



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

# Untersuchung der Genauigkeit (= Richtigkeit und Präzision) ausgewählter Atemalkohol-Messgeräte ('Alkotester')

Report TUV CTA 2019/01 DE

*Wien, Januar 2019*





**Studienautor**

Erwin Rosenberg

**Weitere Beitragende**

Alejandro García Peña  
Dorota Jachura  
Vanessa Nümberger

**Übersetzung**

Erwin Rosenberg

**Layout**

Martin Kolossa und Werner F. Sommer  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13, A-1040 Wien, Österreich

**Coverfotos und Vignetten**

Büro für Öffentlichkeitsarbeit und  
Erwin Rosenberg  
Technische Universität Wien

**Gerätefotos**

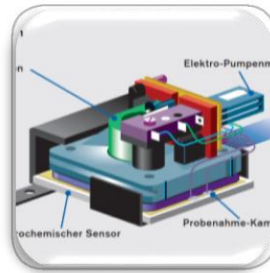
ACE Handels- und Entwicklungs GmbH und  
Erwin Rosenberg

**Imprint**

Bericht TUW CTA 2019/01 DE

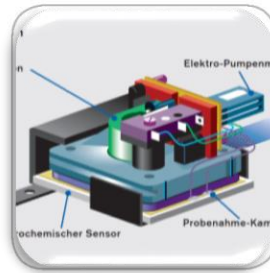
Veröffentlicht von:  
Technische Universität Wien  
Institut für Chemische Technologien und Analytik  
Getreidemarkt 9/164, A-1060 Wien, Österreich

Der Autor ist verantwortlich für den Inhalt dieses Berichtes.  
© Technische Universität Wien, Institut für Chemische Technologien und Analytik, 2019  
Alle Rechte vorbehalten.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ANGABEN ZUR STUDIE</b>	<b>1</b>
1.1	Auftraggeber	1
1.2	Studienleiter	1
1.3	Durchführende der Studie und Ort der Durchführung	1
1.4	Zeitraum der Studiendurchführung	1
<b>2</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
2.1	Zielsetzung der Studie	3
2.2	Einleitung	3
	Alkohol und Straßenverkehr	3
	Beeinträchtigung im Straßenverkehr durch Alkoholkonsum	4
	Blutalkohol und Atemalkohol	5
	Evidentialmessungen	5
	Die Blutalkohol-Messung	7
	Die Atemalkohol-Messung	7
	Die gesetzliche Situation	9
<b>3</b>	<b>STUDIENDESIGN</b>	<b>13</b>
3.1	Design der Genauigkeitsstudie	13
	Statistische Datenauswertung	13
3.2	Durchführung der Studie	15
	Erzeugung der Prüfgasatmosphäre	15



4	<b>ERGEBNISSE DER STUDIE</b>	17
4.1	<b>Darstellung der Ergebnisse</b>	17
4.2	<b>ACE X</b>	18
4.3	<b>ACE Wave</b>	21
4.4	<b>ACE A</b>	23
4.5	<b>ACE Solid</b>	25
4.6	<b>ACE AFM-5</b>	27
4.7	<b>Draeger Alcotest 3820</b>	29
5	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG</b>	33
6	<b>REFERENZEN</b>	37

# 1 Angaben zur Studie



## 1.1 AUFTRAGGEBER

Klaus Forsthofer, MBA, Geschäftsführer

ACE Handels- & Entwicklungs GmbH

Staufenstrasse 1 / Hallen 8 – 14  
83395 Freilassing, Deutschland

E-Mail: klaus.forsthofer@ace-technik.de

## 1.2 STUDIENLEITER

Prof. Dr. Erwin Rosenberg

Leiter des Labors für Organische Spurenanalytik

Technische Universität Wien

Institut für Chemische Technologien und Analytik

Getreidemarkt 9/164 AC

A-1060 Wien, Österreich

Tel.: +43-1-58801/15190

E-Mail: Erwin.Rosenberg@tuwien.ac.at

## 1.3 DURCHFÜHRENDE DER STUDIE UND ORT DER DURCHFÜHRUNG

Alejandro García Peña

Dorota Jachura

Vanessa Nürnberger

Labor für Organische Spurenanalytik

Technische Universität Wien

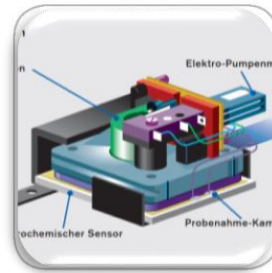
Institut für Chemische Technologien und Analytik

Getreidemarkt 9/64 AC

A-1060 Wien, Österreich

## 1.4 ZEITRAUM DER STUDIENDURCHFÜHRUNG

Die experimentelle Arbeit dieser Studie wurde im Zeitraum 2. Mai – 30 Juni 2018 durchgeführt.





## 2 Einleitung



### 2.1 ZIELSETZUNG DER STUDIE

Um die Zuverlässigkeit kleiner, tragbarer Geräte für die Bestimmung der Atemalkohol-Konzentration durch den privaten Anwender zu testen, wurde von der Firma ACE Handels- und Entwicklungs GmbH, einem großen, in Freilassing (Deutschland) ansässigen Distributor für Atemalkohol-Messgeräte ('Alkotester') im Jahr 2015 eine erste umfassende Studie in Auftrag gegeben, um die Richtigkeit und Präzision der Messungen unter kontrollierten Laborbedingungen zu bestimmen. Die Ergebnisse dieser Studie wurden in einem Bericht zusammengefasst [1].

Durch die Modernisierung der Modellpalette der ACE Handels- und Entwicklungs GmbH wurde es notwendig, die Studie mit den aktuellen Alkotestern der ACE-Modellpalette zu wiederholen. Getestet wurden dabei fünf Alkotester der Fa. ACE (vier Geräte im ‚klassischen‘ Format sowie ein Taschengerät, welches zur Ansteuerung und Auswertung mit dem Mobiltelefon über Bluetooth verbunden werden muss. Weiters wurde ein Referenzgerät der Fa. Dräger in diesen Test miteinbezogen.

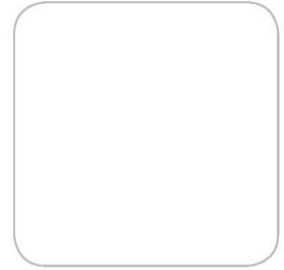
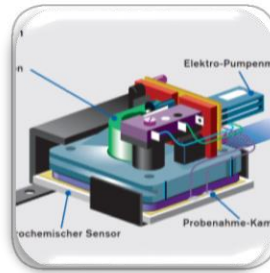
Der vorliegende Bericht beschreibt im Detail das Design der aktuellen Studie, ihre Durchführung und fasst deren wichtigste Ergebnisse zusammen.

### 2.2 EINLEITUNG

#### Alkohol und Straßenverkehr

Der Genuss von Alkohol hat in vielen Kulturen eine lange Tradition, die oft mit besonderen Feierlichkeiten, Bräuchen oder wichtigen Ereignissen verknüpft ist. Vor allem in angenehmer Gesellschaft, aber ebenso auch alleine, werden alkoholische Getränke von vielen Menschen genossen. In Maßen konsumiert, herrschen die stimulierenden und positiven Effekte des Alkoholkonsums vor. Dennoch können selbst kleine Mengen von Alkohol schon die Wahrnehmung und die Reaktionsfähigkeit einschränken, und damit die Fähigkeit, ein Fahrzeug sicher zu lenken. Aus diesem Grund hat der Gesetzgeber Grenzwerte erlassen, bei deren Überschreitung das Lenken eines Fahrzeugs als nicht mehr sicher angesehen wird. Wenn von der Polizei ein Lenker am Steuer eines Fahrzeugs angetroffen wird, der einen höheren Blutalkoholspiegel aufweist als gesetzlich erlaubt, so können daraus schwerwiegende rechtliche Konsequenzen entstehen.

Vor diesem Hintergrund wird die Notwendigkeit für präzise Messmethoden und Messgeräte für die Polizei ersichtlich. Ebenso haben aber auch private Anwender ein großes Interesse an Geräten, die es ihnen erlauben, in richtiger, präziser, robuster und einfacher Weise und zu einem vergleichsweise niedrigen Preis ihre Atemalkohol-Konzentration als Schätzwert für die Blutalkohol-Konzentration selbst zu messen.



## Beeinträchtigung im Straßenverkehr durch Alkoholkonsum

Die akute Wirkung von Alkohol beeinflusst nahezu jeden Bereich unseres Gehirns und die damit verbundene Wahrnehmung bzw. Handlungsfähigkeit. Eine Einteilung der Effekte in körperlich-neurologische oder psychische Leistungsminderungen erscheint aufgrund der teilweise schwierigen Abgrenzung gegeneinander weder notwendig noch sinnvoll [2].

Im Straßenverkehr werden unter Alkoholeinfluss eine Reihe von typischen Verkehrsunfällen beschrieben: Hierzu zählen Stürze vom Motorrad ohne eigentlichen Anlass, Hinüberschwenken auf die linke Fahrbahnseite, Abkommen von der Fahrbahn, Auffahren auf parkende Fahrzeuge, das Fahren in Schlangenlinien, das Geradeausfahren in Kurven ohne überhöhte Geschwindigkeit, zu spätes Ansetzen zum Überholen, falsche Einschätzung von Entfernungen oder Größen, falsche Abschätzung der Entfernung bei entgegenkommenden Fahrzeugen, verzögerte oder ganz ausbleibende Bremsmanöver (Abbildung 1).

Als Ursache von Verkehrsunfällen unter Alkoholeinwirkung werden zwar fast immer mehrere, auch gemeinsam auftretende Faktoren genannt, z.B. beeinträchtigte Aufmerksamkeit, Störungen der Feinmotorik und Geschicklichkeit, Beeinträchtigung des Tiefensehens, des Farbsehens, der Fixation und Fusion\*, der Akkomodation sowie der Pupillenreaktion auf Blendung.

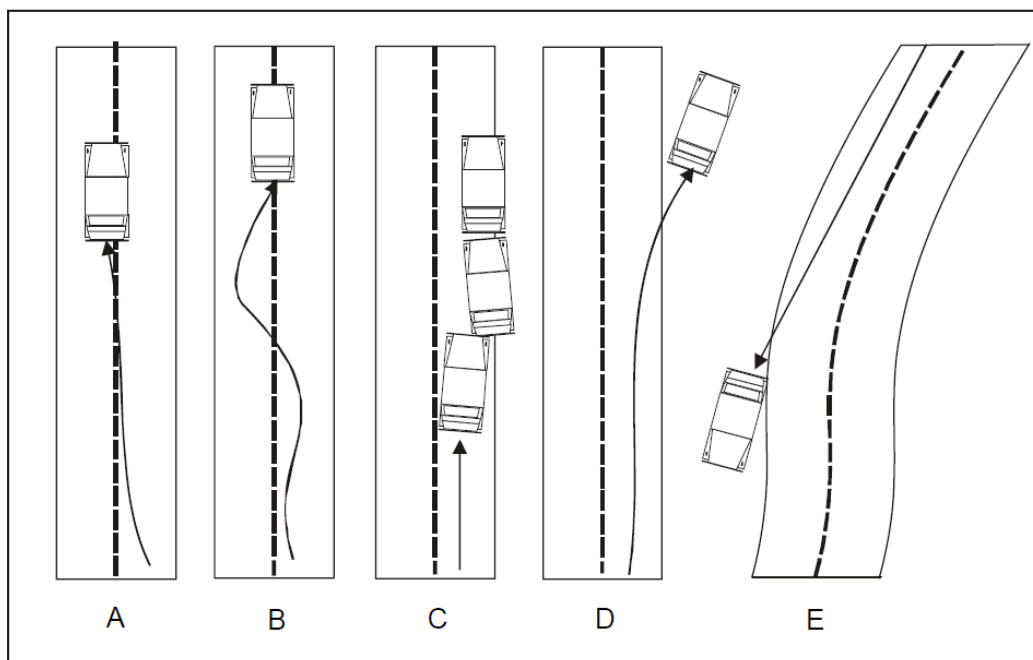
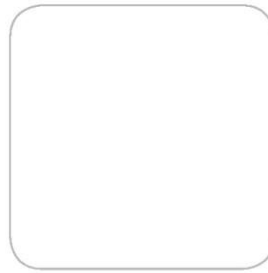
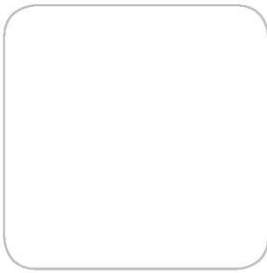


Abbildung 1: Typische Fahrten unter Alkoholeinfluss. Psychosensorische Auswirkungen auf das Verhalten im Straßenverkehr: (A) auf die entgegengesetzte Fahrbahn geraten; (B) in Schlangenlinien fahren; (C) auf parkende/stehende Autos auffahren, (D) ohne ersichtlichen Grund von der Fahrbahn abkommen; (E) in der Kurve geradeaus fahren [2].

\* Unter Fixation und Fusion versteht man die Erfassung und Verfolgung eines (beweglichen) Objektes mit beiden Augen und die Überlagerung der Seheindrücke beider Augen zu einem plastischen Bild. Unter Alkoholeinfluss gelingt dies nur mehr bedingt, es kommt daher zum Doppeltsehen und zum Verlust der Fähigkeit, Entfernungen abzuschätzen und plastisch zu sehen.



## Blutalkohol und Atemalkohol

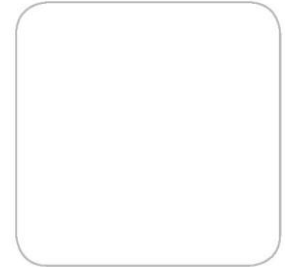
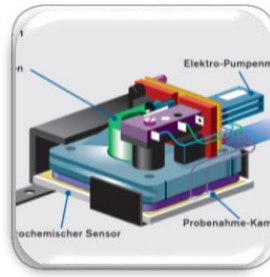
Wenn man Alkohol zu sich nimmt, wird dieser zunächst im venösen Teil des Blutkreislaufs aufgenommen. Mit diesem venösen Blut gelangt der Alkohol zum Herzen und zur Lunge um dort, gereinigt und mit Sauerstoff angereichert, wieder als arterielles Blut durch den Körper gepumpt zu werden. In den Lungenbläschen kommt es zu einer Gleichgewichtseinstellung zwischen dem im Blut befindlichen Alkohol und der ausgeatmeten Luft. Der Alkohol, der sich im peripheren Blut befindet, wird von der eingeatmeten Luft aufgenommen und mit der ausgeatmeten Luft ausgestoßen. Obwohl die Alkohol-Konzentration in der ausgeatmeten Luft von der venösen Alkohol-Konzentration abhängt, ist dieser Zusammenhang kein strenger. Vielmehr hängt das Verhältnis der beiden Konzentrationen von der Zeit zwischen Alkoholkonsum und Messung ab, aber auch von dem physiologischen Zustand der Person (wie etwa Körpergröße, Gewicht, Geschlecht und Alter). Es ist daher prinzipiell nicht möglich, die gemessene Atemalkohol-Konzentration genau in eine entsprechende Blutalkohol-Konzentration umzurechnen. Dennoch kann man für einen Zeitraum von rund 2 bis 5 Stunden nach dem letzten Alkoholkonsum in sehr guter Näherung annehmen, dass das Verhältnis von Blutalkohol-Konzentration zu Atemalkohol-Konzentration rund 1:2100 ist. Das bedeutet, dass 2100 Volums-Teile der ausgeatmeten Luft dieselbe Alkoholmenge enthalten wie ein Volumen Blut. So ist z.B. dieselbe Menge an Alkohol, die in 10 mL venösem Blut enthalten ist, in 21 L ausgeatmete Luft enthalten. In der Zeitspanne von bis zu zwei Stunden nach dem Genuss von Alkohol ist dieses Verhältnis allerdings meist geringer, was bedeutet, dass in diesem Zeitraum die Atemalkohol-Konzentration größer ist als die entsprechende Blutalkohol-Konzentration.

Um die Möglichkeit der Verfälschung einer Messung durch Mundrestalkohol auszuschließen (das ist Alkohol, der im Mund-Rachen-Raum verblieben ist – z.B. in Zahnfleischtaschen –, während die Atemprobe abgegeben wird), darf eine gültige Atemalkohol-Messung erst 20 Minuten nach dem letzten Alkoholkonsum durchgeführt werden, da ansonsten erhöhte Atemalkohol-Werte gemessen werden können. Im Fall einer forensischen Messung ist eine Beobachtungszeit von zumindest zehn Minuten vor der ersten Messung einzuhalten, und es sind die Ergebnisse von zwei unabhängigen Messungen zu berücksichtigen, die mit einem zeitlichen Abstand von zwei bis fünf Minuten genommen wurden. Dies soll ausschließen, dass die Ergebnisse von Mundrestalkohol beeinflusst werden.

Wenn die Atemalkohol-Konzentration ermittelt wird, wird zwischen einem Vortest und einer Evidentialmessung, die auch gerichtsverwertbar ist, unterschieden. Ein Vortest erlaubt es dem Polizeibeamten direkt auf der Straße, auf objektiver Basis zu entscheiden, ob eine gerichtverwertbare Atemalkohol-Evidentialmessung durchgeführt werden soll, oder ob eine Blutprobe genommen werden soll [3].

## Evidentialmessungen

Nach einem positiven Vortest muss eine weitere Alkoholbestimmung durchgeführt werden, deren Ergebnisse gerichtsverwertbar sind. Eine solche nennt man eine Evidentialmessung. Obwohl die Blutalkohol- und die Atemalkohol-Konzentrationen stark miteinander korrelieren, ist es dennoch nicht möglich, den einen Wert in den anderen umzurechnen. Aus diesem Grund hat die deutsche Gesetzgebung zwei unabhängige Grenzwerte in Artikel 24a des Deutschen Straßenverkehrsgesetzes (StVG) erlassen: Die Atemalkohol-Konzentration ist eine Gasphasenkonzentration und wird angegeben als Milligramm Alkohol (Ethanol) pro Liter ausgeatmeter Luft (mg/L). Im Gegensatz dazu ist die Blutalkohol-Konzentration eine Konzentration in der Flüssigphase und wird in Promille, d.i. ein Zehntel Prozent (‰) angegeben. Sie entspricht der Masse von Ethanol in Gramm pro Liter Blut. Im deutschen Straßenverkehrsgesetz wird der Grenzwert für die Blutalkohol-Konzentration mit 0,5 Promille (‰) angegeben; der entsprechende unabhängig festgelegte Grenzwert für die Atemalkohol-Konzentration ist 0,25 Milligramm pro Liter



Atemluft (mg/L). Die gesetzlichen Grenzwerte für die Atemalkohol- und Blutalkohol-Konzentration stehen damit im Verhältnis 2000:1, was gegenüber dem physiologisch abgeleiteten Konzentrationsverhältnis von 2100:1 für die Autofahrer eine ein wenig höhere Toleranz darstellt und damit auch die geringfügig höhere Unsicherheit dieses Verhältnisses kompensiert.

In Deutschland wird der Vortest mit dem Gerät Alcotest 7410 (ab 1988) bzw. derzeit aktuell mit dem Alcotest 7510 (seit 2008) der Firma Draeger [4] und dem Gerät AlcoQuant A 3020 der Firma EnviteC durchgeführt.

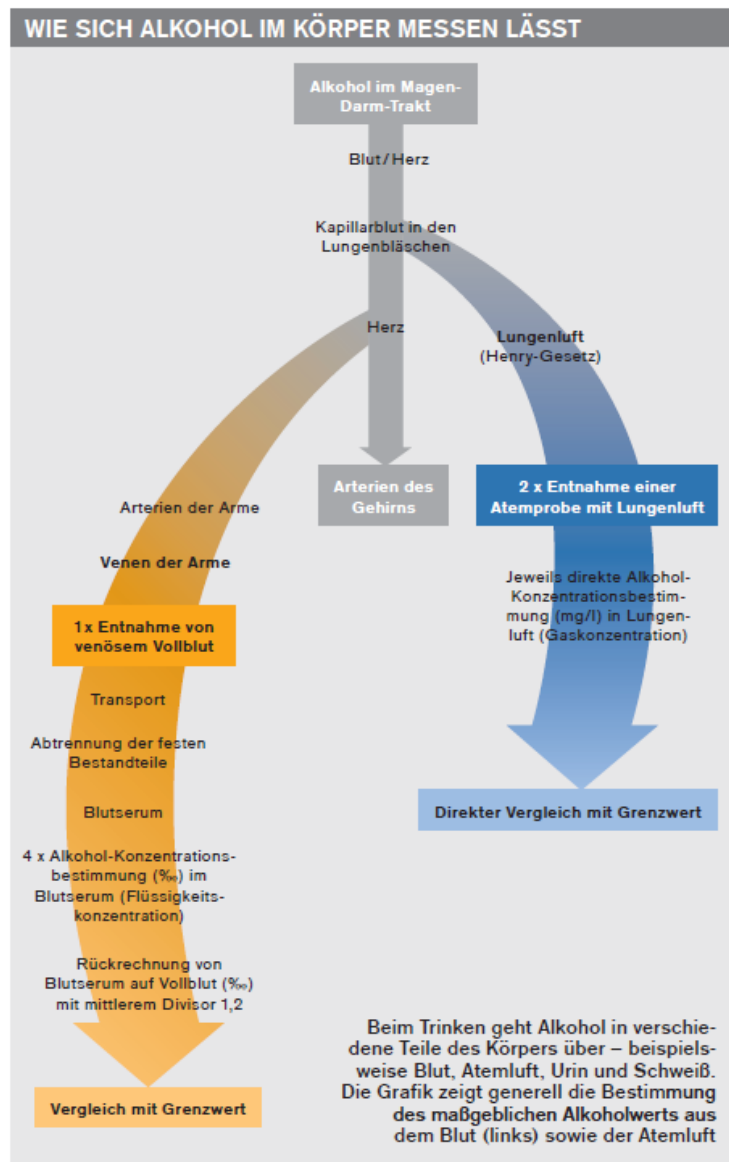
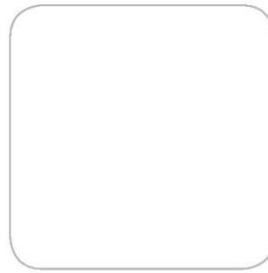


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Alkoholaufnahme im menschlichen Körper und der Messung der Alkoholkonzentration in Vollblut bzw. in der Atemluft [4].



## Die Blutalkohol-Messung

Eine Blutalkohol-Messung ist die genaueste Möglichkeit, die Blutalkohol-Konzentration (BAK) einer Person festzustellen. Da Alkohol sehr schnell in den Blutkreislauf übergeht, kann eine Blutalkohol-Messung bereits Minuten nach dem Konsum eines alkoholischen Getränks durchgeführt werden. Als Nachteil steht dem gegenüber, dass diese Art von Messung teurer, aufwendiger und invasiv ist und nicht vor Ort durchgeführt werden kann.

Die Messung der Blutalkohol-Konzentration erfordert, dass der betroffenen Person ein kleines Volumen venösen Blut abgenommen wird. Dies stellt einen medizinischen Eingriff dar, der die Anwesenheit eines Arztes erfordert. Die Analyse wird dann im analytischen Labor vorgenommen mit Hilfe der Dampfraum-Gaschromatographie (HS-GC, nach der englischen Bezeichnung *Headspace Gas Chromatography*). Mit dieser instrumentellen Bestimmungstechnik wird der Alkohol in der jeweiligen Probe von Matrixbestandteilen getrennt, nachgewiesen und sein Gehalt quantitativ bestimmt [5].

Auch heute noch wird die Blutalkohol-Messung mittels HS-GC in einem forensischen Labor als Evidentialbestimmungstechnik angesehen, die gerichtsverwertbare Ergebnisse liefert.

## Die Atemalkohol-Messung

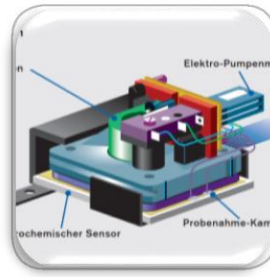
Frühere Atemalkohol-Messverfahren beruhten auf einer chemischen Reaktion (von Alkohol mit Kaliumdichromat unter der Katalyse von Silberionen), die zu einem Farbumschlag des orange-gelben Reagens unter Ausbildung einer grünen Zone führten, deren Ausdehnung ein Maß für die Atemalkohol-Konzentration war (in Gebrauch bis etwa 1995). Die beschränkte Genauigkeit dieser Messmethode limitierte verständlicherweise ihren Einsatz als schnelle und einfache Vortest-Methode [6].

Unterdessen sind diese Messröhrchen in ihrer Verwendung als Vortest-Messverfahren abgelöst worden von elektrochemischen Messgeräten (sogenannten ‚Alkotestern‘) die entweder auf dem Halbleiter-Messprinzip oder auf dem Prinzip der Brennstoffzelle beruhen [7]:

In den Halbleiter-basierenden Systemen, (die manchmal auch „Taguchi“-Zellen genannt werden), wird ein Halbleiter-Sensor auf der Basis eines Metalloxides verwendet. Die Taguchi-Zelle beruht auf der Adsorption der Alkoholmoleküle aus der Gasphase an der Oberfläche eines Halbleiters.

Diese Messgeräte werden hauptsächlich für den Privatkundenmarkt produziert und nicht zur Kontrolle der Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte. Keines der Geräte mit dieser Art von Sensor besitzt eine Polizeizulassung, und die hiermit gemessenen Daten sind auch nicht gerichtsverwertbar. Dennoch erfreuen sich diese Geräte aufgrund ihrer geringen Größe und des vergleichsweise niedrigen Preises einer großen Beliebtheit in der Nutzung durch Privatpersonen.

Das zweite, heutzutage stark verbreitete Messprinzip für elektrochemische Messungen ist das einer Brennstoffzelle. Während eines Messzyklusses wird hierzu ein genau definiertes Luftvolumen zum elektrochemischen Sensor gefördert. Der Sensor bestimmt mit großer Selektivität den Alkohol (Ethanol) in der Luftprobe. Der Sensor besteht aus einer Mess- und einer Gegenelektrode, die von einem Diaphragma getrennt sind, welches mit dem Elektrolyten getränkt ist. Der



Elektrolyt wie auch das Elektrodenmaterial wurden so ausgewählt, dass sie den Alkohol in der katalytisch wirksamen Schicht der Messelektrode oxidieren können. Diese sehr selektive Reaktion an der Elektrode erzeugt einen Strom, der von der Elektronik des Sensors registriert wird. Die Auswertung des Sensorsignals erlaubt die genaue Ermittlung der Menge an Alkohol in der Probenkammer. Das Messprinzip dieses elektrochemischen Sensors bringt eine hohe Langzeit-Stabilität mit sich. Darüber hinaus reagiert der Sensor spezifisch nur auf Alkohol. So beeinträchtigt etwas die Anwesenheit von Aceton in der Atemluft – was bei Personen mit Diabetes oder während Fastenperioden beobachtet wird – das Messergebnis nicht, da diese Substanz nicht an der Elektrode reagiert. Dies verhindert wirksam falsch-positive Ergebnisse.

Trotz der nachweislichen Zuverlässigkeit der Alkotest-Geräte auf Basis der Brennstoffzellen-Technologie wurden diese als alleiniges Messverfahren auch im Fall von Ordnungswidrigkeitsverfahren noch nicht als Ersatz für die aufwendige und teure Messung der Blutalkohol-Konzentration akzeptiert. Da die Akzeptanz dieser Messgeräte voraussetzt, dass die Atemalkohol-Messung eine vergleichbare Richtigkeit und Präzision hat wie die Blutalkohol-Messung, setzt dies die Verwendung zweier unabhängiger Messprinzipien voraus (der Infrarot-Absorption und der Messung mittels Brennstoff-Zelle), die auf zwei unabhängig genommene Atemproben angewendet werden und die dabei übereinstimmende Ergebnisse liefern. Für lange Jahre existierte nur ein Gerät auf dem deutschen Markt, welches die Bauartzulassung für diese Aufgabe durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt besitzt: das Dräger Alcotest 7110 Evidential (Markteinführung 1998). Mit Jänner 2014 hat die Physikalisch-Technische Bundesanstalt das Dräger Alcotest 9510 DE für die Verwendung in Deutschland zugelassen. Mit dieser Bauartzulassung kann die Polizei das neue Evidentialmessgerät zur Überwachung des Straßenverkehrs beschaffen. Die Messergebnisse des Alcotest 9510 DE werden im Bereich der Ordnungswidrigkeiten vor Gericht anerkannt [8].

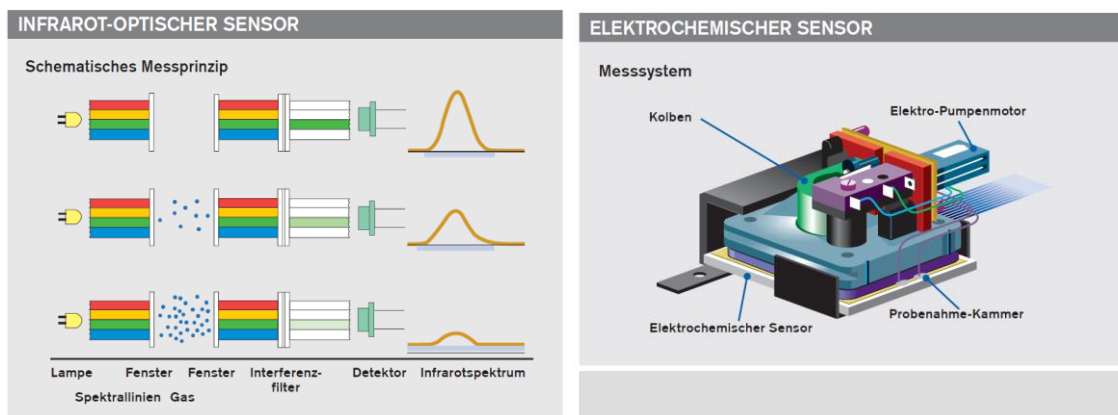


Abbildung 3: Infrarot oder elektrochemischer Sensor: Die beiden gängigen Messverfahren zur Bestimmung der Atemalkoholkonzentration beruhen auf unterschiedlichen Prinzipien. Während der infrarot-optische Sensor die Absorption von Licht durch Ethanol misst, entsteht das Signal des elektrochemischen Sensors durch die Oxidation der Moleküle an einer Katalysatorschicht [4].



## Die gesetzliche Situation

In den Augen des Gesetzgebers dient die Blutalkohol-Konzentration dazu, die Aufnahme von Alkohol zu definieren, aber auch den Grad der Beeinträchtigung festzulegen. Obgleich der Grad der Beeinträchtigung stark zwischen verschiedenen Personen mit der gleichen Blutalkohol-Konzentration schwanken kann, kann letztere objektiv gemessen werden und ist daher aus Sicht des Gesetzgebers nützlich und schwer vor Gericht zu widerlegen. In den meisten Ländern ist das Führen von Motorfahrzeugen und motorisierten Geräten nicht erlaubt, wenn die Blutalkohol-Konzentration den entsprechenden Grenzwert überschreitet. Auch das Lenken von Booten und Flugzeugen ist geregelt.

Die Alkoholkonzentration, ab der eine Person nicht mehr ein motorisiertes Fahrzeug führen darf, ist von Land zu Land verschieden. Die untenstehende Liste führt die Grenzwerte geordnet nach Staat an. In Deutschland, Österreich und der Schweiz – wie auch in vielen anderen europäischen Ländern – darf man kein mehr Fahrzeug lenken, wenn die **Blutalkohol-Konzentration (BAK)** größer oder gleich 0,05% (0,5‰) ist, und man gilt vor dem Gesetz als fahruntüchtig und darf kein Fahrzeug mehr führen, wenn die Blutalkohol-Konzentration größer oder gleich 0,08% (0,8‰) ist. Die drei gebräuchlichen Methoden zur Blutalkohol-Bestimmung sind die Bestimmung über die Atemluft, aus dem Blut, oder aus dem Urin.

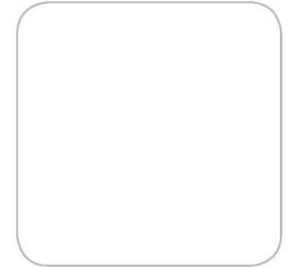
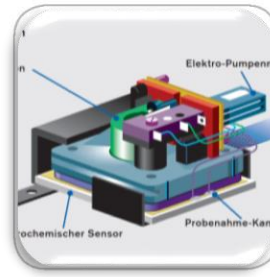
Die folgende **Tabelle 1** (folgende Seite) gibt einen Überblick über die gesetzlichen Grenzwerte in Europa.

### BAK-Bestimmung über Atemluftmessungen

Die Messung der Atemluftkonzentration ist die häufigste Methode zur Überprüfung der Einhaltung der Gesetze um die Blutalkohol-Konzentration abzuschätzen, da die Atemalkohol-Messgeräte (umgangssprachlich oft „Alkotester“ genannt) leicht und tragbar sind und sofort Ergebnisse liefern. Atemalkohol-Analysatoren messen die Alkohol-Konzentration in der ausgeatmeten Luft, die sich in den Lungenbläschen mit Alkohol anreichern, der mit dem Blutkreislauf in die Lungen transportiert wird. Die Ergebnisse eines Alkotesters – insbesondere, wenn es sich um ein Messgerät nach dem Brennstoffzellen-Prinzip handelt – werden als ausreichend genau angesehen, um in einem Vortest bei Überschreitung des gesetzlich erlaubten Grenzwertes einen Verdacht auf Fahruntüchtigkeit zu begründen, der dann durch eine Evidentialmessung erhärtet werden muss.

Alkotester nehmen in ihren Messungen keine Rücksicht auf die Unterschiede zwischen einzelnen Personen, da sie stets einen konstanten Umrechnungsfaktor zwischen der Blutalkohol- und der Atemalkohol-Konzentration annehmen, was eine gewisse (wenn auch meist zweckmäßige) Verallgemeinerung und Vereinfachung darstellt. Eine derartige „Mittelung“ kann naturgemäß zu einer ungenauen Abschätzung der Blutalkohol-Konzentration durch die Atemalkohol-Konzentration führen. Eine Reihe von Faktoren, die insbesondere mit dem Geschlecht, dem Alter, Größe und Gewicht der untersuchten Person, ebenso auch wie mit ihrem körperlichen und gesundheitlichen Zustand, oder auch den Ernährungsgewohnheiten zusammenhängen, können die Aussagekraft der Atemalkohol-Messungen beeinträchtigen. Obwohl Atemalkohol-Messungen mit großer Richtigkeit und Präzision durchgeführt werden können, sind sie daher nur als (sehr gute) Näherung der tatsächlichen Blutalkohol-Konzentration anzusehen, wie zuvor ausgeführt wurde.

Kommerziell verfügbare Alkotester bieten jedoch eine bequeme und leistbare Möglichkeit, um seine Blutalkohol-Konzentration selbst zu messen und verantwortungsvolle Entscheidungen bezüglich Alkoholkonsum und Fahren zu treffen.



### BAK-Bestimmung über Blutmessungen

Um in Fall eines zum Beispiel durch einen positiven Vortest begründeten Verdachts eine Blutprobe zu ziehen, ist das Einverständnis der betroffenen Person erforderlich. Die Weigerung, sich eine Blutprobe abnehmen zu lassen, wird in den meisten Fällen als Schuldeingeständnis gewertet und kann weitreichende strafrechtliche Konsequenzen haben wie etwa einen Führerscheinentzug.

**Tabelle 1: Überblick über die gesetzlichen Grenzwerte (in ‰) der Blutalkohol-Konzentration (BAK) zum Führen eines Autos in verschiedenen europäischen Ländern.**

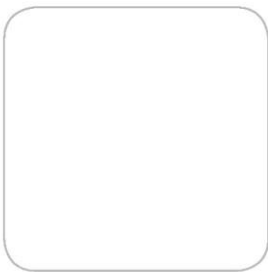
Land	Allgemein (‰)	Berufsfahrer (‰)	Führerscheinneulinge (‰)
Belgien	0.5	0.2	0.5
Bulgarien	0.5	0.5	0.5
Dänemark	0.5	0.5	0.5
Deutschland	0.5	0.0	0.0
Estland	0.2	0.2	0.2
Finnland	0.5	0.5	0.5
Frankreich	0.5	0.5 (0.2 Busfahrer)	0.2
Griechenland	0.5	0.2	0.2
Irland	0.5	0.2	0.2
Italien	0.5	0.0	0.0
Kroatien	0.5	0.0	0.0
Lettland	0.5	0.5	0.2
Litauen	0.4	0.0	0.0
Luxemburg	0.5	0.2	0.2
Malta	0.8	0.8	0.8
Niederlande	0.5	0.5	0.2
Österreich	0.5	0.1	0.1
Polen	0.2	0.2	0.2
Portugal	0.5	0.2	0.2
Rumänien	0.0	0.0	0.0
Schweden	0.2	0.2	0.2
Schweiz	0.5	0.1	0.1
Slowakei	0.0	0.0	0.0
Slowenien	0.5	0.0	0.0
Spanien	0.5	0.3	0.3
Tschechische Republik	0.0	0.0	0.0
Ungarn	0.0	0.0	0.0
Vereinigtes Königreich [i]	0.8	0.8	0.8
Zypern	0.5	0.2	0.2

[i] Schottland: 0.5‰ seit Dezember 2014 für alle Gruppen von Fahrern. Der Rest des Vereinigten Königreichs (England, Wales und Nordirland) bleibt unverändert.

Stand: Dezember 2017.

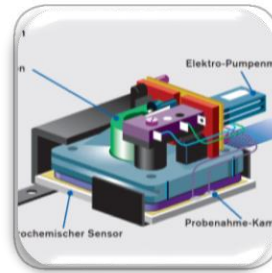
Datenquelle: European Transport Safety Council (ETSC), <http://etsc.eu/blood-alcohol-content-bac-drink-driving-limits-across-europe/>





### BAK-Bestimmung über Urinmessungen

Die Alkoholmessung aus dem Urin ist weniger genau als Messungen aus dem Blut oder aus der Atemluft. Sie wird daher nur eingesetzt, wenn die beiden anderen Methoden nicht möglich sind. Auch Urinmessungen werden als invasiv eingestuft, vergleichbar mit Blutproben. Studien haben gezeigt, dass die Ergebnisse von Alkoholmessungen im Urin deutlich abweichen können von der tatsächlichen Blutalkohol-Konzentration. Und da Urintests normalerweise nicht zum Zeitpunkt und am Ort der Kontrolle durchgeführt werden können, können die Ergebnisse der Urinprobe auch durch den zeitlichen Abstand, in der diese Probe genommen wurde, beeinflusst werden. Darüber hinaus kann es bis zu zwei Stunden dauern, bis der Alkohol im Urin nachweisbar ist, wo er dann 6 bis 24 Stunden verbleibt. Demzufolge vermag ein positiver Urintest nicht schlüssig zu beweisen, dass die Person zum Zeitpunkt der Anhaltung alkoholisiert war. Im Gegensatz zu anderen Testmethoden kann außerdem der Urintest durch Verdünnung oder Austausch verfälscht werden. Um dies zu überprüfen können bisweilen Temperaturmessungen durchgeführt werden. Trotzdem bleiben Verfälschungen einer Urinprobe schwer nachzuweisen. Wie auch die Blutalkohol-Messung unterliegt auch die Urin-Alkoholmessung denselben möglichen Fehlerquellen im Labor.



# 3 Studiendesign



## 3.1 DESIGN DER GENAUIGKEITSSTUDIE

Das Design der Studie lehnt sich an die europäische Norm DIN EN 16280 (in der Fassung von Dezember 2012) über "Atemalkoholtestgeräte für den allgemeinen Gebrauch – Anforderungen und Prüfungen; Deutsche Fassung EN 16280:2012" an [9]. Diese Norm definiert die Bedingungen, unter denen Atemalkoholtestgeräte geprüft werden können, und legt auch fest, was die spezifischen Anforderungen für diese Prüfung sind.

Es wurde mit dem Auftraggeber vereinbart, dass die Atemalkoholtestgeräte bei folgenden Atemalkohol-Konzentrationen (AAK, in mg/L) getestet werden, die – über den gesetzlich festgelegten Umrechnungsfaktor von 2000:1 – den jeweils angegebenen Blutalkohol-Konzentrationen (BAK, in ‰ bzw. mg Ethanol/g Vollblut) entsprechen:

- 0,00 ‰ BAK entspricht 0,00 mg/L AAK
- 0,10 ‰ BAK entspricht 0,05 mg/L AAK
- 0,25 ‰ BAK entspricht 0,125 mg/L AAK
- 0,40 ‰ BAK entspricht 0,20 mg/L AAK
- 0,60 ‰ BAK entspricht 0,30 mg/L AAK

Diese Standards umspannen den juristisch relevanten Konzentrationsbereich für die Blutalkohol-Messungen und damit natürlich auch für die Atemalkohol-Messungen. Da die Alkotester bei diesen Testmessungen wie auch im realen Einsatz die Alkohol-Konzentration in der ausgeatmeten Luft bestimmen und die entsprechende Blutalkohol-Konzentration sich nur durch Umrechnung durch den (vom Gesetzgeber als konstant angesehenen) Umrechnungsfaktor von 2000 ergibt, wurden die Ergebnisse aller durchgeführten Messungen in Promille (‰), also in der Einheit der Blutalkohol-Konzentration (BAK) angegeben. Durch den konstanten Umrechnungsfaktor zwischen Atemalkohol- und Blutalkohol-Konzentration gelten die Aussagen bezüglich Richtigkeit und Präzision aber unabhängig von der verwendeten Berichtseinheit.

Für jedes Instrument wurden 10 unabhängige Messungen auf jedem der festgelegten Konzentrationslevel durchgeführt. Diese Messungen wurden in Hinblick auf ihre Richtigkeit und Präzision statistisch ausgewertet.

### Statistische Datenauswertung

Die **Präzision** eines Datensatzes aus mehreren Messungen ist ein Maß für die gegenseitige Annäherung der einzelnen Werte  $x_i$  dieses Datensatzes. Sie wird üblicherweise als die relative Standardabweichung (RSD) des Datensatzes angegeben und berechnet sich gemäß:

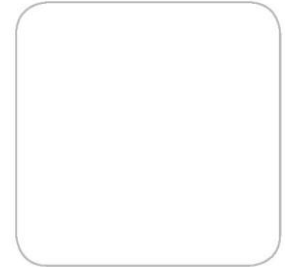
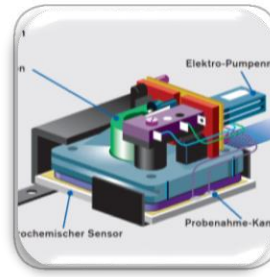
Standardabweichung: 
$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (1)$$

Relative Standardabweichung: 
$$RSD = s/\bar{x} [\%] \quad (2)$$

Die **Richtigkeit** ist definiert als die Übereinstimmung der bekannten und der gemessenen Konzentration. Sie wird entweder als Verhältnis der gemessenen und der bekannten Konzentration des Analyten angegeben:

Richtigkeit [%]: 
$$\text{Richtigkeit} = x_{\text{gemessen}}/x_{\text{bekannt}} [\%] \text{ für } x_{\text{gemessen}} < x_{\text{bekannt}}, \quad (3)$$

ansonsten: 
$$\text{Richtigkeit} = x_{\text{bekannt}}/x_{\text{gemessen}} [\%] \text{ für } x_{\text{gemessen}} > x_{\text{bekannt}}, \quad (3')$$



oder sie wird ausgedrückt als Mangel der Übereinstimmung (= Differenz) von gemessenem und bekanntem Wert, was wir hier als **“Bias”** bezeichnen:

$$\text{Bias [‰ oder mg/L]:} \quad \text{Bias} = x_{\text{gemessen}} - x_{\text{bekannt}} \quad [\text{‰ oder mg/L}] \quad (4)$$

Für eine leichtere Interpretation wird die Messabweichung (Bias) oft als relative Messabweichung (**relativer Bias**) ausgedrückt:

$$\text{Relativer Bias [\%]:} \quad \text{Relativer Bias} = \frac{x_{\text{gemessen}} - x_{\text{bekannt}}}{x_{\text{bekannt}}} \quad [\%] \quad (5)$$

Diese Parameter werden zunächst für jedes Atemalkoholtestgerät und jeden Konzentrationslevel berechnet. Um eine robustere und auch besser interpretierbare Darstellung der Ergebnisse zu erhalten, werden die Ergebnisse der einzelnen Konzentrationslevel gemittelt für die jeweils fünf Instrumente, die von jeder Gerätetype untersucht wurden.

Alle statistischen Berechnungen wurden mittels Microsoft Excel® 2019 durchgeführt.

Die Ergebnisse der Studie werden in dem folgenden Abschnitt **“4 Ergebnisse der Studie”** sowohl in tabellarischer als auch in graphischer Form präsentiert.

**Tabelle 2: Erklärung der in den Tabellen verwendeten Begriffe bei der Darstellung der Studienergebnisse.**

<b>Level [‰]</b>	Nominelle Blutalkohol-Konzentration (BAK) [‰]
<b>Referenzwert [‰]</b>	Konzentration des Kalibrationsgases [‰] auf dem betrachteten Konzentrationslevel
<b>Mittelwert [‰]</b>	Mittelwert der jeweiligen Messungen der BAK [‰]
<b>Richtigkeit</b>	Verhältnis des Mittelwertes der Messungen und des Referenzwertes, angegeben in [%]
<b>RSD%</b>	Relative Standardabweichung der Mittelwerte der BAK, angegeben in [%]
<b>Bias [‰]</b>	Absolute Messabweichung zwischen dem Referenzwert und dem Mittelwert der BAK, angegeben in [‰]
<b>SD des Bias [‰]</b>	Absolute Standardabweichung der Messabweichung der BAK, angegeben in [‰]
<b>Rel. Bias [%]</b>	Relative Messabweichung zwischen Referenzwert und Mittelwert, angegeben in [%]
<b>SD des Rel. Bias [%]</b>	Standardabweichung der relative Messabweichung, angegeben in [%]



## 3.2 DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

Die folgenden Atemalkoholtestgeräte wurden in dieser Genauigkeitsstudie untersucht:

Tabelle 3: Identifikation und Charakterisierung der in der vorliegenden Studie untersuchten Atemalkohol-Testgeräte.

Hersteller / Lieferant	Modell	Verwendungsart	Genauigkeitsklasse	Messprinzip
ACE	X	Privatanwender	1+	Elektrochem. Sensor
ACE	Wave	Privatanwender	2	Elektrochem. Sensor
ACE	A	Privatanwender	2	Elektrochem. Sensor
ACE	Solid	Privatanwender	2	Halbleiter-Sensor
ACE	AFM-5	Privatanwender	1	Elektrochem. Sensor
Dräger	Alcotest 3820	Privatanwender	1+	Brennstoffzelle

### Erzeugung der Prüfgasatmosphäre

Die für die Untersuchungen erforderlichen Prüfgasströme mit genau bekannter und konstanter Alkohol-Konzentration wurden gemäß der Norm DIN EN 16280 [9] mit einer experimentellen Anordnung erzeugt, die aus zwei in Serie geschalteten ‚Simulatoren‘ bestand, sowie einer Membranpumpe, mit der der Gasstrom mit an Alkohol angereicherter Luft erzeugt wurde, der für die Prüfung der Atemalkohol-Messgeräte benötigt wurde.

Ein ‚Simulator‘ ist ein Gerät, das mit einer wässrigen Alkohol-Lösung befüllt ist, durch die eine Strom von reiner Luft (Nullluft) hindurch geleitet wird. Dabei sättigt sich der Luftstrom mit Wasserdampf und mit gasförmigem Alkohol entsprechend der genau eingestellten Temperatur des Gerätes. Beide Simulatoren wurden auf  $34.00 \pm 0.02^\circ\text{C}$  thermostatisiert [10]. Bei Hindurchleiten von Luft durch die Simulatoren fiel die Temperatur kurzzeitig um bis zu  $0.05^\circ\text{C}$  ab, stieg aber binnen kurzem und jedenfalls vor Ende der Regenerationszeit der Atemalkohol-Messgeräte wieder auf den Sollwert von  $34.00^\circ\text{C}$  an. Der Betrieb beider Simulatoren in Serie stellt sicher, dass die eingestellte Gasphasenkonzentration des Alkohols über eine längere Versuchszeit konstant bleibt.

Die beiden in dieser Studie verwendeten Simulatoren waren Geräte der Type Dräger X-Cal 2000 (Dräger Safety AG & Co. KGaA, Lübeck, Deutschland), Teile Nr. 8326 000 mit den Seriennummern ARJL-0016 und ARJL-0023.

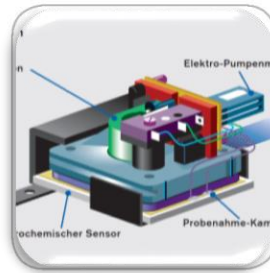
Des Weiteren wurden zwei Hi-Blow DongYang DY-20L Membranpumpen mit der Typenbezeichnung HB07016-1001B verwendet, um die Nullluft durch die Alkohol-Lösungen zu fördern und damit den für die Überprüfung der Atemalkohol-Messgeräte erforderlichen Gasstrom zu erzeugen (Abbildung 4).

Die Massenkonzentration an Alkohol im Prüfgasstrom, der durch Hindurchleiten des Nullluftstroms durch eine wässrige Alkohollösung bekannter Konzentration  $C_{\text{Lösung}}$  kann durch folgende Formel beschrieben werden, die ursprünglich von Dubowski abgeleitet wurde [11]:

$$C_{\text{Gasphase}} = 0.04145 \times 10^{-3} \times C_{\text{Lösung}} \times \exp(0.06583t) \quad (6)$$

Dabei ist  $C_{\text{Gasphase}}$  die Massenkonzentration des Alkohols in der Gasphase (Luft) in [mg/L],  $C_{\text{Lösung}}$  die Massenkonzentration von Alkohol in der wässrigen Lösung in [mg/L] und  $t$  ist die Temperatur in [ $^\circ\text{C}$ ].

Für  $t = 34^\circ\text{C}$  gilt:  $C_{\text{Gasphase}} = 0.38866 \times 10^{-3} C_{\text{Lösung}}$  (7)



**Abbildung 4: Versuchsaufbau für die Durchführung der Studie zur Überprüfung der Atemalkohol-Messgeräte. Die Membranpumpe ist auf der linken Seite sichtbar, die beiden in Serie betriebenen Simulatoren befinden sich rechts davon. Das Prüfgas wird durch den Schlauch im Vordergrund zu den Messgeräten geleitet, an dessen Ende sich eine Tröpfchenfalle befindet. Zwischen den Simulatoren befindet sich eine Ampulle mit einer Alkohol-Referenz-Lösung, wie sie zum Bereiten der Standards verwendet wird.**

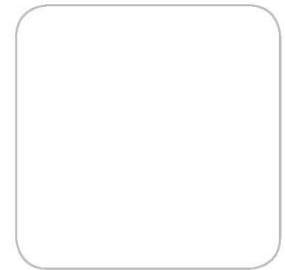
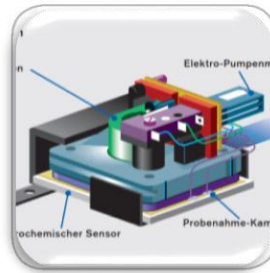
Um die Gültigkeit der oben wiedergegebenen Formeln für die Herstellung von Testgasatmosphären mit genau definierter Alkohol-Konzentration zu überprüfen, wurden Referenzmessungen mit zwei kalibrierten Atemalkohol-Messgeräten der metrologischen Klasse 1+ durchgeführt. Geräte dieser Genauigkeitsklasse sind auch für die Durchführung von Vortests durch die Polizei zugelassen. Es handelte sich dabei um Geräte der Type EnviteC AlcoQuant 6020 plus (Teile Nr. 1001 780 [Set] bzw. 1001 779 [Messgerät]), wobei die im Rahmen dieser Studie verwendeten Geräte die Serien-Nr. A418 057 und A417 058 hatten. Die Abweichungen zwischen den Soll- und den Istwerten der jeweiligen Alkoholkonzentration in der Testgasatmosphäre sind in den jeweiligen Auswertungen dokumentiert und liegen typischerweise unter 2%.

Alle Messungen wurden gemäß der Bedienungsanleitung der jeweiligen Alkotester durchgeführt.

# 4 Ergebnisse der Studie

## 4.1 DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse der Genauigkeitsüberprüfung separat für jedes Gerät dargestellt. Die Präsentation der Ergebnisse umfasst dabei eine tabellarische Zusammenfassung der Daten sowie drei Grafiken pro untersuchtem Gerätetyp, in der die Richtigkeit (ausgedrückt als prozentuelles Verhältnis der gemessenen gegenüber der bekannten Konzentration des Prüfgases), die absolute Messabweichung (angegeben in ‰ BAK) sowie die relative Messabweichung (ausgedrückt in Prozent des jeweiligen Kalibrationslevels, %) dargestellt sind.



## 4.2 ACEX

Abbildung 5: ACEX Atemalkohol-Messgerät.



Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse für das ACE X Atemalkohol-Messgerät.

Level [‰]	0	0.100	0.250	0.400	0.600
Referenzwert [‰]	0	0,105	0,258	0,421	0,606
Mittelwert [‰]	0,000	0,103	0,261	0,421	0,614
Richtigkeit	100,0%	98,1%	98,8%	100,0%	98,6%
RSD%	0,0%	5,2%	1,9%	0,9%	1,5%
Bias [‰]	0,000	-0,002	0,003	0,000	0,009
SD des Bias [‰]	0,000	0,003	0,006	0,008	0,016
Rel. Bias [%]	0,0%	-1,9%	1,2%	0,0%	1,4%
SD des Rel. Bias [%]	0,0%	2,6%	2,5%	1,9%	2,6%



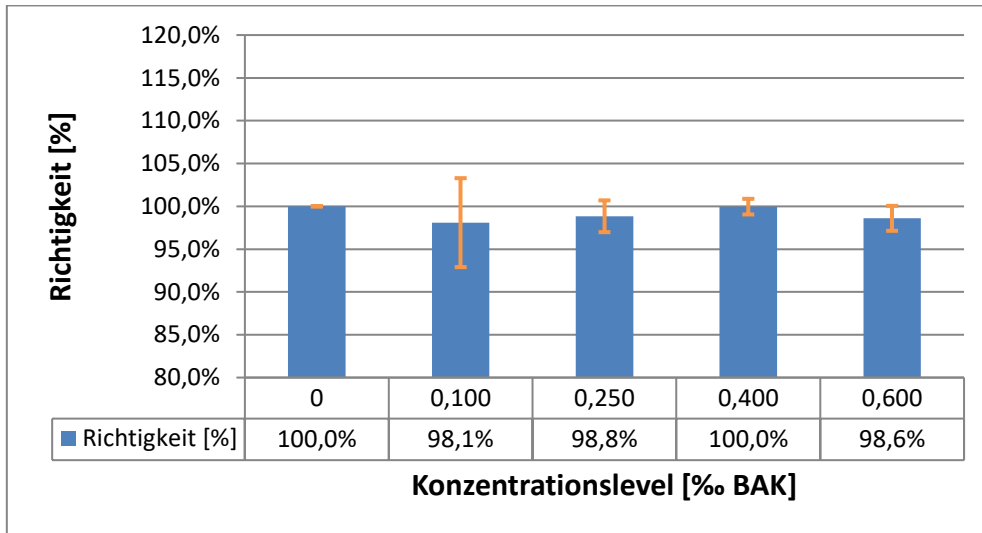


Abbildung 6: Richtigkeit des ACE X Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsniveaus.

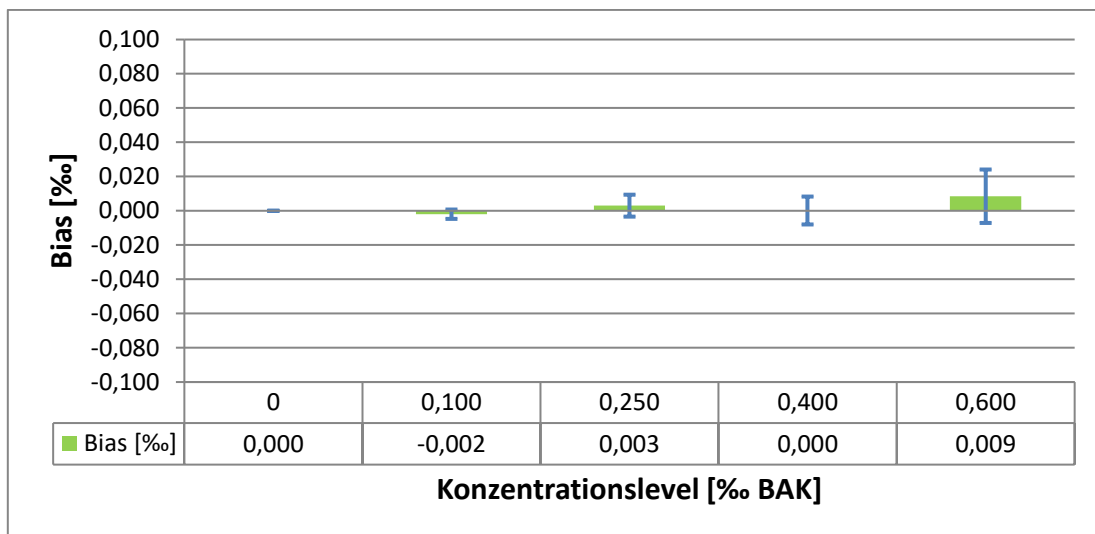


Abbildung 7: Absolute Messabweichung (in ‰) des ACE X Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsniveaus.

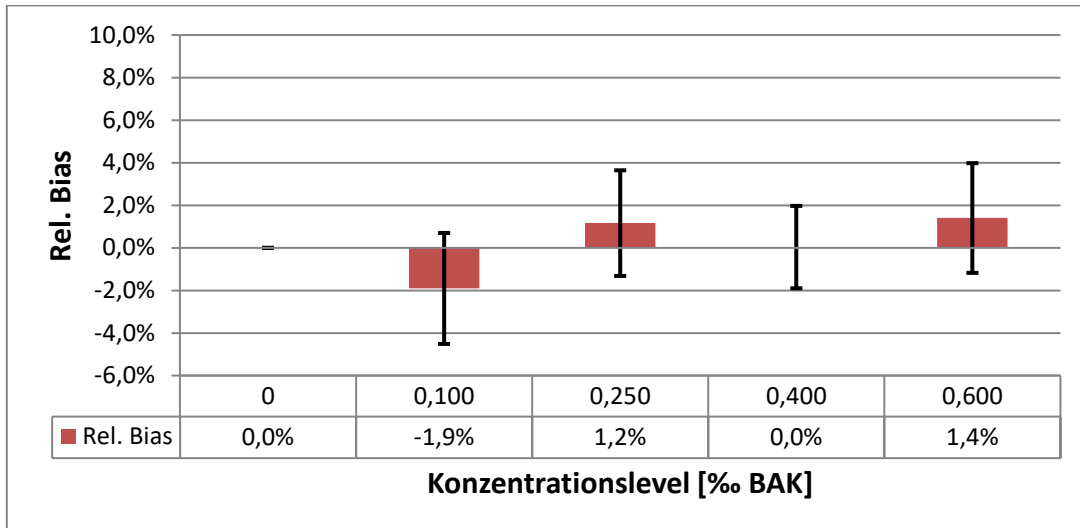
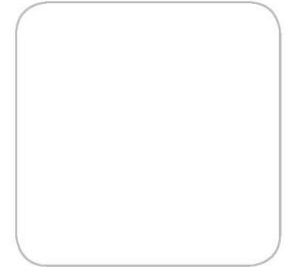
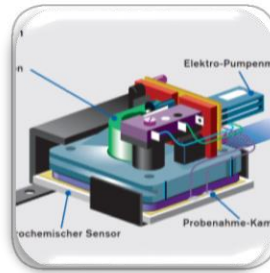


Abbildung 8: Relative Messabweichung (in % rel.) des ACE X Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsniveaus.



### 4.3 ACE WAVE

Abbildung 9: ACE Wave Atemalkohol-Messgerät.



Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse für das ACE Wave Atemalkohol-Messgerät.

Level [‰ BAK]	0	0.100	0.250	0.400	0.600
Referenzwert [‰]	0	0,099	0,250	0,414	0,622
Mittelwert [‰]	0,000	0,094	0,246	0,398	0,592
Richtigkeit	100,0%	95,9%	98,5%	96,2%	95,3%
RSD%	0,0%	2,3%	1,9%	3,2%	3,4%
Bias [‰]	0,000	-0,004	-0,004	-0,016	-0,029
SD des Bias [‰]	0,000	0,006	0,018	0,026	0,038
Rel. Bias [%]	0,0%	-4,1%	-1,5%	-3,8%	-4,7%
SD des Rel. Bias [%]	0,0%	5,9%	7,4%	6,4%	6,1%

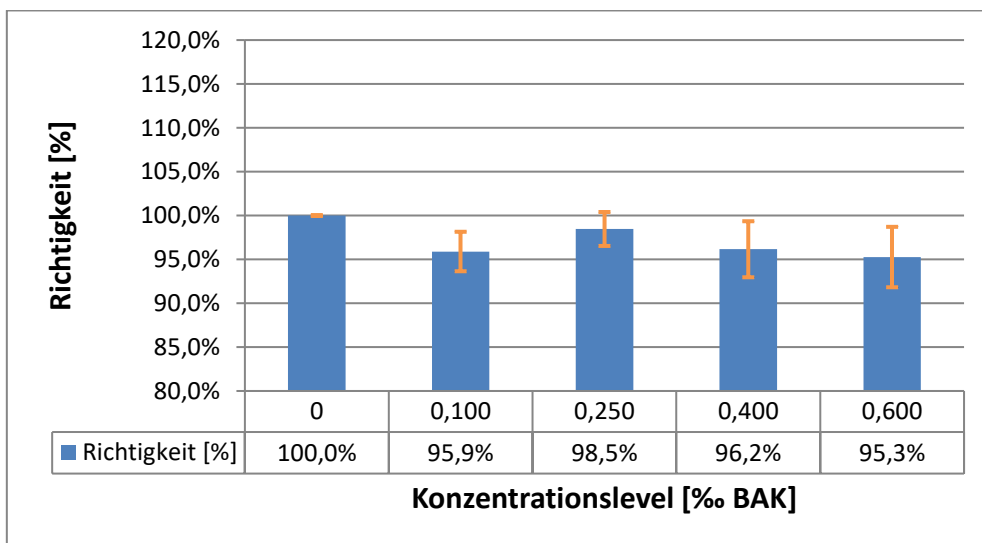


Abbildung 10: Richtigkeit des ACE Wave Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsleveln.

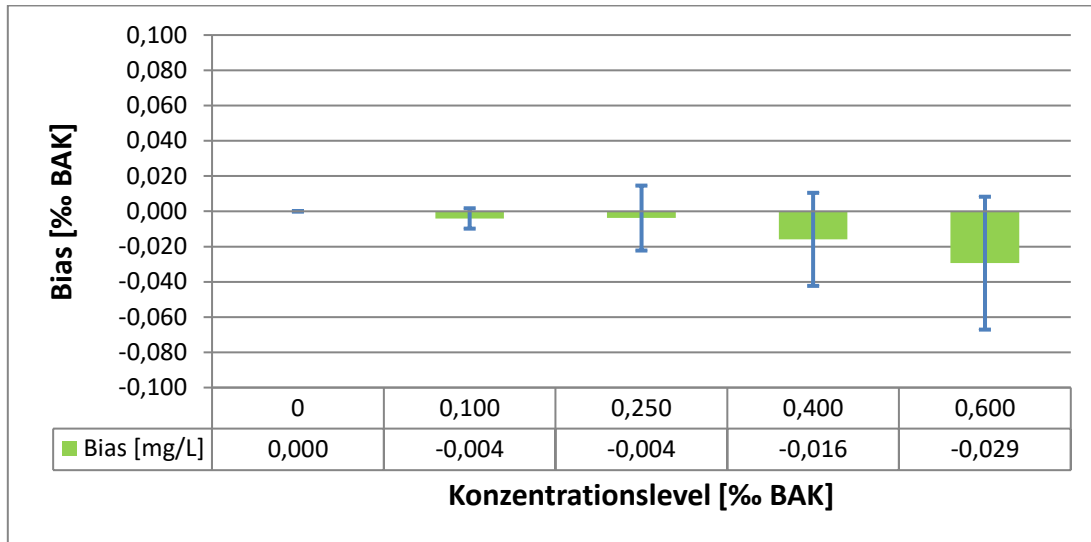
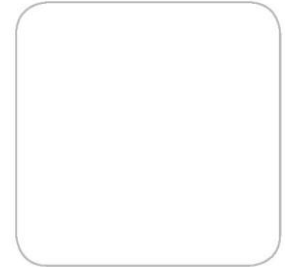
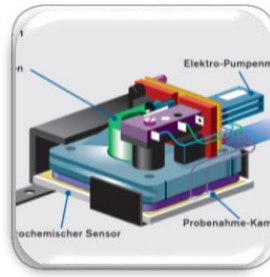


Abbildung 11: Absolute Messabweichung (in %) des ACE Wave Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsleveln.

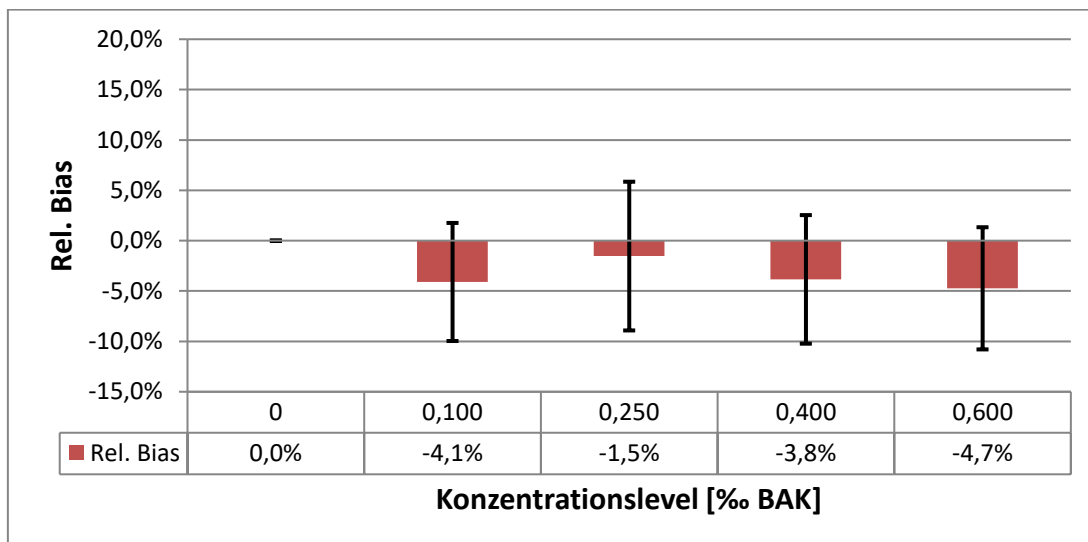


Abbildung 12: Relative Messabweichung (in % rel.) des ACE Wave Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsleveln.



## 4.4 ACEA

Abbildung 13: ACE A Atemalkohol-Messgerät.



Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse für das ACE A Atemalkohol-Messgerät.

Level [‰]	0	0.100	0.250	0.400	0.600
Referenzwert [‰]	0	0,100	0,250	0,400	0,600
Mittelwert [‰]	0,000	0,079	0,257	0,400	0,626
Richtigkeit	100,0%	84,5%	99,4%	99,9%	97,9%
RSD%	0,0%	4,8%	2,2%	2,0%	2,0%
Bias [‰]	0,000	-0,015	0,002	-0,001	0,013
SD des Bias [‰]	0,000	0,002	0,006	0,011	0,015
Rel. Bias [%]	0,0%	15,5%	1,9%	1,9%	2,9%
SD des Rel. Bias [%]	0,0%	2,5%	1,0%	1,6%	1,2%

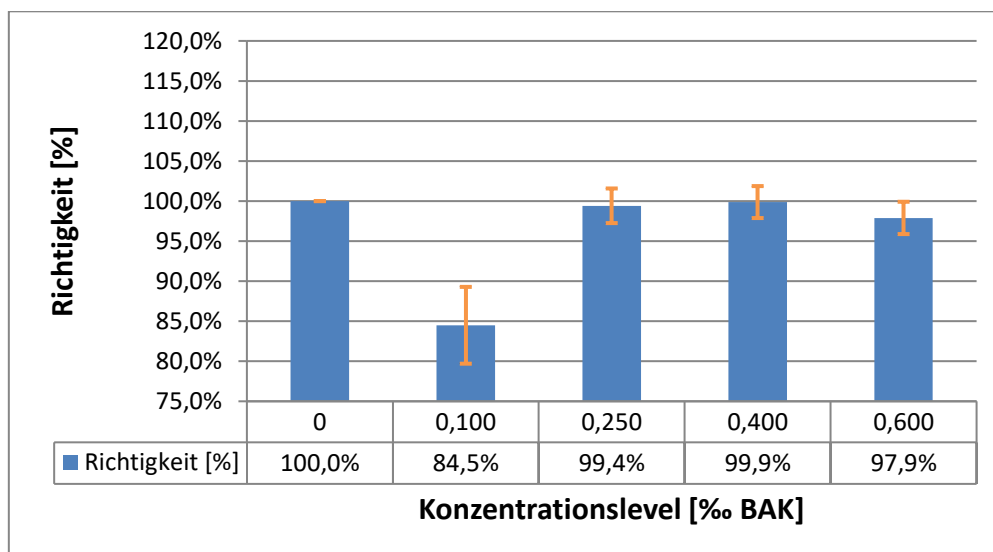


Abbildung 14: Richtigkeit des ACE A Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsniveaus.

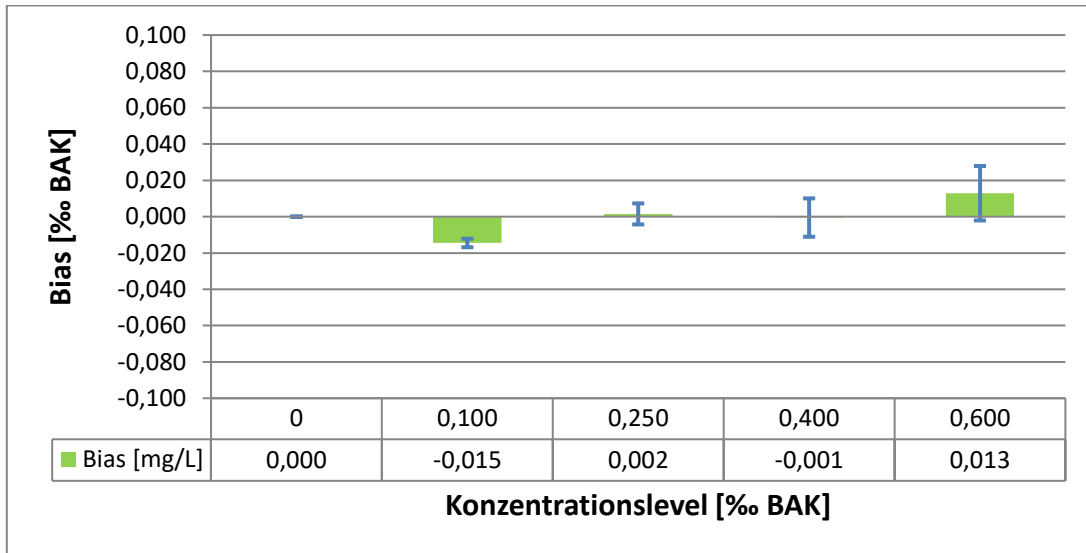
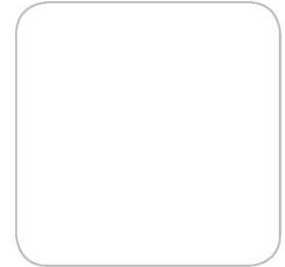
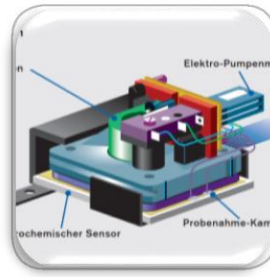


Abbildung 15: Absolute Messabweichung (in %) des ACE A Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsniveaus.

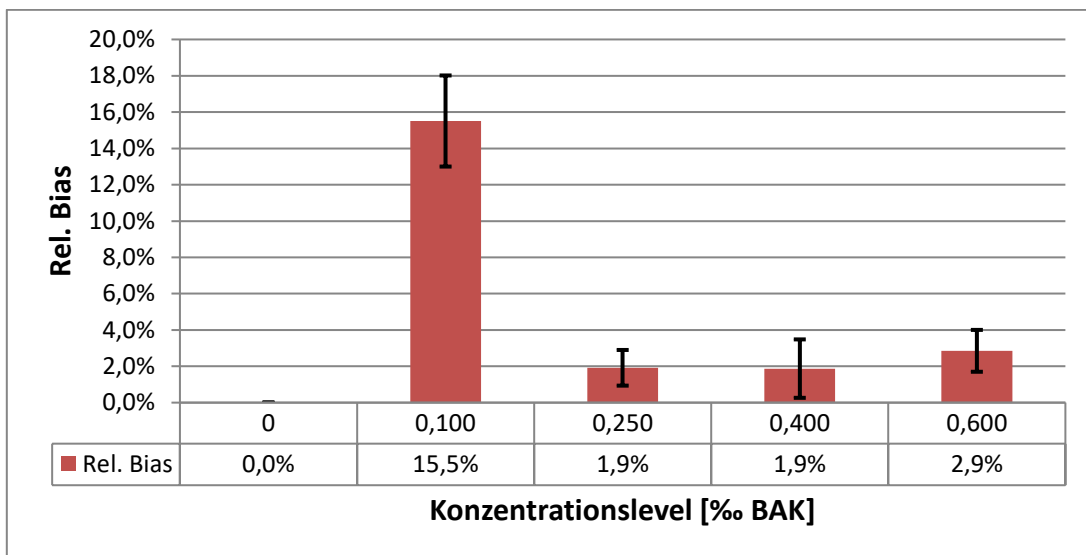
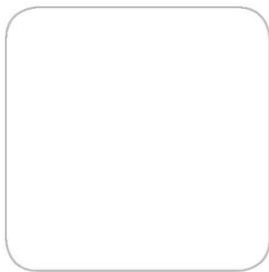


Abbildung 16: Relative Messabweichung (in % rel.) des ACE A Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsniveaus.



## 4.5 ACE SOLID

Abbildung 17: ACE Solid Atemalkohol-Messgerät.



Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse für das ACE Solid Atemalkohol-Messgerät.

Level [‰]	0	0.100	0.250	0.400	0.600
Referenzwert [‰]	0	0,155	0,258	0,413	0,627
Mittelwert [‰]	0,000	0,170	0,237	0,389	0,592
Richtigkeit	100,0%	89,9%	91,9%	94,2%	94,5%
RSD%	0,0%	3,7%	6,2%	5,0%	5,5%
Bias [‰]	0,000	0,016	-0,021	-0,024	-0,035
SD des Bias [‰]	0,000	0,024	0,025	0,034	0,071
Rel. Bias [%]	0,0%	13,6%	8,8%	6,8%	8,9%
SD des Rel. Bias [%]	0,0%	12,1%	9,1%	7,2%	8,1%

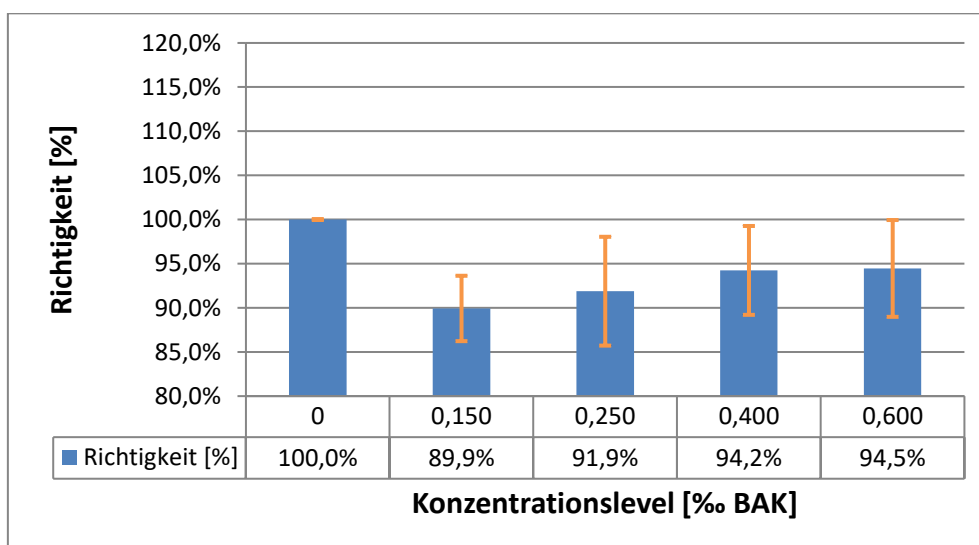


Abbildung 18: Richtigkeit des ACE Solid Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsleveln.

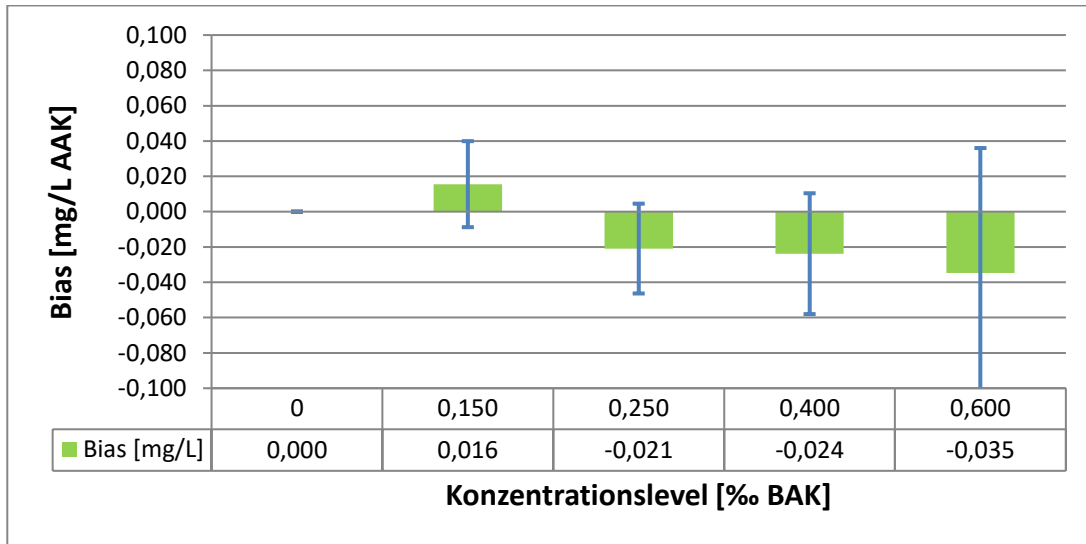
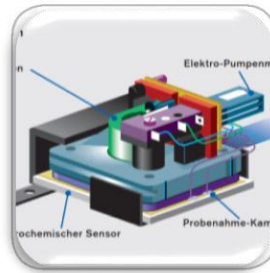


Abbildung 19: Absolute Messabweichung (in %) des ACE Solid Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsleveln.

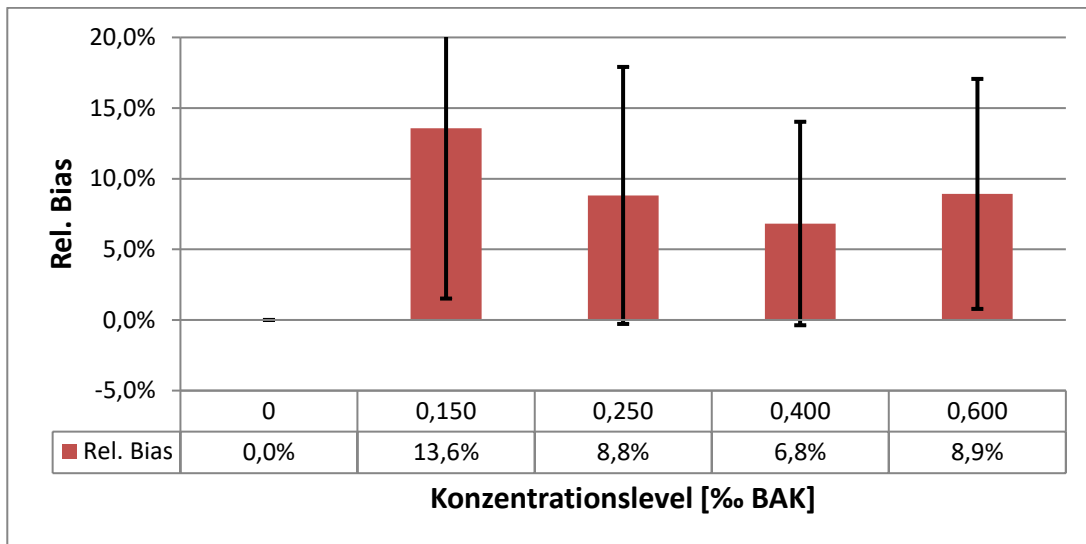


Abbildung 20: Relative Messabweichung (in %) des ACE Solid Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsleveln.





## 4.6 ACE AFM-5

Abbildung 21: ACE AFM-5 Atemalkohol-Messgerät.



Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse für das ACE AFM-5 Atemalkohol-Messgerät.

Level [‰]	0	0.100	0.250	0.400	0.600
Referenzwert [‰]	0	0,100	0,250	0,401	0,604
Mittelwert [‰]	0,000	0,108	0,267	0,446	0,612
Richtigkeit	100,0%	92,5%	93,0%	88,7%	98,6%
RSD%	0,0%	4,8%	6,6%	5,2%	2,2%
Bias [‰]	0,000	0,007	0,018	0,045	0,009
SD des Bias [‰]	0,000	0,014	0,033	0,065	0,045
Rel. Bias [%]	0,0%	11,5%	11,0%	14,9%	5,7%
SD des Rel. Bias [%]	0,0%	10,2%	9,5%	12,0%	4,3%

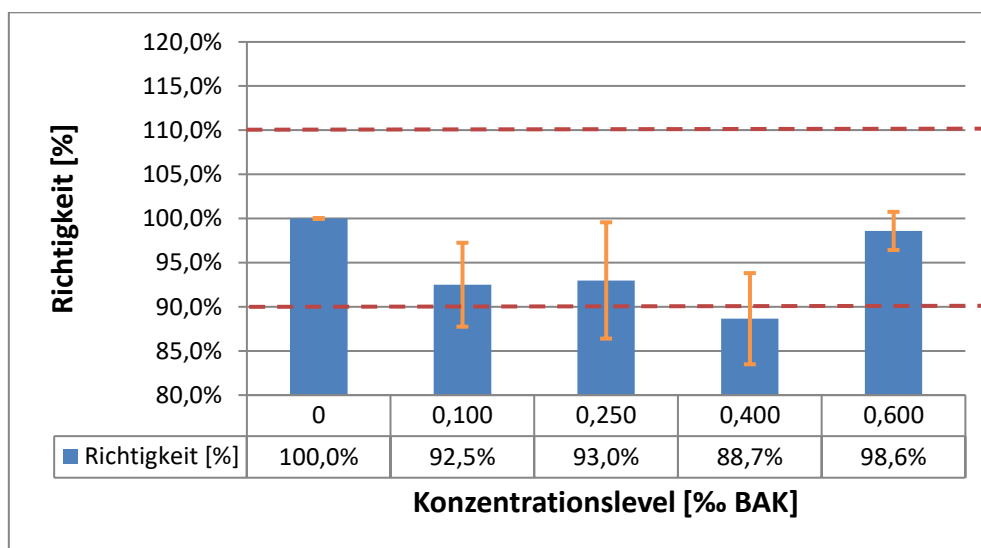


Abbildung 22: Richtigkeit des ACE AFM-5 Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsniveaus.

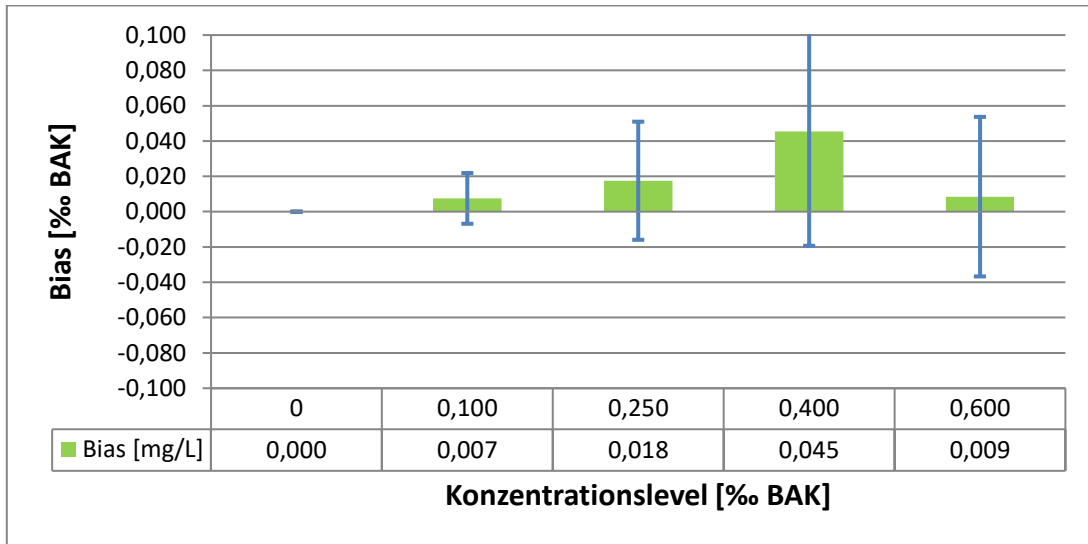
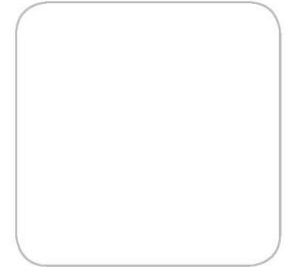
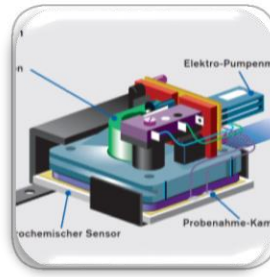


Abbildung 23: Absolute Messabweichung (in %) des ACE AFM-5 Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsniveaus.

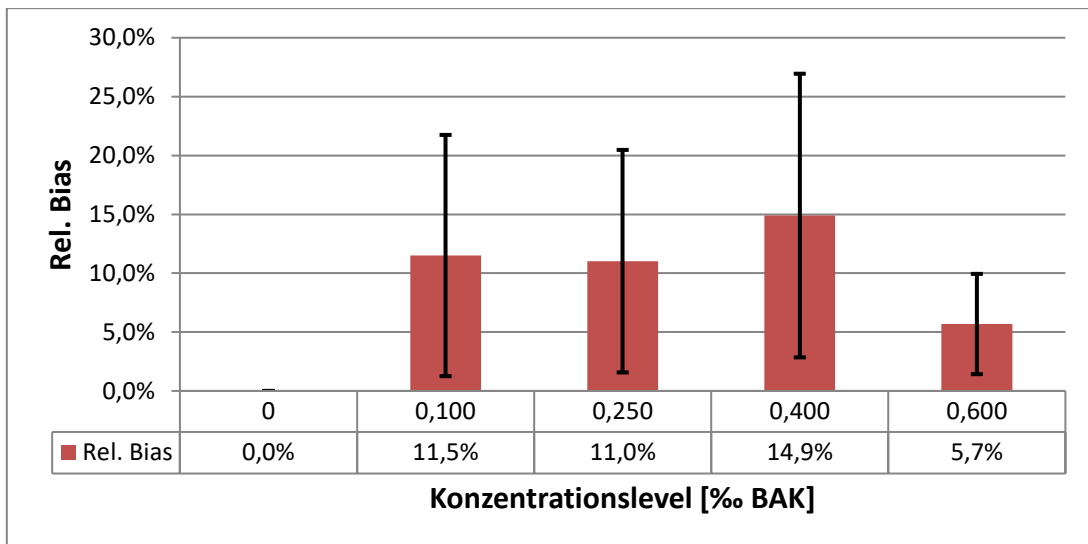
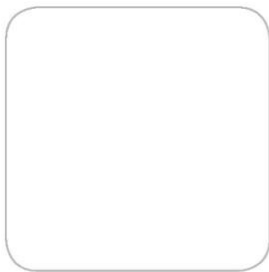


Abbildung 24: Relative Messabweichung (in %) des ACE AFM-5 Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsniveaus.



## 4.7 DRAEGER ALCOTEST 3820

Abbildung 25: Draeger Alcotest 3820 Atemalkohol-Messgerät.



Tabelle 9: Zusammenfassung der Ergebnisse für das Draeger Alcotest 3820 Atemalkohol-Messgerät.

Level [‰]	0	0.100	0.250	0.400	0.600
Referenzwert [‰]	0	0,100	0,256	0,414	0,598
Mittelwert [‰]	0,000	0,103	0,231	0,412	0,627
Richtigkeit	100,0%	97,2%	90,4%	99,5%	95,1%
RSD%	0,0%	6,8%	6,8%	2,1%	4,2%
Bias [‰]	0,000	0,003	-0,025	-0,002	0,029
SD des Bias [‰]	0,000	0,005	0,009	0,008	0,016
Rel. Bias [%]	0,0%	4,4%	9,6%	1,6%	4,9%
SD des Rel. Bias [%]	0,0%	3,0%	3,5%	0,7%	2,7%

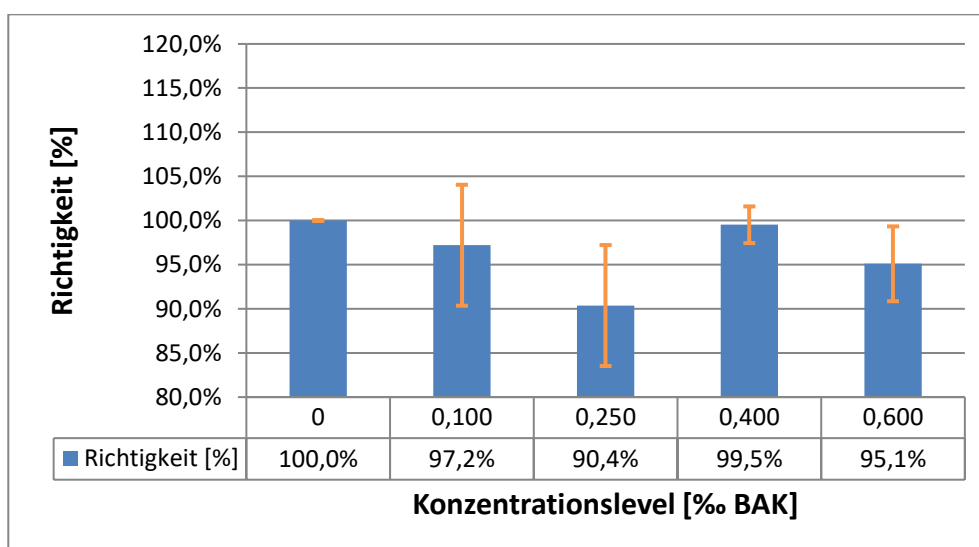


Abbildung 26: Richtigkeit des Draeger Alcotest 3820 Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsleveln.

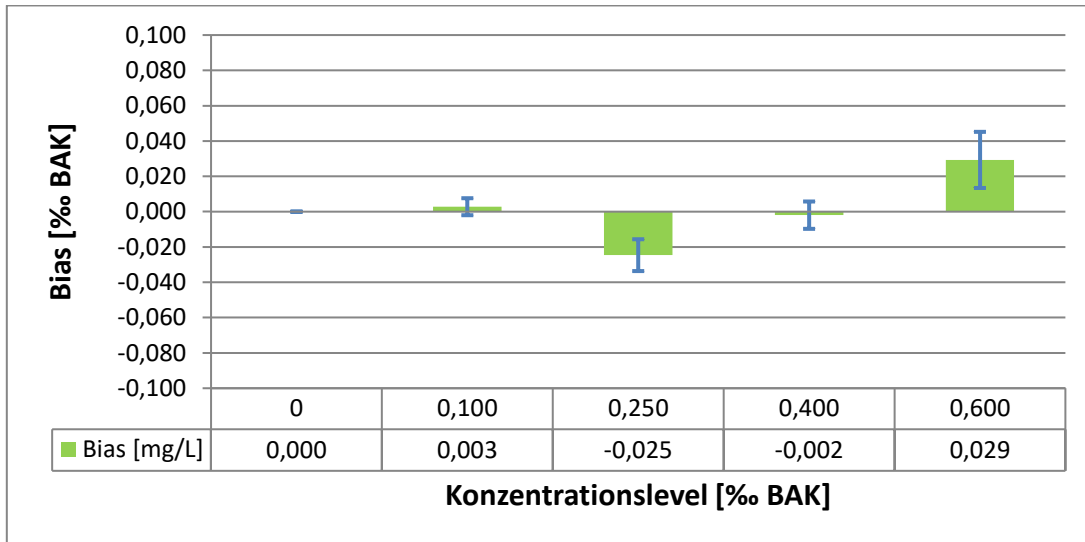
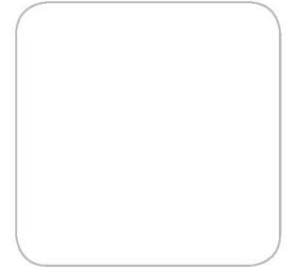
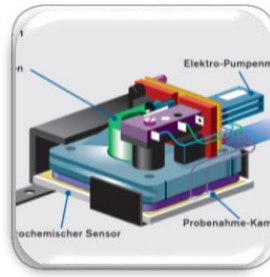


Abbildung 27: Absolute Messabweichung (in %<sub>o</sub>) des Draeger Alcotest 3820 Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsleveln.

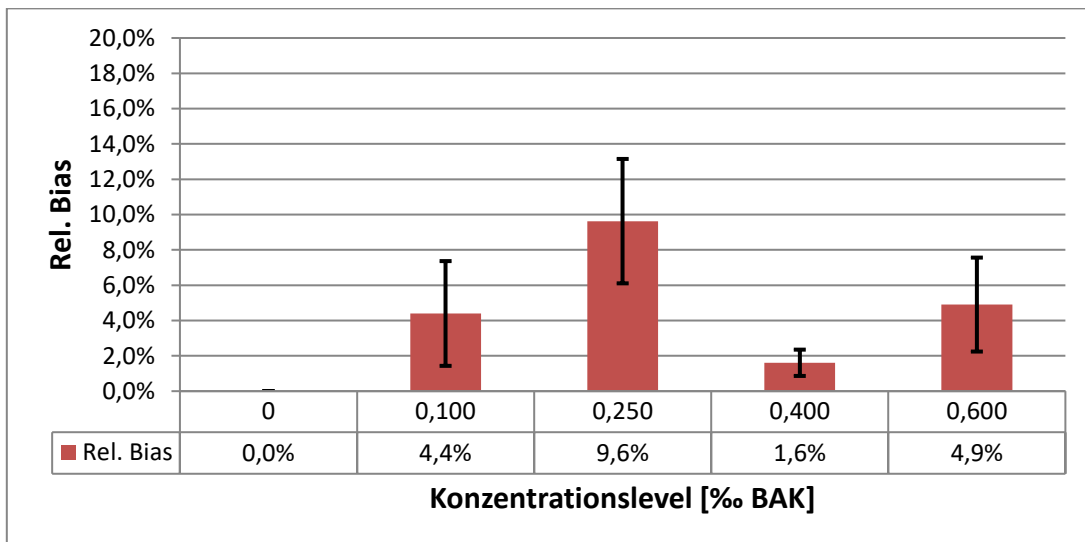
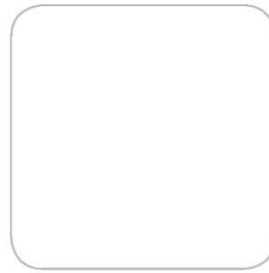
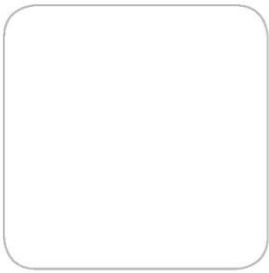


Abbildung 28: Relative Messabweichung (in % rel.) des Draeger Alcotest 3820 Atemalkohol-Messgerätes auf den fünf untersuchten Alkohol-Konzentrationsleveln.





# 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Um einen möglichst klaren und prägnanten Überblick über die Ergebnisse der Alkotester-Untersuchungen zu geben und dabei auch eine einfache Interpretation der Daten zu ermöglichen, wurden die Ergebnisse der Studie für alle untersuchten Geräte jeweils einer Type gemittelt und zusätzlich entsprechende Index-Werte berechnet. Diese sind in den folgenden Tabellen und Grafiken wiedergegeben.

Die durchschnittliche Richtigkeit eines Gerätes ergibt sich aus der über alle Konzentrationslevel und alle mit einem spezifischen Alkotester-Typ durchgeführten Messungen gemittelten absoluten Abweichung zum Referenzwert – sie sollte so nahe wie möglich an 100% heranreichen.

Die durchschnittliche Präzision ergibt sich aus dem Mittelwert über alle relativen Standardabweichungen aller Messserien, die mit jeweils allen Geräten einer Alkotester-Type auf allen untersuchten Konzentrationsniveaus erzielt wurden.

Darüber hinaus wurde jeweils noch ein Index-Wert berechnet, der die beiden Kriterien Richtigkeit und Präzision zusammenfasst: Dieser ‚Performance Index‘ ist die Summe aller Abweichungen jeder Messgeräte-Type vom Referenzwert. Je geringer dieser Index-Wert ist, umso besser ist die Genauigkeit des betrachteten Alkometers.

In den beiden Abbildungen (Abbildung 29 und Abbildung 30) sind die Ergebnisse der vorliegenden Studie in Hinblick auf Richtigkeit und Präzision zusammengefasst. Abbildung 31 stellt schließlich die abschließende Zusammenfassung dieser beiden Parameter zu einem ‚Präzisions-Index‘ als Maß für die Genauigkeit des Messgerätes dar.

Wie aus der Darstellung der Ergebnisse dieser Studie und den zugrunde liegenden experimentellen Daten ersichtlich ist, erfüllen alle getesteten Geräte die grundlegenden Anforderungen hinsichtlich Richtigkeit und Präzision der Atemalkoholmessung mit simulierten Testgasatmosphären.

Drei der sechs getesteten Geräte sind sogar als ‚Sehr Gut‘ bis ‚Ausgezeichnet‘ zu bezeichnen. An der Spitze des Feldes steht das Alkotest-Gerät „ACE Police X“, welches sowohl in Puncto Richtigkeit wie auch hinsichtlich der erzielten Präzision Spitzenreiter ist. Aber auch alle anderen Geräte – und insbesondere die ebenfalls sehr gut abschneidenden Alkotester „ACE Wave“ und „ACE A“ – erfüllen die Anforderungen für richtige und präzise, damit also genaue Alkoholmessung in der Atemluft in sehr hohem Maße.

**Tabelle 10: Kriterien für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Atemalkohol-Messgeräte.**

Beurteilung	Richtigkeit	Präzision
Ausgezeichnet	99 - 100%	≤2.5%
Sehr Gut	95 - 99%	≤2.5%
Gut	90 - 95%	2.5 - 5.0%
Befriedigend	<90%	>5.0%

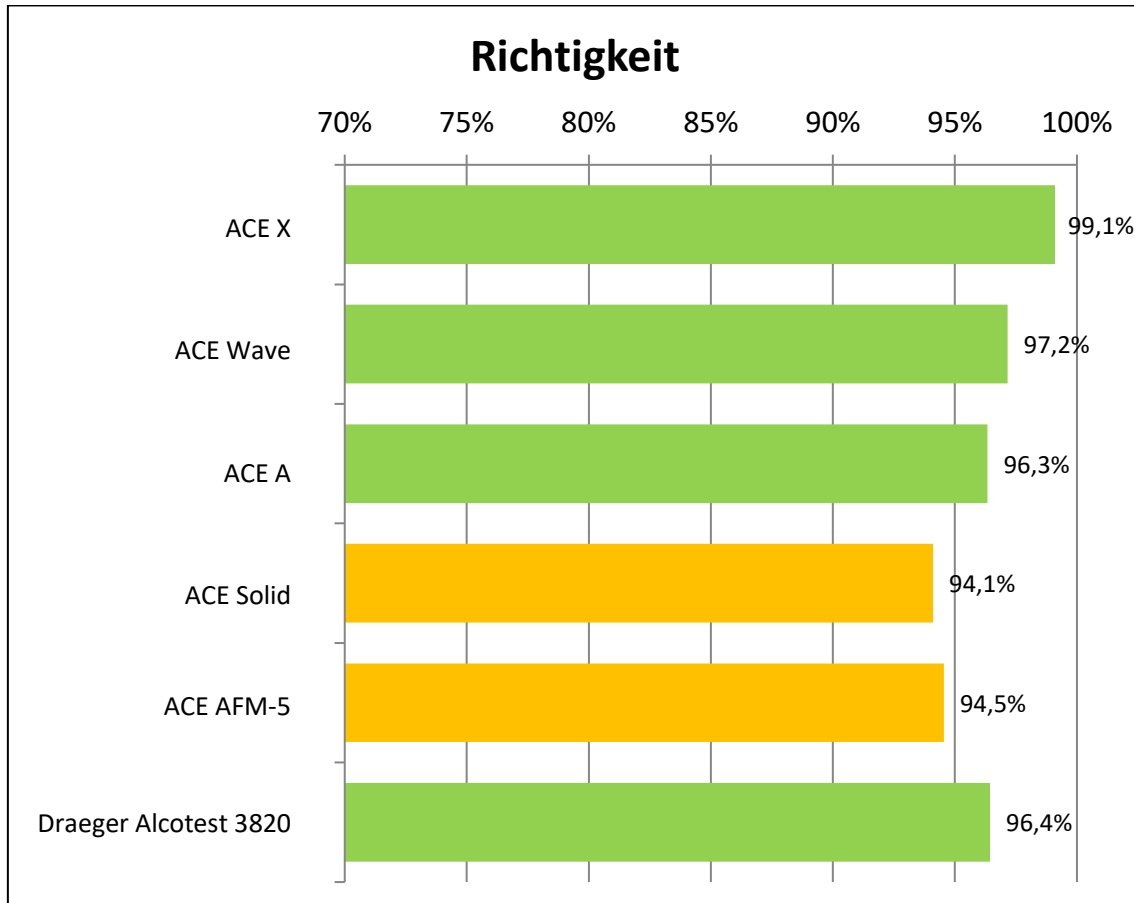
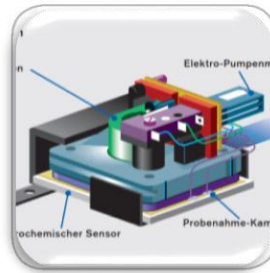


Abbildung 29: Zusammenfassung der mittleren Richtigkeit für jeden im Rahmen dieser Studie getesteten Atemalkohol-Messgeräte. Grün: Ausgezeichnet bzw. sehr gut; orange: gut; rot: befriedigend.



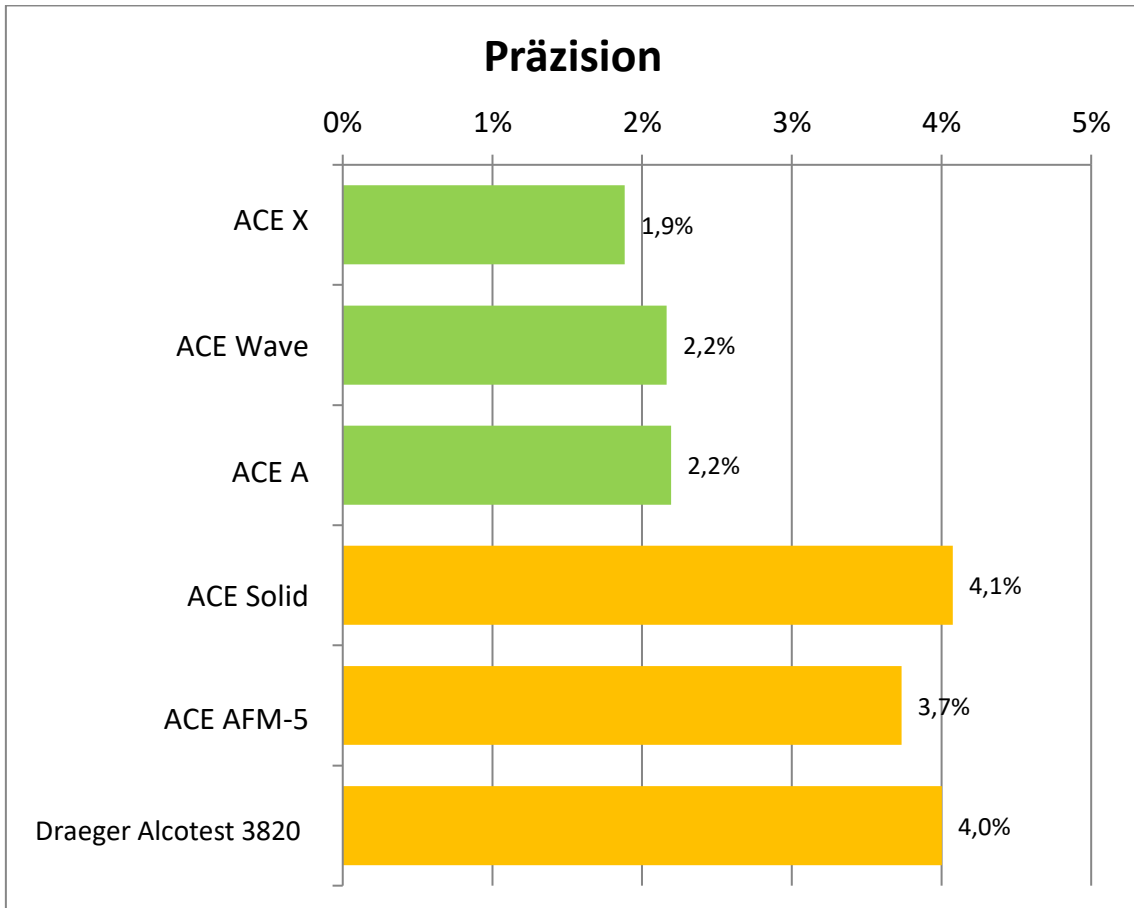


Abbildung 30: Zusammenfassung der mittleren Präzision (ausgedrückt durch den Mittelwert der individuellen Standardabweichungen) ermittelt aus den Messungen mit den verschiedenen Atemalkohol-Messgeräten dieser Studie. Die Farben bedeuten: **Grün:** Ausgezeichnet bzw. sehr gut; **orange:** gut; **rot:** befriedigend.

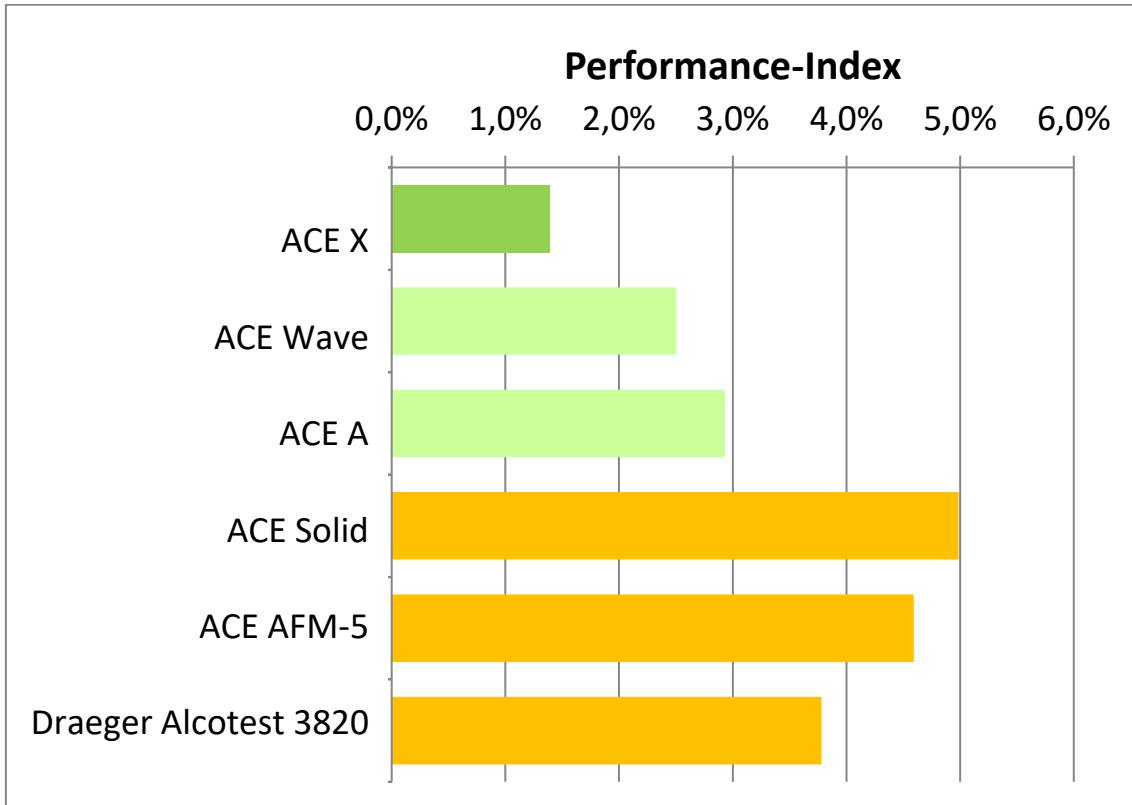
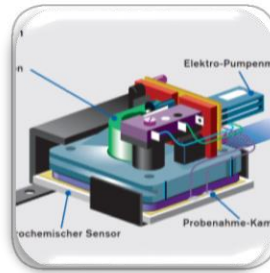


Abbildung 31: Darstellung des ‚Performance Index‘ für die sechs getesteten Atemalkohol-Messgeräte, ermittelt aus der mittleren Richtigkeit und der mittleren Präzision der jeweiligen Meßserie. Die Farben bedeuten: **Grün**: Ausgezeichnet, **Hellgrün**: Sehr gut; **orange**: gut; **rot**: befriedigend.

# 6 Referenzen

- 
- [1] E. Rosenberg, Untersuchung der Genauigkeit (= Richtigkeit und Präzision) ausgewählter Atemalkohol-Messgeräte („Alkotester“). Report TUW CTA 2015/26DE. Technische Universität Wien, November 2015 (49 pp.)
  - [2] W. Huckenbeck, Arzt und Alkohol. Forensische Alkoholologie (2) Schriftenreihe „Arzt und ...“ zur Hauptvorlesung Rechtsmedizin Heft 3. Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikum Düsseldorf, 2083-03-200-RE-I (1999), pp. 48-84.
  - [3] Dräger: Background article: How can alcohol be measured in breath? (September 2012) Drägerwerk AG &Co. KGaA, Lübeck (4 pp.)
  - [4] Dräger/P. Thomas: Puste wer solle, Drägerheft 392 spezial, 14-19. Drägerwerk AG &Co. KGaA, Lübeck (6 pp.)
  - [5] G. Machata, The advantages of automated blood alcohol determination by head space analysis. *Zeitschrift für Rechtsmedizin*, **75(4)**, (1975) 229-234.
  - [6] Dräger: Measuring alcohol in the body. Evidential breath-alcohol analysis with the Alcotest® 7110 and Alcotest® 7110 Evidential. Drägerwerk AG &Co. KGaA, Lübeck.
  - [7] H. Ryser, Scientific principles of evidential breath-alcohol testing up-to-date technologies and procedures. *Road Traffic Safety Portal Site*. Disponible: [junio.de](http://junio.de) (2013).
  - [8] Dräger, Dräger stellt neues Evidentialmessgerät für Deutschland vor: Alcotest 9510 DE zugelassen. Dräger, Pressemitteilung Nr. 5d vom 22. Januar 2014. Drägerwerk AG &Co. KGaA, Lübeck.
  - [9] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *Breath alcohol test devices for general public – Requirements and test methods*; German version EN 16280:2012. Beuth Verlag, Berlin.
  - [10] Dräger, Dräger X-cal 2000 Gebrauchsanweisung (2015) 48 pp. Drägerwerk AG &Co. KGaA, Lübeck.
  - [11] OIML Recommendation R 126:2012 (E) *Evidential breath analyzers*. Organisation Internationale de Métrologie Légale / International Organisation of Legal Metrology ([www.oiml.org](http://www.oiml.org))

© Erwin Rosenberg, Technische Universität Wien, Institut für Chemische Technologien und Analytik  
Getreidemarkt 9/164 AC, Wien, Österreich.  
Email: [Erwin.Rosenberg@tuwien.ac.at](mailto:Erwin.Rosenberg@tuwien.ac.at)

Die Vervielfältigung dieses Berichtes ist auszugsweise oder auch zur Gänze gestattet, vorausgesetzt dass die Quelle der Daten vollständig und korrekt zitiert wird:  
E. Rosenberg, Untersuchung der Genauigkeit (= Richtigkeit und Präzision) ausgewählter Atemalkohol-Messgeräte („Alkotester“), Bericht TUW CTA 2019/01 DE, TU Wien (2019).

Eine elektronische Version dieses Berichtes ist verfügbar auf der Website:  
[www.alkomat.net](http://www.alkomat.net)