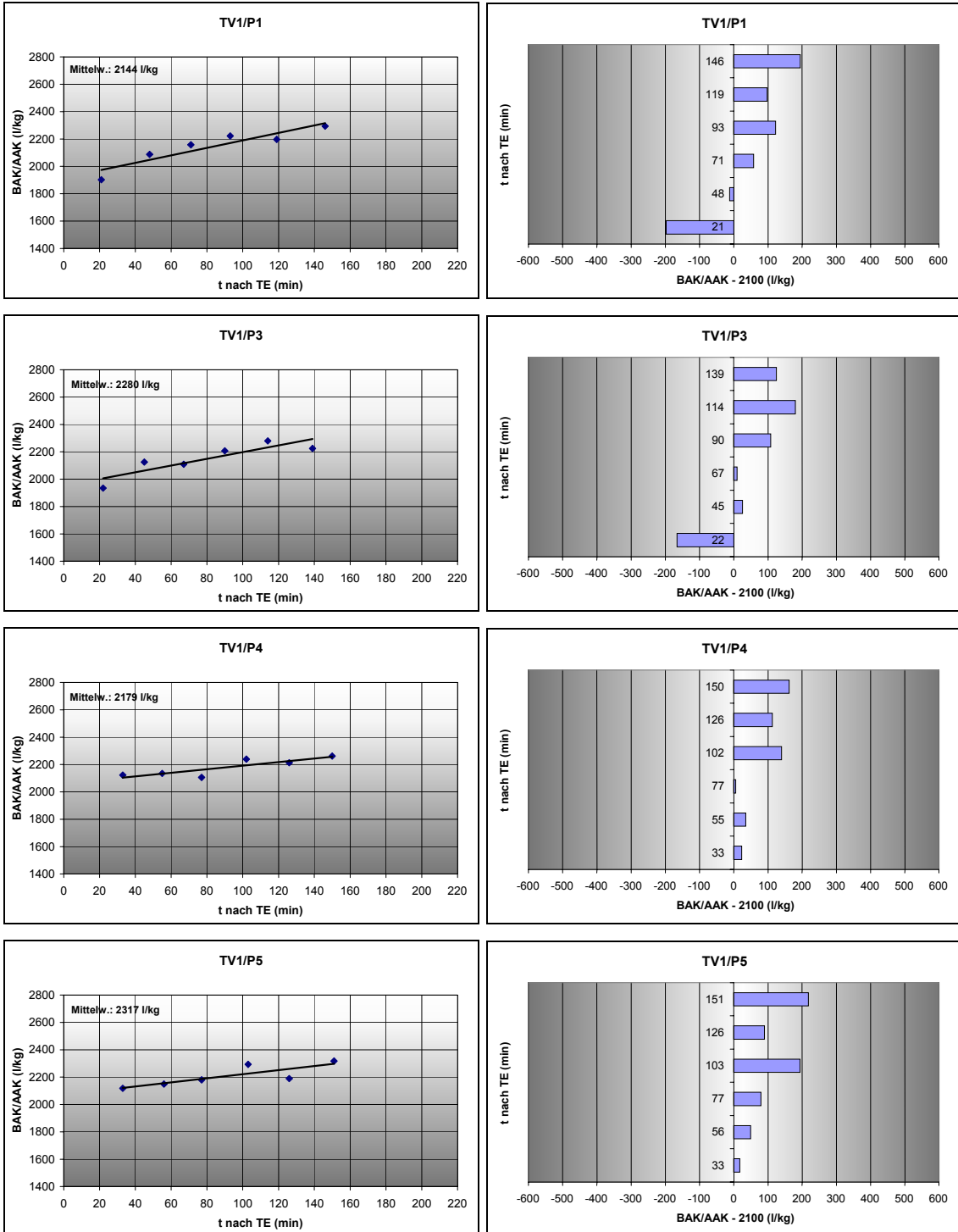
Mit der gleichzeitigen Zulassung der AAK neben der BAK ergibt sich das Problem, welcher der Werte vor Gericht anerkannt wird, wenn sie entscheidend differieren. Desweiteren sind Rückrechnungen der Alkoholkonzentration auf einen früheren Zeitpunkt nicht mehr legitim, da sich der Widmarksche Rückrechnungsfaktor  $\beta$  auf die BAK bezieht. Auch ist eine nachträgliche Untersuchung auf Medikamente, Drogen, Nachtrunk oder Alkoholmarkern nicht möglich.

Abschließend kann man sagen, dass die technischen Voraussetzungen zur Bestimmung einer Alkoholkonzentration in einem Gasvolumen als hinreichend genau anzusehen sind. Die Einfluss- und Störmöglichkeiten bei der Atemalkoholbestimmung liegen vor allem im biologisch - physiologischen Bereich und damit vor der Messung.

## **ANHANG**

## Das BAK/AAK-Verhältnis in Relation zur Zeit nach Trinkende

Abb. 23: Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 1. Trinkversuches (TV)





**Abb. 24:** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 2. Trinkversuches (TV)

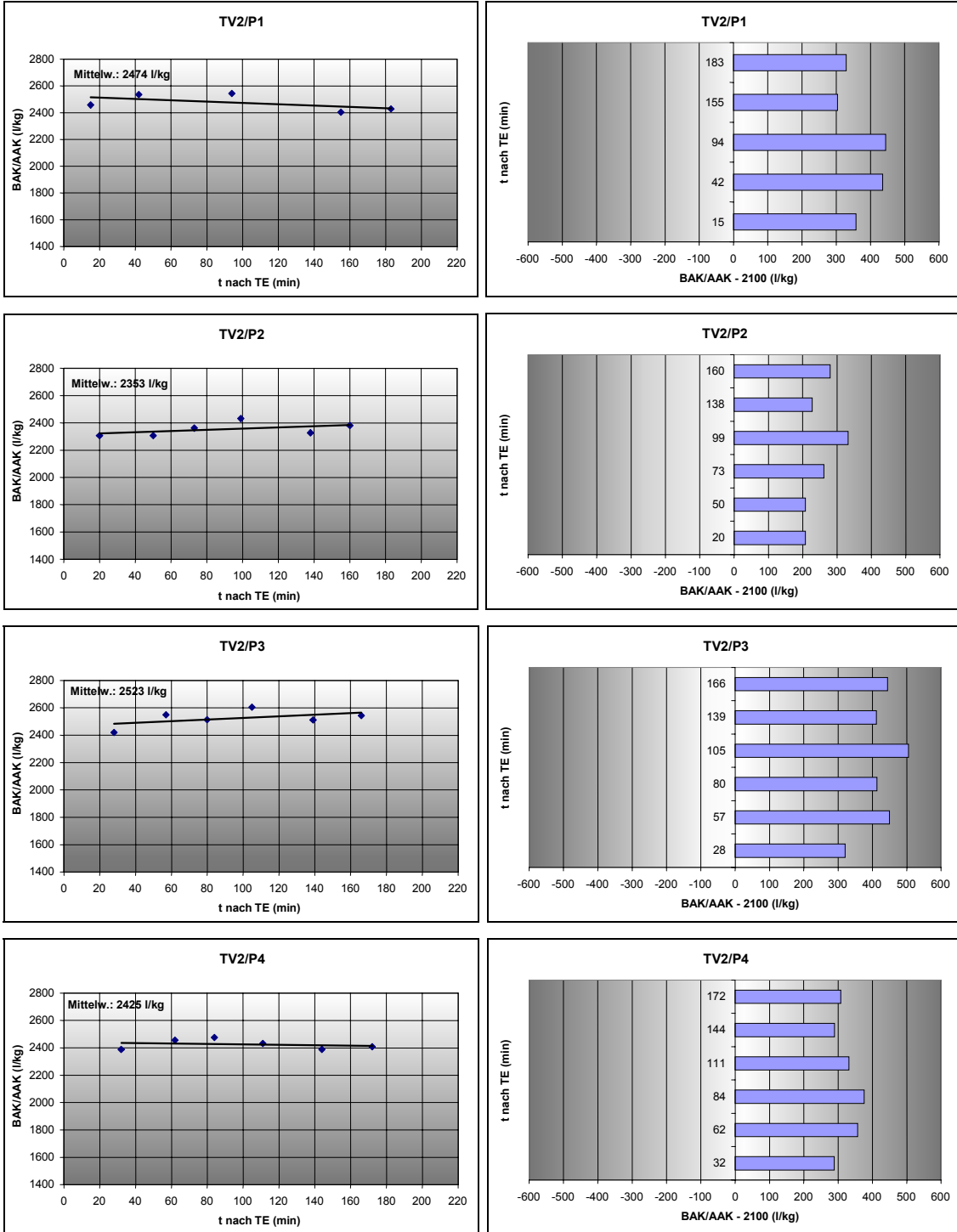
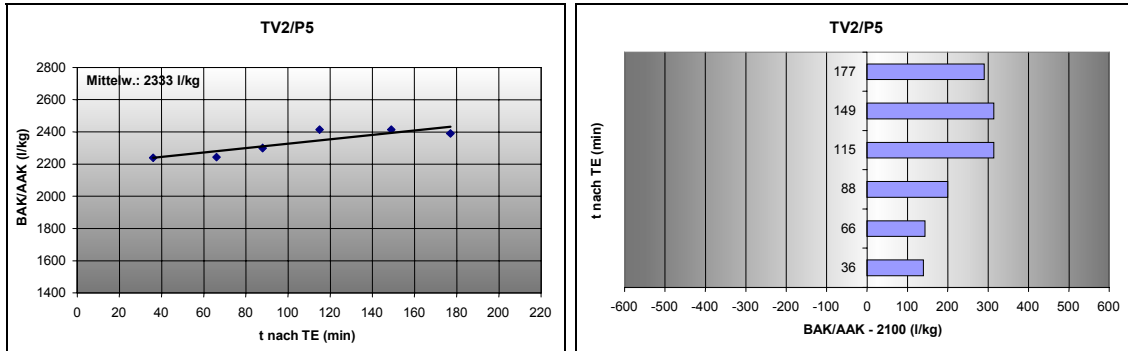
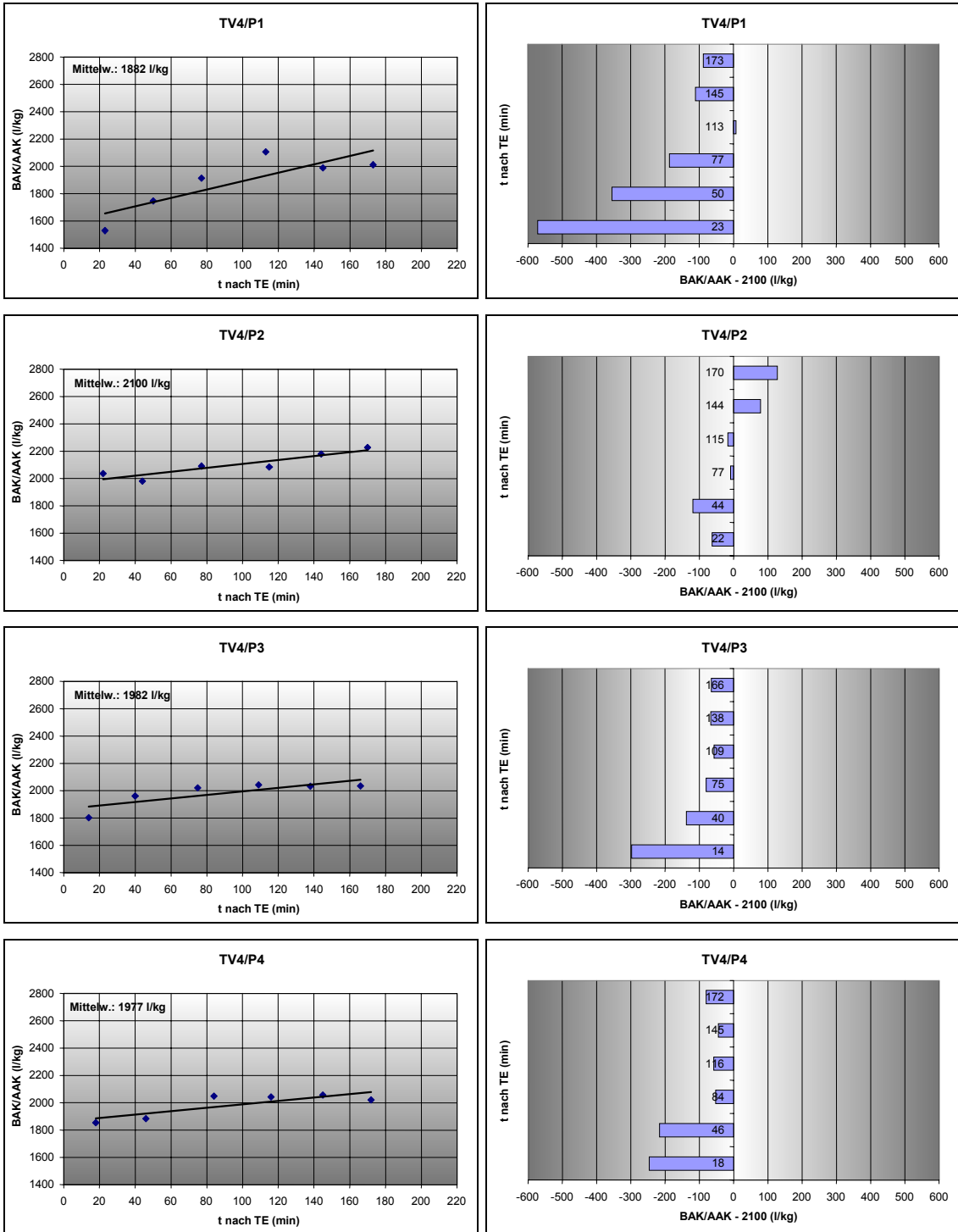


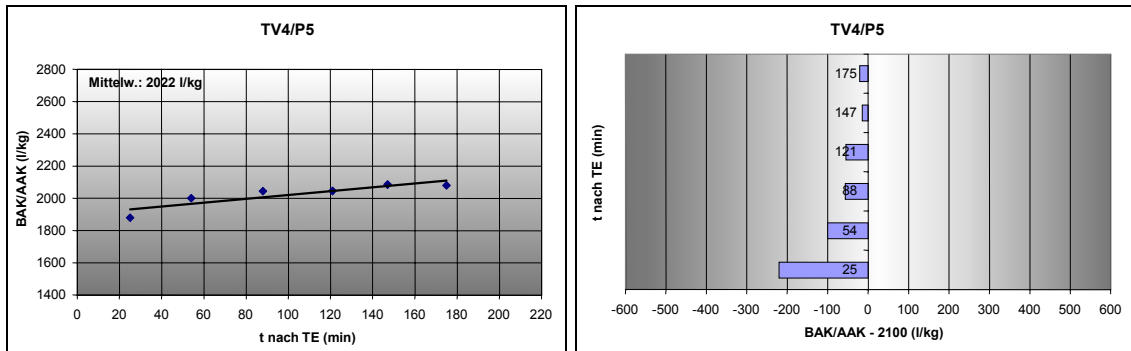
Abb. 24 (Forts.): Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 2. Trinkversuches (TV)



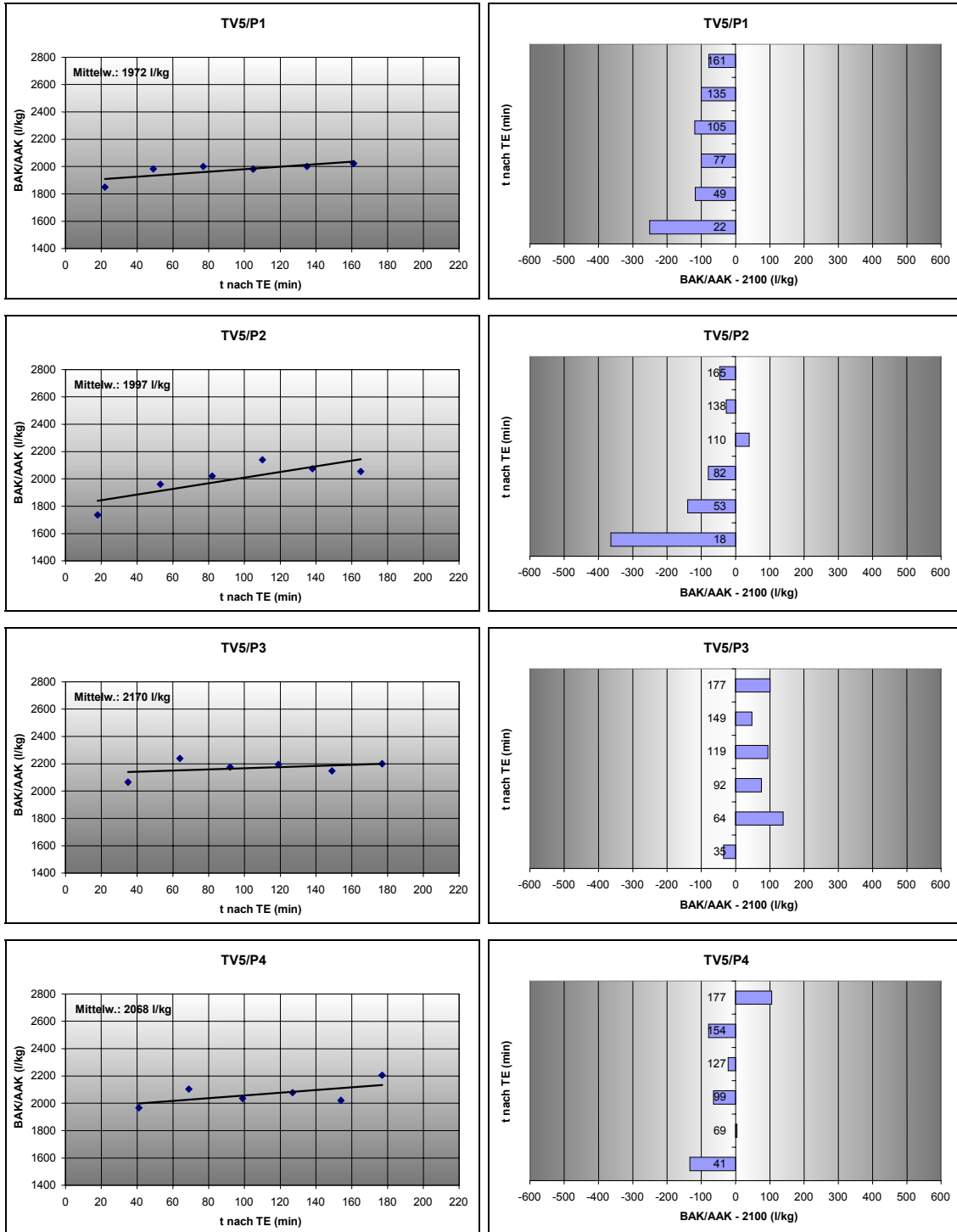
**Abb. 25:** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 4. Trinkversuches (TV)



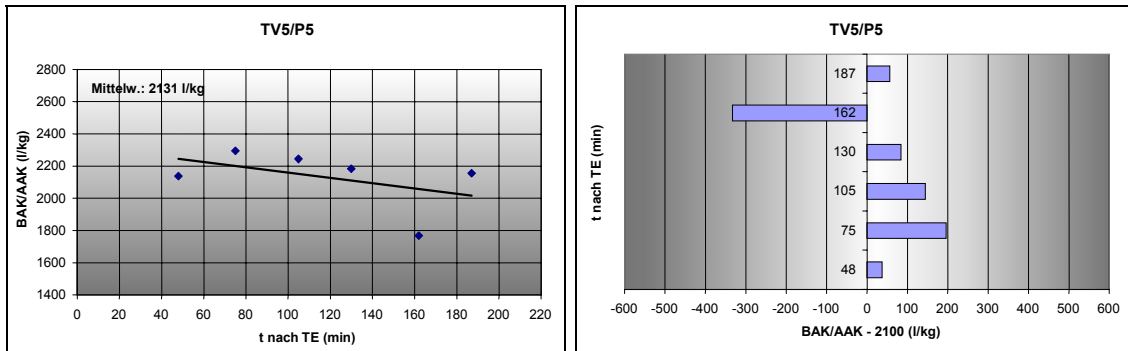
**Abb. 25 (Forts.):** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 4. Trinkversuches (TV)



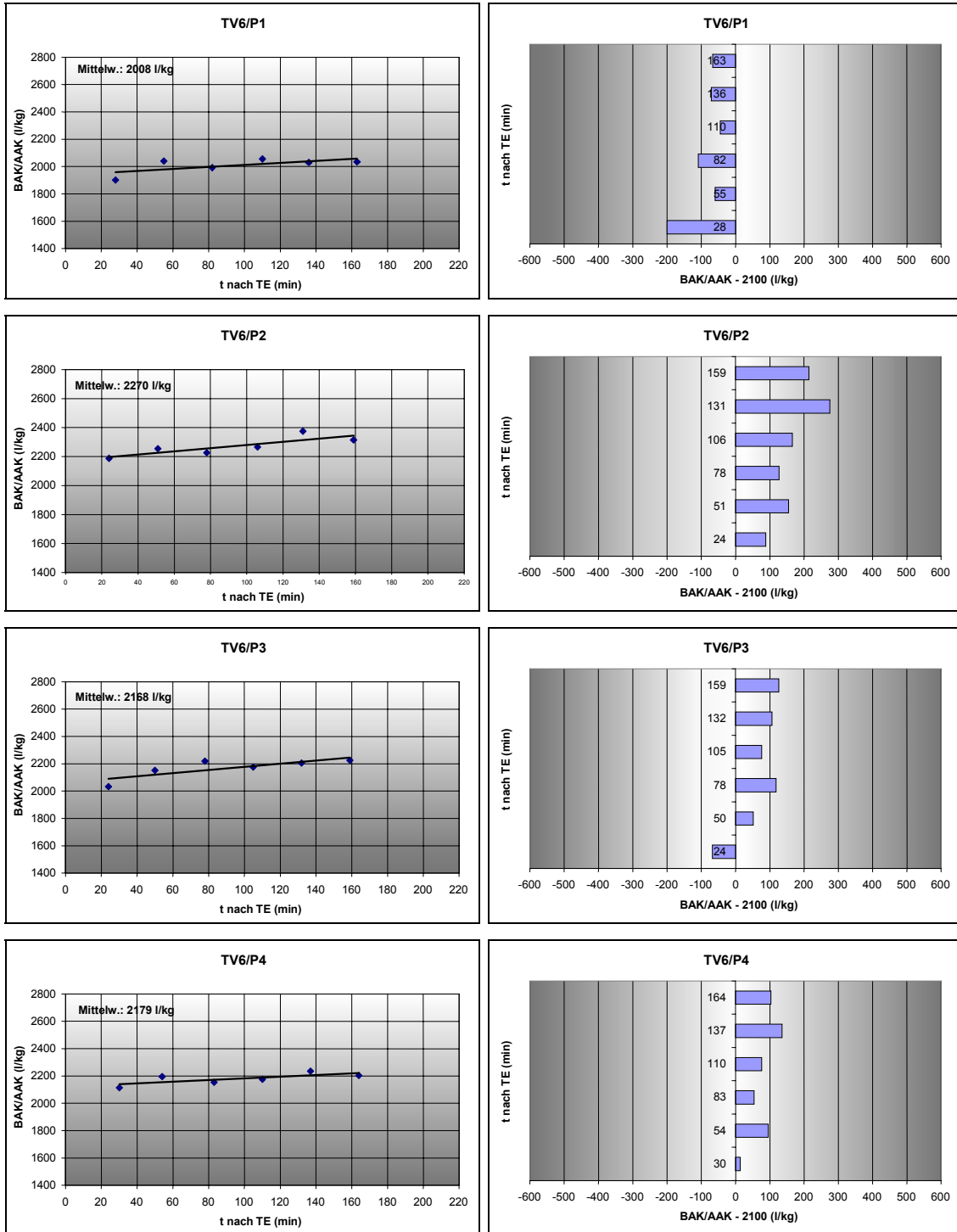
**Abb. 26:** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 5. Trinkversuches (TV)



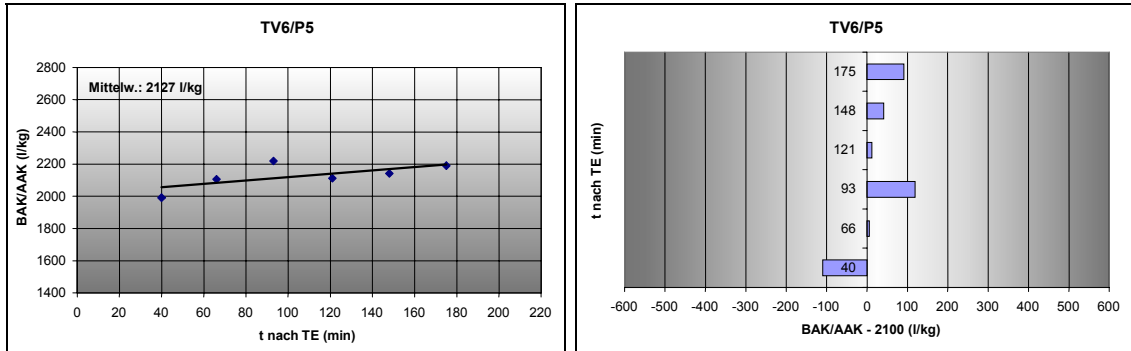
**Abb. 26 (Forts.):** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 5. Trinkversuches (TV)



**Abb. 27:** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 6. Trinkversuches (TV)

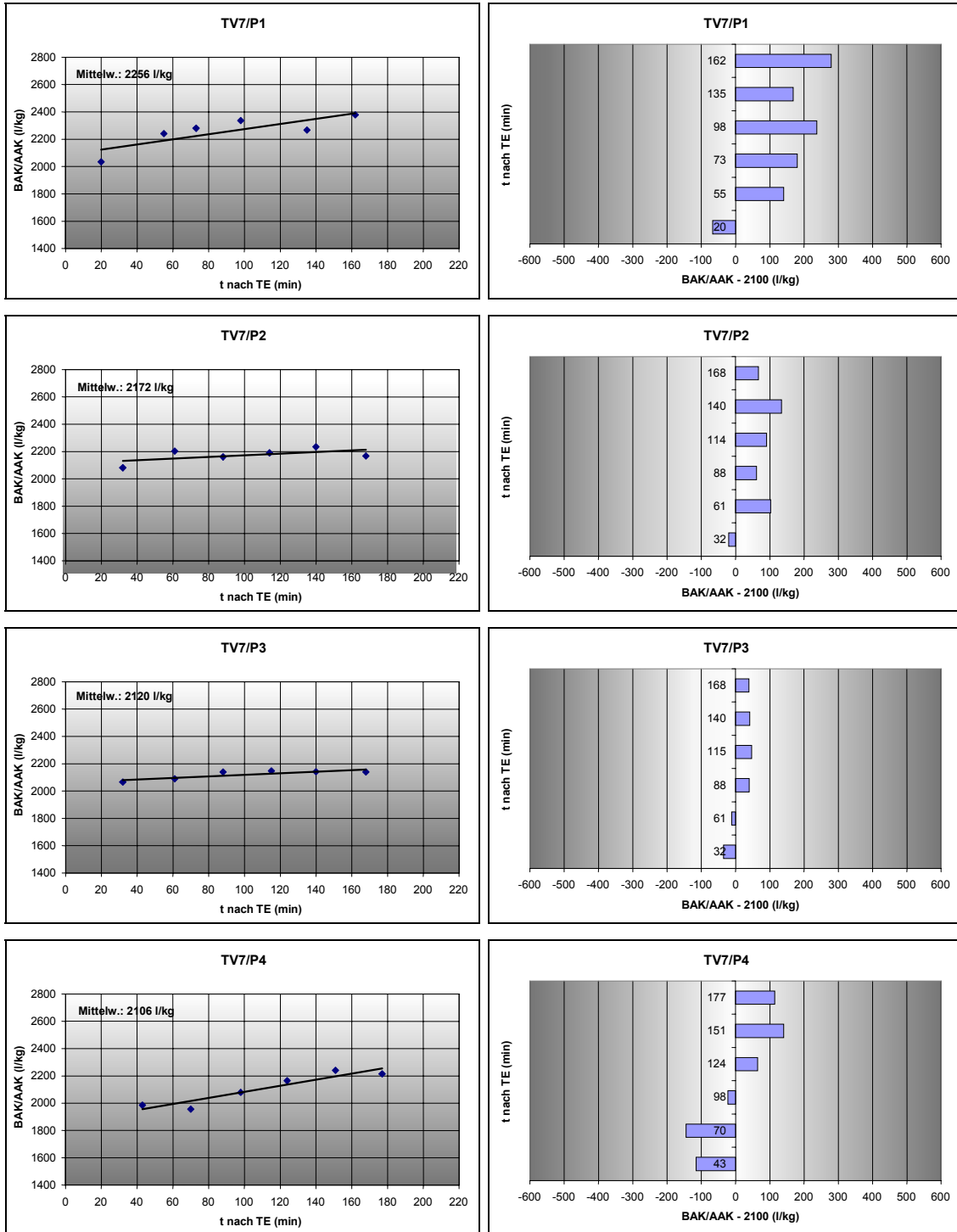


**Abb. 27 (Forts.):** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 6. Trinkversuches (TV)

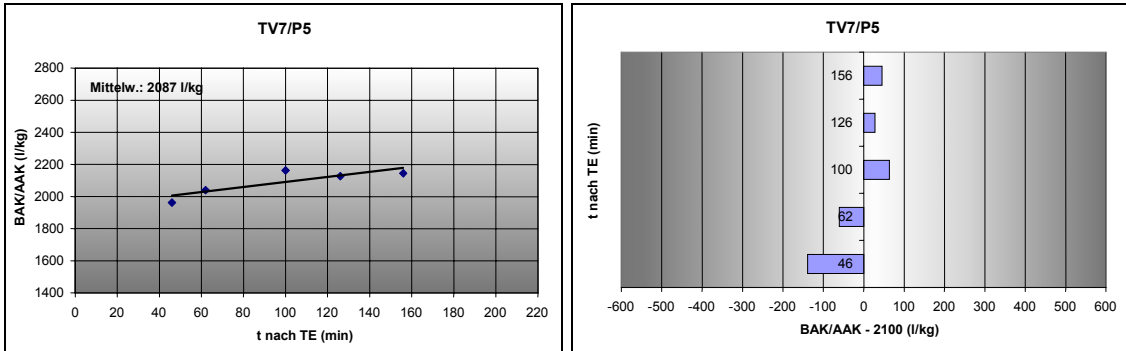




**Abb. 28:** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 7. Trinkversuches (TV)



**Abb. 28 (Forts.):** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 7. Trinkversuches (TV)



**Abb. 29:** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 8. Trinkversuches (TV)

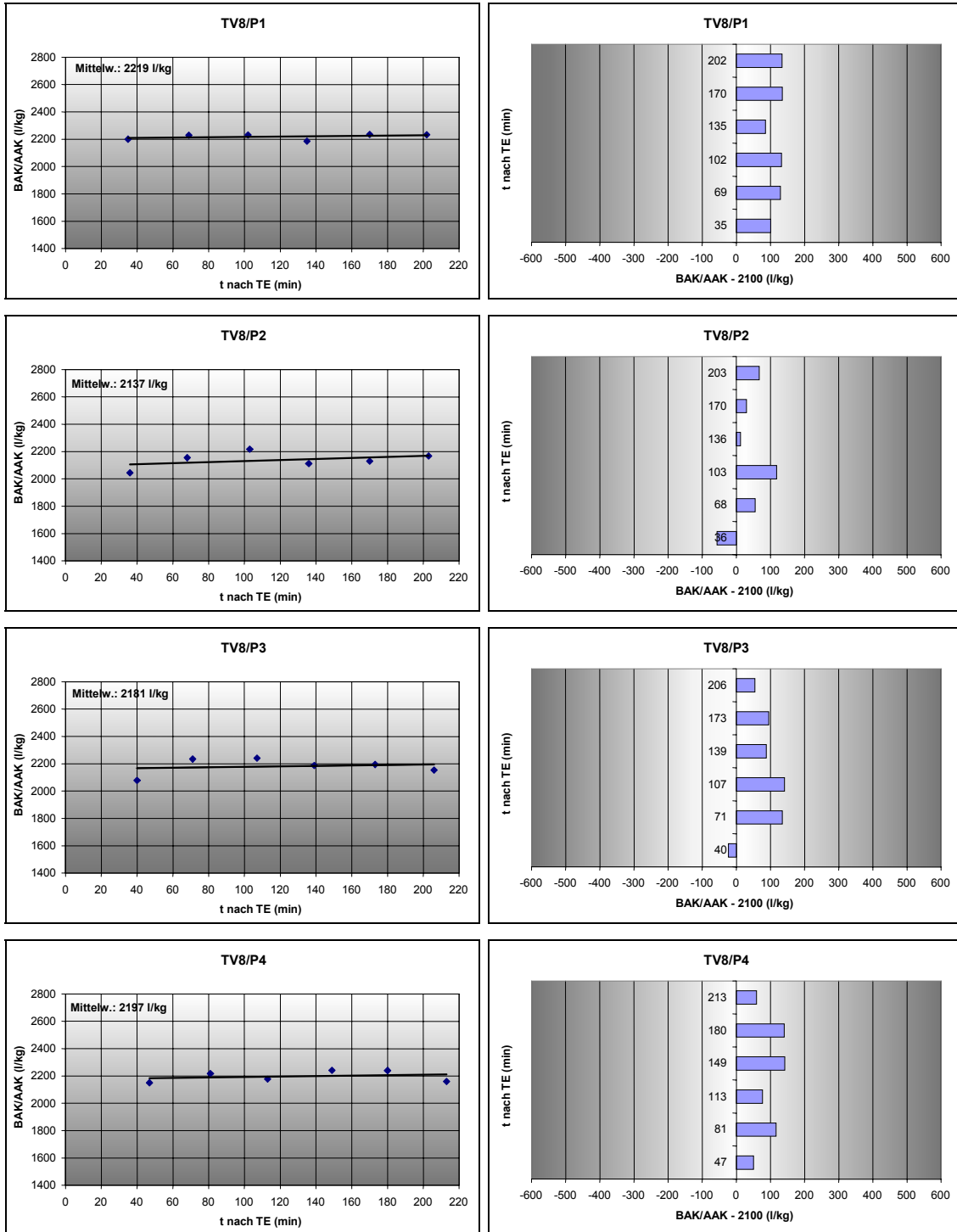
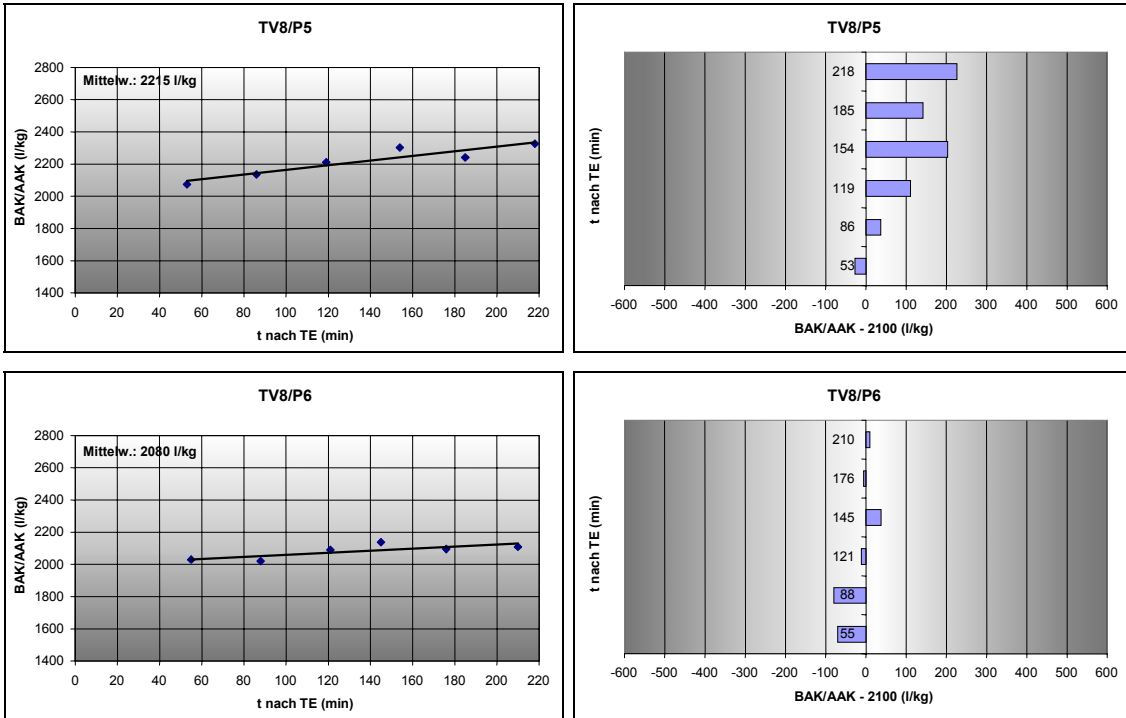
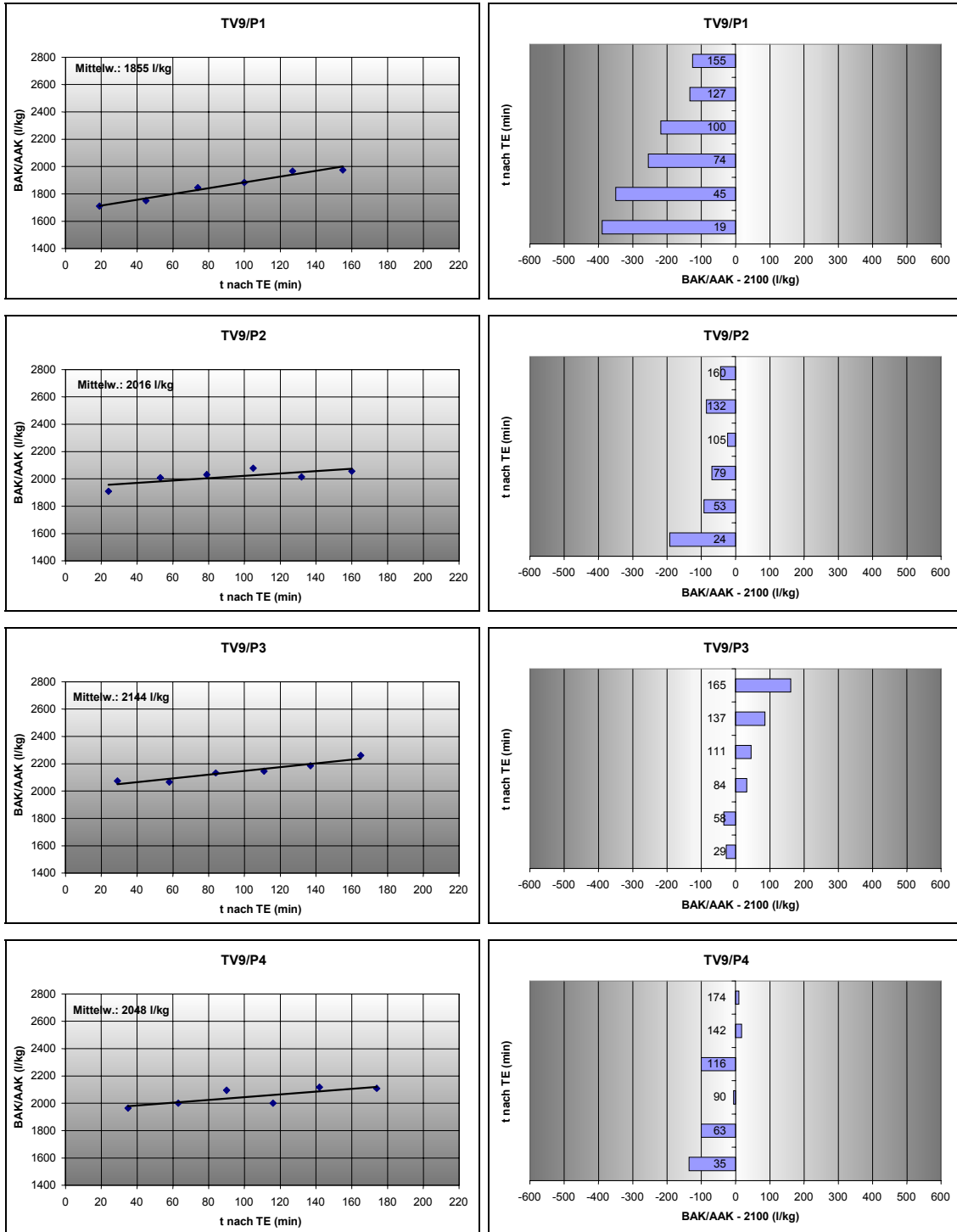


Abb. 29 (Forts.): Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 8. Trinkversuches (TV)



**Abb. 30:** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 9. Trinkversuches (TV)



**Abb. 30 (Forts.):** Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Probanden des 9. Trinkversuches (TV)

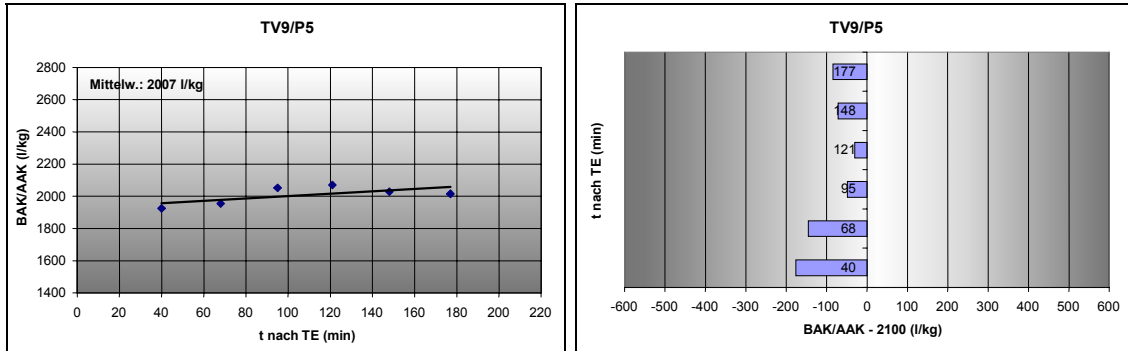


Abb. 31: Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Zusammenfassung der Versuchstage

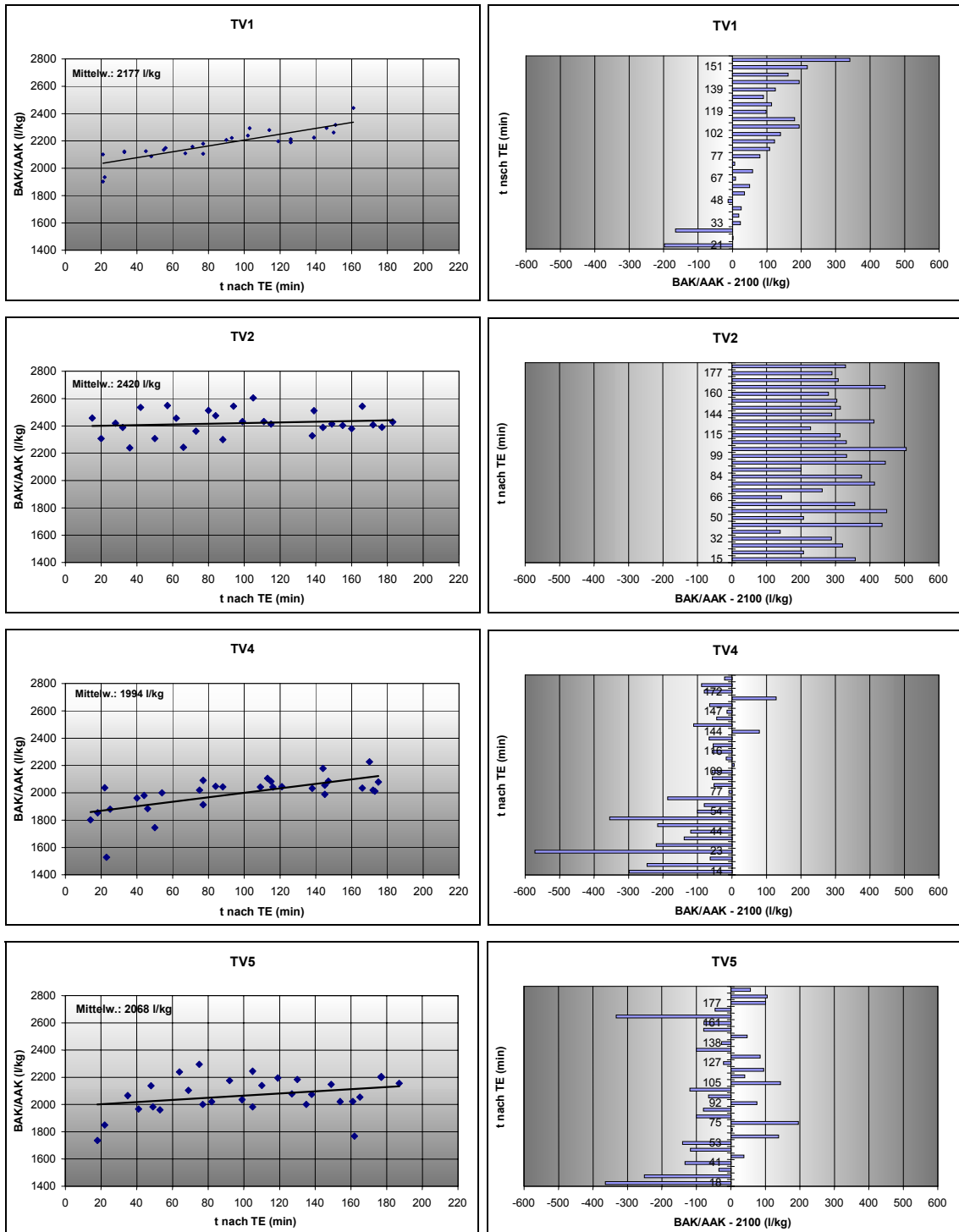


Abb. 31 (Forts.): Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Zusammenfassung der Versuchstage

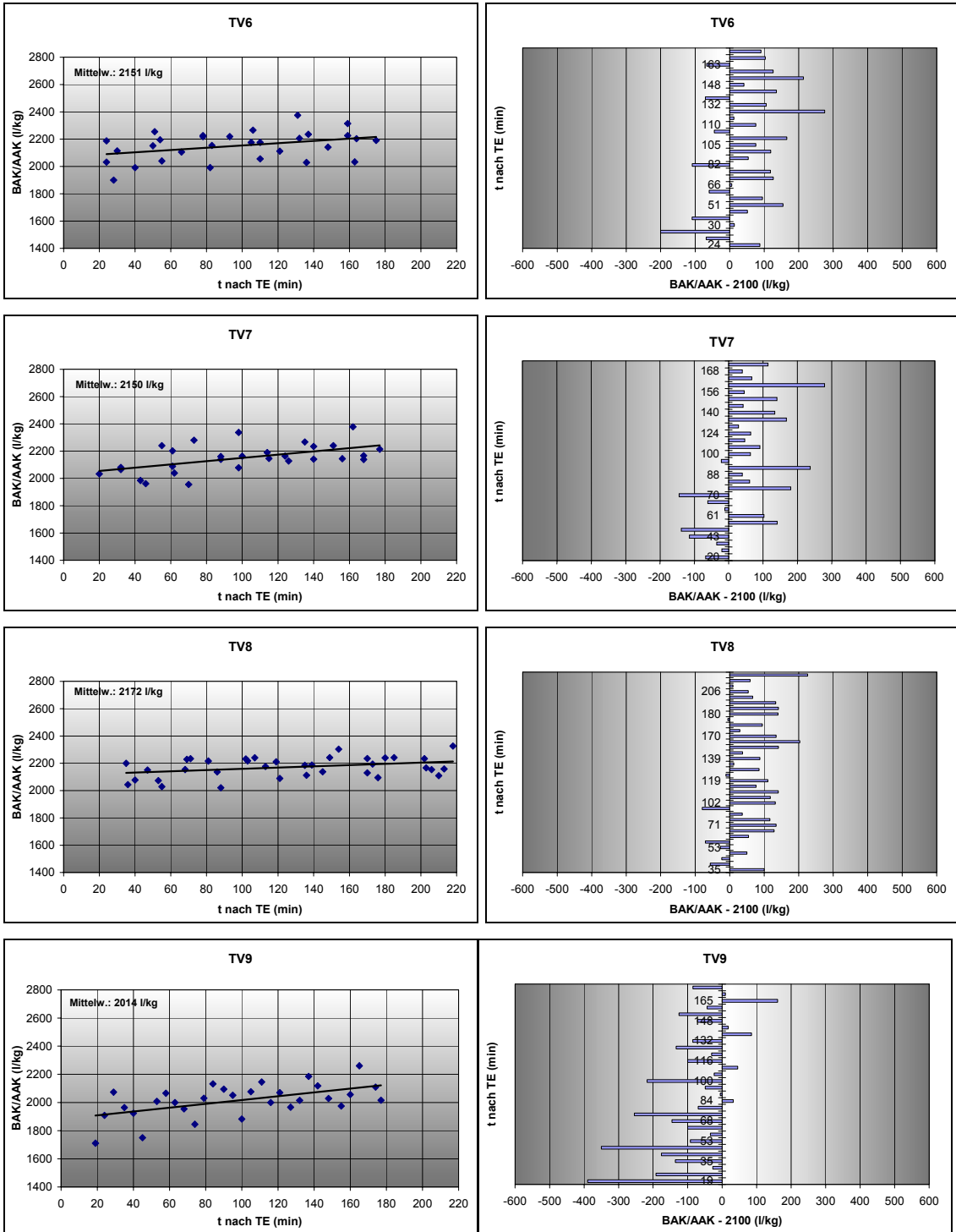
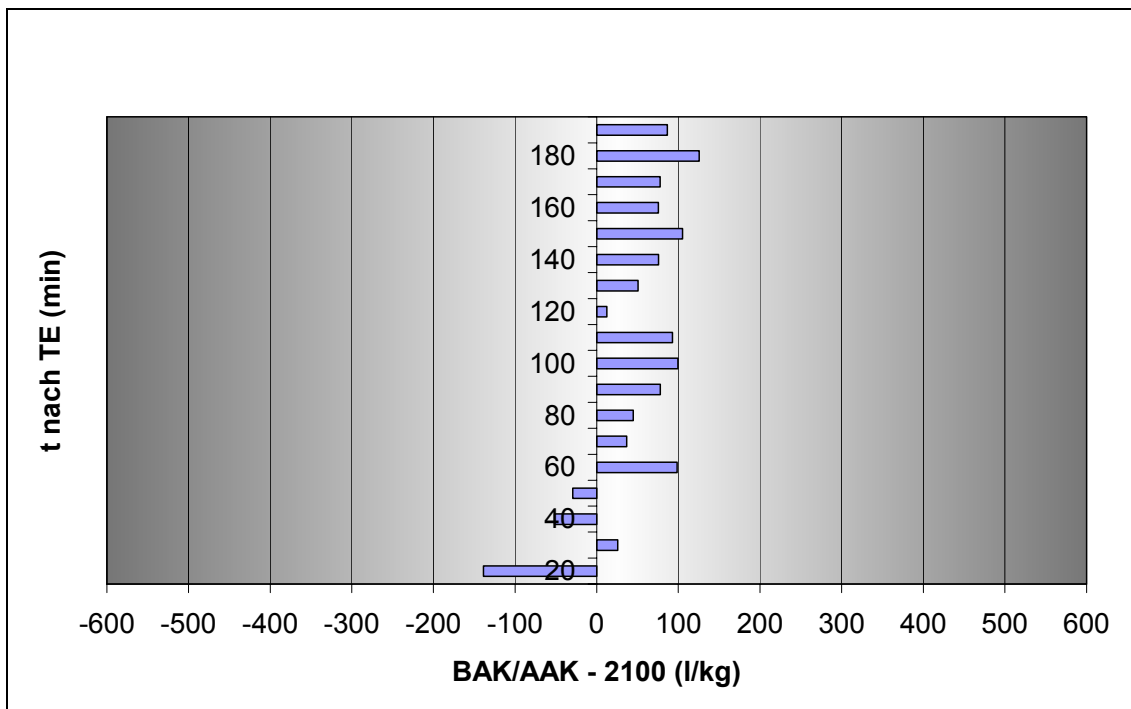
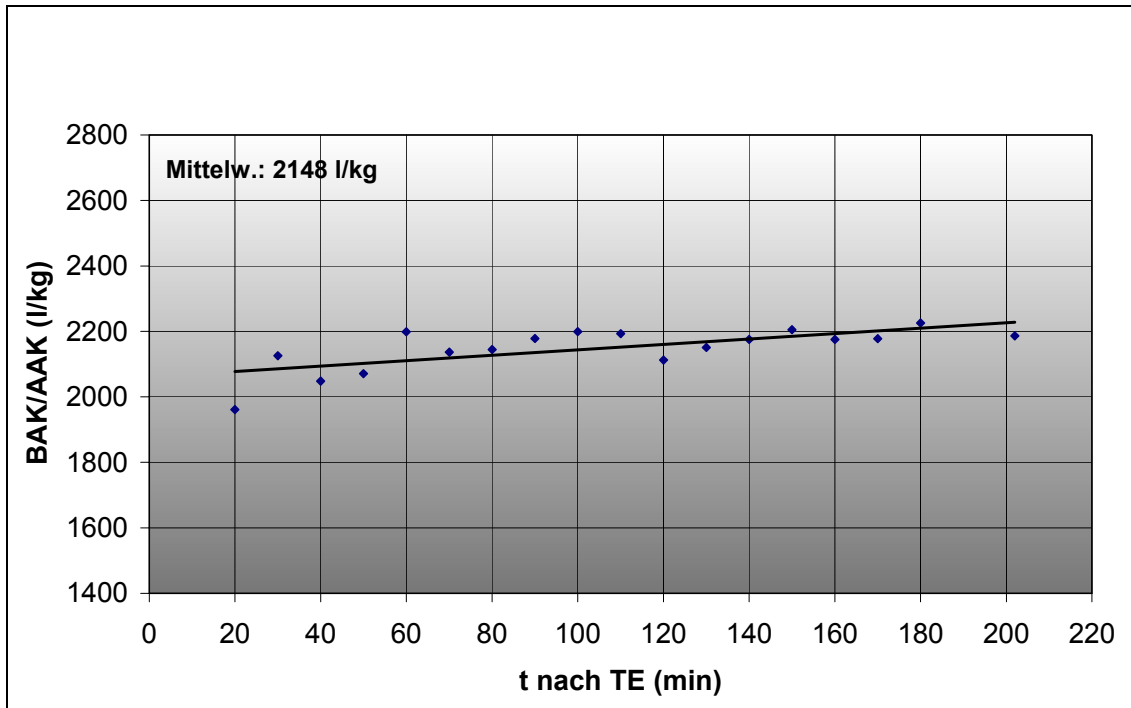




Abb. 32: Verhältnis des BAK/AAK-Quotienten (l/kg) zur Zeit t (min) nach Trinkende; Zusammenfassung der gesamten Daten in Zeitklassen



## Literaturverzeichnis

1. BGBl I, 795
2. P. Hentschel, *Neue Juristische Wochenschrift*, **33**, 2385 –2472 (1998).
3. H.J. Bode, *Blutalkohol* **35**, 220-238 (1998).
4. Buchheim, *Dtsch. Zschr. Staatsarzneik.*, N. F. **3**, 381 (1854).
5. Buchheim, *Chem.-pharmac. Cbl.* **25**, 428 (1854).
6. J.H. Smith, *Brit. Foreign. Rev.* **28**, 232 (1861).
7. R.N. Harger, *Science* **73**, 10, Nr. 1892 (1931).
8. W.W. Jetter, G.C. Forrester, *Arch. Path.* **32**, 828, (1941).
9. L.A. Greenberg, F.W. Keator, *Quart. J. Stud. Alcohol* **2**,57 (1941/1942).
10. Indiana State Police: Harald S. Zeis, Superintendent. (2. Edit.) 1957.
11. „Die Atemalkoholprobe“, O. Grüner; Carl Heymanns Verlag KG, Köln 1985, S.17.
12. O. Pribilla, T. Schultek, J. Weissmann, *Blutalkohol* **17**, 177-188 (1980).
13. R. Urban, E. Tutsch-Bauer, E. Schuller, E. Liebhardt, *Blutalkohol* **20**, 351-355 (1983).
14. G. Bohn, D. Clasing, K. Lehmann, U. Brackemeyer, B. Brinkmann, *Blutalkohol* **20**, 221-235 (1983).
15. G. Bohn, M. Hahn, B. Brinkmann, *Beitr. gerichtl. Med.* **42**, 225-229 (1984).
16. M. Staak, R. Iffland, *Blutalkohol* **21**, 131-148 (1984).
17. H. Logtenberg, W. Neuteboom, *T. Politie* **46**, 563-570 (1984).
18. K. Püschel, G. Kernbach, B. Brinkmann, *Beitr. gerichtl. Med.* **44**, 22-27 (1984).
19. G. Schmidt, V. Schneider, H. Wiesfeld, *Blutalkohol* **23**, 133-137 (1986).
20. D. Clasing, G. Bohn, U. Brackemeyer, *Blutalkohol* **29**, 130-133 (1992).
21. N. Bilzer, R. Sprung, G. Schewe, *Blutalkohol* **31**, 1-7 (1994).
22. G. Schoknecht, K. Fleck, B. Kophamel-Röder, Beweissicherheit der Atemalkoholanalyse. Gutachten des Bundesgesundheitsamtes. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr Heft 86, hrsg. im Auftrag des Bundesministers für Verkehr von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BGA 1992).

23. „Lehrbuch der Toxikologie“, Hrsgb.: H. Marquardt, S.G. Schäfer; BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim 1994, S. 393 ff.
24. „Lehrbuch der Physikalischen Chemie“, G. Wedler; Verlag Chemie, Weinheim 1982, S. 698.
25. Ponsold S. 235f.
26. Ponsold S. 234.
27. s. Ref. 11, S. 4.
28. s. Ref. 11, S. 49.
29. K.M. Dubowski, *Clin. Chem.* **20**, 294 (1974).
30. K.M. Dubowski, *Z. Rechtsmedizin* **76**, 93 (1975).
31. R.N. Harger, R.B. Forney, H.B. Barnes, *J. Lab. Clin. Med.* **36**, 306 (1950).
32. A.W. Jones, *Acta Physiol. Scand.* **114**, 407 (1982).
33. J.E.C. Walker, R.E. Wells, E.W. Merrill, *Amer. J. Med.* **30**, 259 (1961).
34. „Die Atemalkoholprobe“, O. Grüner; Carl Heymanns Verlag KG, Köln 1985, S. 64.
35. „Die Atemalkoholprobe“, O. Grüner; Carl Heymanns Verlag KG, Köln 1985, S. 72.
36. „Gas transfer in the lung“, B.A. Hills, Cambridge University Press, Cambridge 1974.
37. „Lehrbuch der Physikalischen Chemie“, G. Wedler; Verlag Chemie, Weinheim 1982, S. 297.
38. H.W. Haggard, L.A. Greenberg, *J. Pharmacol. exp. Ther.* **52**, 150 (1934).
39. H.W. Haggard, L.A. Greenberg, D.P. Miller, R.P. Carroll, *J. Lab. Clin. Med.* **26**, 1527 (1941).
40. G. Liljestrand, P. Linde, *Skand. Arch. Physiol.* **60**, 273 (1930).
41. P.V. Lundt, E. Jahn: Gutachten des Bundesgesundheitsamtes „Alkohol bei Verkehrsstraftaten“, Hrsg. Bundesminister für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg, Kirschbaum Verlag, Bad Godesberg (BGA 1966).
42. BGA: Ergänzende Stellungnahme zu den Gutachten des BGA zur Frage „Alkohol bei Verkehrsstraftaten“, Kirschbaum Verlag, Bad Godesberg (1967).
43. P.V. Lundt, E. Jahn, *Bundesgesundheitsblatt* **16**, 70 – 74 (1973).

44. P.V. Lundt, unter Mitarbeit von St. Berg, J. Gerchow, O. Grüner, U. Heifer: Zweites Gutachten des Bundesgesundheitsamtes „Alkohol und Straßenverkehr“, Hrsg. Bundesminister für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg, E. Esdar KG, Bochum (BGA 1977).
45. Stellungnahme des BGA 1981
46. G. Schoknecht: Grundlagen der beweissicheren Atemalkoholanalyse, *Z. Med. Phys.* **6**, 7-13, 1996.
47. E. Martin, W. Moll, P. Schmid, L. Dettli, *Eur. J. Clin. Pharmacol.* **26**, 619-626 (1984).
48. G. Schoknecht: Volumenrichtwerte für die Atemalkoholanalyse nach Ergebnissen des Spandauer Gesundheitstestes. Tätigkeitsbericht 1989 des Bundesgesundheitsamtes 241-242, MMV Medizin Verlag, München 1990.
49. G. Schoknecht, K. Fleck, B. Kophamel, *Blutalkohol* **27**, 83-94, 1990.
50. Schoknecht, G., B. Kophamel, B. Barduhn, *Blutalkohol* **26**, 137-149, 1989.
51. R. Haeckel, *Das Medizinische Laboratorium* **34**, 8-14 (1981).
52. M. Stockhausen, „Mathematische Behandlung naturwissenschaftlicher Probleme, Teil 1“, Steinkopff Verlag GmbH & Co. KG, Darmstadt 1979, S. 68.
53. „Anwendung statistischer Methoden zur Beurteilung von Analyseergebnissen in der Wasseranalytik“, Arbeitsgruppe „Statistik in der Wasseranalytik“ in der Fachgruppe Wasserchemie, 1979, S. 12.
54. E. Walter, „Biomathematik für Mediziner“, 2. Auflage, B.G. Teubner, Stuttgart 1980, S. 47.
55. s. Ref. 53, S. 26.
56. s. Ref. 53, S. 45-47.
57. A. Heinecke, E. Hultsch, R. Repges, „Medizinische Biometrie“, Springer-Verlag Berlin 1992, S. 270 ff.
58. s. Ref. 53, S. 32.
59. s. Ref. 53, S. 43.
60. BGH: Beschluss v. 28.06.1990 (4StR 297/90).
61. P. Zink, B. Schneider, G. Schroeder, M. Wolf, *Blutalkohol* **22**, 21-48 (1985).
62. J. Sammler, R. Sprung, R. Hilgers, *Blutalkohol* **29**, 205-210 (1992).
63. s. Ref. 54, S. 141.

64.s. Ref. 57, S. 268.

65.s. Ref. 57, S. 60.

66.T. Gilg, W. Eisenmenger, *DAR* **66**, 1-6 (1997).

67.A.W. Jones, L. Andersson, *J. Forensic Science* 41, 916-921 (1996).

68.U. Brackemeyer, G. Schoknecht, *Die Polizei* Heft 12, 345-355 (1997).

69.N. Bilzer, G. Schewe, J. Blauert, C. Kirschall, *Blutalkohol* 34, 89-100 (1997).

70.s. Ref. 11, S. 84, hier zitierte Literatur.

71.s. Ref. 11, S. 11.

72.P. Hentschel, R. Born: „Trunkenheit im Straßenverkehr“, Werner-Verlag, 6. Aufl., Düsseldorf 1992.

73.R. Iffland, N. Bilzer, *DAR* **1**, 1-8 (1999).

Herrn Prof. Dr. Dr. B. Brinkmann danke ich herzlich für die Förderung und Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich Frau Dr. H. Köhler und Herrn Dr. J. Beike für zahlreiche konstruktive Gespräche und Anregungen, welche eine Bereicherung bei der Erstellung dieser Arbeit darstellten.

## Lebenslauf

