

Aus der Kinderklinik und Poliklinik im  
Dr. von Haunerschen Kinderspital  
der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Dietrich Reinhardt

**Entwicklung und Prüfung einer neuen Methode zur  
Bestimmung der renalen Bicarbonatausscheidung**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Eva Wagner

aus

München

2004

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. R. Eife

Mitberichterstatter: Prof. Dr. M. Fischereder

Prof. Dr. T. Bosch

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 22. 01. 2004

für Claus und Scarlet

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. <b>EINLEITUNG</b>	1
2. <b>THEORETISCHER TEIL</b>	3
2.1. <b>Die Rolle des Bicarbonats im Säure-Base-Haushalt</b>	3
2.1.1. Einführung	3
2.1.2. Das Kohlendioxid-Bicarbonat-(CO <sub>2</sub> /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )-Puffersystem	4
2.1.3. Einflüsse auf die renale Bicarbonatresorption	5
2.1.4. Nicht-Bicarbonat-Puffer	7
2.2. <b>Bestimmung der Urin-Bicarbonat-Konzentration durch Titration (herkömmliche Methode)</b>	8
2.2.1. Geschichtlicher Überblick zur Methode der Titration von Säuren und Basen im Urin	8
2.2.1.1. Gamble, Ross & Tisdall (1923)	8
2.2.1.2. Jørgensen (1957)	9
2.2.1.3. Chan (1972)	11
2.2.1.4. Lin & Chan (1973)	15
2.3. <b>Die Henderson-Hasselbalch-Gleichung</b>	17
2.3.1. Säuren und Basen	17
2.3.2. pH-Wert und Wasserstoffionenkonzentration	21
2.3.3. Zur mathematischen Behandlung von Puffersystemen	21
2.3.4. Mathematische Behandlung des Kohlensäure-Bicarbonat-Puffers	23
2.4. <b>Die von Hastings modifizierte Henderson-Hasselbalch-Gleichung</b>	25

	Seite
<b>3. EXPERIMENTELLER TEIL</b>	<b>32</b>
<b>3.1. Material und Methodik</b>	<b>34</b>
<b>3.2. Vorversuche</b>	<b>37</b>
3.2.1. Untersuchungen über den Einfluss von pH, pCO <sub>2</sub> , Natrium und Kalium auf den nach Hastings berechneten Bicarbonat-Gehalt eines Urins	37
3.2.2. Bicarbonat-Bestimmung in Kontrollproben aus destilliertem Wasser mittels Titration / Der Bicarbonat-Wasserwert	47
3.2.3. Untersuchungen über den Einfluss der Aufbewahrung von Urin auf die Bicarbonat-Konzentration	50
<b>3.3. Hauptversuche</b>	<b>55</b>
3.3.1. Bestimmung von Bicarbonat in „künstlichen Urinen“ mittels Titration und nach der Methode von Hastings Prüfung der Messergebnisse auf Reliabilität und Validität	55
3.3.2. Bestimmung des Bicarbonat-Gehalts in „echten“ Urinen“ mittels Titration und nach der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung vor und nach Zugaben von KHCO <sub>3</sub>	83
<b>4. DISKUSSION</b>	<b>142</b>
<b>5. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>157</b>
<b>6. LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>160</b>

## 1. EINLEITUNG

Die Konstanthaltung des Blut-pH-Wertes ist für den Organismus von erheblicher Bedeutung<sup>1,2,3,4,5,6</sup>. Anhaltende starke Störungen des Säure-Basen-Haushaltes führen zu Stoffwechselentgleisungen und sind ohne Therapie auf Dauer mit dem Leben nicht zu vereinbaren<sup>7,8,9,10,11,12</sup>. Nach der Henderson-Hasselbalch-Gleichung wird der pH-Wert des Blutes<sup>13,14,15</sup> vor allem durch ein ausgeglichenes Verhältnis von Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Bicarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) reguliert. Eine kontrollierte Ausscheidung von Kohlendioxid wird über die Lunge, eine kontrollierte Ausscheidung von Bicarbonat wird in erster Linie über die Nieren ermöglicht<sup>16,17,18,19,20</sup>. Bei respiratorischen Störungen kann der Kohlendioxid-Partialdruck ( $\text{pCO}_2$ ) durch Hypoventilation<sup>21,22,23,24,25,26</sup> pathologisch erhöht oder durch Hyperventilation<sup>27,28,29,30,31,32</sup> pathologisch erniedrigt sein.

Bei metabolischen Störungen kann es zu einer pathologischen Bicarbonat-Erhöhung oder Bicarbonat-Erniedrigung im Organismus kommen<sup>33,34,35,36,37</sup>. Ein unkontrollierter Bicarbonat-Verlust kann auftreten durch Erkrankungen des Darms (z.B. Gastroenteritis) oder durch Erkrankungen der Nieren (vor allem durch toxisch bedingte<sup>38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48</sup>, aber auch durch kongenitale Tubulusstörungen<sup>49,50,51,52,53,54,55,56,57</sup>). Um die renale Beteiligung an einer Störung im Säure-Basen-Haushalt eruieren zu können, insbesondere wenn sie durch einen Bicarbonat-Verlust bedingt ist<sup>58,59,60</sup>, ist es notwendig, den Bicarbonat-Gehalt im Urin zu bestimmen.

Eine seit langem etablierte Methode, den Bicarbonat-Gehalt im Urin zu messen, ist die Titration<sup>61,62</sup>. Diese Methode ist zuverlässig, aber technisch sehr aufwendig.

Eine weitere Methode, den Bicarbonat-Gehalt im Urin zu ermitteln, bietet die Methode nach Hastings<sup>63</sup>. Dabei werden im Urin der pH-Wert, der  $\text{pCO}_2$  und die Konzentration der Elektrolyte Natrium und Kalium bestimmt, die Werte dieser Parameter in die von Hastings modifizierte Henderson-Hasselbalch-Gleichung eingesetzt und so die Bicarbonat-Konzentration errechnet. Diese Methode ist technisch weit weniger aufwendig als die Bestimmung mittels Titration, da die genannten Messwerte voll automatisiert bestimmt werden können.

Die Verwendung der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung zur Urin-Bicarbonat-Messung ist zwar klinisch etabliert<sup>64,65,66,67,68</sup>, aber ein systematischer Vergleich der nach der Hastings-Methode berechneten Bicarbonat-Konzentration mit der mittels der Titrationsmethode gemessenen Bicarbonat-Konzentration in ein und demselben Urin ist unseres Wissens bisher nicht publiziert worden. Es ist deshalb Ziel dieser Untersuchungen zu prüfen, ob die Urin-Bicarbonat-Bestimmungsmethode nach Hastings der Titrationsmethode in Bezug auf Genauigkeit und Zuverlässigkeit gleichwertig ist.

## **2. THEORETISCHER TEIL**

### **Einführender Überblick:**

Im folgenden wird die Rolle des Bicarbonats insbesondere als Teil des wichtigsten Puffersystems im Organismus dargestellt. Die Bicarbonat-Konzentrations-Bestimmung im Urin durch Titration wird erläutert anhand der chronologischen Darstellung der Geschichte der Titration. Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Titrations-Methode nach Lin & Chan, die der vorliegenden Arbeit zugrundeliegt.

Im weiteren wird die mathematische Herleitung der Henderson-Hasselbalch-Gleichung dargestellt und schliesslich deren Modifikation durch Hastings, die bei der Bestimmung von Bicarbonat im Urin auch die in diesem enthaltenen Elektrolyte Natrium und Kalium berücksichtigt.

### **2.1. DIE ROLLE DES BICARBONATS IM SÄURE-BASEN-HAUSHALT**

#### **2.1.1. Einführung**

Der pH-Wert ist ein Mass für die „effektive“ Wasserstoffionenkonzentration ( $\text{pH} = -\log \text{H}^+$ ). Bei einer Körpertemperatur von 37°C beträgt der pH-Wert des Blutes 7,40 (+/- 0,015), was einer Wasserstoffionenkonzentration von 40 mmol/l entspricht<sup>69,70,71,72,73,74,75</sup>.

Für den Organismus ist die Konstanzhaltung des pH-Wertes besonders wichtig, da die normale Form der Proteine und damit die Struktur und Funktion der Zellbestandteile pH-abhängig ist<sup>76,77,78,79,80,81</sup>. Bei grösseren Abweichungen des Blut-pH-Werts vom physiologischen Bereich<sup>82,83,84,85,86,87</sup> kommt es zu Störungen der Elektrolytverteilung, zu einer veränderten Durchlässigkeit von Membranen oder allgemein zu Störungen des Stoffwechsels.

Eine Abweichung des pH-Wertes des Blutes in den sauren Bereich (ab pH 7,37) wird als Azidose (Acidämie), in den alkalischen Bereich (ab pH 7,44) als Alkalose oder Alkaliämie

bezeichnet. Mit dem Leben vereinbar sind unter schwersten Komplikationen Abweichungen des pH-Werts bis zu 6,80 nach unten und 7,70 nach oben<sup>88</sup>.

Die Konstanthaltung des pH-Werts erfolgt durch verschiedene Puffersysteme<sup>89,90,91</sup>, durch die der pH-Wert des Blutes auf 7,40 eingestellt wird. Das wichtigste Puffersystem ist im Organismus das CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-System.

### 2.1.2. Das Kohlendioxid-Bicarbonat-(CO<sub>2</sub> / HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)-Puffersystem<sup>92,93</sup>

Der wichtigste Puffer des Blutes und der Interstitiumflüssigkeit ist das System



Die wesentliche Bedeutung des CO<sub>2</sub> / HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Puffersystems im Blut liegt darin, daß es sich hier um ein offenes System handelt: es werden nicht nur H<sup>+</sup>-Ionen abgepuffert, sondern die Konzentrationen der beiden Pufferkomponenten können weitgehend unabhängig voneinander verändert werden<sup>94,95,96</sup>: die Kohlendioxid-Konzentration kann durch die Atmung beeinflusst werden, die Bicarbonat-Konzentration wird in geringem Masse durch die Leber (durch 2 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + 2 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> entsteht u.a. Harnstoff)<sup>97,98,99,100,101</sup>, vor allem aber durch die Nieren gesteuert (kontrollierte Sekretion bzw. Reabsorption)<sup>102</sup>.

Im Blut liegt Bicarbonat in einer mittleren Konzentration von 24 mmol/l vor. Bicarbonat wird im Glomerulum frei filtriert und wird, wie unten beschrieben, fast vollständig tubulär rückresorbiert.

Die Bicarbonat-Resorption erfolgt überwiegend im proximalen Tubulus mit Hilfe des Carboanhydrasemechanismus. Das Enzym Carboanhydrase (CA)<sup>103,104,105,106,107</sup> ist im proximalen Tubulus sowohl cytosolisch als auch membrangebunden am Bürstensaum lokalisiert.

Die Carboanhydrase<sup>108,109,110,111,112,113,114</sup> katalysiert die Bruttoreaktion:



Motor dieses Prozesses ist die Sekretion von  $\text{H}^+$ -Ionen in das Tubuluslumen, es kommt zu einer intraluminalen Verbindung des Bicarbonats mit den sezernierten  $\text{H}^+$ -Ionen<sup>115,116</sup>. Die Resorption erfolgt über den  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ -Antiport, dessen treibende Kraft die elektrochemische Potentialdifferenz für  $\text{Na}^+$  ist; die Bicarbonat-Resorption ist dadurch an die aktiven Prozesse der  $\text{Na}^+$ -Resorption gekoppelt. Der aktive Transport kann normalerweise die Bicarbonat-Konzentration in der Tubulusflüssigkeit bis zum Ende des proximalen Convoluts auf 5 mmol/l herabsetzen. Dieser Wert ist das Ergebnis eines sich einstellenden Fliessgleichgewichts. Des Weiteren besitzt die Tubuluswand eine gewisse Durchlässigkeit<sup>117,118</sup> für Bicarbonat-Ionen. So stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der aktiven Pumprate mit einem „Leck“ in Form einer passiven Rückdiffusion ein. Durch den „Pump- und Leckmechanismus“ wird ein Bicarbonat-Konzentrationsgradient von ca. 20 mmol/l aufrechterhalten.

Da bis zum Ende des proximalen Convoluts 60% des Filtratvolumens resorbiert worden sind und in diesem in den verbleibenden 40% des Filtratvolumens die Bicarbonatmenge auf 1/5 erniedrigt ist, erreichen nur noch ca. 8 % der filtrierten Bicarbonat-Menge die Henle-Schleife. Dieser Rest wird vorwiegend im absteigenden dicken Schleifenstück resorbiert. Die Kapazität dieses Nephronabschnitts zur Bicarbonat-Resorption ist jedoch begrenzt, noch ausgeprägter gilt dies auch für distales Convolut und Sammelrohr. Es kommt daher zur Bicarbonat-Ausscheidung beim Gesunden immer dann, wenn die Tubulusflüssigkeit am Ende des proximalen Convoluts eine erhöhte Bicarbonat-Konzentration besitzt.

In der Kombination einer gradientenlimitierten Resorption im proximalen Convolut und einer kapazitätslimitierten Resorption in den anschliessenden Nephronsegmenten liegt eine wesentliche Ursache für die Fähigkeit der Niere, bei Störungen des Säure-Basen-Haushaltes regulierend einzutreten.

### **2.1.3. Einflüsse auf die renale Bicarbonat-Resorption:**

Bedeutsam ist in diesem Zusammenhang, dass bei einem erhöhten CO<sub>2</sub>-Partialdruck (z.B. bei respiratorischer Azidose)<sup>119,120,121,122,123,124</sup> sowohl im Plasma als auch in den Tubuluszellen die intrazelluläre H<sup>+</sup>-Sekretion zunimmt, wodurch sich die HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Resorption beschleunigt<sup>125,126,127</sup>. So werden respiratorische Störungen des Säure-Basen-Haushaltes durch Anpassung der HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Resorption kompensiert<sup>128</sup>.

Andererseits kommt es bei Alkalose zu einer vermehrten Ausscheidung von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup><sup>129,130,131</sup>. Bicarbonat ist ähnlich wie Glucose eine Schwellensubstanz. Die Nierenschwelle von Bicarbonat liegt bei 28 mmol/l, dementsprechend kommt es bei HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Werten > 28 mmol/l zu einem vermehrten Übertritt<sup>132,133,134</sup> in den Urin. Der Schwellenwert liegt nur wenig über der physiologischen HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Plasmakonzentration von ca. 24 mmol/l, so dass bei starken alkalischen Entgleisungen auf diese Weise eine Kompensation rechtzeitig in Gang kommen kann<sup>135,136,137,138</sup>.

Als Einflussfaktoren auf die proximal-tubuläre Reabsorption von Bicarbonat gelten im Sinne einer Erhöhung der Bicarbonat-Resorption:

- hohe luminale Bicarbonat-Konzentration<sup>139</sup>
- hoher luminaler Urinfluss<sup>140</sup>
- akute Hyperkapnie und niedrige peritubuläre Bicarbonat-Konzentration<sup>141</sup>
- Stimulation adrenerger Nerven<sup>142</sup>
- Hypokaliämie<sup>143</sup>

und im Sinne einer Reduktion der Bicarbonat-Reabsorption:

- akute Hypokapnie<sup>144</sup>
- Erhöhung des Extrazellulärvolumens<sup>145,146</sup>

Am distalen Tubulus führen Mineralocorticoide zu einer Erhöhung der Protonensekretion<sup>147</sup>. Niedrige luminale Chlorid-Konzentrationen bewirken in kortikalen Sammelrohrabschnitten eine Hemmung der Bicarbonat-Sekretion<sup>148</sup>, während es im medullären Anteil zu einer Stimulation der Protonensekretion kommt<sup>149</sup>.

An hormonellen Einflüssen neben der bereits erwähnten Katecholamin- und Mineralocorticoidwirkung ist in mehreren Studien der Effekt von Sekretin auf die renale

Bicarbonat-Behandlung untersucht und übereinstimmend eine Erhöhung der renalen Bicarbonat-Ausscheidung unter Sekretingabe gefunden worden<sup>150,151,152,153</sup>.

#### **2.1.4. Nicht-Bicarbonat-Puffer**

Das Bicarbonat-Kohlendioxid-Puffersystem ist als offenes System bei pH 7,40 und konstantem pCO<sub>2</sub> von 40 mmHg mit etwa 2/3 an der Gesamt-Pufferkapazität des Blutes beteiligt. Die Pufferkapazität ist ein Mass für die Steilheit der Titrationskurve eines Puffers. Daneben gibt es noch andere Puffersysteme, die den Rest der Pufferkapazität bestreiten. Diese restlichen Puffersysteme puffern im geschlossenen System und können insgesamt als Nicht-Bicarbonat-Puffer zusammengefasst werden. Zu ihnen gehören vor allem das Proteinat-Puffersystem (Plasmaproteine, insbesondere Albumin und das intraerythrocytäre Hämoglobin)<sup>154</sup>, das Phosphat-Puffersystem<sup>155</sup> und die Ausscheidung von Protonen in Form von NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Die Gesamt-Pufferbasen-Konzentration des Blutes beträgt normalerweise rund 48 mmol/l. Hiervon entfallen je 24 mmol/l auf die Bicarbonat-Konzentration, die restlichen 24 mmol/l verteilen sich im wesentlichen auf die Proteinat-Konzentration und zum geringeren Teil auf die Phosphat-Konzentration. Damit hat das Bicarbonat-Kohlendioxid-Puffersystem den grössten Stellenwert als Puffersystem des Extrazellulärraums.<sup>156,157</sup>.

## **2.2. BESTIMMUNG DER URIN-BICARBONAT-KONZENTRATION DURCH TITRATION (herkömmliche Methode)**

Zum Verständnis der Urin-Bicarbonat-Konzentrationsbestimmung durch Titration folgt ein geschichtlicher Überblick über die verschiedenen bisher angewandten Verfahren, den Urin-Säure-Basen-Status quantitativ zu erfassen.

Ausgangspunkt der meisten Untersuchungen war die Annahme, dass sich die Menge der renalen Nettosäuresekretion (NAE) durch die quantitative Bestimmung von titrierbarer Säure plus Ammonium minus Bicarbonat im Urin<sup>158</sup> (Pitts, 1968) ergibt:

$$\text{Nettosäuresekretion (NAE)} = \text{titrierbare Säuren} + \text{NH}_4^+ - \text{HCO}_3^-$$

Gamble et al.<sup>159</sup> zogen ursprünglich noch zusätzlich die titrierbaren Basen ab:

$$\text{Nettosäuresekretion (NAE)} = \text{titrierbare Säuren} + \text{NH}_4^+ - \text{HCO}_3^- - \text{titrierbare Basen}$$

### **2.2.1. Geschichtlicher Überblick zur Methode der Titration von Säuren und Basen im Urin**

#### **2.2.1.1. Gamble, Ross & Tisdall (1923)<sup>160</sup>**

Im Organismus muss ein Überschuss an H<sup>+</sup>-Ionen von nicht-flüchtigen Säuren im Urin ausgeschieden werden. Hier werden die H<sup>+</sup>-Ionen gepuffert entweder v.a. durch Phosphate in Form von „titrierbarer Säure“ (Begriff erstmals eingeführt durch Henderson & Palmer, 1914<sup>161</sup>) oder durch das in den Nieren produzierte Ammonium-Ion (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

In entsprechender Weise wird ein Überschuss an Hydroxyl-Ionen ( $\text{OH}^-$ ) in Form von „titrierbarer Base“ ausgeschieden oder von Kohlendioxid als Bicarbonat-Ion gepuffert.

Durch Gamble et al. wird die Säure-Basen-Exkretion der Nieren durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$\text{Nettosäuresekretion (NAE)} = \text{H}^+_{\text{NH}_4^+} + \text{H}^+_{\text{titr. Säure}} - \text{OH}^-_{\text{titr. Base}} - \text{HCO}_3^- \quad (\text{in meq/24h})$$

Im allgemeinen werden die beiden ersten Teile der Gleichung ( $\text{H}^+_{\text{NH}_4^+} + \text{H}^+_{\text{titr. Säure}}$ ) nur bestimmt, wenn der Urin sauer ist, die beiden letzten Teile der Gleichung ( $\text{OH}^-_{\text{titr. Base}} - \text{HCO}_3^-$ ) nur, wenn der Urin alkalisch ist. Liegt ein pH-neutraler Urin vor oder sind die Proben mit Harnstoff-aufspaltenden Mikroben kontaminiert (durch die der Urin alkalisch wird), müssen alle Teile der Gleichung bestimmt werden.

### 2.2.1.2. Jørgensen (1957)<sup>162</sup>

Auf Grundlage der Ergebnisse von Gamble et al.<sup>163</sup>, Henderson & Palmer<sup>164</sup> (1914), Bjørn-Andersen & Lauritzen<sup>165</sup> (1910) sowie Sørensen<sup>166</sup> (1908) entwickelte Jørgensen eine neue Methode zur Bestimmung der NAE, die im Gegensatz zu Gamble et al. benutzt werden kann, ohne den Ausgangs-pH-Wert der Probe oder eine mikrobielle Verunreinigung bei der Titration berücksichtigen zu müssen:

Die Probe wird mit einer definierten Menge an Salzsäure angesäuert, um vorhandenes Bicarbonat in  $\text{CO}_2$  umzuwandeln und um das enthaltene Phosphatsediment zu lösen. Das Gesamt- $\text{CO}_2$  wird durch Kochen ausgetrieben. Dann werden die Proben verdünnt, um späteren Präzipitationen vorzubeugen, anschliessend werden sie elektrometrisch mit einer starken Base in Gegenwart von Formaldehyd auf den Blut-pH-Wert titriert. Die Rück-Titration auf einen angenommenen Blut-pH-Wert von 7,40 folgt hier der Originaldefinition einer „titrierbaren Säure“ von Henderson & Palmer<sup>167</sup>.

### Vorgehensweise:

Zu 10,0 ml Urin wird 1 ml einer 1 N Salzsäure zugefügt. Die Mischung wird für 1/2-1 Minute gekocht. Mittels Indikatorpapier erfolgt die pH-Messung, bei  $pH > 4$  wird eine zusätzliche Säureportion von 1 ml 1 N Salzsäure zugefügt. Dann wird der Kochvorgang wiederholt. Im Anschluss daran werden 50 ml Formaldehyd-Lösung zugegeben. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur folgt die Titration mit 0,1 N Natronlauge (NaOH) auf pH 7,40.

Die Berechnung erfolgt mittels der von Jørgensen aufgestellten Gleichung:

$$\text{Netto Säure-Sekretion [meq/24h]} = \frac{\text{ml NaOH}_{\text{Probe}} - \text{ml NaOH}_{\text{blind}}}{100} \times \text{Diurese (in ml/24h)}$$

Das Volumen „ml NaOH“ berücksichtigt die sogenannte **Blindprobe**: 1 ml einer 1 N Salzsäure + 50 ml einer Formaldehyd Lösung werden auf den pH-Wert 7,40 titriert. Wenn der Urinprobe mehr als eine Portion Salzsäure zugegeben wurde, muß die Blindprobe entsprechend titriert werden. Mit Diurese ist hier 24-h-Sammelurin gemeint.

Wenn der Wert der Gleichung negativ wird, kann der numerische Wert als positive Netto-Basen-Exkretion aufgefasst werden.

### Anmerkung:

In seinen „Notes on formol titration“<sup>168</sup> modifizierte Jørgensen die 1908 von Sørensen<sup>169</sup> publizierte Bestimmung des Ammoniumgehalts im Urin:

Sørensen hatte zur Untersuchung des Ammonium-Gehalts im Urin seine Proben zuerst auf pH 9,0 bis 9,5 alkaliert, um dann nach Zugabe von Formaldehyd (das Lösungen saurer machen kann, ohne Säure-Basen-Eigenschaften zu besitzen) auf den pH-Wert 9 rücktitriert. Im Gegensatz zu Sørensen begann Jørgensen die Ammoniumbestimmung in Anwesenheit von Formaldehyd bei einem sauren pH, seine Untersuchung endete bei einem neutralen pH.

Seine Begründung lautete: in sauren Lösungen ist nur  $\text{NH}_4^+$  zu finden, dagegen liegt bei einem pH von 9,3 die Hälfte des Ammoniums in Form von  $\text{NH}_3$  vor; bei Sørensens Methode kann also nur die Hälfte des vorhandenen Ammoniums gefunden werden. Dagegen können durch Jørgensens Methode 98-99 % des Ammoniumgehalts im Urin bestimmt werden.

Damit hatte Jørgensen zwar die Gesamt-Säure-Sekretion des Urins ermitteln können, aber der Bicarbonat-Gehalt im Urin war weiterhin eine durch die Titration nicht erfasste Grösse.

### 2.2.1.3. Chan<sup>170</sup> (1972)

Chan entwickelte 1972 die Titrationsmethoden von Jørgensen<sup>171</sup>, Kildeberg<sup>172</sup> und Sørensen<sup>173</sup> zur Bestimmung der Netto-Säuresekretion im Urin weiter, indem er ihre Reproduzierbarkeit und Exaktheit nachwies und eine geringere Urinmenge zur Untersuchung verwendete.

Die Bestimmung der Netto-Säure-Konzentration (NAC) erfolgte bei definierten Endpunkten:

pH 7,40

pCO<sub>2</sub> = 0 mmHg

Temperatur 37° C.

Seine Definition der Nettosäuresekretion war, wie schon oben beschrieben, die Summe der quantitativ im Urin erfassbaren titrierbaren Säure plus Ammonium minus Bicarbonat:

$$\text{NAE} = \text{TA} + \text{Ammonium} - \text{Bicarbonat}$$

Glossar der Abkürzungen: NAE: Netto-Säuresekretion

TA: Konzentration von titrierbarer Säure

NAC: Netto-Säurekonzentration

Bei der Bestimmung wurde die im folgenden beschriebene Titration sowohl in Urinproben als auch parallel dazu in destilliertem Wasser durchgeführt, um den sogenannten Bicarbonat-Gehalt des Wassers zu ermitteln und vom Gesamtwert zu subtrahieren.

### **Vorgehenweise:**

Zu 1 ml einer Urinprobe wird 1 ml einer 0,1 N Salzsäure zugegeben. Die Lösung wird 2 Minuten lang im Wasserbad gekocht, um das entstehende CO<sub>2</sub> auszutreiben. Nach einer zehnminütigen Abkühlungsphase wird unter Benützung eines Magnetrührers die Lösung mit 0,1 N Natronlauge bei 37°C bis zum pH-Wert 7,40 titriert. Eine Wasserprobe (destilliertes Wasser) wird auf identische Weise behandelt.

Die Berechnung der Konzentration an Titrierbarer Säure (TA) erfolgt nach der Formel:

$$\text{TA (mmol/l)} = \frac{\text{Differenz Vol. NaOH} - \text{Vol. Wasserprobe}}{1 \text{ ml Probe}} \times 0,1 \text{ N NaOH (mol/l)} \times 1000 \text{ mmol/Eq.}$$

Dann wird 1 ml 8%-ige Formaldehydlösung zugefügt, dadurch fällt der pH-Wert. Ohne Rückstellung wird die Titration auf pH 7,40 fortgesetzt. Das destillierte Wasser wird in identischer Weise behandelt.

Die Nettosäurekonzentration (NAC) wird nach der Formel berechnet:

$$\text{NAC (mmol/l)} = \frac{\text{Diff. Vol. NaOH} - \text{Vol. dest. Wasser}}{1 \text{ ml Probe}} \times 0,1 \text{ N NaOH (mol/l)} \times 1000 \text{ (mmol/Eq.)}$$

Die Ammoniumkonzentration (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) bestimmte Chan mit der durch Jørgensen modifizierten Formol-Titrations-Methode nach Sørensen (wie auf S.10f. beschrieben). Durch die Zugabe von Formaldehyd wird H<sup>+</sup> von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> gelöst, was zu einer Erniedrigung des Urin-pH-Wertes führt. Durch Rücktitration zu dem Endpunkt von pH 7,40 können so 98-99 % des aktuellen NH<sub>4</sub><sup>+</sup> bestimmt werden.

$$\text{NH}_4^+ = \text{NAC} - \text{TA}$$

Die Reproduzierbarkeit der Methode wurde von Chan in 10 aufeinanderfolgenden Messungen der gleichen Urinprobe aufgezeigt. Der Mittelwert der titrierbaren Säure (TA) lag bei 24,2 mmol/l mit einer Standardabweichung von  $\pm$  0,14 mmol/l. Die Ammonium-Konzentration ( $\text{NH}_4^+$ ) betrug 38,1 mmol/l mit einer Standardabweichung von  $\pm$  0,33 mmol/l. Die Nettosäurekonzentration (NAC) ergab 62,3 mmol/l mit einer Standardabweichung von  $\pm$  0,19 mmol/l.

**Mehrfachbestimmung von TA,  $\text{NH}_4^+$  und NAC  
in der gleichen Urinprobe bei pH 5,8 (Chan 1972)**

	<b>TA (mmol/l)</b>	<b><math>\text{NH}_4^+</math> (mmol/l)</b>	<b>NAC (mmol/l)</b>
	24,1	38,4	62,5
	24,5	37,4	61,9
	24,1	38,3	62,4
	24,3	38,0	62,3
	24,3	37,9	62,2
	24,4	37,6	62,0
	24,0	38,4	62,4
	24,2	38,2	62,4
	24,2	38,3	62,5
	24,2	38,2	62,4
<b>Mittelwert</b>	<b>24,2</b>	<b>38,1</b>	<b>62,3</b>
<b>Standardabweichung</b>	<b>0,14</b>	<b>0,33</b>	<b>0,19</b>

Tabelle A

Damit hatte Chan eine verlässliche Methode zur Bestimmung der titrierbaren Säuren mit nur einem geringen Bedarf an Urin (1 ml) etabliert. Aber zu jener Zeit war eine Aussage über den Bicarbonat-Gehalt mittels Titration noch immer nicht möglich.

1973, ein Jahr später, erschien dann die Veröffentlichung von Lin und Chan<sup>177</sup>, in der erstmals die zuverlässige Bestimmung des Bicarbonat-Gehalts im Urin aufgezeigt werden konnte (siehe unten).

In der selben Veröffentlichung von 1972 stellte Chan<sup>174</sup> weitere Ergebnisse vor, die er bei der Untersuchung von verschiedenen Urin-Aufbewahrungsmöglichkeiten im Hinblick auf Veränderungen des NAC-Gehalts gewonnen hatte: er verglich die Ergebnisse von sofort bestimmtem NAC-Gehalt mit dem NAC-Gehalt in eingefrorenem Urin (-20°C), im Kühlschrank (+4°C) und bei Raumtemperatur (+20°C) aufbewahrtem Urin. Alle Proben waren verschlossen. Eingefrorene Proben wurden nach ca. 2-stündiger Auftauphase bei Raumtemperatur analysiert.

So konnte er aufzeigen, dass Urin über 24 Stunden bei Raumtemperatur aufbewahrt werden kann, ohne dass dadurch signifikante Unterschiede bei der NAC-Bestimmung verglichen mit der NAC-Sofortbestimmung auftreten. Ebenfalls zeigten sich in Urinen, die bei -20° über 30 Tage aufbewahrt worden waren, keine wesentlichen Unterschiede bei der NAC-Bestimmung. In den bei +4°C im Kühlschrank gelagerten Urinen ergab sich in einer von vier Proben eine deutliche Abweichung im NAC-Gehalt verglichen mit der NAC-Sofortbestimmung.

In *Tabelle B* werden die Ergebnisse der NAC-Bestimmung in Abhängigkeit von der Aufbewahrungsmethode der Urinproben aufgezeigt: Beim Vergleich von frisch analysiertem Urin und dem nach 24 Stunden bestimmten Urin zeigten sich bei den bei Raumtemperatur (22°C) und den bei -20° im Gefrierschrank aufbewahrten Urinen keine wesentlichen Unterschiede im NAC-Gehalt. Ebenfalls verglich er Urin nach 30 Tagen Aufbewahrung bei +4° und bei -20°. Der gefrorene Urin war bezüglich des NAC-Gehalts nach 30 Tagen ziemlich konstant geblieben, jedoch der bei +4°C gekühlte Urin zeigte zu diesem Zeitpunkt deutlichere Unterschiede.

**Urin Netto-Säurekonzentration (NAC) in mmol/l bei Urinen, die unter verschiedenen Bedingungen aufbewahrt wurden (Chan 1972)**

Analyse:	sofort	nach 24 h bei 22°C	nach 24 h bei -20°C	nach 30 Tagen bei +4°C	nach 30 Tagen bei -20°C
Person 1	25,0	26,1	26,1	24,8	24,1
Person 2	17,7	15,9	16,1	19,1	18,8
Person 3	28,1	24,8	25,1	28,6	28,3
Person 4	51,9	49,7	49,8	56,5	49,1

*Tabelle B*

Aus den Daten der *Tabelle C* hat Chan geschlossen, dass eine Aufbewahrung bei Raumtemperatur (+22°C) ohne grössere Abweichungen der NAC-Werte nur bis zu 24 Stunden möglich ist, weil sich nach 5 Tagen Aufbewahrung bei Raumtemperatur deutliche Unterschiede ergäben, dies könnte jedoch vermieden werden, wenn der Urin über diese 5 Tage eingefroren würde.

**Netto-Säurekonzentration (NAC) in mmol/l von 4 Urinen, die bei Raumtemperatur (+22°C) und bei -20°C aufbewahrt wurden (Chan 1972):**

Analyse:	sofort	nach 24 h bei 22°C	nach 24 h bei -20°C	nach 5 Tagen bei 22°C	nach 5 Tagen bei -20°C
Person 5	12,0	11,7	12,6	12,3	12,0
Person 6	14,2	15,1	14,7	16,3	14,4
Person 7	75,8	78,0	76,6	82,1	76,4
Person 8	86,4	85,4	87,4	83,4	83,1

*Tabelle C*

#### 2.2.1.4. Lin & Chan (1973)<sup>175</sup>

**Die im folgenden beschriebene Titrationsmethode von Lin & Chan ist die Grundlage der in dieser Dissertation verwendeten Urin-Bicarbonat-Bestimmung**

Bis 1973 beruhte die Messung des Urin-Bicarbonat-Gehalts allein auf der klassischen Van Slyke-Methode<sup>176,177</sup> von 1917 mit Vakuum-Extraktion und manometrischer Messung. Dieses Verfahren war sehr aufwendig, langsam und methodisch äusserst schwierig.

Die Methode, Bicarbonat-Konzentrationen durch Titration zu bestimmen, war bis dahin nur auf die Messung des Blut-Bicarbonat-Gehalts angewendet worden, nicht aber zur Bicarbonat-Bestimmung im Urin.

Im Jahre 1967 hatten Gyory und Edwards<sup>178</sup> eine titrimetrische Methode für die gleichzeitige Bestimmung von Urin-Bicarbonat und titrierbarer Säure vorgestellt, die bezüglich der Messgenauigkeit vergleichbar war mit der Messgenauigkeit des Van Slyke-Manometers. Aber Gyorys Methode war wiederum sehr unpraktisch, für Routineuntersuchungen nicht geeignet und benötigte zudem grössere Volumina an Urin.

Dem Prinzip der Gyory-Methode lag folgende Beobachtung zugrunde: wenn man nach Messung des Ausgangs-pH-Werts der Urinprobe eine definierte Menge an Säure zugibt, die sich dann mit dem in der Probe enthaltenen Bicarbonat verbindet, und den Urin, nachdem die Kohlensäure durch Kochen in Form von CO<sub>2</sub> ausgetrieben wurde, mit einer standardisierten

Natronlauge zu dem Endpunkt des gemessenen Ausgangs-pH-Wert rücktitriert, dann kann der Gehalt an Urin-Bicarbonat ausgerechnet werden.

Wird die Rücktitration bis zu einem angenommenen Blut-pH-Wert 7,40 vorgenommen, ergibt sich nur der Wert von titrierbarer Säure minus Bicarbonat<sup>174</sup>.

Wird nun aber die Titration zuerst zum Ausgangs-pH-Wert und dann zum physiologischen Blut-pH-Wert 7,40 durchgeführt, dann entspricht das zuerst gemessene Volumen dem Inhalt an Urin-Bicarbonat, die Differenz beider Volumina ergibt den Gehalt an titrierbarer Säure. Ausgangspunkt aller Berechnungen war die bereits auf S. 8 ff. beschriebene Formel von Pitts<sup>179</sup>:

$$\text{NAE} = \text{TA} + \text{NH}_4^+ - \text{HCO}_3^-.$$

Lin und Chan gelang nun durch Verwendung einer Autobürette eine schnelle, genaue und bequeme Methode zur Bicarbonat-Bestimmung, dabei benötigten sie nur 1 ml Urin.

### **Methodik:**

Mit einem pH-Meter wurden die Urin-pH-Werte von gesunden Probanden nach Alkalisierung durch Zugabe von Bicarbonat bestimmt. Jede Probe wurde zweifach untersucht: sowohl durch die zu etablierende Methode als auch mit dem Natelson Mikrogasometer<sup>180</sup>.

Nach Bestimmung des Ausgangs-pH-Wertes bei 37°C wird 1 ml Urin in ein Glas gefüllt, das 1 ml einer 0,1 N Salzsäure enthält; diese Mischung wird dann im Wasserbad für die Dauer von 10 Minuten gekocht, um alles enthaltene CO<sub>2</sub> auszutreiben ( $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wird mit 0,1 N Natronlauge (Autobürette) bei 37°C unter Einsatz eines Magnetrührers auf den Ausgangs-pH-Wert des Urins zurücktitriert. Gleichzeitig wird eine Probe, die 1 ml destilliertes Wasser und 1 ml einer 0,1 N Salzsäure enthält, identisch behandelt.

Rechnerisch kann die Menge an Urin-Bicarbonat in mEq/l bestimmt werden durch Multiplikation der Differenz des Volumens von Natronlauge, die für die Titration der Probe und für die Titration des destillierten Wassers verbraucht wurde, mit der Normalität der NaOH mal 1000:

$$\text{Urin-HCO}_3^- \text{ mEq/l} = \frac{\text{dVol NaOH ml}}{1 \text{ ml Probe}} \times 0,1 \text{ mEq/ml} \times 1000 \text{ ml/l}$$

Lin und Chan bestimmten jeweils parallel 2 bis 3 Proben des selben Urins. Die Standardabweichung ihrer Ergebnisse vom Mittelwert war kleiner 5%. Weiterhin zeigte der Vergleich der Titrationsergebnisse mit den Ergebnissen durch das Natelson-Microgasometer nur geringe Unterschiede ( $p > 0,3$ ).

## 2.3. DIE HENDERSON-HASSELBALCH-GLEICHUNG

### 2.3.1. Säuren und Basen:

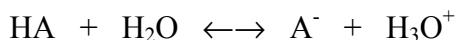
Nach Broensted (1879-1947) sind Säuren dadurch charakterisiert, daß sie Protonen abspalten (Protonendonatoren), und Basen dadurch, daß sie Protonen anlagern (Protonenakzeptoren). Diese Eigenschaft zeigen Säuren und Basen jedoch nur dann, wenn gleichzeitig eine Base vorhanden ist, die das Proton aufnimmt bzw. eine Säure, die das Proton abgibt. Das bedeutet, dass Protonen von einem Reaktionspartner auf einen anderen übertragen werden, der in wässrigen Systemen das Wassermolekül ist.

Die bei der Protonenabgabe einer Säure (Protolyse) entstehende Verbindung wird als (die zur Säure) konjugierte Base bezeichnet. Aus dem Wassermolekül entsteht durch die Protonenaufnahme das Hydroniumion ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ).

Säuren wie z.B. Kohlensäure können mehrere Protonen abgeben, sie spalten diese stufenweise ab. Ihre konjugierte Base  $\text{HCO}_3^-$  kann nochmals Protonen abgeben, wirkt also einer Base gegenüber als Säure. Von einer Säure kann  $\text{HCO}_3^-$  jedoch auch Protonen übernehmen und wirkt dieser gegenüber somit als Base. Derartige Verbindungen werden als Ampholyte (oder Zwitterionen) bezeichnet.

Das Gleichgewicht einer Protonenübertragung hängt davon ab, wie leicht die protonenabgebende Säure H<sup>+</sup>-Ionen abgibt bzw. die protonenaufnehmende Base Protonen aufnimmt, also von der Stärke der Säure (HA) bzw. der Base (A<sup>-</sup>).

Eine quantitative Bestimmung der Säure- bzw. Basenstärken kann durch die Gleichgewichtskonstante erfolgen, da der Dissoziationsvorgang schwacher Säuren dem Massenwirkungsgesetz gehorcht:



Die Geschwindigkeit v<sub>1</sub> der Hinreaktion wird bestimmt durch die Konzentration der Reaktionspartner und ist zur Konzentration der Säure (HA) und der Konzentration von Wasser proportional, dies kann durch eine Proportionalitäts- und Geschwindigkeitskonstante (k<sub>1</sub>) ausgedrückt werden, damit ist v<sub>1</sub> das Produkt aus den molaren Konzentrationen der Reaktanten (in mol/l) und k<sub>1</sub>, der Geschwindigkeitskonstanten für die Hinreaktion:

$$v_1 = k_1 [\text{HA}] \times [\text{H}_2\text{O}]$$

Für die Rückreaktion gilt entsprechend:

$$v_2 = k_2 [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{A}^-]$$

Während der Hinreaktion sinkt im Verlauf die Konzentration von HA, dadurch sinkt die Reaktionsgeschwindigkeit v<sub>1</sub>. Gleichzeitig steigt durch Umwandlung von HA in A<sup>-</sup> und H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> deren Konzentration und damit steigt auch die Reaktionsgeschwindigkeit der Rückreaktion v<sub>2</sub>. Schliesslich werden Konzentrationen erreicht, an denen v<sub>1</sub> und v<sub>2</sub> gleich sind. Wenn v<sub>1</sub> gleich v<sub>2</sub> ist, dann gilt:

$$k_1 \cdot [HA] \times [H_2O] = k_2 \cdot [H_3O^+] \times [A^-]$$

oder:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA] \times [H_2O]}$$

Der Quotient  $k_1/k_2$  kann durch die Gleichgewichts- oder Dissoziationskonstante K ersetzt werden, die bei bekannten Konzentrationen der Reaktionspartner errechnet werden kann:

$$K = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA] \times [H_2O]}$$

Zur Vereinfachung kann  $H_3O^+$  durch  $H^+$  ersetzt werden und bei praktisch gleichbleibender Konzentration der Wassermoleküle ist somit:

$$K = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}$$

Verdünnte Lösungen wie das Blutplasma oder der Urin werden durch die elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen vollständig dissoziierten Ionen unterschiedlicher Ladung beeinflusst. Dadurch verhalten sich die Ionen so, als wären sie teilweise undissoziiert. Für exaktere Berechnungen dieser Flüssigkeiten muß deshalb statt der Dissoziationskonstanten K die **scheinbare Dissoziationskonstante K'** eingesetzt werden, die aus der Dissoziationskonstanten K und der Ionenstärke errechnet wird. Unter Berücksichtigung der Aktivität wird aus obiger Gleichung:

$$K' = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}$$

K-Werte von Säuren, z.B. von Kohlensäure/Bicarbonat, können in wässriger Lösung von den entsprechenden  $K'$ -Werten in biologischen Flüssigkeiten (Blut, Urin) aufgrund des Einflusses der Ionenkonzentration erheblich abweichen.

Gebräuchlicher als die Angabe von K- oder  $K'$ -Werten in Zehnerpotenzen ist für die Berechnung der Dissoziationskonstanten der negative dekadische Logarithmus der Konstanten, der als pK oder  $pK'$  bezeichnet wird:

$$-\log K = pK$$

oder

$$-\log K' = pK'$$

Die Dissoziationskonstanten und pK-Werte des Kohlensäure/Bicarbonat-Systems betragen bei 25°C:

	Dissoziationskonstante K (25°C)	pK (-log K) (25°C)
Kohlensäure / Bicarbonat	$1,32 \times 10^{-4}$	3,88
	$4,45 \times 10^{-7}$	6,35

Als Puffersystem des menschl. Organismus hat das Kohlendioxid/Bicarbonat-System im Blut eine scheinbare Dissoziationskonstante  $pK' = 6,10$  bei Körpertemperatur.

### **2.3.2. pH-Wert und Wasserstoffionenkonzentration**

Der pH-Wert ist definitionsgemäß der negative dekadische Logarithmus der H<sup>+</sup>-Ionenkonzentration

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+].$$

Neutralpunkt einer Lösung ist bekannterweise pH 7,00, pH-Werte < 7,00 entsprechen dem sauren, pH-Werte > 7,00 dem alkalischen Bereich.

Der übliche pH-Wert des Urins befindet sich beim Gesunden zwischen pH 5,6 und 7,0.

### **2.3.3. Zur mathematischen Behandlung von Puffersystemen**

Puffersysteme sind definiert als ein System aus einer schwachen Säure und ihrer konjugierten Base. Die Konzentration von H<sup>+</sup>-Ionen in einem Puffersystem (schwache Säure HA und konjugierte Base A<sup>-</sup>) der Gleichung

$$K = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad \text{nach H}^+ \text{ aufgelöst ergibt:}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K \cdot [\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$$

Durch Logarithmierung aller Glieder der Gleichung entsteht:

$$-\log [H^+] = -\log K - \log \frac{[HA]}{[A^-]}$$

oder, weil  $-\log K = pK$

und  $-\log [H^+] = pH$

$$pH = pK + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$pH = pK + \log \frac{[\text{konjugierte Base}]}{[\text{Säure}]}$$

Diese Gleichung nach **J. Henderson** (1912) und **K.A. Hasselbalch** (1916) ist die mathematische Grundlage zur Rechnung mit Puffersystemen.

Hierbei ist besonders zu erwähnen, daß der pH-Wert eines Puffersystems nicht nur durch die Konzentration der konjugierten Base und Säure, sondern v.a. durch das Verhältnis der Konzentrationen zueinander bestimmt wird.

Sind zwei von drei Größen der Gleichung bekannt, dann kann die dritte berechnet werden. Sind die Konzentration von konjugierter Base und Säure gleichgross, so wird der logarithmische Ausdruck Null und man erhält

$$pK = pH.$$

Ist das Verhältnis von konjugierter Base und Säure gleich 10:1, so beträgt der pH-Wert  $pK+1$ , da der Logarithmus von 10 eins ist.

### 2.3.4. Mathematische Behandlung des Kohlensäure-Bicarbonat-Puffers

In biologischen und damit elektrolythaltigen Lösungen dient, wie oben erwähnt, folgende Formel zur Berechnung der einzelnen enthaltenen Größen:

$$\text{pH} = pK' + \log \frac{\text{Base}}{\text{Säure}}$$

Ist bei dem Kohlendioxid/Bicarbonat-Puffer das Verhältnis:

$$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{CO}_2} = \frac{24}{1,2} = 20$$

dann ist - weil der dekadische Logarithmus von 20 1,3 ist - der  $pK'$ -Wert des Kohlendioxid/Bicarbonat-Puffers im Blut bei 38°C 6,10.

Normalerweise ist Pufferkapazität dann am grössten, wenn Säure und Base in äquivalenten Konzentrationen vorliegen. Bei Äquivalenz der Säure- und Basenkonzentration entspricht demzufolge der  $pK'$ -Wert dem pH-Wert. Die Pufferkapazität ist definitionsgemäß diejenige Menge an Säure oder Base, die einem Liter Lösung zugesetzt werden muß, um den pH-Wert um 1,0 zu verändern. Die Pufferkapazität des Blutes beträgt bei einer Pufferbasen-Gesamtkonzentration von 40 mval/l bei pH 7,40 und bei konstantem  $\text{pCO}_2$  etwa 75 mmol/l mal Delta pH. Die Pufferkapazität bei einem bestimmten pH ist also das Verhältnis: Zugabe von  $\text{H}^+$  bzw.  $\text{OH}^-$  pro Volumen pro pH-Änderung, entsprechend der Steilheit der Titrationskurve des Puffers.

Auf der Grundlage der Henderson-Hasselbalch-Gleichung wird der pH-Wert durch das Verhältnis der Konzentration der Pufferpaare bestimmt<sup>181,182</sup>, in einer Bicarbonat-Lösung also durch das Verhältnis der Konzentrationen von Bicarbonat und von physikalisch gelöstem Kohlendioxid<sup>183,184,185,186</sup>. Da im Blut die Konzentration von Bicarbonat 24 mmol/l, die des physikalisch gelösten Kohlendioxids 1,2 mmol/l beträgt, entspricht das Verhältnis dem Wert:

$$\text{pH} = 6,1 + \log \frac{24}{1,2}$$

$$\text{pH} = 6,1 + \log 20$$

$$\text{pH} = 6,1 + 1,3$$

$$\text{pH} = 7,40$$

In einem geschlossenen System wäre der Bicarbonat-Kohlendioxid-Puffer ein äusserst uneffizienter Puffer, da der *pK'*-Wert mit 6,10 relativ weit vom physiologischen Blut-pH-Wert entfernt ist. Da sich in einem geschlossenen System genauso viel Puffersäure bildet wie Pufferbase verbraucht wird, würden sich die genannten Ausgangswerte 24 mmol/l / 1,2 mmol/l bei Zugabe von allein 2 mmol/l H<sup>+</sup> auf 22 mmol/l / 3,2 mmol/l verändern und damit würde der pH-Wert auf 6,93 absinken<sup>187</sup>. Da nun der Bicarbonat-Kohlendioxid-Puffer in Verbindung mit der Ladung ein offenes System ist, kann das entstehende CO<sub>2</sub> abgeatmet werden<sup>188,189,190</sup>. In dem eben aufgeführten Beispiel würde sich also der Ausgangswert von 24 mmol/l / 1,2 mmol/l bei Zugabe von 2 mmol/l H<sup>+</sup> nur auf 22 mmol/l / 1,2 mmol/l ändern, d.h. der pH-Wert würde nur auf einen Wert von 7,36 fallen.

Eine erhöhte H<sup>+</sup>-Zufuhr führt zu einem erhöhten pCO<sub>2</sub> im Blut (H<sup>+</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O). Das Mehrangebot an CO<sub>2</sub> wird in der Lunge rasch abgeatmet, so dass sich der arterielle pCO<sub>2</sub> trotz einer H<sup>+</sup>-Ionenzufuhr praktisch nicht ändert<sup>191,192,193,194</sup>. Bei einem physiologischen Blut-pH-Wert von 7,40 (streng genommen handelt es sich um den Plasma-pH-Wert, da beim pH-Messen im Blut die Glaselektroden mit dem Plasma in Kontakt stehen und der intraerythrocytäre pH-Wert von 7,28-7,29 nicht miterfasst wird)<sup>195,196,197,198,199,200</sup> beteiligt sich das offene Bicarbonat-Kohlendioxid-Puffersystem, wie schon an anderer Stelle ausgeführt, zu 2/3 an der Pufferkapazität des Blutes. Das andere Drittel wird durch die überwiegend intrazellulär lokalisierten Nicht-Bicarbonat-Puffer bewirkt.

In der Henderson-Hasselbalch-Gleichung geht in die Bestimmung des pH-Wertes das Verhältnis der Bicarbonat-Konzentration zur Kohlendioxidkonzentration mit ein. Die Kohlendioxidkonzentration ergibt sich aus dem Produkt  $\alpha * pCO_2$ :

$$[CO_2] = \alpha * pCO_2$$

(Löslichkeitskoeffizient  $\alpha = 0,225 \text{ mmol/l/kP}$ , bzw.  $\alpha = 0,03 \text{ mmol/l/mmHg}$ )

## 2.4. DIE VON HASTINGS MODIFIZIERTE HENDERSON-HASSELBALCH-GLEICHUNG

Im Jahre 1925 veröffentlichten **A.B. Hastings<sup>201</sup>** und **J. Sendroy jr.** eine Arbeit über die Auswirkung verschiedener Ionenstärken auf die scheinbare erste und zweite Dissoziationskonstante der Kohlensäure.

Das Ziel war, in biologischen Lösungen wie Blut oder Urin die Ionenstärke in die Berechnungen des pK-Wertes der Kohlensäure mit einzubeziehen.

Vorausgehende Untersuchungen anderer Wissenschaftler<sup>202,203,204,205</sup> hatten empirische Daten über das Verhalten von stark elektrolythaltigen Lösungen erbracht; experimentell hatte sich bereits abgezeichnet, daß das Verhalten von starken Elektrolyten in mäßig verdünnten Lösungen abweichend war von ihrem Verhalten in unendlich verdünnten Lösungen, dies konnte annäherungsweise in folgender empirischer Gleichung ausgedrückt werden:

Wenn	$\alpha$	=	die Aktivität
	$\gamma$	=	der Aktivitätskoeffizient und
	$c$	=	die molare Konzentration eines Ions, dann
	$\alpha$	=	$\gamma c$ .

Der Aktivitätskoeffizient hat eine Beziehung zur Ionenkonzentration einer Lösung gemäss der empirischen Formel

$$-\log \gamma = \beta v^2 \sqrt{\mu}$$

wobei  $\beta$  = eine empirisch bestimmte Konstante mit dem Wert von ca. 0,50  
 $v$  = die Wertigkeit der Ionen  
 $\mu$  = die Ionenstärke, die definiert ist als  $1/2 \sum cv^2$ .

Auf der Grundlage dieser empirischen Formel führten Hastings und Sendroy Untersuchungen zur ersten ( $pK_1$ ) und zweiten ( $pK_2$ ) Dissoziationskonstanten der Kohlensäure durch, indem sie  $pK_1'$  und  $pK_2'$  der Kohlensäure in verschiedenen starken elektrolythaltigen Lösungen bestimmten. Walker und Cormack<sup>206</sup> sowie Kendall<sup>207</sup> hatten bereits für  $K_1 3,11 \times 10^{-7}$  bei 18°C und damit einen  $pK_1$ -Wert von 6,507 bei 18° ermittelt. Kendalls Werte differierten minimal, für  $pK_1$  erhielt er 6,656 bei 0°C und 6,460 bei 25°, dies entspricht für  $pK_1$  einem Unterschied von 0,0078 pro Grad Celsius, Kendalls errechneter Wert für  $pK_1$  bei 38° liegt bei 6,36. Hastings ermittelter Wert für  $pK_1$  liegt bei 38°C bei 6,33.

Das Massenwirkungsgesetz für die Ionisierung von Kohlensäure als Ausdruck der Aktivität ist

$$\frac{\alpha_{H\bullet} * \alpha_{HCO_3'}}{\alpha_{H_2CO_3}} = K_1$$

in logarithmierter Form:

$$\log \alpha_{H\bullet} + \log \alpha_{HCO_3'} - \log \alpha_{H_2CO_3} = \log K_1$$

wobei  $\alpha$  die Aktivität jeder einzelnen Komponente repräsentiert. Für  $\alpha_{\text{HCO}_3'}$  kann man  $\gamma_1 [\text{HCO}_3']$  schreiben, wobei  $\gamma_1$  den Aktivitätskoeffizienten des  $\text{HCO}_3'$ -Ions bezeichnet. Weil die Aktivität eines Gases proportional ist zu seiner Ausdehnung, kann man schreiben

$$\alpha_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{p_{\text{CO}_2}}{760} * \frac{\alpha_{\text{CO}_2}}{0,0224}$$

wobei  $p_{\text{CO}_2}$  den Partialdruck von  $\text{CO}_2$  beschreibt und  $\alpha_{\text{CO}_2}$  die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  in der Lösung bei dieser Temperatur.

Wenn man gemäss den Empfehlungen von Sørensen und Linderström-Lang<sup>208</sup>  $p_{\alpha\text{H}}$  für  $-\log \alpha_{\text{H}^+}$  schreibt, ergibt sich durch Einsetzen in obige Gleichung

$$- p_{\alpha\text{H}} + \log [\text{HCO}_3'] - \log p_{\text{CO}_2} - \log \frac{\alpha_{\text{CO}_2}}{760 * 0,0224} = \log K_1 - \log \gamma_1$$

Somit ist aufgrund der Bestimmung der Beziehung zwischen  $pK_I'$  (und konsequenterweise  $\log \gamma_1$ ) und der Ionenstärke einer Lösung:

$$pK_I' = - \log K_I' = pK_1 + \log \gamma_1.$$

Wie eingangs aufgezeigt, ist

$$-\log \gamma_1 = 0,5 \sqrt{\mu}$$

Damit hat nach Hastings die scheinbare erste Dissoziationskonstante der Kohlensäure die Beziehung zur Ionenstärke einer Lösung (unter Verwendung des von ihm experimentell gefundenen Wertes für  $pK_1$  der Kohlensäure = 6,33) gemäß der Gleichung bei 38°C:

$$pK_I' = 6,33 - 0,5 \sqrt{\mu}.$$

Wird nun in den Ausdruck

$$-\log \gamma_1 = 0,5 \sqrt{\mu}$$

anstelle von  $\mu$  eingesetzt:  $(c_1v^2 + c_2v^2 + \dots + c_nv^2)$ , wobei  $c$  = molare Konzentration eines Ions ist und  $v$  = Wertigkeit des Ions, ergibt sich

$$pK_I' = 6,33 - 0,5 \sqrt{c_1v^2 + c_2v^2 + \dots + c_nv^2}$$

Wird dieser Ausdruck für  $pK_I'$  in die Henderson-Hasselbalch-Gleichung eingesetzt, ergibt sich nach Umformung der Gleichung:

$$\text{pH} = 6,33 - 0,5 \sqrt{c_1v^2 + c_2v^2 + \dots + c_nv^2} + \log \frac{\text{Base}}{\text{Säure}}$$

$$\text{pH} = 6,33 - 0,5 \sqrt{c_1v^2 + c_2v^2 + \dots + c_nv^2} + \log \frac{\text{HCO}_3}{\text{CO}_2}$$

$$\log \frac{\text{HCO}_3}{\text{CO}_2} = \text{pH} - (6,33 - 0,5 \sqrt{c_1v^2 + c_2v^2 + \dots + c_nv^2})$$

$$\frac{\text{HCO}_3}{\text{CO}_2} = 10^{\text{pH} - (6,33 - 0,5 \sqrt{c_1v^2 + c_2v^2 + \dots + c_nv^2})}$$

$$\text{HCO}_3 = 10^{\text{pH} - (6,33 - 0,5 \sqrt{c_1v^2 + c_2v^2 + \dots + c_nv^2}) * \text{CO}_2}$$

$$\text{HCO}_3 = 10^{\text{pH} - (6,33 - 0,5 \sqrt{c_1v^2 + c_2v^2 + \dots + c_nv^2}) + \log \text{CO}_2}$$

Da sich die Kohlendioxidkonzentration aus dem Produkt

$$\alpha * \text{pCO}_2 \quad (\text{wobei } \alpha = 0,03 \text{ mmol/l} \times \text{mmHg}^{-1})$$

ergibt und wenn die Wertigkeit und die Konzentration der Urin-Kationen Natrium und Kalium miteinbezogen werden, ergibt sich

#### die von Hastings modifizierte Henderson-Hasselbalch-Gleichung:

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mmol/l)} = 10^{\text{pH} - (6,33 - 0,5 \sqrt{(\text{Na}^+ \text{ mol/l} + \text{K}^+ \text{ mol/l})}) + \log (0,03 * \text{pCO}_2)}$$

Zur Berechnung des Bicarbonat-Gehalts im Urin sind also der pH-Wert, der pCO<sub>2</sub>-Wert sowie die Konzentration von Urin-Natrium und Urin-Kalium in mol/l (bzw. in mmol/l / 1000) in obige Gleichung einzusetzen.

Die Original-Version der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung benützt für Urin einen pK<sub>1</sub>-Wert von 6,33 bei 38°C<sup>209,210</sup>, die Bestimmung der Parameter pH und pCO<sub>2</sub> hat somit bei 38° C zu erfolgen.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass in Kendalls<sup>205</sup> pK<sub>1</sub>-Ergebnissen pro Grad Celsius eine Differenz von 0,0078 vorliegt, ergibt sich dementsprechend bei **Raumtemperatur (20°C)** für Urin ein **pK<sub>1</sub>-Wert von 6,47**, rückgerechnet von Hastings pK<sub>1</sub>-Wert 6,33 für 38°C (siehe *Tab. D*, S. 31).

In der vorliegenden Arbeit wurde der pCO<sub>2</sub>-Wert im Blutgasanalyse-Gerät bei 37,5°C ermittelt, der Urin-pH-Wert wurde zweifach bestimmt, einerseits mit dem pH-Meter bei Raumtemperatur (20°C), andererseits im Blutgasanalyse-Gerät bei 37,5°C; es wurden für die von Hastings modifizierte Henderson-Hasselbalch-Gleichung verschiedene Varianten gebildet, die die verschiedenen Temperaturen der pH-Wert-Messung sowie die dadurch erforderlichen pK-Werte berücksichtigen. In der folgenden Tabelle sind die pK<sub>1</sub>-Werte für den Temperaturbereich von 0 – 38° Celsius aufgelistet:

## Änderung des $pK_1$ –Wertes der Kohlensäure in Abhängigkeit von der Temperatur

<b>Temperatur</b>	<b><math>pK_1</math> bei Hastings</b>
bei 38°C	6,3300
bei 37°C	6,3378
bei 36°C	6,3456
bei 35°C	6,3534
bei 34°C	6,3612
bei 33°C	6,3690
bei 32°C	6,3768
bei 31°C	6,3846
bei 30°C	6,3924
bei 29°C	6,4002
bei 28°C	6,4080
bei 27°C	6,4158
bei 26°C	6,4236
bei 25°C	6,4314
bei 24°C	6,4392
bei 23°C	6,4470
bei 22°C	6,4548
bei 21°C	6,4626
<b>bei 20°C</b>	<b>6,4704</b>
bei 19°C	6,4782
bei 18°C	6,4860
bei 17°C	6,4938
bei 16°C	6,5016
bei 15°C	6,5094
bei 14°C	6,5172
bei 13°C	6,5250
bei 12°C	6,5328
bei 11°C	6,5406
bei 10°C	6,5484
bei 9°C	6,5562
bei 8°C	6,5640
bei 7°C	6,5718
bei 6°C	6,5796
bei 5°C	6,5874
bei 4°C	6,5952
bei 3°C	6,6030
bei 2°C	6,6108
bei 1°C	6,6186
bei 0°C	6,6264

Tabelle D

### **3. EXPERIMENTELLER TEIL**

#### **Einleitender Überblick:**

Im Kapitel „**3.1. Material und Methodik**“ werden die zu den experimentellen Untersuchungen benutzten Laborgeräte und Arbeitsschritte aufgeführt. Es folgt „**3.2. Vorversuche**“, hier werden zum einen rein rechnerisch der Einfluss der Parameter pH, pCO<sub>2</sub>, Natrium und Kalium auf den Bicarbonat-Gehalt im Urin bei der Messmethode nach Hastings untersucht; zum anderen wird bezüglich der Messmethode mittels Titration die Notwendigkeit von jeweils neu durchzuführenden Kontrollproben mit destilliertem Wasser diskutiert. Schliesslich folgen Untersuchungen über den Einfluss der Aufbewahrungsart von Urin auf die Bicarbonat-Konzentration, das Kapitel schliesst mit einer Empfehlung zur Urinaufbewahrung. In Kapitel „**3.3. Hauptversuche**“ wird unter „**3.3.1. Bestimmung von Bicarbonat in „künstlichen Urinen“ mittels Titration und nach der Methode von Hastings (in den Hastings-Varianten I+, II+, I-, II-, O+, O-)**“ zunächst der Bicarbonat-Gehalt in „künstlichen Urinen“ mittels Titration und nach der Methode von Hastings bestimmt. Der Nachteil von den verwendeten „künstlichen Urinen“ ist, dass es sich um Elektrolyt-Lösungen handelt, die keine Proteine enthalten und damit Bestandteile des Urins mit Pufferwirkung nicht berücksichtigen, der Vorteil jedoch ist, dass genau bekannt ist, wieviel Bicarbonat in den einzelnen Proben tatsächlich enthalten ist. Insgesamt wurden „künstlichen Urine“ in vier Konzentrationsstufen angesetzt und untersucht. Dabei wurde von jeder Konzentrationsstufe zehn mal der Bicarbonat-Gehalt mit den einzelnen Messmethoden gemessen, um die Dispersionsparameter, also die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert zu bestimmen. Durch Ermittlung der Standardabweichungen, der Mittelwerte und der Variationskoeffizienten kann so die „Genauigkeit“ und „Zuverlässigkeit“ der einzelnen Messmethode angegeben werden (Reliabilitäts- und Validitäts-Prüfung). Unter „**3.3.2. Bestimmung des Bicarbonat-Gehalts in „echten“ Urinproben mittels Titration und nach der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung (in den Hastings-Varianten I+, II+, I-, II-, O+, O-) vor und nach Zugabe von KHCO<sub>3</sub>**“ wird der Bicarbonat-Gehalt von insgesamt 48 verschiedenen „echten“ Urinen mittels Titration und nach der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung im direkten Vergleich untersucht. In allen aufgestellten Vergleichen werden die Bicarbonat-Messwerte der Titrationsmethode als Referenzwerte zugrundegelegt und die Abweichungen der durch die

Hastings-Methode erhaltenen Bicarbonat-Messwerte von den Titrationswerten dargestellt. Ein Problem ergab sich dadurch, dass die untersuchten Urine überwiegend kein oder nur geringe Bicarbonat-Konzentrationen enthielten. Aus diesem Grund wurden die Urinproben mit einer jeweils bekannten Kalumbicarbonat-Lösung alkalisiert, dadurch konnten die Untersuchungen mittels Titration und nach der Hastings-Methode bei verschiedenen Bicarbonat-Konzentrationsstufen durchgeführt werden: Messreihe A zeigt die unveränderten nativen Urinproben ohne Zugabe von Kalumbicarbonat. Zu den 48 Urinproben wurden jeweils definierte Mengen einer einmolaren  $\text{KHCO}_3$ -Lösung zugegeben (0,5 ml: Meßreihe B; 1,0 ml: Meßreihe C; 2,0 ml: Meßreihe D). Erneut wurde der Bicarbonat-Gehalt mittels Titration und nach der Hastings-Formel in den veränderten Urinproben gemessen.

Die in der Literatur verwendete von Hastings modifizierte Henderson-Hasselbalch-Gleichung enthält den pK-Wert 6,33, der es notwendig macht, dass die in die Hastings-Gleichung einzusetzenden Parameter pH-Wert und  $\text{pCO}_2$ -Wert bei der Temperatur 38°C bestimmt werden. Der pH-Wert wurde in der vorliegenden Untersuchung zweifach bestimmt, einerseits mittels pH-Meter bei Raumtemperatur (+20°C), andererseits im Blutgasanalysegerät bei 37,5°C. Die Messung des  $\text{pCO}_2$  erfolgte durchgängig bei 37,5°C im Blutgasanalysegerät. Um diesen unterschiedlichen Messbedingungen gerecht zu werden, wurden die sogenannten Hastings-Varianten „Hastings I+, II+, I-, II-, O+, O-“ gebildet. Für die Messtemperatur 20°C wird demzufolge der pK-Wert 6,47 in die Gleichung eingesetzt („Hastings I+, I-“), beachtenswert ist allerdings, dass der  $\text{pCO}_2$ -Wert bei 37,5°C gemessen wurde und damit der pK-Wert 6,47 nur für die pH-Messtemperatur richtig verwendet wird. Die Varianten „Hastings II+, II-“ beinhalten den pK-Wert 6,33 für 38°C, hier wurde der pH-Wert bei 20°C, der  $\text{pCO}_2$ -Wert bei 37,5°C gemessen, somit ist hier der pK-Wert 6,33 nur richtig verwendet für die  $\text{pCO}_2$ -Messtemperatur. Bei den Varianten „Hastings O+, O-“ wird der pK-Wert 6,33 für 38°C verwendet, gemessen wurden der pH- und der  $\text{pCO}_2$ -Wert bei 37,5°C.

Zur Veranschaulichung, wie stark sich die Einbeziehung der Urin-Kationen Natrium und Kalium auf die Urin-Bicarbonat-Messergebnisse auswirken, wurden die Varianten „+“ und „-“ gebildet: „+“ beinhaltet die Berücksichtigung von Natrium und Kalium, „-“ ohne Berücksichtigung von Natrium und Kalium.

### **3.1. MATERIAL UND METHODIK**

Bei den Vor- und Hauptversuchen wurden folgende Geräte benutzt und folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

#### **MATERIAL:**

- pH-Meter WTW pH 530 (Wissenschaftlich-technische Werkstätten Weilheim)
- pH-Elektrode (Mettler Toledo U 402-M6-S7/100)
- Eichpufferlösungen pH=9,0 (20°C), pH=7,0 (20°C), pH=4,0 (20°C)
- Automatic Blood-Gas-System AVL 995
- Synchron CX-5 Clinical System (Beckmann), flammenfotometrische Bestimmung der Elektrolyte Natrium und Kalium.
- Digitale Bürette (Bürette Digital II, 50 ml), Firma Brand
- Macro-Pipettierhelper, Firma Brand
- Eppendorf Pipetten (500 µl)
- 10ml-Pipetten
- 50ml-Gläschen (Firma Schott, Duran)
- beheizte Magnetrührerplatte und Magnetstäbe
- Blutgaskapillaren
- Sterile 10ml-Urin-Röhrchen mit Kappe
- Salzsäure, HCl 0,1 mol/l (0,1N), bicarbonatfrei, Merck
- Natronlauge, NaOH 0,1 mol/l (0,1N), bicarbonatfrei, Merck
- Natriumbicarbonat, NaHCO<sub>3</sub> 1 mol/l (NaHCO<sub>3</sub> 84,0 g/l)
- Aqua ad iniektabilia

## METHODIK:

### Titration:

Aus einem 100ml-Sammelgefäß wurden 10 ml frisch gewonnener Urin mit einer 10ml-Pipette und einem Macro-Pipettierhelfer (Macro-Pipettierhelfer, Firma Brand) in ein 50ml-Gläschen gefüllt. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur wurde der pH-Wert mit dem pH-Meter (WTW pH 530, Wissenschaftlich-Technische Werkstätten Weilheim) gemessen, zuvor wurde die pH-Elektrode (Mettler Toledo U 402-M6-S7/100) bei Raumtemperatur mit den Eichpufferlösungen (pH=9,0 (+20°C), pH=7,0 (+20°C), pH=4,0 (+20°C) geeicht.

Mit einer digitalen Bürette (Bürette Digital II, 50 ml, Firma Brand) wurden 10 ml 0,1-molare Salzsäure (HCl 0,1 mol/l = 0,1 N, bicarbonatfrei, Merck) zugegeben und die Probe wurde über 10 Minuten im kochenden Wasserbad unter zusätzlichem Umrühren mit einem Magnetrührer erhitzt. Hierbei wurde das Reaktionsgleichgewicht der Gleichung



nach rechts verschoben und das entstandene CO<sub>2</sub> durch Kochen vollständig ausgetrieben. Dabei wurde stöchiometrisch HCl verbraucht.

Nach anschliessendem Abkühlen auf Raumtemperatur wurde die Urinprobe mit einer zweiten digitalen Bürette mit 0,1-molarer Natronlauge (NaOH 0,1 mol/l = 0,1 N, bicarbonatfrei, Merck) auf den ursprünglichen Urin-pH-Wert zurücktitriert. Hierbei wurde ebenfalls stöchiometrisch entsprechend dem ursprünglichen Gehalt an HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> weniger NaOH verbraucht. Durch Subtraktion von vorgegebener HCl (10 ml) minus verbrauchter NaOH ließ sich der Bicarbonatgehalt der Urinprobe errechnen:

**Bezogen auf eine 10ml-Urinprobe wird der durch Titraton ermittelte Urin-Bicarbonatgehalt wie folgt errechnet:**

$$\text{HCO}_3^- (\text{mmol/l}) = \frac{\text{dVol NaOH (ml)} * 10}{10 \text{ ml Probe}} * 0,1 \text{ mmol/ml} * 1000 \text{ ml/l}$$

### **Messmethode nach Hastings:**

Von einer frisch entnommenen Urinprobe (genaue Menge in diesem Fall nicht bedeutend) wurde der pH-Wert mit einem pH-Meter (WTW pH 530, Wissenschaftlich-Technische Werkstätten Weilheim) bei Raumtemperatur gemessen, zuvor wurde die pH-Elektrode (Mettler Toledo U 402-M6-S7/100) bei Raumtemperatur mit Eichpufferlösungen (pH=9,0 (+20°C), pH=7,0 (+20°C), pH=4,0 (+20°C) geeicht.

Der pCO<sub>2</sub>-Wert wurde mit dem Blutgasanalysegerät (Automatic Blood-Gas-System AVL 995) bei 37,5°C gemessen (Einführen des Urins mit einer Blutgas-Kapillare). Ebenso wurde im Blutgasanalysegerät der pH-Wert der Urinprobe bei 37,5°C bestimmt.

Die Natrium- und Kalium-Konzentrationen des Urins wurden flammenfotometrisch untersucht (Synchron CX-5 Clinical System, Beckmann).

Die Parameter pH-Wert, pCO<sub>2</sub>, Natrium- und Kalium-Konzentration wurden anschliessend in die von Hastings modifizierte Henderson-Hasselbalch-Gleichung eingesetzt und so der Urin-Bicarbonatgehalt errechnet:

### **Für die Original-Hastings-Gleichung mit pK = 6,33 (Messtemperatur 38°C):**

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mmol/l)} = 10 \frac{\text{pH} - (6,33 - 0,5 \sqrt{(\text{Na}^+ \text{ mol/l} + \text{K}^+ \text{ mol/l})})}{\log(0,03 * \text{pCO}_2)}$$

### **Für die Hastings-Gleichung mit pK = 6,47 (Messtemperatur 20°C):**

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mmol/l)} = 10 \frac{\text{pH} - (6,47 - 0,5 \sqrt{(\text{Na}^+ \text{ mol/l} + \text{K}^+ \text{ mol/l})})}{\log(0,03 * \text{pCO}_2)}$$

Die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium werden in der Konzentration mol/l (bzw. mmol/l / 1000) in die Gleichung eingesetzt.

## **3.2. VORVERSUCHE**

### **3.2.1 Untersuchungen über den Einfluss von pH, pCO<sub>2</sub>, Natrium und Kalium auf den nach Hastings berechneten Bicarbonat-Gehalt eines Urins**

In diesen Versuchen sollte unter anderem herausgefunden werden, wie gross der Einfluss der einzelnen Parameter (pH, pCO<sub>2</sub>, Natrium und Kalium) auf das Ergebnis des errechneten Bicarbonat-Gehalts bei der Bestimmungsmethode nach Hastings ist. Von den vier Parametern wurde jeweils einer variiert und die drei übrigen konstant gehalten. Dazu wurden folgende 12 Tabellen (4 \* 3 Tabellen) rein rechnerisch erstellt. So wurde in den ersten drei Tabellen der Einfluss eines steigenden pH-Wertes auf den Bicarbonat-Gehalt bei drei unterschiedlichen pCO<sub>2</sub>-Werten ermittelt, in den folgenden drei Tabellen der Einfluss eines steigenden pCO<sub>2</sub>-Werts und in den letzten sechs Tabellen der Einfluss steigender Natrium- und Kaliumwerte bei jeweils drei unterschiedlichen pH-Werten. In den Tabellen mit steigenden Natriumwerten liegen die Kaliumwerte konstant bei 50 mmol/l, in den Tabellen mit steigenden Kaliumwerten liegen die Natriumwerte konstant bei 100 mmol/l.

In den 12 Tabellen werden von links nach rechts folgende Parameter aufgelistet: 1. Spalte: pH-Wert; 2. Spalte: pCO<sub>2</sub> in mmHg; 3. Spalte: Natrium in mmol/l, 4. Spalte: Kalium in mmol/l; 5. Spalte: HCO<sub>3</sub> in mmol/l; 6. Spalte: HCO<sub>3</sub> in %.

**Nach Hastings berechneter  $\text{HCO}_3^-$ -Gehalt eines Urins bei steigendem pH-Wert  
(Spalte 1) und konstantem Natrium- und Kalium-Gehalt bei  $\text{pCO}_2$  50 mmHg  
(Tab. , Diagr. 1), 100 mmHg (Tab. , Diagr. 2) und 150 mmHg (Tab. , Diagr. 3)**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mmHg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
6,5	50	150	100	3,95	100
6,6	50	150	100	4,97	126
6,7	50	150	100	6,25	158
6,8	50	150	100	7,87	200
6,9	50	150	100	9,91	251
7,0	50	150	100	12,48	316
7,1	50	150	100	15,71	398
7,2	50	150	100	19,77	501
7,3	50	150	100	24,89	631
7,4	50	150	100	31,34	794
7,5	50	150	100	39,45	1000

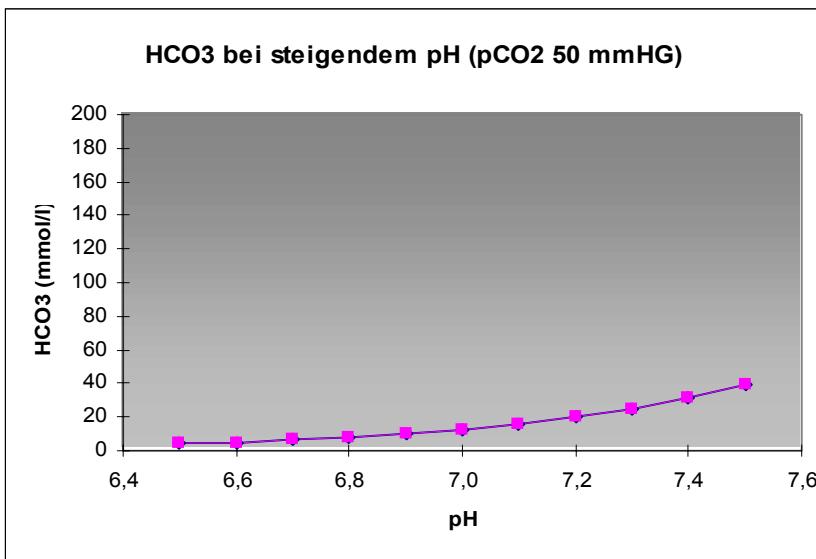
**Tab. 1**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mmHg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
6,5	100	150	100	7,89	100
6,6	100	150	100	9,93	126
6,7	100	150	100	12,51	158
6,8	100	150	100	15,74	200
6,9	100	150	100	19,82	251
7,0	100	150	100	24,95	316
7,1	100	150	100	31,41	398
7,2	100	150	100	39,55	501
7,3	100	150	100	49,79	631
7,4	100	150	100	62,68	794
7,5	100	150	100	78,91	1000

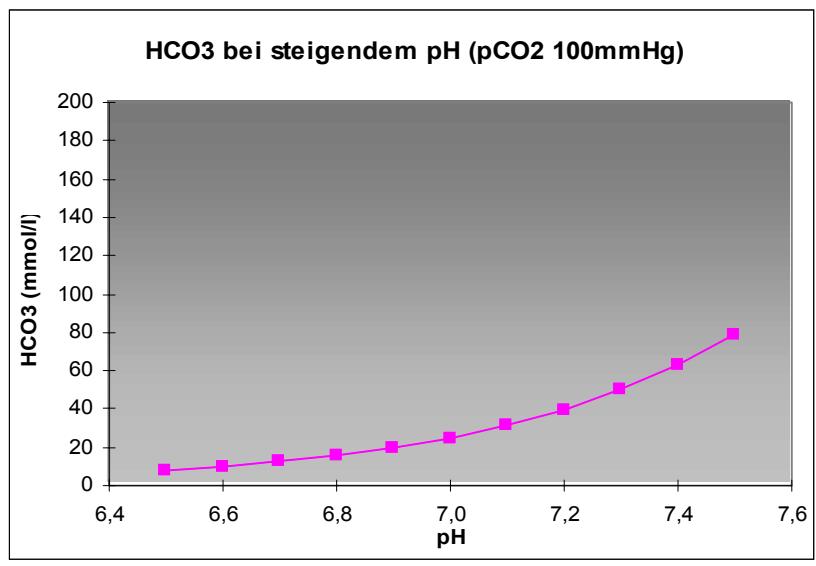
**Tab. 2**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mmHg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
6,5	150	150	100	11,84	100
6,6	150	150	100	14,90	126
6,7	150	150	100	18,76	158
6,8	150	150	100	23,62	200
6,9	150	150	100	29,73	251
7,0	150	150	100	37,43	316
7,1	150	150	100	47,12	398
7,2	150	150	100	59,32	501
7,3	150	150	100	74,68	631
7,4	150	150	100	94,02	794
7,5	150	150	100	118,36	1000

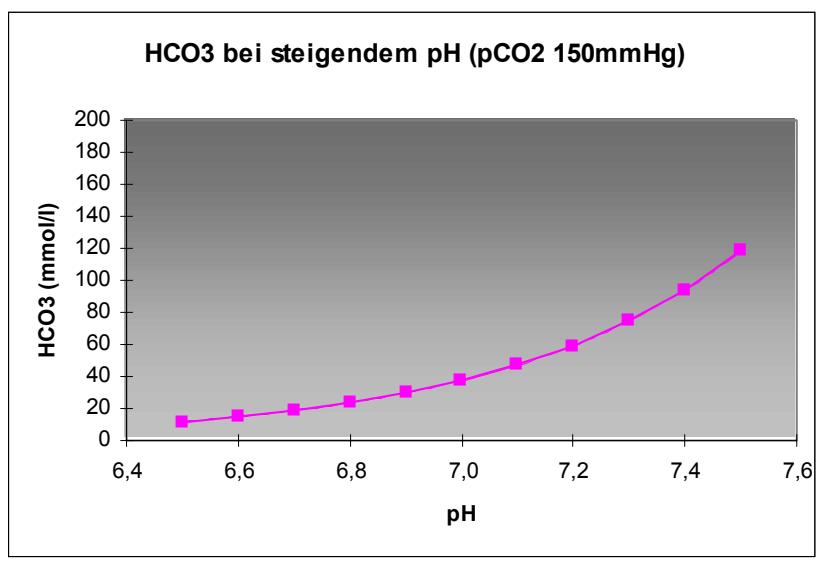
**Tab. 3**



Diagr. 1



Diagr. 2



Diagr. 3

**Nach Hastings berechneter  $\text{HCO}_3^-$ -Gehalt eines Urins bei steigendem  $\text{pCO}_2$  (Spalte 2) und konstantem Natrium- und Kalium-Gehalt bei pH-Wert 6,5 (Tab. , Diagr. 4), pH 7,0 (Tab. , Diagr. 5) und pH 7,5 (Tab. , Diagr. 6)**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mm Hg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
6,5	20	150	100	1,58	100
6,5	40	150	100	3,16	200
6,5	60	150	100	4,73	300
6,5	80	150	100	6,31	400
6,5	100	150	100	7,89	500
6,5	120	150	100	9,47	600
6,5	140	150	100	11,05	700
6,5	160	150	100	12,63	800
6,5	180	150	100	14,20	900
6,5	200	150	100	15,78	1000

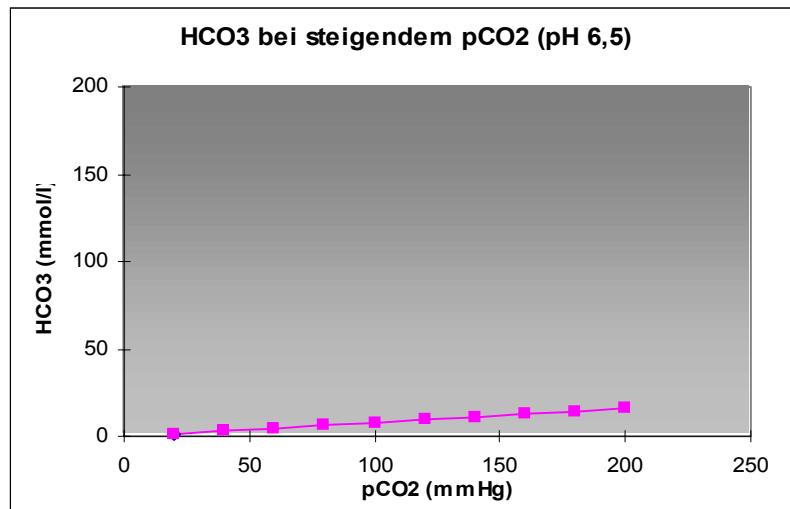
**Tab. 4**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mm Hg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
7,0	20	150	100	4,99	100
7,0	40	150	100	9,98	200
7,0	60	150	100	14,97	300
7,0	80	150	100	19,96	400
7,0	100	150	100	24,95	500
7,0	120	150	100	29,94	600
7,0	140	150	100	34,93	700
7,0	160	150	100	39,92	800
7,0	180	150	100	44,92	900
7,0	200	150	100	49,91	1000

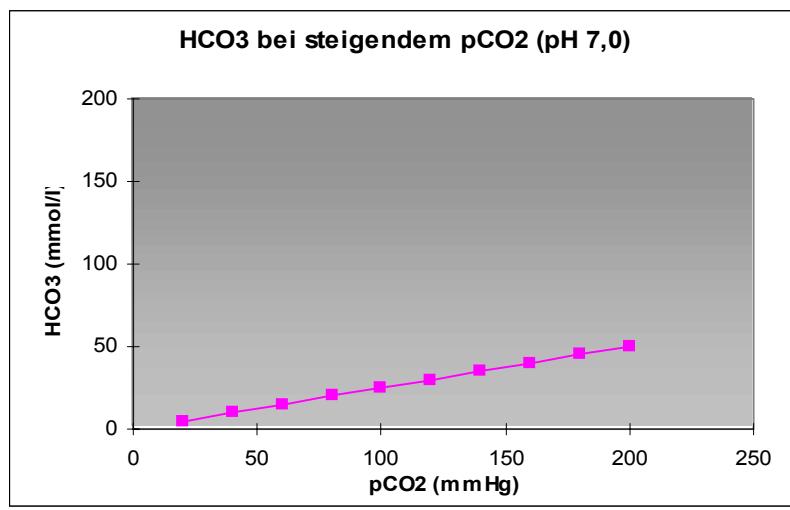
**Tab. 5**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mm Hg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
7,5	20	150	100	15,78	100
7,5	40	150	100	31,56	200
7,5	60	150	100	47,34	300
7,5	80	150	100	63,13	400
7,5	100	150	100	78,91	500
7,5	120	150	100	94,69	600
7,5	140	150	100	110,47	700
7,5	160	150	100	126,25	800
7,5	180	150	100	142,03	900
7,5	200	150	100	157,82	1000

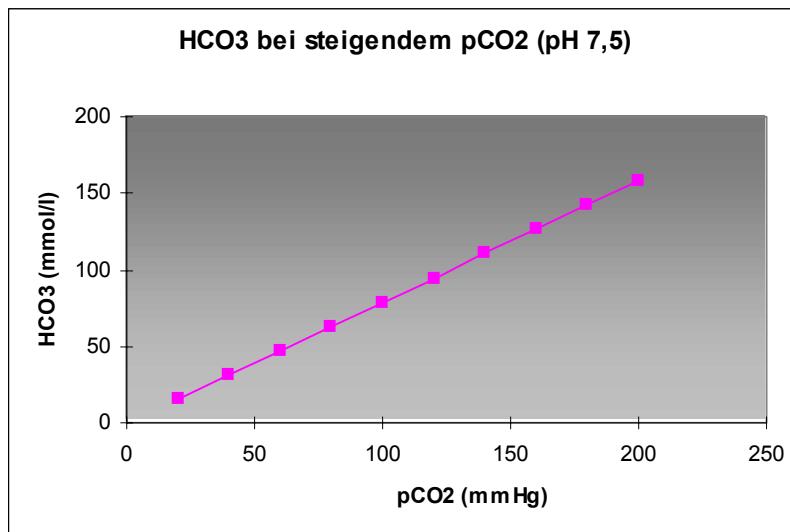
**Tab. 6**



Diagr. 4



Diagr. 5



Diagr. 6

**Nach Hastings berechneter  $\text{HCO}_3^-$ -Gehalt eines Urins bei steigendem Natrium  
(Spalte 3) und konstantem  $\text{pCO}_2$ -Gehalt, konstantem Kalium bei pH-Wert 6,5  
(Tab. , Diagr. 7), pH 7,0 (Tab. , Diagr. 8) und pH 7,5 (Tab. , Diagr. 9)**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mmHg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
6,5	100	20	50	6,02	100
6,5	100	40	50	6,27	103
6,5	100	60	50	6,50	105
6,5	100	80	50	6,72	108
6,5	100	100	50	6,93	111
6,5	100	120	50	7,13	113
6,5	100	140	50	7,33	116
6,5	100	160	50	7,52	118
6,5	100	180	50	7,71	121
6,5	100	200	50	7,89	123

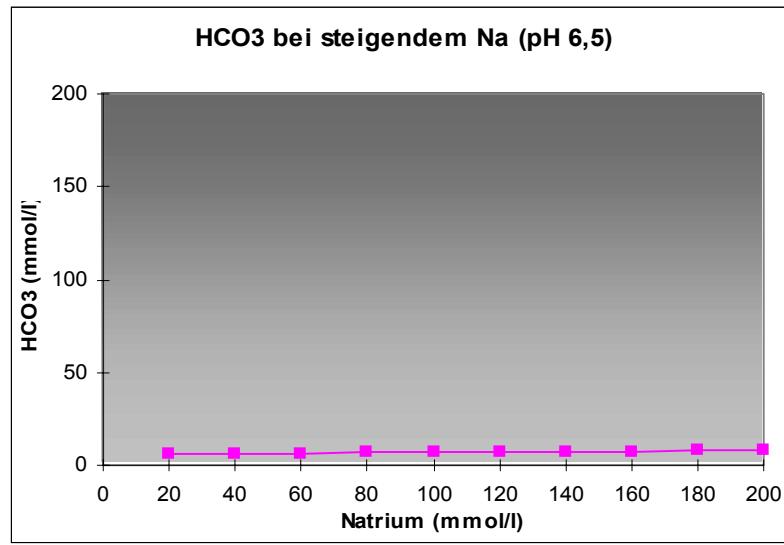
**Tab. 7**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mmHg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
7,0	100	20	50	19,03	100
7,0	100	40	50	19,82	103
7,0	100	60	50	20,56	105
7,0	100	80	50	21,25	108
7,0	100	100	50	21,92	111
7,0	100	120	50	22,56	113
7,0	100	140	50	23,18	116
7,0	100	160	50	23,78	118
7,0	100	180	50	24,37	121
7,0	100	200	50	24,95	123

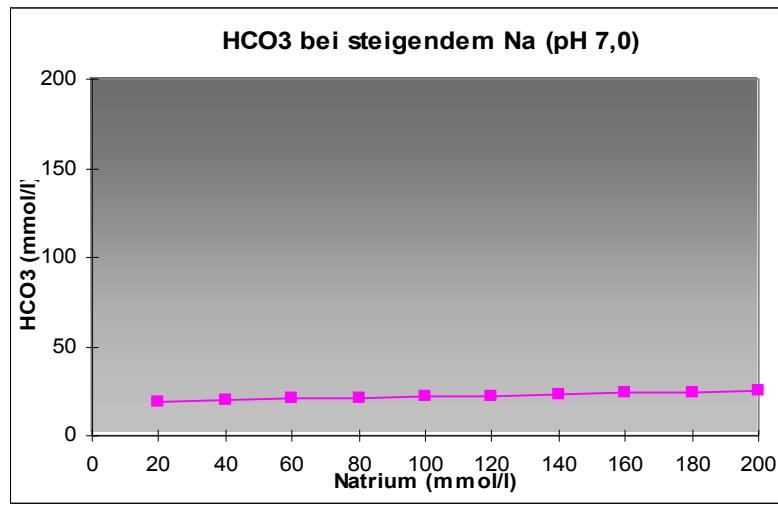
**Tab. 8**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mmHg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
7,5	100	20	50	60,17	100
7,5	100	40	50	62,68	103
7,5	100	60	50	65,01	105
7,5	100	80	50	67,20	108
7,5	100	100	50	69,31	111
7,5	100	120	50	71,33	113
7,5	100	140	50	73,29	116
7,5	100	160	50	75,21	118
7,5	100	180	50	77,07	121
7,5	100	200	50	78,91	123

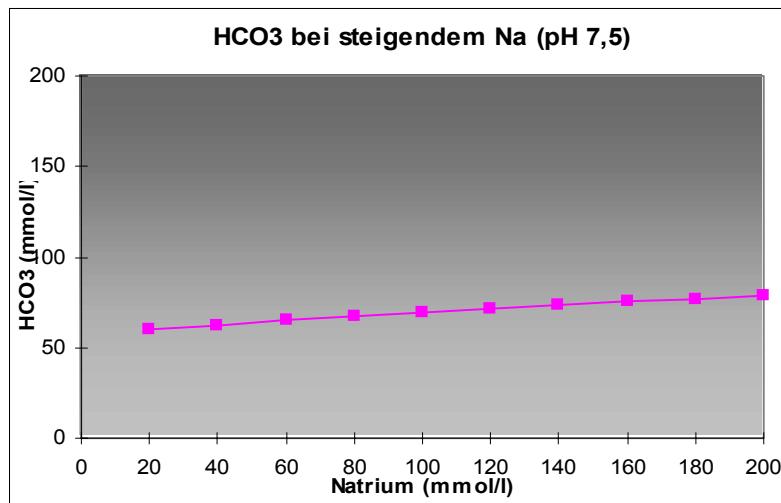
**Tab. 9**



Diagr. 7



Diagr. 8



Diagr. 9

**Nach Hastings berechneter  $\text{HCO}_3^-$ -Gehalt eines Urins bei steigendem Kalium (Spalte 4) und konstantem  $\text{pCO}_2$ -Gehalt, konstantem Natrium bei pH-Wert 6,5 (Tab. , Diagr. 10), pH 7,0 (Tab. , Diagr. 11) und pH 7,5 (Tab. , Diagr. 12)**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mmHg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
6,5	100	100	20	6,61	100
6,5	100	100	40	6,83	102
6,5	100	100	60	7,03	104
6,5	100	100	80	7,23	107
6,5	100	100	100	7,43	109
6,5	100	100	120	7,61	111
6,5	100	100	140	7,80	113
6,5	100	100	160	7,98	115
6,5	100	100	180	8,16	117
6,5	100	100	200	8,34	119

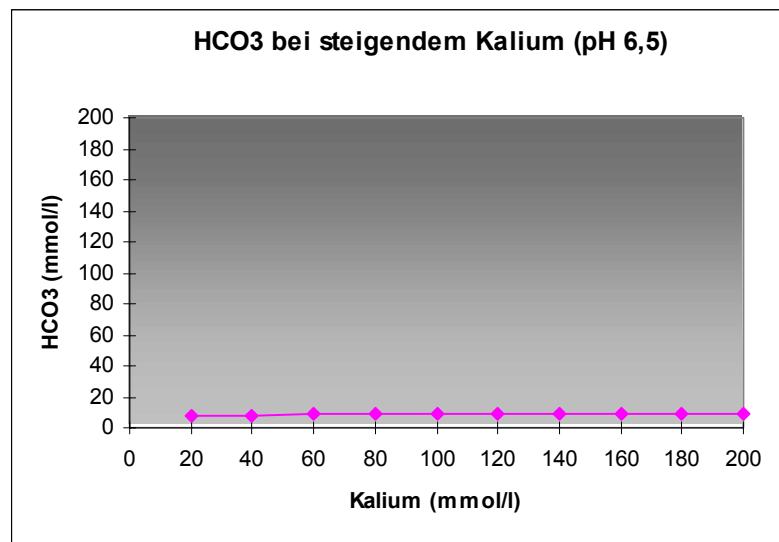
**Tab. 10**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mmHg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
7,0	100	100	20	20,91	100
7,0	100	100	40	21,59	102
7,0	100	100	60	22,24	104
7,0	100	100	80	22,87	107
7,0	100	100	100	23,48	109
7,0	100	100	120	24,08	111
7,0	100	100	140	24,66	113
7,0	100	100	160	25,24	115
7,0	100	100	180	25,80	117
7,0	100	100	200	26,36	119

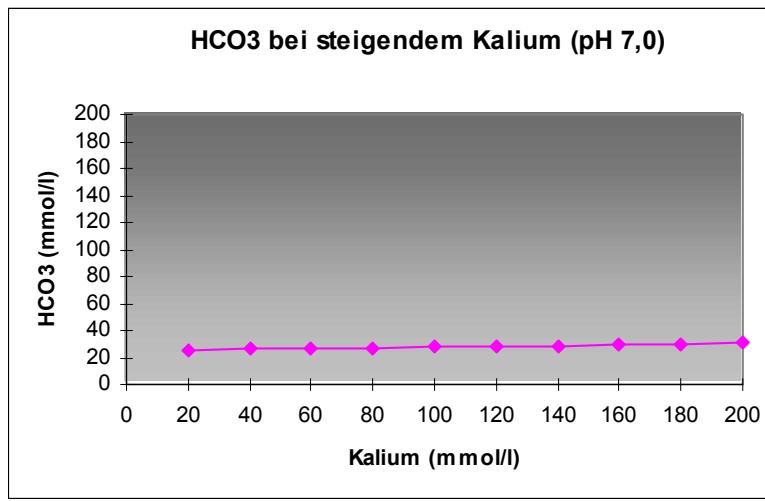
**Tab. 11**

U pH	U $\text{pCO}_2$ mmHg	U Na mmol/l	U K mmol/l	U $\text{HCO}_3$ mmol/l	HCO3 in %
7,5	100	100	20	66,12	100
7,5	100	100	40	68,27	102
7,5	100	100	60	70,33	104
7,5	100	100	80	72,32	107
7,5	100	100	100	74,26	109
7,5	100	100	120	76,15	111
7,5	100	100	140	78,00	113
7,5	100	100	160	79,81	115
7,5	100	100	180	81,60	117
7,5	100	100	200	83,36	119

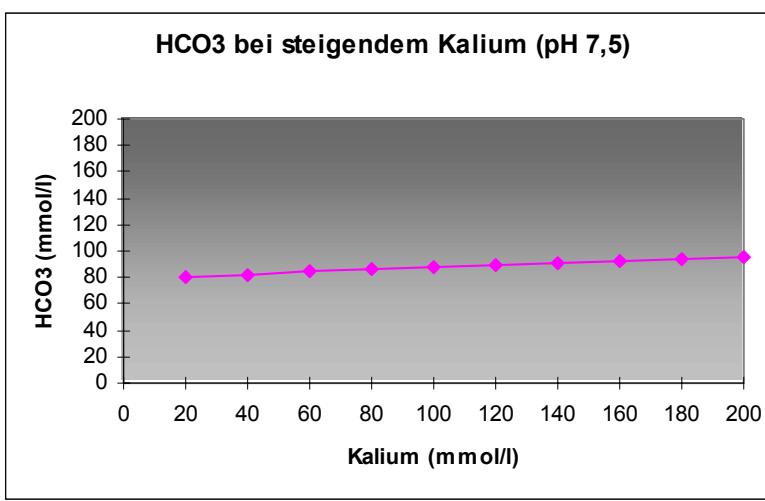
**Tab. 12**



Diagr. 10



Diagr. 11



Diagr. 12

## **Beschreibung der Ergebnisse der rein mathematischen Berechnungen des Bicarbonat-Gehalts in Urinen mit variierenden pH, pCO<sub>2</sub>, Natrium- und Kalium-Konzentrationen nach Hastings:**

### **Einfluss des pH-Wertes auf den Bicarbonat-Gehalt eines Urins.**

Mit steigendem pH (von 6,5 auf 7,5) steigt der HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Gehalt des Urins (von 3,95 auf 39,45 mmol/l) (Tabelle 1), also um das zehnfache oder auf 1000%. Der Anstieg des HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> lässt sich gleichförmig (d.h. jeweils um das zehnfache) nachweisen unabhängig vom pCO<sub>2</sub> (hier errechnet für 50, 100 oder 150 mmHg; siehe Tabellen 1,2,3 und Diagramme 1,2,3). Mathematisch lässt sich dieses dadurch erklären, dass der pH-Wert in der Formel nach Hastings als Exponent auftritt und eine Vergrößerung des pH-Wertes um 1 (von pH 6,5 auf 7,5) im Ergebnis zu einer Verzehnfachung des Bicarbonat-Gehaltes führt.

### **Einfluss von pCO<sub>2</sub>-Änderungen auf den Bicarbonat-Gehalt eines Urins.**

Mit steigendem pCO<sub>2</sub> (von 20 auf 200 mmHg) steigt der HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Gehalt des Urins (von 1,58 auf 15,78 mmol/l) (Tabelle 4), also ebenfalls um das zehnfache oder auf 1000%. Der Anstieg des HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> lässt sich wieder gleichförmig (d.h. jeweils um das zehnfache) nachweisen unabhängig vom pH-Wert (hier errechnet für die pH-Werte 6,5, 7,0 und 7,5; siehe Tabellen 4,5,6 und Diagramme 4,5,6). Mathematisch lässt sich dieses wiederum dadurch erklären, dass der pCO<sub>2</sub>-Wert in der Formel nach Hastings als Exponent auftritt und eine Verzehnfachung des pCO<sub>2</sub>-Wertes von 20 auf 200 im Ergebnis zu einer Verzehnfachung des Bicarbonat-Gehalts führt.

### **Einfluss der Elektrolytkonzentrationen auf den Bicarbonat-Gehalt eines Urins.**

Mit steigenden Natrium-Konzentrationen von 20 auf 200 mmol/l (bei konstanten Kalium-Werten von 50 mmol/l) steigt der HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Gehalt des Urins um den Faktor 1,23 sowohl bei einem pH-Wert von 6,5, 7,0 und 7,5 (Tabelle 7,8,9 und Diagramme 7,8,9). Mit steigenden Kalium-Konzentrationen von 20 auf 200 mmol/l (bei konstanten Natrium-Werten von 100 mmol/l) steigt der HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Gehalt des Urins um den Faktor 1,19 sowohl bei einem pH-Wert von 6,5, 7,0 und 7,5 (Tabelle 10,11,12, Diagramme 10,11,12). Mathematisch lässt sich dieses dadurch erklären, dass von der Summe der Elektrolytkonzentrationen zunächst die Wurzel gezogen und dieser Wert nochmals halbiert werden muss.

Bewertung: Als Schlussfolgerung aus diesen theoretischen Berechnungen der Bicarbonat-Konzentration ergibt sich, dass in der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung Schwankungen der  $\text{pCO}_2$ - bzw. der pH-Werte einen sehr großen Einfluss, Schwankungen der Elektrolytkonzentrationen Natrium und Kalium dagegen einen geringeren Einfluss auf den errechneten Bicarbonat-Gehalt haben. Trotzdem gilt es zu beachten: selbst wenn eine Änderung des Bicarbonat-Gehaltes um 19% bzw. 23% bei einer Verzehnfachung der Elektrolytkonzentrationen relativ klein ist im Verhältnis zur Änderung um 1000% bei einem pH-Wert-Anstieg von 6,5 auf 7,5, dürfen die Elektrolytkonzentrationen nicht vernachlässigt werden. Vor allem im Hinblick auf die Absolutwerte ist bei alkalischen Urinen (hoher pH-Wert) eine Änderung des Bicarbonat-Gehaltes um 19 % bzw. 23 % durchaus von Bedeutung.

### 3.2.2. Der Bicarbonat-Wasserwert

#### **Bicarbonat-Bestimmung in Kontrollproben aus destilliertem Wasser mittels Titration**

Bei den Methoden zur Bestimmung des Säure- und Bicarbonat-Gehaltes im Urin mittels Titration wird von verschiedenen Autoren<sup>165,173</sup> gefordert, dass parallel zur Titration der Urinproben als Kontrolle auch die Titration einer Probe mit destilliertem Wasser durchzuführen ist (Bestimmung des Bicarbonat-Gehaltes des Wassers). Dieser Wert muss vom Bicarbonat-Gehalt des Urins abgezogen werden, um den wahren Bicarbonat-Gehalt des Urins zu ermitteln. Um zu prüfen, wie notwendig jeweils eine solche parallel durchgeführte Kontrollmessung ist, wurde in dieser zweiten Vorversuchs-Serie insgesamt zwanzig mal der Bicarbonat-Gehalt von destilliertem Wasser mittels Titration ermittelt (Bicarbonat-Wasserwert). Der Versuchsablauf entsprach demjenigen bei der Titration von Urin; Ausgangsvolumen war dementsprechend auch ein Volumen von 10 ml.

In den folgenden drei Tabellen wird aufgelistet: der Ausgangs-pH des destillierten Wassers, der pH-Wert nach Zugabe von 10 ml 0,1-molarer Salzsäure, die Menge (ml) 0,1-molarer Natronlauge, die zugegeben werden musste, um möglichst nah auf den ursprünglichen pH-Wert zurückzutitrieren, und der pH-Wert nach der Rücktitration.

**Bestimmung des Bicarbonat-Gehalts in Kontrollproben mit destilliertem Wasser:**

**Tabellen 13 - 15:**

Probenreihe A Probe Nr.	Ausgangs-pH-Wert	Zugabe von 0,1 molarer Salzsäure in ml	pH-Wert nach Zugabe der Salzsäure	Rücktitration durch Zugabe von 0,1 molarer Natronlauge in ml	pH-Wert nach Rücktitration mit Natronlauge
1	5,58	10,00	1,29	9,86	6,87
2	5,58	10,00	1,34	10,18	6,18
3	5,58	10,00	1,36	10,06	6,49
4	5,58	10,00	1,32	9,96	5,92
5	5,58	10,00	1,37	9,90	6,50
6	5,58	10,00	1,40	10,28	6,30
7	5,58	10,00	1,43	10,07	6,61
Durchschnittswerte	5,58	10,00	1,36	10,04	6,41

**Tab. 13**

Probenreihe B Probe Nr.	Ausgangs-pH-Wert	Zugabe von 0,1 molarer Salzsäure in ml	pH-Wert nach Zugabe der Salzsäure	Rücktitration durch Zugabe von 0,1 molarer Natronlauge in ml	pH-Wert nach Rücktitration mit Natronlauge
1	5,76	10,00	1,43	10,02	5,54
2	5,76	10,00	1,40	10,04	5,82
3	5,76	10,00	1,41	10,06	5,68
4	5,76	10,00	1,39	10,08	6,60
5	5,76	10,00	1,41	10,15	6,94
6	5,76	10,00	1,40	10,12	6,31
7	5,76	10,00	1,41	9,92	6,25
Durchschnittswerte	5,76	10,00	1,41	10,06	6,16

**Tab. 14**

Probenreihe C Probe Nr.	Ausgangs-pH-Wert	Zugabe von 0,1 molarer Salzsäure in ml	pH-Wert nach Zugabe der Salzsäure	Rücktitration durch Zugabe von 0,1 molarer Natronlauge in ml	pH-Wert nach Rücktitration mit Natronlauge
1	5,70	10,00	1,34	10,11	7,05
2	5,70	10,00	1,32	9,96	7,64
3	5,70	10,00	1,33	10,09	7,16
4	5,70	10,00	1,30	10,06	6,04
5	5,70	10,00	1,35	9,93	7,16
6	5,70	10,00	1,38	10,13	6,99
Durchschnittswerte	5,70	10,00	1,34	10,05	7,01

**Tab. 15**

Bewertung der Ergebnisse:

Trotz Verwendung feinster Pipettierhilfen gelang es in allen drei Messreihen nicht, exakt auf den ursprünglichen pH-Wert zurückzutitrieren. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass die Titrationskurve von destilliertem Wasser mit Salzsäure und Natronlauge in dem Bereich von pH 4 bis 10 (pH 7,0 +/- 3) extrem steil verläuft und nur kleinste Mengen an zugegebener Natronlauge große pH-Sprünge verursachen.

Es wurde in den meisten Fällen knapp über den ursprünglichen pH-Wert hinaus titriert, so dass letztlich etwas zuviel Natronlauge zugegeben worden ist. Durchschnittlich wurden statt der erwarteten 10,00 ml bei Probereihe A 10,04 ml, bei Probereihe B 10,06 ml und bei Probereihe C 10,05 ml für die Rücktitration benötigt. Damit nähert sich aber rechnerisch die tatsächlich benötigte Menge Natronlauge - die zusätzliche Menge von durchschnittlich 0,05 ml ist ja schon sehr gering - der Menge an eingesetzter Salzsäure, d.h., dass in destilliertem Wasser eine durchschnittliche Bicarbonat-Konzentration von 0,0-0,5 mmol/l anzunehmen ist.

**Bewertung:** Der Bicarbonat-Wasserwert beträgt nach unseren Untersuchungen nicht mehr als durchschnittlich 0,5 mmol/l. Dieser Wert ist so klein, dass er aus unserer Sicht vernachlässigt werden kann. In den Hauptversuchen (Titration des Bicarbonat-Gehaltes in „künstlichen“ und echten Urinen) wurde deswegen auf die Kontrollproben mit destilliertem Wasser verzichtet.

### 3.2.3 Untersuchungen über den Einfluss der Aufbewahrung von Urin auf die Bicarbonat-Konzentration

Nicht immer ist es unter klinischen Bedingung möglich, frisch gewonnenen Urin sofort auf seinen Bicarbonat-Gehalt hin zu untersuchen. Wir haben deshalb geprüft, ob und wie sich die Bicarbonat-Konzentration des Urins abhängig von Dauer und Art der Lagerung ändert. Chan hatte bereits 1972<sup>211</sup> Untersuchungen zu verschiedenen Aufbewahrungsmöglichkeiten von Urin-Proben im Hinblick auf Veränderungen der **Nettosäurekonzentration (NAC)** durchgeführt. Er hatte insgesamt 8 Urinproben untersucht und für Urin als Alternative zur Sofort-Untersuchung zwei Möglichkeiten der Aufbewahrung empfohlen:

- 1.) Die Urin-Probe wird verschlossen mit einer Kappe und bei Zimmertemperatur (20°C) bis zu 24 Stunden aufbewahrt und dann untersucht.
- 2.) Die Urin-Probe wird verschlossen, sofort eingefroren (-20°C) und innerhalb von vier Wochen untersucht. Das Auftauen erfolgt bei Zimmertemperatur über ca. zwei Stunden, anschliessend wird sofort die Untersuchung durchgeführt.

Nun wird in der vorliegenden Arbeit nicht die NAC gemessen, sondern der Bicarbonat-Gehalt, der durch die Art der Aufbewahrung unterschiedlich beeinflusst werden könnte. Wir haben deshalb in Urin-Proben, die verschieden lange bei unterschiedlichen Temperaturen aufbewahrt worden waren, den Bicarbonat-Gehalt vergleichend gemessen.

#### Methodik:

Die Bicarbonat-Messung erfolgte hier mit Hilfe der Titrations-Methode bei Raumtemperatur. Es wurde in insgesamt 10 verschiedenen frischen nativen Urin-Proben jeweils sofort mittels Titration der Urin-Bicarbonat-Gehalt gemessen. Dann wurden die Urin-Proben auf vier verschiedene Arten aufbewahrt:

1. Die Urin-Proben wurden aufbewahrt in offenen Röhrchen bei Zimmertemperatur (+20°C), die Bicarbonat-Messungen erfolgten nach 24 und 48 Stunden.
2. Die Urin-Proben wurden aufbewahrt in verschlossenen Röhrchen bei Zimmertemperatur (+20°C), die Bicarbonat-Messungen erfolgten nach 24 und 48 Stunden und nach 7 Tagen.
3. Die Urin-Proben wurden aufbewahrt in verschlossenen Röhrchen im Kühlschrank (+4°C), die Bicarbonat-Messungen erfolgten nach 24 und 48 Stunden und nach 7 Tagen.
4. Die Urinproben wurden aufbewahrt in verschlossenen Röhrchen im Gefrierschrank (-18°C), die Bicarbonat-Messungen erfolgten nach 7 Tagen.

# Einfluss der Art der Aufbewahrung auf die Bicarbonat-Konzentration im Urin

Temperatur: 20°

offen

Temperatur: 20°

verschlossen

Temperatur: 4°

verschlossen

Temperatur: -18°

verschlossen

Probe	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> in mmol/l			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> in mmol/l				HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> in mmol/l				HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> in mmol/l	
	0 h	24 h	48 h	0 h	24 h	48 h	7 d	0 h	24 h	48 h	7 d	0 h	7 d
1	16,4	0,0	0,1	16,4	16,5	17,2	59,5	16,4	17,1	16,9	14,0	16,4	7,1
2	27,1	3,8	0,2	27,1	26,7	27,5	22,0	27,1	26,7	28,1	24,8	27,1	15,7
3	35,4	9,1	0,4	35,4	35,5	38,0	37,1	35,4	39,0	41,5	34,5	35,4	27,8
4	46,1	9,3	0,0	46,1	46,5	51,0	40,1	46,1	45,4	51,2	42,5	46,1	37,3
5	59,9	30,1	5,7	59,9	59,9	66,5	46,3	59,9	64,7	69,4	60,7	59,9	51,9
6	64,3	16,5	3,4	64,3	66,9	69,5	62,5	64,3	67,9	78,6	65,2	64,3	58,5
7	75,3	16,8	4,2	75,3	45,9	50,4	42,7	75,3	81,9	87,5	75,4	75,3	74,1
8	90,8	33,5	4,7	90,8	88,6	113,2	131,3	90,8	85,7	99,2	90,8	90,8	80,1
9	99,9	57,8	37,0	99,9	99,5	134,4	149,4	99,9	106,9	109,9	97,4	99,9	89,9
10	101,9	56,1	23,0	101,9	102,2	122,7	134,9	101,9	105,9	124,7	91,7	101,9	88,4

Probe	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Gehalt in %			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Gehalt in %				HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Gehalt in %				HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Gehalt in %	
	0 h	24 h	48 h	0 h	24 h	48 h	7 d	0 h	24 h	48 h	7 d	0 h	7 d
1	100,0	0,0	0,6	100,0	100,6	104,9	362,8	100,0	104,3	103,0	85,4	100,0	43,3
2	100,0	14,0	0,7	100,0	98,5	101,5	81,2	100,0	98,5	103,7	91,5	100,0	57,9
3	100,0	25,7	1,1	100,0	100,3	107,3	104,8	100,0	110,2	117,2	97,5	100,0	78,5
4	100,0	20,2	0,0	100,0	100,9	110,6	87,0	100,0	98,5	111,1	92,2	100,0	80,9
5	100,0	50,3	9,5	100,0	100,0	111,0	77,3	100,0	108,0	115,9	101,3	100,0	86,6
6	100,0	25,7	5,3	100,0	104,0	108,1	97,2	100,0	105,6	122,2	101,4	100,0	91,0
7	100,0	22,3	5,6	100,0	55,8	61,2	51,9	100,0	108,8	116,2	100,1	100,0	98,4
8	100,0	36,9	5,2	100,0	97,6	124,7	144,6	100,0	94,4	109,3	100,0	100,0	88,2
9	100,0	57,9	37,0	100,0	99,6	134,5	149,5	100,0	107,0	110,0	97,5	100,0	90,0
10	100,0	55,1	22,6	100,0	100,3	120,4	132,4	100,0	103,9	122,4	90,0	100,0	86,8
MW	100,0	30,8	8,8	100,0	95,8	108,4	128,9	100,0	103,9	113,1	95,7	100,0	80,2
StA		18,9	12,0		14,1	19,4	87,9		5,2	6,8	5,6		16,8
VaK		61,3	136,7		14,8	17,9	68,2		5,0	6,1	5,8		21,0

Aufbewahrungszeit: in Stunden = h  
in Tagen =

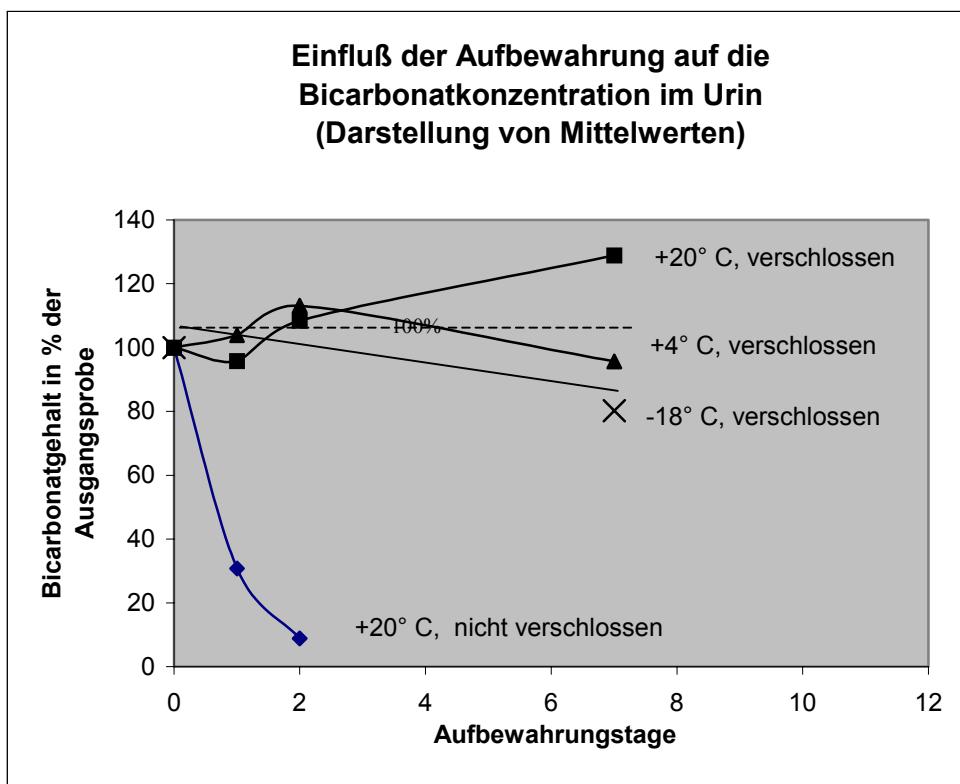
d

MW = Mittelwert

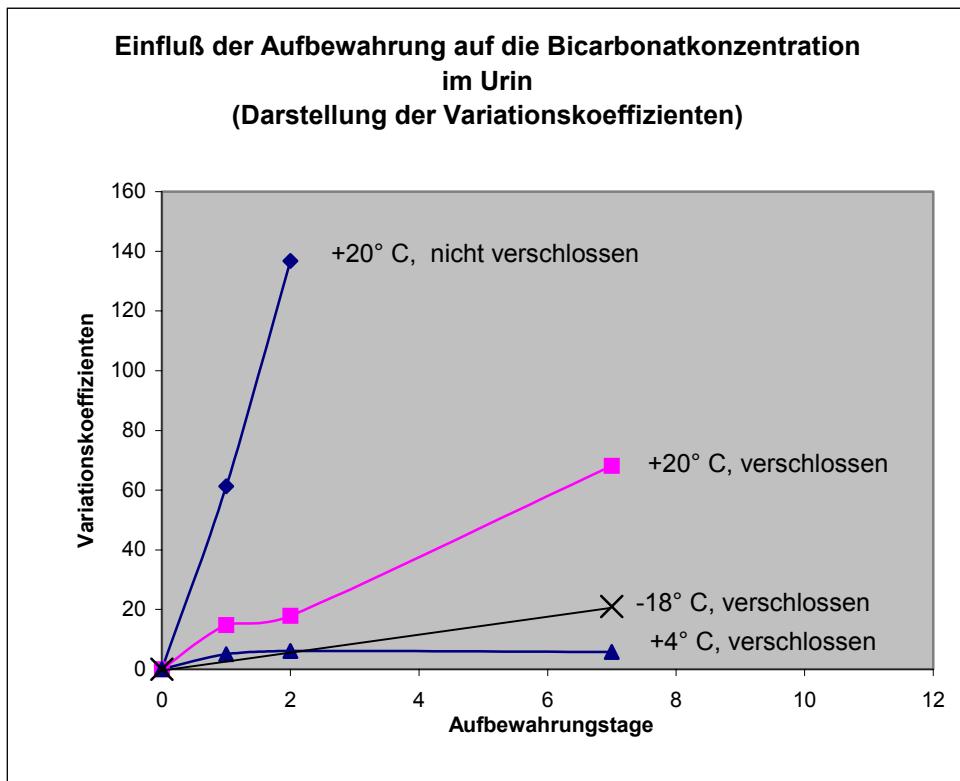
StA = Standardabweichung

VaK = Variationskoeffizient

**Tab. 16**



*Diagr. 13*



*Diagr. 14*

## **Ergebnisse:**

### **1.) Aufbewahrung des Urins bei Raumtemperatur (+20°C) in offenen Röhrchen:**

Bei dieser Art der Aufbewahrung kam es in allen zehn Proben bereits nach 24 Stunden zu einer deutlichen Abnahme der Bicarbonat-Konzentration. Nach 48 Stunden war – bis auf zwei Proben – praktisch kein Bicarbonat mehr nachweisbar (Tabelle 16 oben, erster Block). Von der Ausgangs-Bicarbonat-Konzentration liessen sich nach 24 Stunden durchschnittlich noch 30,8 % und nach 48 Stunden nur noch 8,8 % des ursprünglichen Urin-Bicarbonat-Gehalts nachweisen (Tabelle 16 unten, erster Block).

### **2.) Aufbewahrung des Urins bei Raumtemperatur (+20°C) in verschlossenen Röhrchen:**

Bei dieser Art der Aufbewahrung blieb für 24 Stunden die Bicarbonat-Konzentration nahezu konstant. Lediglich in einer Probe (Nr. 7) fiel die Konzentration von 75,3 mmol/l auf 45,9 mmol/l. Nach 48 Stunden und noch deutlicher nach sieben Tagen Aufbewahrung liess sich in einigen Proben ein Anstieg der Bicarbonat-Konzentrationen nachweisen.

### **3.) Aufbewahrung des Urins im Kühlschrank (+4°C) in verschlossenen Röhrchen:**

Bei dieser Art der Aufbewahrung blieben bis zu 7 Tage die Bicarbonat-Konzentrationen nahezu konstant.

### **4.) Aufbewahrung des Urins im Gefrierschrank (-18°C) in verschlossenen Röhrchen:**

Nach 7 Tagen Aufbewahrung bei -18° C liess sich in 9 der 10 Proben eine deutliche Abnahme der Bicarbonat-Konzentration nachweisen.

## **Überlegung zu möglichen Ursachen der Bicarbonat-Konzentrations-Schwankungen unter den verschiedenen Aufbewahrungsbedingungen:**

Ein Bicarbonat-Verlust in den Urin-Proben (v.a. in den offenen Proben bei Raumtemperatur) kann dadurch erklärt werden, dass das in der Probe enthaltene CO<sub>2</sub> in die Umgebung entweicht und sich dann gemäss der Gleichung



das Reaktionsgleichgewicht nach rechts, das heisst Abnahme der HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Konzentration, verschiebt. Weshalb es in einigen Proben nach 24-stündiger und insbesondere 7-tägiger Aufbewahrung (im Kühlschrank) zu einem Anstieg der Bicarbonat-Konzentration gekommen ist, bleibt uns unverständlich.

Aus diesen Untersuchungen können wir ableiten, dass man Urinproben vor der Bicarbonat-Messung

- bei Raumtemperatur (20°C) nicht offen aufbewahren darf: innerhalb von 24 Stunden ist mit massiven Bicarbonat-Verlusten zu rechnen,
- bei Raumtemperatur (+20°C) verschlossen nicht länger als 24 Stunden aufbewahren darf: nach dieser Zeit sind steigende Bicarbonat-Konzentrationen zu erwarten,
- tiefgefroren (-18°C) verschlossen zumindest nicht 7 Tage lang aufbewahren darf: in dieser Zeit können erhebliche Bicarbonat-Verluste auftreten.

Eine Aufbewahrung der Urinprobe bis zur Analyse dagegen ist erlaubt

- bei Raumtemperatur verschlossen für maximal 24 Stunden oder
- im Kühlschrank (+ 4°C) verschlossen für mindestens 7 Tage.

### **3.3. HAUPTVERSUCHE**

#### **3.3.1 Bestimmung von Bicarbonat in „künstlichen Urinen“ mittels Titration und nach der Methode von Hastings**

#### **Prüfung der Messergebnisse auf Reliabilität und Validität**

Wenn Messmethoden miteinander verglichen werden sollen, muss zunächst geprüft werden, wie reproduzierbar die Messergebnisse jeder einzelnen Methode in wiederholten Messungen sind (Reliabilitäts-Prüfung). Als Mass für die Reliabilität der einzelnen Methoden haben wir hier die Standardabweichung der Messwerte und beim Vergleich der Messmethoden untereinander die Variationskoeffizienten verwendet. Der Variationskoeffizient gibt die Grösse der Standardabweichung des Mittelwerts in Prozent an.

Die Genauigkeit einer Messmethode kann man prüfen, indem man die Messwerte wiederholter Messungen mittelt und mit dem tatsächlichen Wert (hier: der bekannten Konzentration an Bicarbonat) vergleicht (Validitätsprüfung).

Wir haben die Validität der Messmethoden durch zwei Verfahren geprüft: durch die Berechnung der mittleren Abweichung der Messwerte vom tatsächlichen Wert (tatsächliche Bicarbonat-Konzentration minus Mittelwert der Messwerte) und durch eine lineare Regressionsanalyse, aus der sich die Korrelation der Messwerte zu den tatsächlichen Werten ergibt.

In der Versuchsreihe „KU 1 - 40“ („KU“ wird als Abkürzung für „Künstlicher Urin“ verwendet) wurden Lösungen mit vier verschiedenen Bicarbonat-Konzentrationen angesetzt und jeweils zehn mal der Bicarbonat-Gehalt mit den hier zu untersuchenden Messmethoden, der Titration und den Hastings-Varianten (siehe folgende zwei Seiten), bestimmt. Von den zehn mit jeder Methode erhaltenen Messergebnissen wurden der Mittelwert, die Standardabweichung und der Variationskoeffizient berechnet.

### **Erläuterung zu den „Hastings-Varianten“:**

Bei der in diesem Kapitel beschriebenen Untersuchung der „künstlichen Urine“ wurden neben der Bicarbonat-Bestimmung mittels Titration insgesamt 6 verschiedene „Hastings-Varianten“ untersucht (Formel siehe S. 29):

Die Original-Formel von Hastings, mit der der Urin-Bicarbonat-Gehalt berechnet wird, enthält den pK-Wert 6,33 (für die Messtemperatur 38°C), die Urin-pH- und Urin-pCO<sub>2</sub>-Werte (gemessen bei 38°C) und die Konzentrationen der Elektrolyte Natrium und Kalium im Urin. Bei den Hastings-Varianten „I, II, O“ steht die Abkürzung „+“ für „Berücksichtigung der Natrium- und Kaliumkonzentration“, die Abkürzung „-“ für „Vernachlässigung der Natrium- und Kaliumkonzentration“.

Die **4 Varianten „Hastings I+, II+, I-, II-“** wurden errechnet unter Verwendung der Urin-pH-Werte, die **durch das pH-Meter bei 20°C** ermittelt wurden, die Untersuchung der Urin-pCO<sub>2</sub>-Werte erfolgte ausschliesslich im Blutgasanalyse-Gerät bei 37,5°C.

#### **1.) „Hastings I+“: prüft den Einfluss einer Absenkung der Messtemperatur bei der pH-Messung (bei adaptiertem pK-Wert: 6,47 für 20°C) auf die Bicarbonat-Bestimmung.**

Tatsächliche Messtemperatur: pH-Wert mittels pH-Meter bei 20°C.

Die Hastings-Formel, die unter Verwendung der Urin-Natrium und -Kaliumwerte, aber im Unterschied zur Original-Formel den rechnerisch ermittelten **pK-Wert 6,47** für die Messtemperatur 20°C verwendet (siehe hierzu auch Kap. 2.4., insbesondere Tab. D, S. 30).

#### **2.) „Hastings II+“: prüft den Einfluss einer Absenkung der Messtemperatur bei der pH-Messung (bei nicht adaptiertem pK-Wert: 6,33 für 38°C) auf die Bicarbonat-Bestimmung.**

Tatsächliche Messtemperatur: pH-Wert mittels pH-Meter bei 20°C.

Die Original-Formel nach Hastings, die unter Berücksichtigung der Urin-Natrium- und -Kaliumwerte den **pK-Wert 6,33** für Messtemperatur 38°C verwendet.

#### **3.) „Hastings I-“: prüft den Einfluss der Urin-Elektrolyte, indem diese in der Hastings-Formel „I+“ nicht berücksichtigt werden.**

Tatsächliche Messtemperatur: pH-Wert mittels pH-Meter bei 20°C.

Die Hastings-Formel unter Verwendung von **pK 6,47** für 20°C, ohne die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium zu berücksichtigen, um deren Einfluss auf das Messergebnis der Bicarbonat-Bestimmung evaluieren zu können.

**4.) „Hastings II-“: prüft den Einfluss der Urin-Elektrolyte, indem diese in der Hastings-Formel „II+“ nicht berücksichtigt werden.**

Tatsächliche Messtemperatur: pH-Wert mittels pH-Meter bei 20°C.

Die Hastings-Formel unter Verwendung von **pK 6,33** für 38°C, ohne Berücksichtigung der Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium, um den Einfluss der Elektrolyte auf das Messergebnis evaluieren zu können.

Mit zwei weiteren Hastings-Varianten 5. „**Hastings O+**“ und 6. „**Hastings O-**“ wurde unter Einhaltung der von Hastings geforderten Messtemperatur (38°C für die pCO<sub>2</sub>- und pH-Messung) und Verwendung des korrekten pK-Wertes 6,33 der Bicarbonat-Gehalt bestimmt. Hier wurden die im Blutgasanalysegerät (abgekürzt „BGA“) bei 37,5°C zeitgleich ermittelten pH- und pCO<sub>2</sub>-Werte verwendet:

**5.) „Hastings O+“: prüft die Orginal-Hastings-Formel** unter Verwendung von **pK 6,33** für 38°C und Einhaltung der geforderten Messtemperatur für pH- und pCO<sub>2</sub>-Messung sowie unter Berücksichtigung der Natrium- und Kaliumkonzentration im Urin.

**6.) „Hastings O-“: prüft den Einfluss der Urin-Elektrolyte, indem diese in der Orginal-Hastings-Formel nicht berücksichtigt werden**

Hier werden **pK 6,33** für 38°C und die bei 37,5°C im Blutgasanalysegerät gewonnenen Werte für **pH und pCO<sub>2</sub>** in die Original-Hastings-Formel eingesetzt, jedoch ohne Berücksichtigung der Natrium- und Kaliumkonzentration im Urin.

Es folgen die Bicarbonat-Messergebnisse durch Titration und durch die 6 Hastings-Varianten (Hastings I+, II+, I-, II-, O+, O-) im Vergleich zu den tatsächlichen Bicarbonatwerten in 40 Proben, dargestellt in den *Tabellen 17-23*; in den *Tabellen 24 und 25* findet sich eine Gegenüberstellung der Messergebnisse aller 7 Bicarbonat-Bestimmungsmethoden.

In der ersten Spalte steht jeweils, um welche Probe es sich handelt, „KU“ bedeutet „Künstlicher Urin“, der Bicarbonat-Gehalt liegt in den Proben 1-10 jeweils bei 57,1 mmol/l, in den Proben 11-20 jeweils bei 100 mmol/l, in den Proben 21-30 jeweils bei 139 mmol/l und in den Proben 31-40 jeweils bei 175 mmol/l.

## HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> -Messung durch Titration

(tatsächliche und gemessene Bicarbonat-Werte bei künstlichen Urinen)

	Zusammensetzung des künstlichen Urins							
KU	10 ml NaHCO <sub>3</sub> und 10 ml KHCO <sub>3</sub> (10mmol/l)	Zugabe ml KHCO <sub>3</sub> 1mol/l	Tatsächlicher HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l	pH (pH-Meter)	Zugabe ml HCl 0,1mol/l	Rücktitration ml NaOH 0,1mol/l auf gemessenen pH	Differenz ml HCl minus ml NaOH	per Titration gemessener HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l
1	20,0	1,0	57,1	8,95	20	14,37	5,63	56,3
2	20,0	1,0	57,1	8,94	20	14,05	5,95	59,5
3	20,0	1,0	57,1	8,94	20	14,15	5,85	58,5
4	20,0	1,0	57,1	8,94	20	14,06	5,94	59,4
5	20,0	1,0	57,1	8,95	20	14,36	5,39	53,9
6	20,0	1,0	57,1	8,92	20	14,41	5,59	55,9
7	20,0	1,0	57,1	8,90	20	14,46	5,54	55,4
8	20,0	1,0	57,1	8,92	20	14,6	5,4	54,0
9	20,0	1,0	57,1	8,92	20	14,49	5,51	55,1
10	20,0	1,0	57,1	8,91	20	14,57	5,43	54,3
11	20,0	2,0	100,0	8,86	20	10,18	9,82	98,2
12	20,0	2,0	100,0	8,86	20	10,15	9,85	98,5
13	20,0	2,0	100,0	8,86	20	10,08	9,92	99,2
14	20,0	2,0	100,0	8,87	20	9,97	10,03	100,3
15	20,0	2,0	100,0	8,88	20	10,1	9,9	99,0
16	20,0	2,0	100,0	8,85	20	10,2	9,8	98,0
17	20,0	2,0	100,0	8,85	20	9,99	10,01	100,1
18	20,0	2,0	100,0	8,85	20	9,83	10,17	101,7
19	20,0	2,0	100,0	8,85	20	9,78	10,22	102,2
20	20,0	2,0	100,0	8,86	20	9,74	10,26	102,6
21	20,0	3,0	139,0	8,78	20	6,35	13,65	136,5
22	20,0	3,0	139,0	8,78	20	6,14	16,86	138,6
23	20,0	3,0	139,0	8,78	20	6,33	13,67	136,7
24	20,0	3,0	139,0	8,79	20	6,04	16,96	139,6
25	20,0	3,0	139,0	8,79	20	6,09	13,91	139,1
26	20,0	3,0	139,0	8,82	20	6,35	13,65	136,5
27	20,0	3,0	139,0	8,80	20	6,55	13,45	134,5
28	20,0	3,0	139,0	8,80	20	6,66	13,34	133,4
29	20,0	3,0	139,0	8,81	20	6,4	13,60	136,0
30	20,0	3,0	139,0	8,81	20	6,5	13,50	135,0
31	20,0	4,0	175,0	8,71	20	1,6	18,4	184,0
32	20,0	4,0	175,0	8,72	20	1,24	18,76	187,6
33	20,0	4,0	175,0	8,73	20	1,53	18,47	184,7
34	20,0	4,0	175,0	8,73	20	1,34	18,66	186,6
35	20,0	4,0	175,0	8,74	20	1,16	18,84	188,4
36	20,0	4,0	175,0	8,78	20	1,59	18,41	184,1
37	20,0	4,0	175,0	8,79	20	1,49	18,51	185,1
38	20,0	4,0	175,0	8,78	20	1,72	18,28	182,8
39	20,0	4,0	175,0	8,79	20	1,41	18,59	185,9
40	20,0	4,0	175,0	8,79	20	1,5	18,5	185,0

**Tabelle 17**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Messung nach „Hastings I+“: pK 6,47 mit Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts** (tatsächliche und gemessene Bicarbonat-Werte bei künstlichen Urinen)

KU	Zusammensetzung des künstlichen Urins							
	10 ml NaHCO <sub>3</sub> und 10 ml KHCO <sub>3</sub> (10mmol/l)	Zugabe ml KHCO <sub>3</sub> 1mol/l	Tatsächlicher HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	mittels <b>Hastings I+</b> (pK = 6,47, mit Na u. K ) gemessener HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l
1	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,95	7,40	88,3
2	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	6,90	80,5
3	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	7,10	82,8
4	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	7,70	89,8
5	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,95	7,40	88,3
6	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,30	81,3
7	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,90	7,10	75,5
8	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,20	80,2
9	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,00	77,9
10	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,91	7,90	86,0
11	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	14,00	148,38
12	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	13,60	144,14
13	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	13,30	140,96
14	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,87	13,30	144,24
15	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,88	14,00	155,37
16	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	13,60	140,86
17	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	14,30	148,11
18	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	14,10	146,03
19	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	13,90	143,96
20	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	14,10	149,44
21	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,40	201,38
22	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,20	199,50
23	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,10	198,56
24	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,79	20,80	200,29
25	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,79	21,80	209,92
26	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,82	19,80	204,30
27	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,80	19,90	196,09
28	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,80	18,70	184,27
29	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,81	19,00	191,58
30	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,81	18,20	183,52
31	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,71	29,40	248,10
32	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,72	29,80	257,34
33	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,73	29,60	261,56
34	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,73	29,20	258,03
35	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,74	28,90	261,33
36	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,78	26,70	264,73
37	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	27,00	273,94
38	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,78	26,50	262,74
39	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	26,00	263,79
40	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	27,10	274,95

**Tabelle 18**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Messung nach „Hastings II+“: pK 6,33 mit Na u. K – Verwendung des pH-**

**Meter-Werts** (tatsächliche und gemessene Bicarbonat-Werte bei künstlichen Urinen)

KU	Zusammensetzung des künstlichen Urins					pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	mittels <b>Hastings II+</b> (pK = 6,33, mit Na u. K ) gemessener HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l
	10 ml NaHCO <sub>3</sub> und 10 ml KHCO <sub>3</sub> (10mmol/l)	Zugabe ml KHCO <sub>3</sub> 1mol/l	Tatsächlicher HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l			
1	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,95	7,40	121,88
2	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	6,90	111,06
3	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	7,10	114,28
4	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	7,70	123,94
5	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,95	7,40	121,88
6	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,30	112,21
7	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,90	7,10	104,22
8	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,20	110,67
9	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,00	107,60
10	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,91	7,90	118,67
11	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	14,00	204,82
12	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	13,60	198,96
13	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	13,30	194,57
14	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,87	13,30	199,11
15	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,88	14,00	214,47
16	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	13,60	194,43
17	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	14,30	204,44
18	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	14,10	201,58
19	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	13,90	198,72
20	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	14,10	206,28
21	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,40	277,98
22	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,20	275,38
23	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,10	274,08
24	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,79	20,80	276,48
25	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,79	21,80	289,77
26	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,82	19,80	282,01
27	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,80	19,90	270,68
28	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,80	18,70	254,36
29	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,81	19,00	264,46
30	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,81	18,20	253,32
31	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,71	29,40	342,48
32	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,72	29,80	355,22
33	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,73	29,60	361,06
34	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,73	29,20	356,18
35	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,74	28,90	360,73
36	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,78	26,70	365,42
37	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	27,00	378,14
38	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,78	26,50	362,69
39	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	26,00	364,13
40	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	27,10	379,54

**Tabelle 19**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Messung nach „Hastings I -“: pK 6,47 ohne Na u. K – Verwendung des pH-Meter-Werts (tatsächliche und gemessene Bicarbonat-Werte bei künstlichen Urinen)**

KU	Zusammensetzung des künstlichen Urins					pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	mittels <b>Hastings I-</b> (pK = 6,47, ohne Na u. K ) gemessener HCO <sub>3</sub> - Gehalt in mmol/l
	10 ml NaHCO <sub>3</sub> und 10 ml KHCO <sub>3</sub> (10mmol/l)	Zugabe ml KHCO <sub>3</sub> 1mol/l	Tatsächlicher HCO <sub>3</sub> - Gehalt in mmol/l	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l			
1	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,95	7,40	67,04
2	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	6,90	61,09
3	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	7,10	62,86
4	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	7,70	68,17
5	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,95	7,40	67,04
6	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,30	61,72
7	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,90	7,10	57,33
8	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,20	60,88
9	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,00	59,19
10	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,91	7,90	65,28
11	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	14,00	103,10
12	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	13,60	100,15
13	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	13,30	97,94
14	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,87	13,30	100,22
15	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,88	14,00	107,96
16	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	13,60	97,87
17	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	14,30	102,91
18	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	14,10	101,47
19	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	13,90	100,03
20	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	14,10	103,83
21	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,40	131,08
22	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,20	129,85
23	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,10	129,24
24	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,79	20,80	130,37
25	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,79	21,80	136,64
26	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,82	19,80	132,98
27	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,80	19,90	127,64
28	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,80	18,70	119,94
29	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,81	19,00	124,70
30	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,81	18,20	119,45
31	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,71	29,40	153,27
32	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,72	29,80	158,98
33	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,73	29,60	161,59
34	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,73	29,20	159,41
35	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,74	28,90	161,44
36	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,78	26,70	163,54
37	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	27,00	169,23
38	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,78	26,50	162,32
39	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	26,00	162,97
40	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	27,10	169,86

**Tabelle 20**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> -Messung nach „Hastings II –“: pK 6,33 ohne Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts (tatsächliche und gemessene Bicarbonat-Werte bei künstlichen Urinen)**

KU	Zusammensetzung des künstlichen Urins					pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	mittels Hastings II- (pK = 6,33, ohne Na u. K ) gemessener HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l
	10 ml NaHCO <sub>3</sub> und 10 ml KHCO <sub>3</sub> (10mmol/l)	Zugabe ml KHCO <sub>3</sub> 1mol/l	Tatsächlicher HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l			
1	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,95	7,40	92,55
2	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	6,90	84,33
3	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	7,10	86,77
4	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,94	7,70	94,10
5	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,95	7,40	92,55
6	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,30	85,20
7	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,90	7,10	79,14
8	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,20	84,03
9	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,92	7,00	81,70
10	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,91	7,90	90,10
11	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	14,00	142,31
12	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	13,60	138,25
13	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	13,30	135,20
14	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,87	13,30	138,35
15	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,88	14,00	149,02
16	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	13,60	135,10
17	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	14,30	142,06
18	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	14,10	140,07
19	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,85	13,90	138,08
20	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,86	14,10	143,33
21	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,40	180,94
22	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,20	179,25
23	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,78	21,10	178,40
24	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,79	20,80	179,96
25	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,79	21,80	188,62
26	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,82	19,80	183,56
27	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,80	19,90	176,19
28	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,80	18,70	165,56
29	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,81	19,00	172,14
30	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,81	18,20	164,89
31	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,71	29,40	211,58
32	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,72	29,80	219,45
33	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,73	29,60	223,06
34	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,73	29,20	220,04
35	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,74	28,90	222,85
36	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,78	26,70	225,75
37	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	27,00	233,61
38	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,78	26,50	224,06
39	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	26,00	224,95
40	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,79	27,10	234,47

**Tabelle 21**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Messung nach „Hastings O+“: pK 6,33 mit Na u. K - Verwendung des BGA-pH-Werts (tatsächliche und gemessene Bicarbonat-Werte bei künstlichen Urinen)**

KU	Zusammensetzung des künstlichen Urins					mittels Hastings O+ (pK = 6,33, mit Na u. K ) gemessener HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l		
	10 ml NaHCO <sub>3</sub> und 10 ml KHCO <sub>3</sub> 10mmol/l	Zugabe ml KHCO <sub>3</sub> 1mol/l	Tatsächlicher HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	
1	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,40	41,30
2	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	6,90	39,41
3	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	7,10	40,55
4	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,70	42,97
5	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	7,40	42,26
6	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,30	40,74
7	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,10	39,62
8	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,20	40,18
9	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	7,00	39,98
10	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	7,90	45,12
11	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,44	14,00	77,87
12	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	13,60	77,41
13	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,46	13,30	77,46
14	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	13,30	75,70
15	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,46	14,00	81,54
16	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	13,60	77,41
17	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	14,30	81,39
18	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	14,10	80,25
19	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,46	13,90	80,96
20	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,46	14,10	82,12
21	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,42	21,40	121,34
22	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,43	21,20	123,01
23	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,43	21,10	122,43
24	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,44	20,80	123,50
25	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,43	21,80	126,49
26	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,45	19,80	120,30
27	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,45	19,90	120,91
28	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,47	18,70	118,97
29	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,47	19,00	120,88
30	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,48	18,20	118,49
31	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,40	29,40	167,74
32	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,40	29,80	170,02
33	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,40	29,60	168,88
34	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,40	29,20	166,60
35	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,41	28,90	168,73
36	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,44	26,70	167,03
37	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,44	27,00	168,91
38	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,44	26,50	165,78
39	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,45	26,00	166,44
40	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,44	27,10	169,53

**Tabelle 22**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Messung nach „Hastings O -“: pK 6,33 ohne Na u. K - Verwendung des BGA-**

**pH-Werts** (tatsächliche und gemessene Bicarbonat-Werte bei künstlichen Urinen)

KU	Zusammensetzung des künstlichen Urins					pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	mittels <b>Hastings O-</b> (pK = 6,33, ohne Na u. K ) gemessener HCO <sub>3</sub> - Gehalt in mmol/l
	10 ml NaHCO <sub>3</sub> und 10 ml KHCO <sub>3</sub> (10mmol/l)	Zugabe ml KHCO <sub>3</sub> 1mol/l	Tatsächlicher HCO <sub>3</sub> -Gehalt in mmol/l	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l			
1	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,40	31,4
2	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	6,90	29,9
3	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	7,10	30,8
4	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,70	32,6
5	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	7,40	32,1
6	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,30	30,9
7	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,10	30,1
8	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,48	7,20	30,5
9	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	7,00	30,4
10	20,0	1,0	57,1	4,8	52,4	8,49	7,90	34,3
11	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,44	14,00	54,1
12	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	13,60	53,8
13	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,46	13,30	53,8
14	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	13,30	52,6
15	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,46	14,00	56,7
16	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	13,60	53,8
17	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	14,30	56,6
18	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,45	14,10	55,8
19	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,46	13,90	56,3
20	20,0	2,0	100,0	4,5	95,5	8,46	14,10	57,1
21	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,42	21,40	79,0
22	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,43	21,20	80,1
23	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,43	21,10	79,7
24	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,44	20,80	80,4
25	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,43	21,80	82,3
26	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,45	19,80	78,3
27	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,45	19,90	78,7
28	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,47	18,70	77,4
29	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,47	19,00	78,7
30	20,0	3,0	139,0	4,3	134,8	8,48	18,20	77,1
31	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,40	29,40	103,63
32	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,40	29,80	105,04
33	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,40	29,60	104,33
34	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,40	29,20	102,92
35	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,41	28,90	104,24
36	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,44	26,70	103,19
37	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,44	27,00	104,35
38	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,44	26,50	102,42
39	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,45	26,00	102,82
40	20,0	4,0	175,0	4,2	170,8	8,44	27,10	104,73

**Tabelle 23**

**Direkter Vergleich der Bicarbonat-Werte**  
**(Titration, Hastings-Varianten I+, I-, II+, II-, O+, O-) bei künstlichen Urinen**

KU	Tatsächlicher Bic.-Gehalt	tatsächliche HCO <sub>3</sub> -Zugabe mmol/l	Gemessene Bicarbonat-Konzentration										Differenz zwischen tatsächlicher und gemessener Bicarbonat-Konzentration																																
			Titration		Hastings I+: mit Na u. K		HCO <sub>3</sub> 3 mmol pK=6,47		Hastings II+: mit Na u. K		HCO <sub>3</sub> 3 mmol pK = 6,33		Hastings I-: ohne Na u. K		HCO <sub>3</sub> 3 mmol pK=6,47		Hastings II-: ohne Na u. K		HCO <sub>3</sub> 3 mmol pK = 6,33		Hastings 0+: mit Na u. K		HCO <sub>3</sub> 3 mmol pK 6,33		Hastings 0-: ohne Na u. K		HCO <sub>3</sub> mmol pK 6,33		Titration		Differenz tatsächliche Werte min in mmol														
1	57,1	56,3	88,3	121,9	67,0	92,5	41,3	31,4	0,8	-31,2	-64,8	-9,9	-35,4	15,8	25,7																														
2	57,1	59,5	80,5	111,1	61,1	84,3	39,4	29,9	-2,4	-23,4	-54,0	-4,0	-27,2	17,7	27,2																														
3	57,1	58,5	82,8	114,3	62,9	86,8	40,5	30,8	-1,4	-25,7	-57,2	-5,8	-29,7	16,6	26,3																														
4	57,1	59,4	89,8	123,9	68,2	94,1	43,0	32,6	-2,3	-32,7	-66,8	-11,1	-37,0	14,1	24,5																														
5	57,1	53,9	88,3	121,9	67,0	92,5	42,3	32,1	3,2	-31,2	-64,8	-9,9	-35,4	14,8	25,0																														
6	57,1	55,9	81,3	112,2	61,7	85,2	40,7	30,9	1,2	-24,2	-55,1	-4,6	-28,1	16,4	26,2																														
7	57,1	55,4	75,5	104,2	57,3	79,1	39,6	30,1	1,7	-18,4	-47,1	-0,2	-22,0	17,5	27,0																														
8	57,1	54,0	80,2	110,7	60,9	84,0	40,2	30,5	3,1	-23,1	-53,6	-3,8	-26,9	16,9	26,6																														
9	57,1	55,1	77,9	107,6	59,2	81,7	40,0	30,4	2,0	-20,8	-50,5	-2,1	-24,6	17,1	26,7																														
10	57,1	54,3	86,0	118,7	65,3	90,1	45,1	34,3	2,8	-28,9	-61,6	-8,2	-33,0	12,0	22,8																														
Mittelwert		56,2	83,0	114,6	63,1	87,0	41,2	31,3	0,9	-25,9	-57,5	-6,0	-29,9	15,9	25,8																														
Standardabw.		2,2	4,8	6,7	3,7	5,1	1,8	1,4	2,2	4,8	6,7	3,7	5,1	1,8	1,4																														
Varianzkoeff.		3,9	5,8	5,8	5,8	5,8	4,3	4,3																																					
11	100,0	98,2	148,4	204,8	103,1	142,3	77,9	54,1	1,8	-48,4	-104,8	-3,1	-42,3	22,1	45,9																														
12	100,0	98,5	144,1	199,0	100,2	138,2	77,4	53,8	1,5	-44,1	-99,0	-0,2	-38,2	22,6	46,2																														
13	100,0	99,2	141,0	194,6	97,9	135,2	77,5	53,8	0,8	-41,0	-94,6	2,1	-35,2	22,5	46,2																														
14	100,0	100,3	144,2	199,1	100,2	138,3	75,7	52,6	-0,3	-44,2	-99,1	-0,2	-38,3	24,3	47,4																														
15	100,0	99,0	155,4	214,5	108,0	149,0	81,5	56,7	1,0	-55,4	-114,5	-8,0	-49,0	18,5	43,3																														
16	100,0	98,0	140,9	194,4	97,9	135,1	77,4	53,8	2,0	-40,9	-94,4	2,1	-35,1	22,6	46,2																														
17	100,0	100,1	148,1	204,4	102,9	142,1	81,4	56,6	-0,1	-48,1	-104,4	-2,9	-42,1	18,6	43,4																														
18	100,0	101,7	146,0	201,6	101,5	140,1	80,3	55,8	-1,7	-46,0	-101,6	-1,5	-40,1	19,7	44,2																														
19	100,0	102,2	144,0	198,7	100,0	138,1	81,0	56,3	-2,2	-44,0	-98,7	0,0	-38,1	19,0	43,7																														
20	100,0	102,6	149,4	206,3	103,8	143,3	82,1	57,1	-2,6	-49,4	-106,3	-3,8	-43,3	17,9	42,9																														
Mittelwert		100,0	146,1	201,7	101,5	140,2	79,2	55,0	0,0	-46,1	-101,7	-1,5	-40,2	20,8	45,0																														
Standardabw.		1,7	4,4	6,0	3,0	4,2	2,3	1,6	1,7	4,4	6,0	3,0	4,2	2,3	1,6																														
Varianzkoeff.		1,7	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9																																					

**Tabelle 24**

**Direkter Vergleich der Bicarbonat-Werte**  
**(Titration, Hastings-Varianten I+, I-, II+, II-, O+, O-) bei künstlichen Urinen**

KU	Tatsächlicher Bic.-Gehalt mmol/l	Gemessene Bicarbonat-Konzentration										Differenz zwischen tatsächlicher und gemessener Bicarbonat-Konzentration					
		Titration					Hastings										
		Hastings I+: mit Na u. K	HCO <sub>3</sub> mmol pK=6,47	Hastings II+: mit Na u. K	HCO <sub>3</sub> mmol pK = 6,33	Hastings I-: ohne Na u. K	HCO <sub>3</sub> mmol pK=6,47	Hastings II-: ohne Na u. K	HCO <sub>3</sub> mmol pK = 6,33	Hastings O+: mit Na u. K	HCO <sub>3</sub> mmol pK 6,33	Hastings O-: ohne Na u. K	HCO <sub>3</sub> mmol pK = 6,33				
21	139,0	136,5	201,4	278,0	131,1	180,9	121,3	79,0	2,5	-62,4	-139,0	7,9	-41,9	17,7	60,0		
22	139,0	138,6	199,5	275,4	129,9	179,2	123,0	80,1	0,4	-60,5	-136,4	9,1	-40,2	16,0	58,9		
23	139,0	136,7	198,6	274,1	129,2	178,4	122,4	79,7	2,3	-59,6	-135,1	9,8	-39,4	16,6	59,3		
24	139,0	139,6	200,3	276,5	130,4	180,0	123,5	80,4	-0,6	-61,3	-137,5	8,6	-41,0	15,5	58,6		
25	139,0	139,1	209,9	289,8	136,6	188,6	126,5	82,3	-0,1	-70,9	-150,8	2,4	-49,6	12,5	56,7		
26	139,0	136,5	204,3	282,0	133,0	183,6	120,3	78,3	2,5	-65,3	-143,0	6,0	-44,6	18,7	60,7		
27	139,0	134,5	196,1	270,7	127,6	176,2	120,9	78,7	4,5	-57,1	-131,7	11,4	-37,2	18,1	60,3		
28	139,0	133,4	184,3	254,4	119,9	165,6	119,0	77,4	5,6	-45,3	-115,4	19,1	-26,6	20,0	61,6		
29	139,0	136,0	191,6	264,5	124,7	172,1	120,9	78,7	3,0	-52,6	-125,5	14,3	-33,1	18,1	60,3		
30	139,0	135,0	183,5	253,3	119,5	164,9	118,5	77,1	4,0	-44,5	-114,3	19,5	-25,9	20,5	61,9		
Mittelwert		136,6	196,9	271,9	128,2	177,0	121,6	79,2	2,4	-57,9	-132,9	10,8	-38,0	17,4	59,8		
Standardabw.		2,0	8,4	11,6	5,5	7,5	2,3	1,5	2,0	8,4	11,6	5,5	7,5	2,3	1,5		
Varianzkoeff.		1,5	4,3	4,3	4,3	4,3	1,9	1,9									
31	175,0	184,0	248,1	342,5	153,3	211,6	167,7	103,6	-9,0	-73,1	-167,5	21,7	-36,6	7,3	71,4		
32	175,0	187,6	257,3	355,2	159,0	219,5	170,0	105,0	-12,6	-82,3	-180,2	16,0	-44,5	5,0	70,0		
33	175,0	184,7	261,6	361,1	161,6	223,1	168,9	104,3	-9,7	-86,6	-186,1	13,4	-48,1	6,1	70,7		
34	175,0	186,6	258,0	356,2	159,4	220,0	166,6	102,9	-11,6	-83,0	-181,2	15,6	-45,0	8,4	72,1		
35	175,0	188,4	261,3	360,7	161,4	222,9	168,7	104,2	-13,4	-86,3	-185,7	13,6	-47,9	6,3	70,8		
36	175,0	184,1	264,7	365,4	163,5	225,8	167,0	103,2	-9,1	-89,7	-190,4	11,5	-50,8	8,0	71,8		
37	175,0	185,1	273,9	378,1	169,2	233,6	168,9	104,3	-10,1	-98,9	-203,1	5,8	-58,6	6,1	70,7		
38	175,0	182,8	262,7	362,7	162,3	224,1	165,8	102,4	-7,8	-87,7	-187,7	12,7	-49,1	9,2	72,6		
39	175,0	185,9	263,8	364,1	163,0	225,0	166,4	102,8	-10,9	-88,8	-189,1	12,0	-50,0	8,6	72,2		
40	175,0	185,0	275,0	379,5	169,9	234,5	169,5	104,7	-10,0	-100,0	-204,5	5,1	-59,5	5,5	70,3		
Mittelwert		185,4	262,7	362,6	162,3	224,0	168,0	103,8	-10,4	-87,7	-187,6	12,7	-49,0	7,0	71,2		
Standardabw.		1,7	7,8	10,8	4,8	6,7	1,4	0,9	1,7	7,8	10,8	4,8	6,7	1,4	0,9		
Varianzkoeff.		0,9	3,0	3,0	3,0	3,0	0,9	0,9									

**Tabelle 25**

## Bewertung der Messmethoden auf Reliabilität und Validität anhand der Untersuchungsergebnisse bei „künstlichen Urinen“

### 1.) Reliabilitätsprüfung

Die Reliabilität wird hier anhand der Variationskoeffizienten bewertet: je niedriger der Variationskoeffizient ist, desto zuverlässiger sind die Messungen der jeweiligen Messmethode. In den folgenden *Tabellen 26-32* werden die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten für die Messungen an den 4 „künstlichen Urinen“ mit den 7 Messmethoden dargestellt.

**Titration:  $\text{HCO}_3^-$  in mmol/l bei „künstlichen Urinen“ (KU)**

Titration	tatsächlicher Bicarbonat-Gehalt	Bicarbonat-Gehalt gemessener Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient
KU 01-10	57,1	56,2	2,2	3,9
KU 11-20	100,0	100,0	1,7	1,7
KU 21-30	139,0	136,6	2,0	1,5
KU 31-40	175,0	185,4	1,7	0,9

**Tabelle 26**

**„Hastings I+“: pK 6,47 mit Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts**

**$\text{HCO}_3^-$  in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)**

Hastings I+ $\text{HCO}_3$ mmol/l mit Na u. K pK=6,47	tatsächlicher Bicarbonat-Gehalt	Bicarbonat-Gehalt gemessener Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient
KU 01-10	57,1	83,0	4,8	5,8
KU 11-20	100,0	146,1	4,4	3,0
KU 21-30	139,0	196,9	8,4	4,3
KU 31-40	175,0	262,7	7,8	3,0

**Tabelle 27**

**„Hastings II+“: pK 6,33 mit Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts**

$\text{HCO}_3^-$  in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)

Hastings II+ HCO <sub>3</sub> mmol/l mit Na u. K pK = 6,33	tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt	Bicarbonat- Gehalt gemessener Mittelwert	Standard- abweichung	Variations- koeffizient
KU 01-10	57,1	114,6	6,7	5,8
KU 11-20	100,0	201,7	6,0	3,0
KU 21-30	139,0	271,9	11,6	4,3
KU 31-40	175,0	362,6	10,8	3,0

**Tabelle 28**

**„Hastings I-“: pK 6,47 ohne Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts**

$\text{HCO}_3^-$  in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)

Hastings I- HCO <sub>3</sub> mmol/l ohne Na u. K pK=6,47	tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt	Bicarbonat- Gehalt gemessener Mittelwert	Standard- abweichung	Variations- koeffizient
KU 01-10	57,1	63,1	3,7	5,8
KU 11-20	100,0	101,5	3,0	3,0
KU 21-30	139,0	128,2	5,5	4,3
KU 31-40	175,0	162,3	4,8	3,0

**Tabelle 29**

**„Hastings II-“: pK 6,33 ohne Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts**

$\text{HCO}_3^-$  in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)

Hastings II- HCO <sub>3</sub> mmol/l ohne Na u. K pK = 6,33	tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt	Bicarbonat- Gehalt gemessener Mittelwert	Standard- abweichung	Variations- koeffizient
KU 01-10	57,1	87,0	5,1	5,8
KU 11-20	100,0	140,2	4,2	3,0
KU 21-30	139,0	177,0	7,5	4,3
KU 31-40	175,0	224,0	6,7	3,0

**Tabelle 30**

**„Hastings O+“: pK 6,33 mit Na u. K - Verwendung des BGA-pH-Werts**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)**

<b>Hastings 0+ HCO<sub>3</sub> mmol/l mit Na u. K pK 6,33</b>	<b>tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt</b>	<b>Bicarbonat- Gehalt gemessener Mittelwert</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>Variations- koeffizient</b>
KU 01-10	57,1	41,2	1,8	4,3
KU 11-20	100,0	79,2	2,3	2,9
KU 21-30	139,0	121,6	2,3	1,9
KU 31-40	175,0	168,0	1,4	0,9

**Tabelle 31**

**„Hastings O-“: pK 6,33 ohne Na u. K - Verwendung des BGA-pH-Werts**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)**

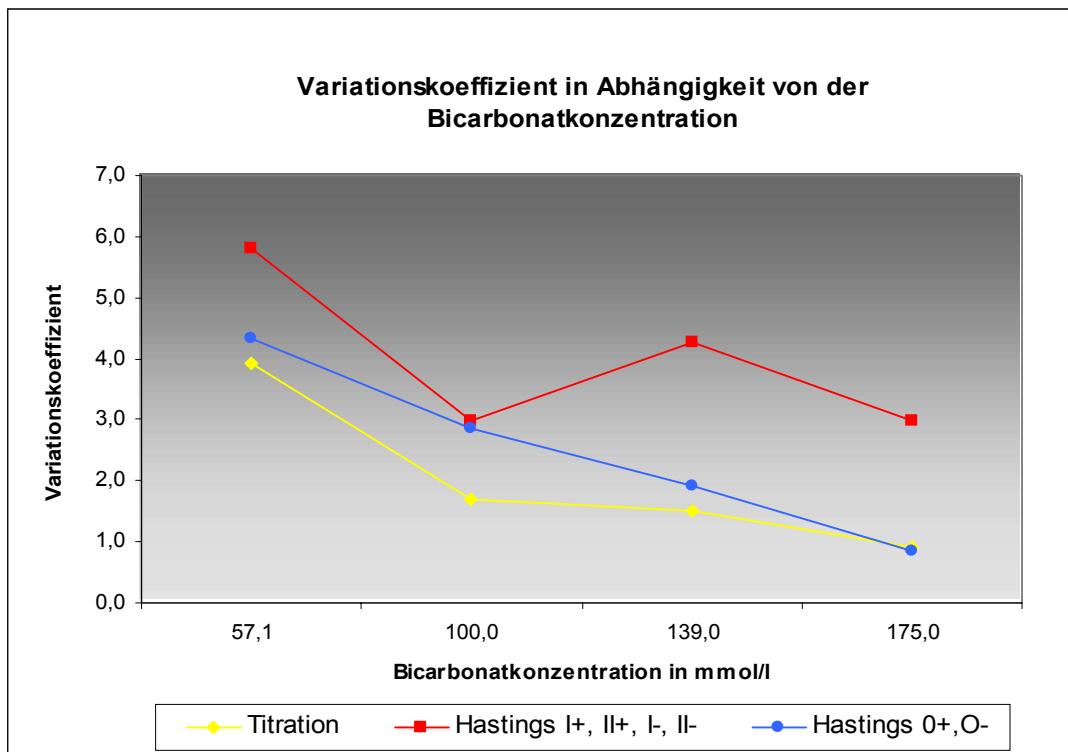
<b>Hastings 0- HCO<sub>3</sub> mmol/l ohne Na u. K pK 6,33</b>	<b>tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt</b>	<b>Bicarbonat- Gehalt gemessener Mittelwert</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>Variations- koeffizient</b>
KU 01-10	57,1	31,3	1,4	4,3
KU 11-20	100,0	55,0	1,6	2,9
KU 21-30	139,0	79,2	1,5	1,9
KU 31-40	175,0	103,8	0,9	0,9

**Tabelle 32**

Die Variationskoeffizienten für die Messungen mit der Titrationsmethode werden mit Anstieg der Bicarbonat-Konzentrationen kleiner: von 3,9 über 1,7 und 1,5 auf 0,9 (siehe auch *Diagramm 15*, gelbe Kurve).

Die Variationskoeffizienten für die beiden Hastings-Varianten „O+“ und „O-“ sind identisch, weil sie auf denselben Messwerten von pH und pCO<sub>2</sub> (beide Messungen am Blutgasanalysegerät) beruhen. Die Variationskoeffizienten von „Hastings O+ und O-“ sinken (mit Anstieg der Bicarbonat-Konzentration) kontinuierlich ab von 4,3 über 2,9 und 1,9 auf 0,9 (siehe auch *Diagramm 15*, blaue Kurve).

Auch die Variationskoeffizienten für die Hastings-Varianten „I+, II+, I-, II-“ sind identisch; sie beruhen ebenfalls auf identischen Messwerten von pH (Messung mittels pH-Meter) und pCO<sub>2</sub> (Messung am Blutgasanalysegerät). Auch bei diesen Messmethoden findet man ein Absinken der Variationskoeffizienten mit zunehmender Bicarbonat-Konzentration; für 3 der 4 Bicarbonat-Konzentrationen liegen die Variationskoeffizienten jedoch deutlich über denen der Titrations- und „Hastings O+ und O-“ – Methode (siehe auch *Diagramm 15*, rote Kurve).



*Diagramm 15*

Somit errechnet sich für die Titration und für die Hastings-Methoden „O+ und O-“ eine hohe, mit zunehmender Bicarbonat-Konzentration noch grösser werdende Reliabilität.

Die Berücksichtigung bzw. Nicht-Berücksichtigung der Elektrolyte und die Verwendung unterschiedlicher pK-Werte (6,33 oder 6,47) wirken sich in den Hastings-Varianten auf die Messergebnisse jeweils gleichsinnig aus, so dass sich auch die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen gleichsinnig ändern, der Variationskoeffizient (der Quotient aus Standardabweichung und Mittelwert in Prozent) aber gleich bleibt.

**2.a) Validitätsprüfung durch Berechnung der absoluten und relativen Abweichung der mittleren gemessenen von den tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen in „künstlichen Urinen“**

Von den jeweils 10 Messungen der Bicarbonat-Konzentration in ein und denselben Probe der 4 „künstlichen Urine“ wurden die Mittelwerte berechnet und diese mit der tatsächlichen Bicarbonat-Konzentration verglichen als absolute Differenzen (Spalte 4 der folgenden *Tabellen 33-39*) und relative Differenzen in Prozent der tatsächlichen Bicarbonat-Konzentration (Spalte 5 der folgenden *Tabellen 33-39*).

Zur Berechnung der Differenz wurde der Mittelwert der gemessenen Bicarbonat-Konzentration abgezogen vom tatsächlichen Bicarbonat-Gehalt der „künstlichen Urine“. In den *Tabellen 33 bis 39* und in *Diagramm 16* bedeuten positive Differenzen deshalb, dass mit der zu prüfenden Methode zu wenig, und negative Differenzen, dass mit der zu prüfenden Methode zu viel Bicarbonat gemessen wurde.

**Titration:  $\text{HCO}_3^-$  in mmol/l bei „künstlichen Urinen“ (KU)**

Titration	tatsächlicher Bicarbonat-Gehalt	Mittelwert des gemessenen Bicarbonat-Gehalts	Differenz tatsächl. $\text{HCO}_3^-$ -Gehalt minus gemessener Mittelwert	Differenz des Mittelwerts vom tatsächlichen Wert in %
KU 01-10	57,1	56,2	0,9	1,6
KU 11-20	100,0	100,0	0,0	0,0
KU 21-30	139,0	136,6	2,4	1,7
KU 31-40	175,0	185,4	-10,4	-5,9

**Tabelle 33**

**„Hastings I+“: pK 6,47 mit Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts**

**$\text{HCO}_3^-$  in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)**

Hastings I+ $\text{HCO}_3$ mmol/l mit Na u. K $\text{pK}=6,47$	tatsächlicher Bicarbonat-Gehalt	Mittelwert des gemessenen Bicarbonat-Gehalts	Differenz tatsächl. $\text{HCO}_3^-$ -Gehalt minus gemessener Mittelwert	Differenz des Mittelwerts vom tatsächlichen Wert in %
KU 01-10	57,1	83,0	-25,9	-45,4
KU 11-20	100,0	146,1	-46,1	-46,1
KU 21-30	139,0	196,9	-57,9	-41,7
KU 31-40	175,0	262,7	-87,7	-50,1

**Tabelle 34**

**„Hastings II+“: pK 6,33 mit Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts**

$\text{HCO}_3^-$  in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)

Hastings II+ HCO <sub>3</sub> mmol/l mit Na u. K pK = 6,33	tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt	Mittelwert des gemessenen Bicarbonat- Gehalts	Differenz tatsächl. HCO <sub>3</sub> -Gehalt minus gemessener Mittelwert	Differenz des Mittelwerts vom tatsächlichen Wert in %
KU 01-10	57,1	114,6	-57,5	-100,7
KU 11-20	100,0	201,7	-101,7	-101,7
KU 21-30	139,0	271,9	-132,9	-95,6
KU 31-40	175,0	362,6	-187,6	-107,2

**Tabelle 35**

**„Hastings I-“: pK 6,47 ohne Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts**

$\text{HCO}_3^-$  in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)

Hastings I- HCO <sub>3</sub> mmol/l ohne Na u. K pK=6,47	tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt	Mittelwert des gemessenen Bicarbonat- Gehalts	Differenz tatsächl. HCO <sub>3</sub> -Gehalt minus gemessener Mittelwert	Differenz des Mittelwerts vom tatsächlichen Wert in %
KU 01-10	57,1	63,1	-6,0	-10,5
KU 11-20	100,0	101,5	-1,5	-1,5
KU 21-30	139,0	128,2	10,8	7,8
KU 31-40	175,0	162,3	12,7	7,3

**Tabelle 36**

**„Hastings II-“: pK 6,33 ohne Na u. K - Verwendung des pH-Meter-Werts**

$\text{HCO}_3^-$  in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)

Hastings II- HCO <sub>3</sub> mmol/l ohne Na u. K pK = 6,33	tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt	Mittelwert des gemessenen Bicarbonat- Gehalts	Differenz tatsächl. HCO <sub>3</sub> -Gehalt minus gemessener Mittelwert	Differenz des Mittelwerts vom tatsächlichen Wert in %
KU 01-10	57,1	87,0	-29,9	-52,4
KU 11-20	100,0	140,2	-40,2	-40,2
KU 21-30	139,0	177,0	-38,0	-27,3
KU 31-40	175,0	224,0	-49,0	-28,0

**Tabelle 37**

**„Hastings O+“: pK 6,33 mit Na u. K - Verwendung des BGA-pH-Werts**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)**

<b>Hastings 0+</b> HCO <sub>3</sub> mmol/l mit Na u. K pK 6,33	tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt	Mittelwert des gemessenen Bicarbonat- Gehalts	Differenz tatsächl. HCO <sub>3</sub> - Gehalt minus gemessener Mittelwert	Differenz des Mittelwerts vom tatsächlichen Wert in %
KU 01-10	57,1	41,2	15,9	27,8
KU 11-20	100,0	79,5	20,5	20,5
KU 21-30	139,0	121,6	17,4	12,5
KU 31-40	175,0	168,0	7,0	4,0

**Tabelle 38**

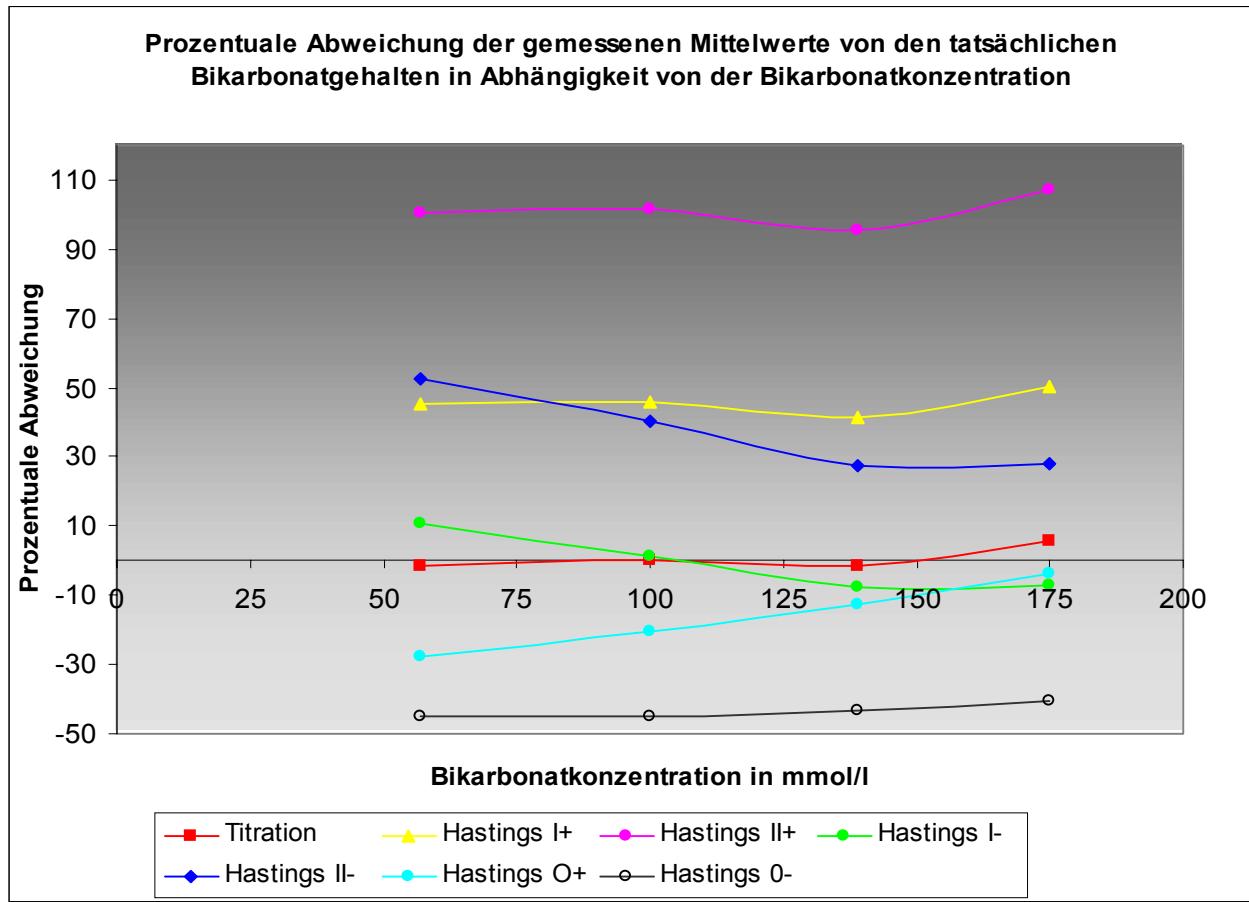
**„Hastings O-“: pK 6,33 ohne Na u. K - Verwendung des BGA-pH-Werts**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> in mmol/l „bei künstlichen Urinen“ (KU)**

<b>Hastings 0-</b> HCO <sub>3</sub> mmol/l ohne Na u. K pK 6,33	tatsächlicher Bicarbonat- Gehalt	Mittelwert des gemessenen Bicarbonat- Gehalts	Differenz tatsächl. HCO <sub>3</sub> -Gehalt minus gemessener Mittelwert	Differenz des Mittelwerts vom tatsächlichen Wert in %
KU 01-10	57,1	31,3	25,8	45,2
KU 11-20	100,0	55,0	45,0	45,0
KU 21-30	139,0	79,2	59,8	43,0
KU 31-40	175,0	103,8	71,2	40,7

**Tabelle 39**

Im folgenden *Diagramm 16* werden die Ergebnisse der „Differenz der Mittelwerte vom tatsächlichen Wert in Prozent“ mit umgekehrten Vorzeichen – also der tatsächlichen Abweichung entsprechend – grafisch dargestellt:



*Diagr. 16*

#### **Titration (Tab. 17, 24, 25, 26, 33, Diagr. 16)**

Die Abweichung der durch **Titration** gemessenen Bicarbonat-Konzentrationen (Mittelwerte) vom tatsächlichen Bicarbonat-Gehalt liegt bei den „künstlichen Urinen“ mit Bicarbonat-Konzentrationen von 57, 100 und 139 mmol/l zwischen 0 und 1,7 % und bei der Bicarbonat-Konzentration 175 mmol/l bei -5,9 %.

#### **„Hastings I+“ (Verwendung von $pK=6,47$ mit Berücksichtigung der Elektrolyte - Verwendung des pH-Meter-Werts) (Tab. 18, 24, 25, 27, 34, Diagr. 16)**

Die nach der „**Hastings I+“-Formel** gemessenen Bicarbonat-Konzentrationen (Mittelwerte) weichen von den tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen bei allen 4 „künstlichen Urinen“ erheblich ab (-41,7 bis -50,1 %). Die Methode „Hastings I+“ misst also zu hohe Bicarbonat-Konzentrationen.

**„Hastings II+“ (Verwendung von pK=6,33 mit Berücksichtigung der Elektrolyte – Verwendung des pH-Meter-Werts) (Tab. 19, 24, 25, 28, 35, Diagr. 16)**

Die nach der „**Hastings-II+“-Formel** gemessenen Bicarbonat-Konzentrationen (Mittelwerte) weichen von den tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen bei allen 4 „künstlichen Urinen“ noch stärker ab (-95,6 bis -107,2 %). Die Methode „Hastings II+“ misst also noch weiter nach oben abweichende Konzentrationen.

**„Hastings I-“ (Verwendung von pK=6,47 ohne Berücksichtigung der Elektrolyte – Verwendung des pH-Meter-Werts) (Tab. 20, 24, 25, 29, 36, Diagr. 16)**

Die nach der „**Hastings-I-“-Formel** gemessenen Bicarbonat-Konzentrationen (Mittelwerte) weichen von den tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen bei allen „künstlichen Urinen“ nur wenig ab (-10,5 bis 7,8 %).

**„Hastings II-“ (Verwendung von pK=6,33 ohne Berücksichtigung der Elektrolyte – Verwendung des pH-Meter-Werts) (Tab. 21, 24, 25, 30, 37, Diagr. 16)**

Die nach der „**Hastings II-“ -Formel** gemessenen Bicarbonat-Konzentrationen (Mittelwerte) weichen von den tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen bei den „künstlichen Urinen“ mit niedriger (57 bis 100 mmol/l) Bicarbonat-Konzentration um -40,2 bis -52,4 % und bei hohen Konzentrationen (100 bis 175 mmol/l) um -27,3 bis -28,0 % ab. Somit misst „Hastings II-“ bei niedrigen Konzentrationen deutlich und bei hohen Konzentrationen weniger stark nach oben abweichende Bicarbonat-Konzentrationen.

**„Hastings O+“ (Verwendung von pK=6,33 mit Berücksichtigung der Elektrolyte – Verwendung des BGA-pH-Werts) (Tab. 22, 24, 25, 31, 38, Diagr. 16)**

Die nach der „**Hastings-O+“-Formel** gemessenen Bicarbonat-Konzentrationen (Mittelwerte) weichen von den tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen bei den „künstlichen Urinen“ mit niedriger (57 bis 100 mmol/l) Bicarbonat-Konzentration um 27,8 bzw. 20,5 % und bei hoher (100 bis 175 mmol/l) Bicarbonat-Konzentration um 12,5 bzw. 4,0 % ab. „Hastings O+“ misst also etwas zu niedrige Bicarbonat-Konzentrationen, die Abweichung wird aber mit zunehmender Konzentration sehr gering.

**„Hastings O-“ (Verwendung von pK=6,33 ohne Berücksichtigung der Elektrolyte – Verwendung des BGA-pH-Werts) (Tab. 23, 24, 25, 32, 39, Diagr. 16)**

Die nach der „**Hastings-O-**“-Formel gemessenen Bicarbonat-Konzentrationen (Mittelwerte) weichen von den tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen der „künstlichen Urine“ bei allen Konzentrationen deutlich ab (43,0 bis 45,2 %). „Hastings O-“ misst also deutlich zu wenig Bicarbonat.

## **2.b) Korrelationsprüfung mittels Regressionsanalyse**

Die Regressionsanalyse erlaubt den Vergleich der Bicarbonat-Messwerte der zu prüfenden Messmethoden mit den tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen unter zwei Gesichtspunkten: 1. der durchschnittlichen Abweichung und 2. der unteren Nachweisgrenze. Die hier durchgeführte lineare Regressionsanalyse berechnet für die Formel  $y = bx + a$ , in der y der mit der zu prüfenden Messmethode gemessene Bicarbonat-Konzentration und x der im „künstlichen Urin“ tatsächlichen Bicarbonat-Konzentration entsprechen, die Variable b (die Steigung der Geraden), die der mittleren Abweichung aller gemessenen von den tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen wiedergibt und die Variable a (der y-Wert bei x=0), die angibt, wie viel Bicarbonat die zu prüfende Messmethode misst, wenn die tatsächliche Bicarbonat-Konzentration Null ist.

Bei völliger Übereinstimmung der Messergebnisse mit der tatsächlichen Bicarbonat-Konzentration würde die Regressionsanalyse ergeben  $y = x$ .

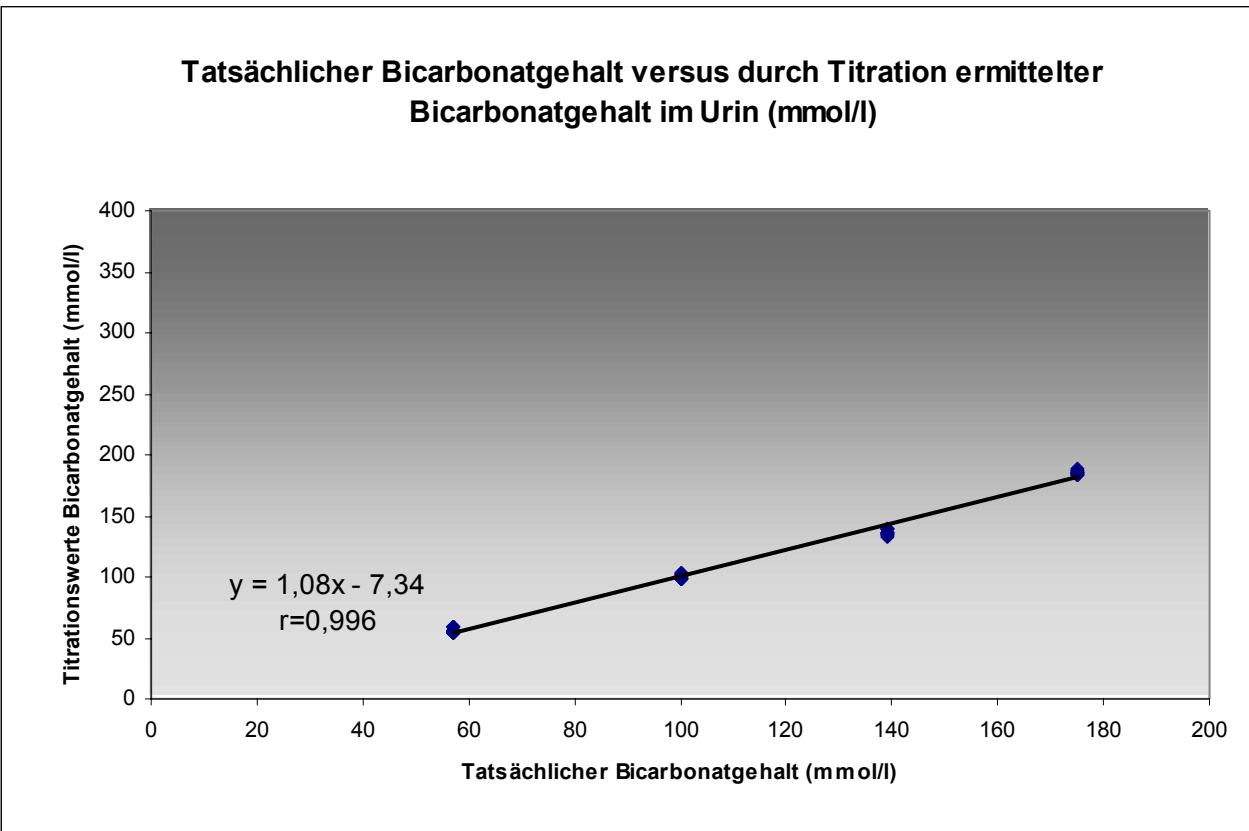
Neben der Regressionsformel haben wir hier auch den Korrelationskoeffizienten r berechnet, der Korrelationskoeffizienten r kann zwischen -1 und +1 liegen. Je näher er bei 1 liegt, umso grösser ist die Korrelation zwischen der gemessenen und der tatsächlichen Bicarbonat-Konzentration (siehe folgende Tabelle).

0 < r < 0,2	sehr geringe Korrelation
0,2 < r < 0,5	geringe Korrelation
0,5 < r < 0,7	mittlere Korrelation
0,7 < r < 0,9	hohe Korrelation
0,9 < r < 1	sehr hohe Korrelation

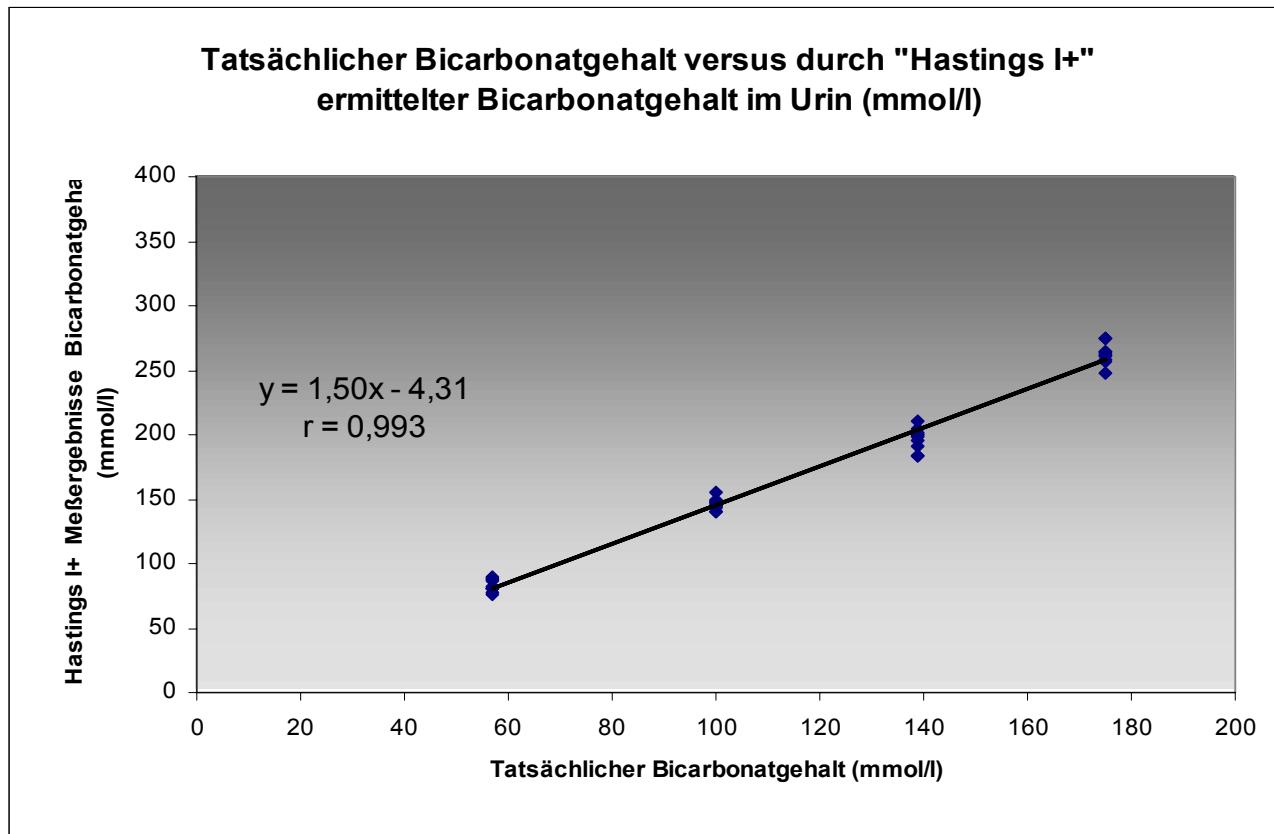
Die Ergebnisse der Regressionsanalysen sind in den folgenden *Diagrammen 17-23* wiedergegeben.

Die Messergebnisse, ermittelt mit den Methoden der Titration und den 6 Hastings-Varianten, sind jeweils auf der y-Achse, die dazugehörende tatsächlichen Bicarbonat-Konzentrationen sind jeweils auf der x-Achse aufgetragen.

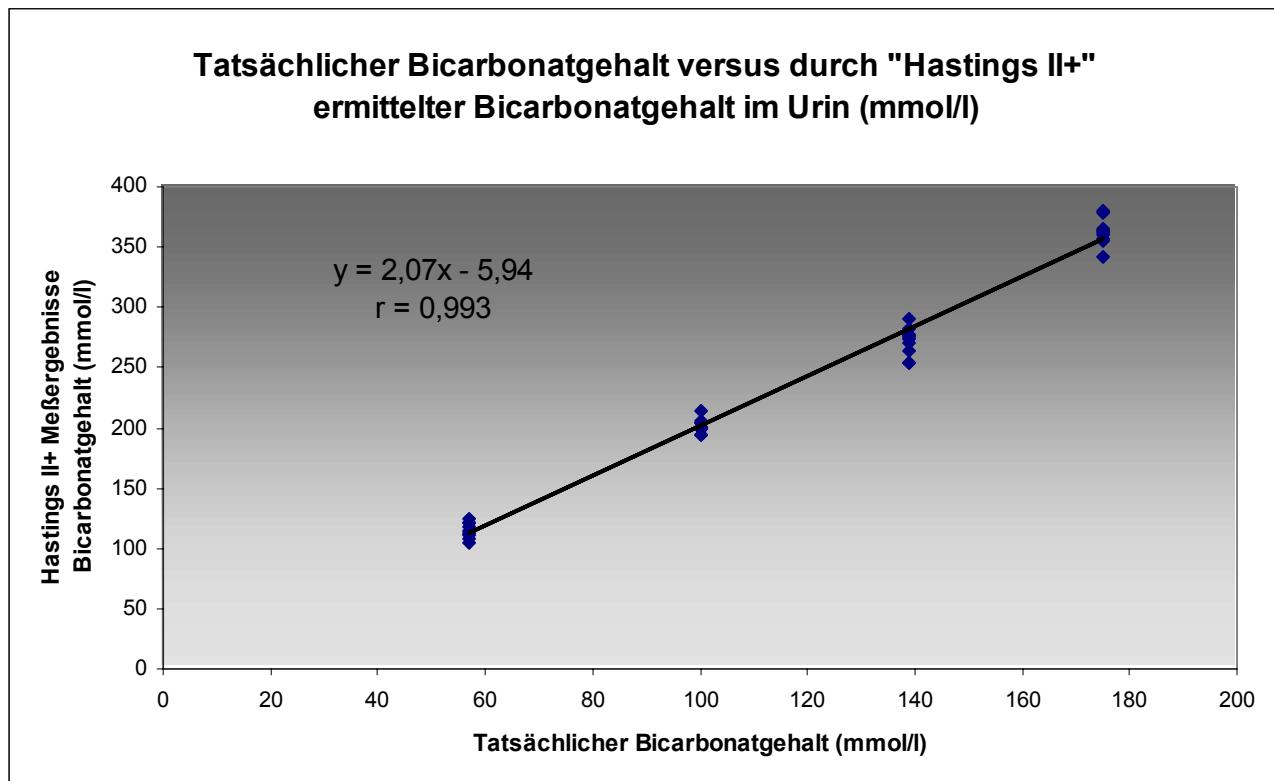
Jeder der 4 Punkte (Punktwolken) gibt 10 Wiederholungs-Messungen wieder. In jedem Diagramm sind die Regressionsformel und der Korrelationskoeffizient eingetragen.



**Diagramm 17**

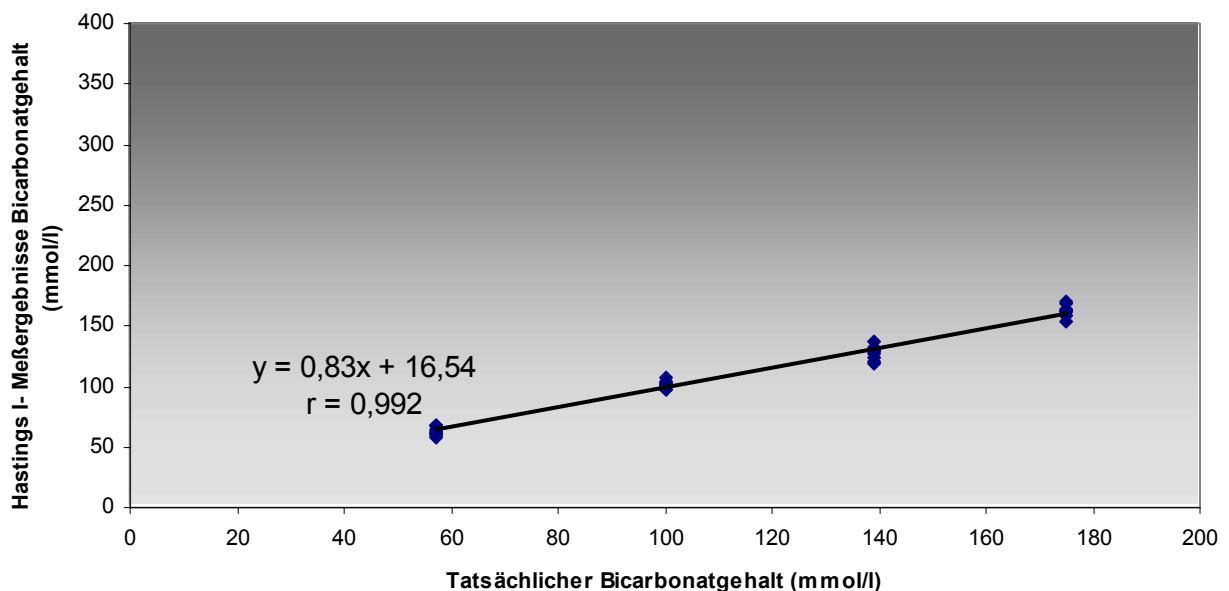


**Diagramm 18**



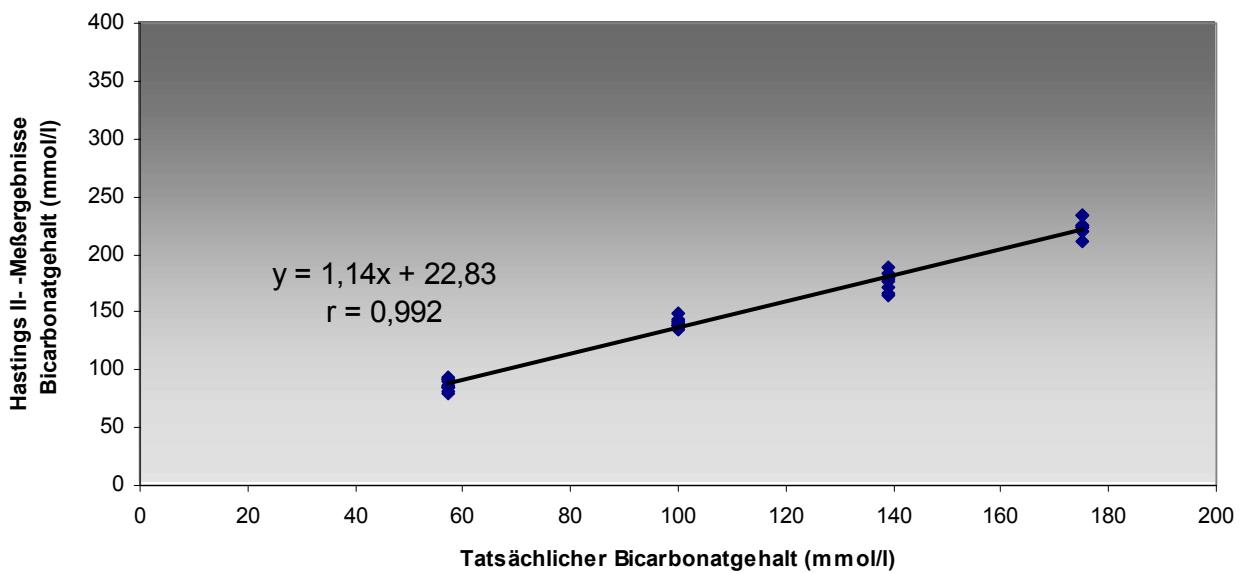
**Diagramm 19**

**Tatsächlicher Bicarbonatgehalt versus durch "Hastings I"- ermittelter Bicarbonatgehalt im Urin (mmol/l)**

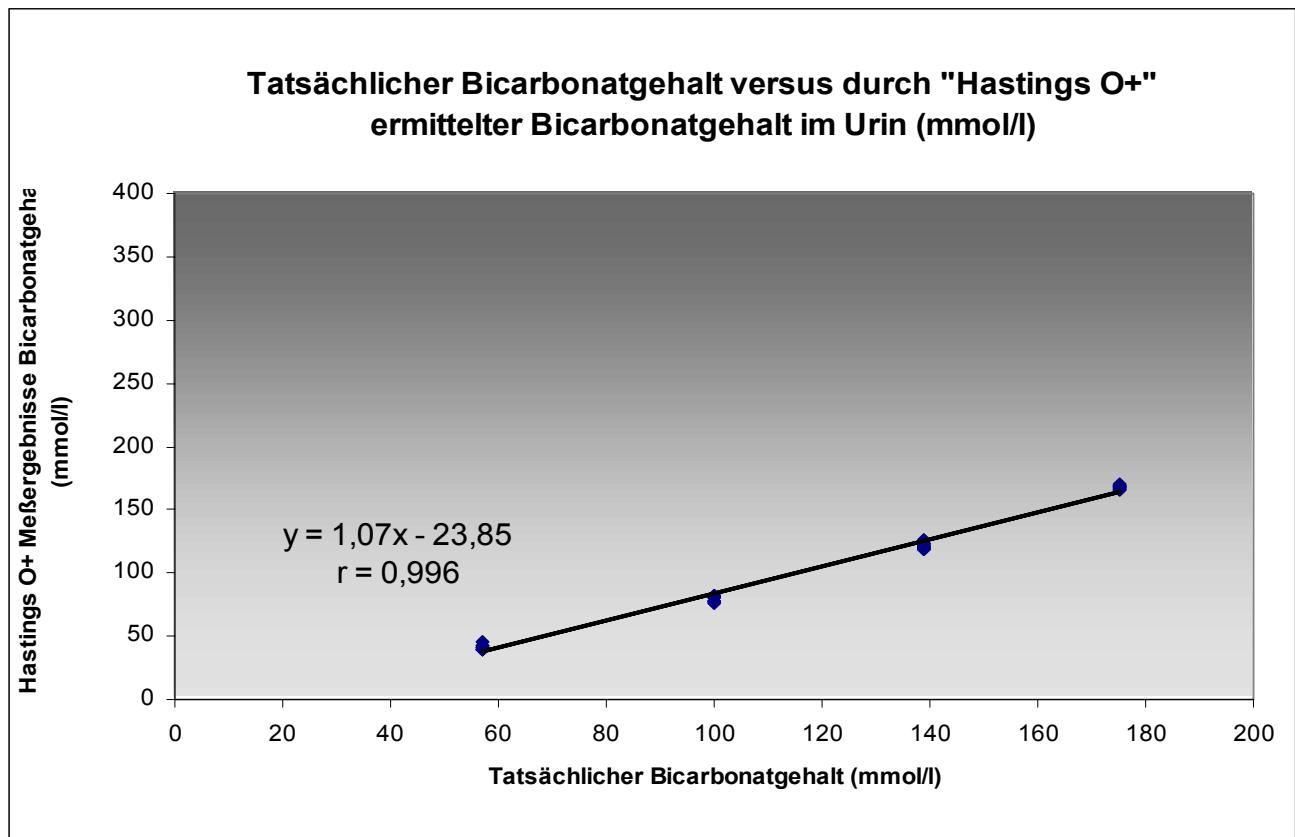


**Diagramm 20**

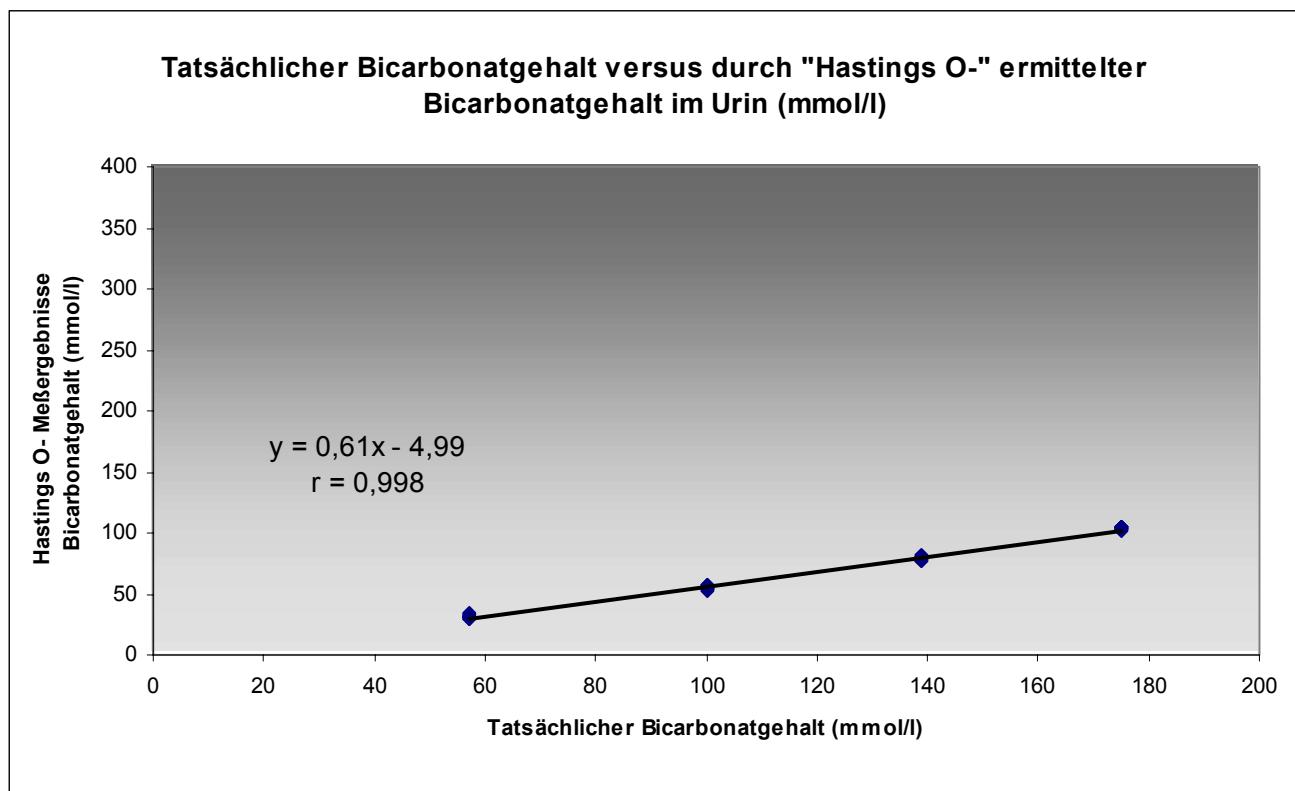
**Tatsächlicher Bicarbonatgehalt versus durch "Hastings II"- ermittelter Bicarbonatgehalt im Urin (mmol/l)**



**Diagramm 21**



**Diagramm 22**



**Diagramm 23**

## Bewertung der Ergebnisse der Regressionsanalysen

Für alle Messmethoden errechnen sich sehr hohe Korrelationskoeffizienten ( $r > 0,9$ ).

Die a-Werte (intercept) liegen zwischen -23,85 mmol/l (Minimum) und +22,83 (Maximum).

Die b-Werte weichen für einige Methoden vom Idealwert 1,0 nur gering (Minimum 1,07), für andere deutlich (Maximum 2,07) ab.

Für die einzelnen Messmethoden errechnen sich folgende Ergebnisse:

### **Titration (Diagramm 17)**

Die Regressionsgerade für Titration versus tatsächlicher Bicarbonat-Konzentration entspricht mit  $y = 1,08 x - 7,34$  nahezu der Idealgleichung  $y = 1,00 x$ . Es liegt hier eine sehr hohe Korrelation vor:  $r = 0,996$ .

### **Hastings I +: Verwendung von pK=6,47 und Berücksichtigung der Elektrolyte Natrium und Kalium – Verwendung des pH-Meter-Werts (Diagramm 18)**

Die Regressionsgerade für „Hastings I+“ versus tatsächlicher Bicarbonat-Konzentration ( $y = 1,50x - 4,31$ ) zeigt an, dass diese Hastings-Variante 1,5-fach zu hohe Bicarbonat-Konzentrationen misst. Es liegt hier ebenfalls eine sehr hohe Korrelation vor:  $r = 0,993$ .

### **Hastings II +: Verwendung von pK=6,33 und Berücksichtigung der Elektrolyte Natrium und Kalium, Verwendung des pH-Meter-Werts (Diagramm 19)**

Die Regressionsgerade von „Hastings II+“ versus tatsächlicher Bicarbonat-Konzentration ( $y = 2,07x - 5,94$ ) zeigt an, dass diese Hastings-Variante doppelt so viel Bicarbonat misst wie tatsächlich in den künstlichen Urinen vorhanden ist. Die Korrelation ist auch hier sehr hoch:  $r = 0,993$ .

**Hastings I - : Verwendung von pK=6,33, aber ohne Berücksichtigung der Elektrolyte****Natrium und Kalium, Verwendung des pH-Meter-Werts (Diagramm 20)**

Die Regressionsgerade für „Hastings I-“ versus tatsächlicher Bicarbonat-Konzentration ( $y = 0,83 x + 16,54$ ) verläuft etwas flacher als die Ideal-Gerade ( $y = 1,00 x$ ) und zeigt damit an, dass diese Hastings-Variante etwas weniger Bicarbonat misst als in den „künstlichen Urinen“ vorhanden ist. Der a-Wert von +16,45 bedeutet, dass diese Methode (nicht plausibel) in einem bicarbonatfreien Urin 16,54 mmol/l Bicarbonat messen würde. Es liegt hier auch eine sehr hohe Korrelation vor:  $r = 0,992,54$  m

**Hastings II - : Verwendung von pK=6,33, aber ohne Berücksichtigung der Elektrolyte****Natrium und Kalium, Verwendung des pH-Meter-Werts (Diagramm 21)**

Die Regressionsgerade für „Hastings II-“ versus tatsächlicher Bicarbonat-Konzentration ( $y = 1,14 x + 22,83$ ) verläuft etwas steiler als die Ideal-Gerade und zeigt an, dass diese Hastings-Variante im Mittel um 14% zu viel Bicarbonat misst. Es liegt hier wiederum eine sehr hohe Korrelation vor:  $r = 0,992$ .

**Hastings O+ : Verwendung von pK=6,33 mit Berücksichtigung der Elektrolyte Natrium****und Kalium, Verwendung des BGA-pH-Werts (Diagramm 22)**

Die Regressionsgerade bei „Hastings O+“ versus tatsächlicher Bicarbonat-Konzentration ( $y = 1,07x - 23,85$ ) entspricht geradezu der Ideal-Geraden; die Abweichung am Nullpunkt beträgt allerdings -23,85. Es liegt hier wiederum eine sehr hohe Korrelation vor:  $r = 0,996$ .

**Hastings O- : Verwendung von pK=6,33 ohne Berücksichtigung der Elektrolyte****Natrium und Kalium, Verwendung des BGA-pH-Werts (Diagramm 23)**

Die Regressionsgerade bei „Hastings O-“ versus tatsächlicher Bicarbonat-Konzentration ( $y = 0,61x - 4,99$ ) zeigt, dass diese Hastings-Variante nur 61% des tatsächlichen Bicarbonat-Gehalts in „künstlichen Urinen“ entdeckt. Die Korrelation ist  $r = 0,998$  sehr hoch.

### **3.3.2. Bestimmung des Bicarbonat-Gehalts in „echten Urinen“ mittels Titration und nach der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung vor und nach Zugabe von Kaliumbicarbonat ( $\text{KHCO}_3$ )**

Nach den Untersuchungen an „künstlichen Urinen“ (Kap. 3.3.1.), die prüfen sollten, ob die Ergebnisse der einzelnen Messmethoden reproduzierbar sind und wie genau mit der jeweiligen Methode der tatsächliche Bicarbonat-Gehalt gemessen wird, soll in diesem Kapitel untersucht werden, wie stark die Ergebnisse der einzelnen Messmethoden bei „echten Urinen“ differieren bzw. korrelieren. Dazu wurden von 48 Patienten frische Urine gewonnen und jeweils vier 10ml-Portionen in Bechergläser gefüllt (A,B,C und D) und durchnummeriert (A 1 – 48, B 1 – 48, C 1 – 48, D 1 – 48). In der ersten Probenreihe (A 1 - A 48) blieben die Urinproben unverändert, d.h. sie erhielten keinen Bicarbonat-Zusatz. In der Probenreihe B 1 - B 48 wurde jeder Urinprobe 0,5 ml, in der Probenreihe C 1 - C 48 1,0 ml und in der Probenreihe D 1 – D 48 2,0 ml einmolare Kalium-Bicarbonat-Lösung zugegeben. Anschliessend wurde in sämtlichen Urinproben der Bicarbonat-Gehalt mittels Titration und mittels der Methode nach Hastings in den Varianten „Hastings I+, II+, I-, II-, O+, O-“ bestimmt. Der Grund für die Zugabe des Bicarbonats zu den Proben der Reihen B bis D war folgender: der pH-Wert des Urins gesunder Menschen liegt normalerweise zwischen 4,8 und 7,6; mit einem messbaren Bicarbonat-Gehalt im Urin ist erst ab einem pH-Wert oberhalb von 6,5 zu rechnen<sup>212</sup>. Da der gemessene Ausgangs-pH-Wert bei etwa der Hälfte der untersuchten Urinproben unter 6,5 lag, wurden durch die stufenweise Zugabe von Kalium-Bicarbonat die Urine alkalisiert, so dass sich messbare Bicarbonat-Konzentrationen in den Urinen ergaben. Dieser methodische Schritt folgt der Methodik von Lin und Chan<sup>178</sup>.

Im folgenden werden zunächst die Bicarbonat-Messergebnisse der Probereihen A bis D wiedergegeben (Tab. 40-67), anschliessend werden die Abweichungen der Bicarbonat-Konzentrationen, die mit Hilfe der Hastings-Varianten errechnet wurden, von den durch Titration ermittelten Bicarbonat-Konzentrationen wiedergegeben (Tab. 68-71). In den Tabellen 45, 46 und 68 werden pH-Werte, die unter der Nachweisgrenze des Blutgasanalysegeräts lagen, mit „<<“ angezeigt. Für diese Urine konnte kein Bicarbonat-Gehalt mittels Hastings errechnet werden, dies ist ebenfalls mit „<<“ angezeigt. Die Zugabe von 0,5 ml  $\text{KHCO}_3$  (1,0 mol/l) reichte aus, um in allen Urinproben den pH-Wert in einen messbaren Bereich zu bringen, so dass eine Ermittlung des Bicarbonat-Gehalts möglich wurde.

(Text weiter auf Seite 116)

## Bicarbonatbestimmung durch Titration bei echten Urinen

### Probereihe A (Bicarbonatzugabe = 0 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung und pH des Urins			Bicarbonat-Bestimmung (Titration)			
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	pH- Meter)	Zugabe von HCl (0,1mol/l) ml	Rücktitration mit NaOH (0,1mol/l) ml	Differenz ml HCl minus ml NaOH	per Titration bestimmtes HCO <sub>3</sub> - mmol/l
1	10,0	0,0	7,39	10	9,53	0,47	4,7
2	10,0	0,0	6,48	10	9,57	0,43	4,3
3	10,0	0,0	6,72	10	9,43	0,57	5,7
4	10,0	0,0	6,99	10	9,63	0,37	3,7
5	10,0	0,0	6,03	10	10,00	0,00	0,0
6	10,0	0,0	6,56	10	9,93	0,07	0,7
7	10,0	0,0	5,97	10	9,75	0,25	2,5
8	10,0	0,0	6,01	10	9,94	0,06	0,6
9	10,0	0,0	5,95	10	9,71	0,29	2,9
10	10,0	0,0	6,94	10	10,00	0,00	0,0
11	10,0	0,0	7,58	10	9,75	0,25	2,5
12	10,0	0,0	8,16	10	9,61	0,39	3,9
13	10,0	0,0	7,03	10	9,79	0,21	2,1
14	10,0	0,0	5,70	10	9,34	0,66	6,6
15	10,0	0,0	6,88	10	9,74	0,26	2,6
16	10,0	0,0	7,18	10	8,90	1,10	11,0
17	10,0	0,0	6,58	10	9,24	0,76	7,6
18	10,0	0,0	6,05	10	9,80	0,20	2,0
19	10,0	0,0	5,29	10	9,95	0,05	0,5
20	10,0	0,0	6,08	10	9,82	0,18	1,8
21	10,0	0,0	6,77	10	9,67	0,33	3,3
22	10,0	0,0	6,03	10	9,98	0,02	0,2
23	10,0	0,0	5,56	10	9,02	0,98	9,8
24	10,0	0,0	7,42	10	6,16	3,84	38,4
25	10,0	0,0	6,58	10	9,74	0,26	2,6
26	10,0	0,0	7,82	10	7,69	2,31	23,1
27	10,0	0,0	5,58	10	9,91	0,09	0,9
28	10,0	0,0	5,70	10	9,60	0,40	4,0
29	10,0	0,0	6,49	10	9,79	0,21	2,1
30	10,0	0,0	6,04	10	9,74	0,26	2,6
31	10,0	0,0	5,32	10	9,78	0,22	2,2
32	10,0	0,0	7,23	10	9,74	0,26	2,6
33	10,0	0,0	6,94	10	9,90	0,10	1,0
34	10,0	0,0	7,47	10	9,09	0,91	9,1
35	10,0	0,0	7,08	10	9,54	0,46	4,6
36	10,0	0,0	7,99	10	9,06	0,94	9,4
37	10,0	0,0	6,37	10	9,80	0,20	2,0
38	10,0	0,0	5,48	10	9,77	0,23	2,3
39	10,0	0,0	7,34	10	8,93	1,07	10,7
40	10,0	0,0	6,85	10	9,26	0,74	7,4
41	10,0	0,0	6,33	10	9,83	0,17	1,7
42	10,0	0,0	5,19	10	9,61	0,39	3,9
43	10,0	0,0	7,23	10	9,22	0,78	7,8
44	10,0	0,0	5,80	10	9,66	0,34	3,4
45	10,0	0,0	7,60	10	7,63	2,37	23,7
46	10,0	0,0	7,67	10	9,28	0,72	7,2
47	10,0	0,0	5,42	10	9,95	0,05	0,5
48	10,0	0,0	6,60	10	9,65	0,35	3,5

**Tabelle 40**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings I+“ bei echten Urinen**

**Probereihe A (Bicarbonatzugabe = 0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l ) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings I+ (mit Na u. K pK = 6,47) mmol/l
1	10,0	0,0	86,0	68,7	7,39	24,3	9,5
2	10,0	0,0	101,0	37,9	6,48	19,0	0,9
3	10,0	0,0	51,0	9,3	6,72	15,6	1,1
4	10,0	0,0	11,0	9,7	6,99	28,5	3,3
5	10,0	0,0	34,0	5,5	6,03	8,4	0,1
6	10,0	0,0	57,0	37,8	6,56	25,0	1,3
7	10,0	0,0	24,0	13,7	5,97	9,8	0,1
8	10,0	0,0	16,0	7,8	6,01	13,5	0,2
9	10,0	0,0	37,0	32,2	5,95	11,1	0,1
10	10,0	0,0	38,0	28,8	6,94	17,4	2,1
11	10,0	0,0	71,0	6,0	7,58	18,9	10,1
12	10,0	0,0	98,0	6,6	8,16	7,5	16,0
13	10,0	0,0	106,0	35,5	7,03	8,5	1,4
14	10,0	0,0	193,0	53,2	5,70	16,9	0,2
15	10,0	0,0	19,0	4,0	6,88	12,2	1,1
16	10,0	0,0	73,0	5,8	7,18	24,8	5,3
17	10,0	0,0	104,0	64,3	6,58	50,7	3,1
18	10,0	0,0	29,0	51,4	6,05	14,0	0,2
19	10,0	0,0	46,0	8,3	5,29	15,5	0,0
20	10,0	0,0	111,0	20,8	6,08	6,0	0,1
21	10,0	0,0	126,0	11,0	6,77	16,7	1,5
22	10,0	0,0	23,0	11,6	6,03	16,7	0,2
23	10,0	0,0	41,0	85,3	5,56	17,9	0,1
24	10,0	0,0	290,7	66,0	7,42	23,2	12,3
25	10,0	0,0	124,0	62,5	6,58	12,5	0,8
26	10,0	0,0	127,0	65,2	7,82	50,1	55,7
27	10,0	0,0	17,0	20,3	5,58	23,1	0,1
28	10,0	0,0	63,0	27,6	5,70	24,1	0,2
29	10,0	0,0	100,0	25,4	6,49	28,0	1,3
30	10,0	0,0	164,0	54,5	6,04	14,9	0,3
31	10,0	0,0	92,0	38,4	5,32	17,2	0,1
32	10,0	0,0	146,0	89,2	7,23	25,9	7,8
33	10,0	0,0	33,0	13,7	6,94	24,2	2,7
34	10,0	0,0	51,0	15,2	7,47	19,9	8,0
35	10,0	0,0	47,0	39,7	7,08	26,0	4,5
36	10,0	0,0	39,0	12,4	7,99	11,0	14,2
37	10,0	0,0	49,0	7,8	6,37	20,0	0,6
38	10,0	0,0	150,0	22,6	5,48	16,2	0,1
39	10,0	0,0	51,0	28,4	7,34	46,7	14,4
40	10,0	0,0	100,0	84,3	6,85	30,5	3,6
41	10,0	0,0	24,0	12,5	6,33	15,2	0,4
42	10,0	0,0	484,9	128,6	5,19	12,9	0,1
43	10,0	0,0	78,0	21,8	7,23	24,4	6,1
44	10,0	0,0	172,0	98,2	5,80	10,0	0,1
45	10,0	0,0	118,0	48,6	7,60	55,1	35,7
46	10,0	0,0	105,0	51,0	7,67	14,3	10,7
47	10,0	0,0	58,0	63,0	5,42	12,0	0,0
48	10,0	0,0	228,0	48,7	6,60	23,7	1,8

**Tabelle 41**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings II+“ bei echten Urinen**

**Probereihe A (Bicarbonatzugabe = 0 ml)**

Urin-probe Nr.	Original-Urin ml	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine					Bicarbonat-bestimmung nach Hastings II+ (mit Na u. K pK = 6,33) mmol/l
		KHCO <sub>3</sub> (1mol/l ) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	
1	10,0	0,0	86,0	68,7	7,39	24,3	13,2
2	10,0	0,0	101,0	37,9	6,48	19,0	1,2
3	10,0	0,0	51,0	9,3	6,72	15,6	1,5
4	10,0	0,0	11,0	9,7	6,99	28,5	4,6
5	10,0	0,0	34,0	5,5	6,03	8,4	0,2
6	10,0	0,0	57,0	37,8	6,56	25,0	1,8
7	10,0	0,0	24,0	13,7	5,97	9,8	0,2
8	10,0	0,0	16,0	7,8	6,01	13,5	0,2
9	10,0	0,0	37,0	32,2	5,95	11,1	0,2
10	10,0	0,0	38,0	28,8	6,94	17,4	2,9
11	10,0	0,0	71,0	6,0	7,58	18,9	13,9
12	10,0	0,0	98,0	6,6	8,16	7,5	22,1
13	10,0	0,0	106,0	35,5	7,03	8,5	2,0
14	10,0	0,0	193,0	53,2	5,70	16,9	0,2
15	10,0	0,0	19,0	4,0	6,88	12,2	1,5
16	10,0	0,0	73,0	5,8	7,18	24,8	7,3
17	10,0	0,0	104,0	64,3	6,58	50,7	4,3
18	10,0	0,0	29,0	51,4	6,05	14,0	0,3
19	10,0	0,0	46,0	8,3	5,29	15,5	0,1
20	10,0	0,0	111,0	20,8	6,08	6,0	0,2
21	10,0	0,0	126,0	11,0	6,77	16,7	2,1
22	10,0	0,0	23,0	11,6	6,03	16,7	0,3
23	10,0	0,0	41,0	85,3	5,56	17,9	0,1
24	10,0	0,0	290,7	66,0	7,42	23,2	17,0
25	10,0	0,0	124,0	62,5	6,58	12,5	1,1
26	10,0	0,0	127,0	65,2	7,82	50,1	76,9
27	10,0	0,0	17,0	20,3	5,58	23,1	0,2
28	10,0	0,0	63,0	27,6	5,70	24,1	0,2
29	10,0	0,0	100,0	25,4	6,49	28,0	1,8
30	10,0	0,0	164,0	54,5	6,04	14,9	0,4
31	10,0	0,0	92,0	38,4	5,32	17,2	0,1
32	10,0	0,0	146,0	89,2	7,23	25,9	10,8
33	10,0	0,0	33,0	13,7	6,94	24,2	3,8
34	10,0	0,0	51,0	15,2	7,47	19,9	11,1
35	10,0	0,0	47,0	39,7	7,08	26,0	6,2
36	10,0	0,0	39,0	12,4	7,99	11,0	19,6
37	10,0	0,0	49,0	7,8	6,37	20,0	0,9
38	10,0	0,0	150,0	22,6	5,48	16,2	0,1
39	10,0	0,0	51,0	28,4	7,34	46,7	19,8
40	10,0	0,0	100,0	84,3	6,85	30,5	5,0
41	10,0	0,0	24,0	12,5	6,33	15,2	0,6
42	10,0	0,0	484,9	128,6	5,19	12,9	0,1
43	10,0	0,0	78,0	21,8	7,23	24,4	8,4
44	10,0	0,0	172,0	98,2	5,80	10,0	0,2
45	10,0	0,0	118,0	48,6	7,60	55,1	49,2
46	10,0	0,0	105,0	51,0	7,67	14,3	14,8
47	10,0	0,0	58,0	63,0	5,42	12,0	0,1
48	10,0	0,0	228,0	48,7	6,60	23,7	2,4

**Tabelle 42**

## Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings I-“ bei echten Urinen

### Probereihe A (Bicarbonatzugabe = 0 ml)

	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
Urin-probe Nr.	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings I- (ohne Na u. K pK = 6,47) mmol/l
1	10,0	0,0	86,0	68,7	7,39	24,3	6,1
2	10,0	0,0	101,0	37,9	6,48	19,0	0,6
3	10,0	0,0	51,0	9,3	6,72	15,6	0,8
4	10,0	0,0	11,0	9,7	6,99	28,5	2,8
5	10,0	0,0	34,0	5,5	6,03	8,4	0,1
6	10,0	0,0	57,0	37,8	6,56	25,0	0,9
7	10,0	0,0	24,0	13,7	5,97	9,8	0,1
8	10,0	0,0	16,0	7,8	6,01	13,5	0,1
9	10,0	0,0	37,0	32,2	5,95	11,1	0,1
10	10,0	0,0	38,0	28,8	6,94	17,4	1,5
11	10,0	0,0	71,0	6,0	7,58	18,9	7,3
12	10,0	0,0	98,0	6,6	8,16	7,5	11,0
13	10,0	0,0	106,0	35,5	7,03	8,5	0,9
14	10,0	0,0	193,0	53,2	5,70	16,9	0,1
15	10,0	0,0	19,0	4,0	6,88	12,2	0,9
16	10,0	0,0	73,0	5,8	7,18	24,8	3,8
17	10,0	0,0	104,0	64,3	6,58	50,7	2,0
18	10,0	0,0	29,0	51,4	6,05	14,0	0,2
19	10,0	0,0	46,0	8,3	5,29	15,5	0,0
20	10,0	0,0	111,0	20,8	6,08	6,0	0,1
21	10,0	0,0	126,0	11,0	6,77	16,7	1,0
22	10,0	0,0	23,0	11,6	6,03	16,7	0,2
23	10,0	0,0	41,0	85,3	5,56	17,9	0,1
24	10,0	0,0	290,7	66,0	7,42	23,2	6,2
25	10,0	0,0	124,0	62,5	6,58	12,5	0,5
26	10,0	0,0	127,0	65,2	7,82	50,1	33,6
27	10,0	0,0	17,0	20,3	5,58	23,1	0,1
28	10,0	0,0	63,0	27,6	5,70	24,1	0,1
29	10,0	0,0	100,0	25,4	6,49	28,0	0,9
30	10,0	0,0	164,0	54,5	6,04	14,9	0,2
31	10,0	0,0	92,0	38,4	5,32	17,2	0,0
32	10,0	0,0	146,0	89,2	7,23	25,9	4,5
33	10,0	0,0	33,0	13,7	6,94	24,2	2,1
34	10,0	0,0	51,0	15,2	7,47	19,9	6,0
35	10,0	0,0	47,0	39,7	7,08	26,0	3,2
36	10,0	0,0	39,0	12,4	7,99	11,0	10,9
37	10,0	0,0	49,0	7,8	6,37	20,0	0,5
38	10,0	0,0	150,0	22,6	5,48	16,2	0,0
39	10,0	0,0	51,0	28,4	7,34	46,7	10,4
40	10,0	0,0	100,0	84,3	6,85	30,5	2,2
41	10,0	0,0	24,0	12,5	6,33	15,2	0,3
42	10,0	0,0	484,9	128,6	5,19	12,9	0,0
43	10,0	0,0	78,0	21,8	7,23	24,4	4,2
44	10,0	0,0	172,0	98,2	5,80	10,0	0,1
45	10,0	0,0	118,0	48,6	7,60	55,1	22,3
46	10,0	0,0	105,0	51,0	7,67	14,3	6,8
47	10,0	0,0	58,0	63,0	5,42	12,0	0,0
48	10,0	0,0	228,0	48,7	6,60	23,7	1,0

**Tabelle 43**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings II“ bei echten Urinen**

**Probereihe A (Bicarbonatzugabe = 0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings II-(ohne Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	0,0	86,0	68,7	7,39	24,3	8,4
2	10,0	0,0	101,0	37,9	6,48	19,0	0,8
3	10,0	0,0	51,0	9,3	6,72	15,6	1,1
4	10,0	0,0	11,0	9,7	6,99	28,5	3,9
5	10,0	0,0	34,0	5,5	6,03	8,4	0,1
6	10,0	0,0	57,0	37,8	6,56	25,0	1,3
7	10,0	0,0	24,0	13,7	5,97	9,8	0,1
8	10,0	0,0	16,0	7,8	6,01	13,5	0,2
9	10,0	0,0	37,0	32,2	5,95	11,1	0,1
10	10,0	0,0	38,0	28,8	6,94	17,4	2,1
11	10,0	0,0	71,0	6,0	7,58	18,9	10,1
12	10,0	0,0	98,0	6,6	8,16	7,5	15,2
13	10,0	0,0	106,0	35,5	7,03	8,5	1,3
14	10,0	0,0	193,0	53,2	5,70	16,9	0,1
15	10,0	0,0	19,0	4,0	6,88	12,2	1,3
16	10,0	0,0	73,0	5,8	7,18	24,8	5,3
17	10,0	0,0	104,0	64,3	6,58	50,7	2,7
18	10,0	0,0	29,0	51,4	6,05	14,0	0,2
19	10,0	0,0	46,0	8,3	5,29	15,5	0,0
20	10,0	0,0	111,0	20,8	6,08	6,0	0,1
21	10,0	0,0	126,0	11,0	6,77	16,7	1,4
22	10,0	0,0	23,0	11,6	6,03	16,7	0,3
23	10,0	0,0	41,0	85,3	5,56	17,9	0,1
24	10,0	0,0	290,7	66,0	7,42	23,2	8,6
25	10,0	0,0	124,0	62,5	6,58	12,5	0,7
26	10,0	0,0	127,0	65,2	7,82	50,1	46,4
27	10,0	0,0	17,0	20,3	5,58	23,1	0,1
28	10,0	0,0	63,0	27,6	5,70	24,1	0,2
29	10,0	0,0	100,0	25,4	6,49	28,0	1,2
30	10,0	0,0	164,0	54,5	6,04	14,9	0,2
31	10,0	0,0	92,0	38,4	5,32	17,2	0,1
32	10,0	0,0	146,0	89,2	7,23	25,9	6,2
33	10,0	0,0	33,0	13,7	6,94	24,2	3,0
34	10,0	0,0	51,0	15,2	7,47	19,9	8,2
35	10,0	0,0	47,0	39,7	7,08	26,0	4,4
36	10,0	0,0	39,0	12,4	7,99	11,0	15,1
37	10,0	0,0	49,0	7,8	6,37	20,0	0,7
38	10,0	0,0	150,0	22,6	5,48	16,2	0,1
39	10,0	0,0	51,0	28,4	7,34	46,7	14,3
40	10,0	0,0	100,0	84,3	6,85	30,5	3,0
41	10,0	0,0	24,0	12,5	6,33	15,2	0,5
42	10,0	0,0	484,9	128,6	5,19	12,9	0,0
43	10,0	0,0	78,0	21,8	7,23	24,4	5,8
44	10,0	0,0	172,0	98,2	5,80	10,0	0,1
45	10,0	0,0	118,0	48,6	7,60	55,1	30,8
46	10,0	0,0	105,0	51,0	7,67	14,3	9,4
47	10,0	0,0	58,0	63,0	5,42	12,0	0,0
48	10,0	0,0	228,0	48,7	6,60	23,7	1,3

**Tabelle 44**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings O+“ bei echten Urinen**

**Probereihe A (Bicarbonatzugabe = 0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings O+ (mit Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	0,0	86,0	68,7	7,03	24,3	5,7
2	10,0	0,0	101,0	37,9	6,37	19,0	1,0
3	10,0	0,0	51,0	9,3	6,53	15,6	1,0
4	10,0	0,0	11,0	9,7	6,52	28,5	1,6
5	10,0	0,0	34,0	5,5	<<	8,4	<<
6	10,0	0,0	57,0	37,8	6,37	25,0	1,2
7	10,0	0,0	24,0	13,7	<<	9,8	<<
8	10,0	0,0	16,0	7,8	<<	13,5	<<
9	10,0	0,0	37,0	32,2	<<	11,1	<<
10	10,0	0,0	38,0	28,8	6,73	17,4	1,8
11	10,0	0,0	71,0	6,0	7,15	18,9	5,2
12	10,0	0,0	98,0	6,6	7,55	7,5	5,4
13	10,0	0,0	106,0	35,5	6,84	8,5	1,3
14	10,0	0,0	193,0	53,2	<<	16,9	<<
15	10,0	0,0	19,0	4,0	6,63	12,2	0,9
16	10,0	0,0	73,0	5,8	6,73	24,8	2,6
17	10,0	0,0	104,0	64,3	6,42	50,7	3,0
18	10,0	0,0	29,0	51,4	<<	14,0	<<
19	10,0	0,0	46,0	8,3	<<	15,5	<<
20	10,0	0,0	111,0	20,8	<<	6,0	<<
21	10,0	0,0	126,0	11,0	6,55	16,7	1,3
22	10,0	0,0	23,0	11,6	<<	16,7	<<
23	10,0	0,0	41,0	85,3	<<	17,9	<<
24	10,0	0,0	290,7	66,0	7,17	23,2	9,6
25	10,0	0,0	124,0	62,5	6,38	12,5	0,7
26	10,0	0,0	127,0	65,2	7,42	50,1	30,6
27	10,0	0,0	17,0	20,3	<<	23,1	<<
28	10,0	0,0	63,0	27,6	<<	24,1	<<
29	10,0	0,0	100,0	25,4	<<	28,0	<<
30	10,0	0,0	164,0	54,5	<<	14,9	<<
31	10,0	0,0	92,0	38,4	<<	17,2	<<
32	10,0	0,0	146,0	89,2	6,82	25,9	4,2
33	10,0	0,0	33,0	13,7	6,53	24,2	1,5
34	10,0	0,0	51,0	15,2	7,16	19,9	5,4
35	10,0	0,0	47,0	39,7	6,84	26,0	3,5
36	10,0	0,0	39,0	12,4	7,44	11,0	5,5
37	10,0	0,0	49,0	7,8	<<	20,0	<<
38	10,0	0,0	150,0	22,6	<<	16,2	<<
39	10,0	0,0	51,0	28,4	7,06	46,7	10,4
40	10,0	0,0	100,0	84,3	6,71	30,5	3,6
41	10,0	0,0	24,0	12,5	<<	15,2	<<
42	10,0	0,0	484,9	128,6	<<	12,9	<<
43	10,0	0,0	78,0	21,8	6,96	24,4	4,5
44	10,0	0,0	172,0	98,2	<<	10,0	<<
45	10,0	0,0	118,0	48,6	7,22	55,1	20,5
46	10,0	0,0	105,0	51,0	7,23	14,3	5,4
47	10,0	0,0	58,0	63,0	<<	12,0	<<
48	10,0	0,0	228,0	48,7	6,38	23,7	1,5

**Tabelle 45**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings O-“ bei echten Urinen**

**Probereihe A** (Bicarbonatzugabe = 0 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach Hastings O- (ohne Na u. K pK = 6,33) mmol/l
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	
1	10,0	0,0	86,0	68,7	7,03	24,3	3,7
2	10,0	0,0	101,0	37,9	6,37	19,0	0,6
3	10,0	0,0	51,0	9,3	6,53	15,6	0,7
4	10,0	0,0	11,0	9,7	6,52	28,5	1,3
5	10,0	0,0	34,0	5,5	<<	8,4	<<
6	10,0	0,0	57,0	37,8	6,37	25,0	0,8
7	10,0	0,0	24,0	13,7	<<	9,8	<<
8	10,0	0,0	16,0	7,8	<<	13,5	<<
9	10,0	0,0	37,0	32,2	<<	11,1	<<
10	10,0	0,0	38,0	28,8	6,73	17,4	1,3
11	10,0	0,0	71,0	6,0	7,15	18,9	3,7
12	10,0	0,0	98,0	6,6	7,55	7,5	3,7
13	10,0	0,0	106,0	35,5	6,84	8,5	0,8
14	10,0	0,0	193,0	53,2	<<	16,9	<<
15	10,0	0,0	19,0	4,0	6,63	12,2	0,7
16	10,0	0,0	73,0	5,8	6,73	24,8	1,9
17	10,0	0,0	104,0	64,3	6,42	50,7	1,9
18	10,0	0,0	29,0	51,4	<<	14,0	<<
19	10,0	0,0	46,0	8,3	<<	15,5	<<
20	10,0	0,0	111,0	20,8	<<	6,0	<<
21	10,0	0,0	126,0	11,0	6,55	16,7	0,8
22	10,0	0,0	23,0	11,6	<<	16,7	<<
23	10,0	0,0	41,0	85,3	<<	17,9	<<
24	10,0	0,0	290,7	66,0	7,17	23,2	4,8
25	10,0	0,0	124,0	62,5	6,38	12,5	0,4
26	10,0	0,0	127,0	65,2	7,42	50,1	18,5
27	10,0	0,0	17,0	20,3	<<	23,1	<<
28	10,0	0,0	63,0	27,6	<<	24,1	<<
29	10,0	0,0	100,0	25,4	<<	28,0	<<
30	10,0	0,0	164,0	54,5	<<	14,9	<<
31	10,0	0,0	92,0	38,4	<<	17,2	<<
32	10,0	0,0	146,0	89,2	6,82	25,9	2,4
33	10,0	0,0	33,0	13,7	6,53	24,2	1,2
34	10,0	0,0	51,0	15,2	7,16	19,9	4,0
35	10,0	0,0	47,0	39,7	6,84	26,0	2,5
36	10,0	0,0	39,0	12,4	7,44	11,0	4,3
37	10,0	0,0	49,0	7,8	<<	20,0	<<
38	10,0	0,0	150,0	22,6	<<	16,2	<<
39	10,0	0,0	51,0	28,4	7,06	46,7	7,5
40	10,0	0,0	100,0	84,3	6,71	30,5	2,2
41	10,0	0,0	24,0	12,5	<<	15,2	<<
42	10,0	0,0	484,9	128,6	<<	12,9	<<
43	10,0	0,0	78,0	21,8	6,96	24,4	3,1
44	10,0	0,0	172,0	98,2	<<	10,0	<<
45	10,0	0,0	118,0	48,6	7,22	55,1	12,8
46	10,0	0,0	105,0	51,0	7,23	14,3	3,4
47	10,0	0,0	58,0	63,0	<<	12,0	<<
48	10,0	0,0	228,0	48,7	6,38	23,7	0,8

**Tabelle 46**

## Bicarbonat-Bestimmung durch Titration bei echten Urinen

Probereihe B (Bicarbonatzugabe = 0,5 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung und pH des Urins			Bicarbonat-Bestimmung (Titration)			
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	pH (pH-Meter)	Zugabe von HCl (0,1mol/l) ml	Rücktitration mit NaOH (0,1mol/l) ml	Differenz ml HCl minus ml NaOH	per Titration bestimmtes HCO <sub>3</sub> - mmol/l
1	10,0	0,5	7,56	20	14,05	5,95	59,5
2	10,0	0,5	6,60	20	14,88	5,12	51,2
3	10,0	0,5	7,10	20	14,82	5,18	51,8
4	10,0	0,5	8,01	20	15,69	4,31	43,1
5	10,0	0,5	7,26	20	16,40	3,60	36,0
6	10,0	0,5	7,39	20	16,12	3,88	38,8
7	10,0	0,5	7,24	20	16,65	3,35	33,5
8	10,0	0,5	7,55	20	16,49	3,51	35,1
9	10,0	0,5	7,12	20	16,58	3,42	34,2
10	10,0	0,5	7,88	20	15,85	4,15	41,5
11	10,0	0,5	8,22	20	15,30	4,70	47,0
12	10,0	0,5	8,34	20	15,14	4,86	48,6
13	10,0	0,5	7,66	20	16,02	3,98	39,8
14	10,0	0,5	6,60	20	16,06	3,94	39,4
15	10,0	0,5	8,63	20	15,58	4,42	44,2
16	10,0	0,5	8,22	20	15,15	4,85	48,5
17	10,0	0,5	7,25	20	15,39	4,61	46,1
18	10,0	0,5	6,93	20	16,17	3,83	38,3
19	10,0	0,5	7,71	20	16,02	3,98	39,8
20	10,0	0,5	7,17	20	16,37	3,63	36,3
21	10,0	0,5	7,65	20	15,80	4,20	42,0
22	10,0	0,5	7,96	20	15,97	4,03	40,3
23	10,0	0,5	6,68	20	15,87	4,13	41,3
24	10,0	0,5	8,11	20	14,76	5,24	52,4
25	10,0	0,5	7,50	20	16,17	3,83	38,3
26	10,0	0,5	8,05	20	12,25	7,75	77,5
27	10,0	0,5	6,99	20	16,57	3,43	34,3
28	10,0	0,5	7,18	20	16,14	3,86	38,6
29	10,0	0,5	7,55	20	15,69	4,31	43,1
30	10,0	0,5	7,14	20	16,59	3,41	34,1
31	10,0	0,5	7,19	20	16,37	3,63	36,3
32	10,0	0,5	8,12	20	14,76	5,24	52,4
33	10,0	0,5	8,38	20	15,67	4,33	43,3
34	10,0	0,5	8,45	20	15,07	4,93	49,3
35	10,0	0,5	7,99	20	15,52	4,48	44,8
36	10,0	0,5	8,53	20	14,99	5,01	50,1
37	10,0	0,5	8,25	20	15,94	4,06	40,6
38	10,0	0,5	7,18	20	16,41	3,59	35,9
39	10,0	0,5	8,11	20	14,52	5,48	54,8
40	10,0	0,5	7,66	20	15,29	4,71	47,1
41	10,0	0,5	7,81	20	15,90	4,10	41,0
42	10,0	0,5	6,97	20	16,47	3,53	35,3
43	10,0	0,5	8,07	20	15,02	4,98	49,8
44	10,0	0,5	6,75	20	16,74	3,26	32,6
45	10,0	0,5	8,1	20	13,56	6,44	64,4
46	10,0	0,5	8,42	20	15,14	4,86	48,6
47	10,0	0,5	7,56	20	16,18	3,82	38,2
48	10,0	0,5	7,3	20	15,68	4,32	43,2

Tabelle 47

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings I+“ bei echten Urinen**

**Probereihe B (Bicarbonatzugabe = 0,5 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l ) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings I+ (mit Na u. K pK = 6,47) mmol/l
1	10,0	0,5	81,9	113,0	7,56	103,4	63,4
2	10,0	0,5	96,2	83,7	6,60	406,6	26,8
3	10,0	0,5	48,6	56,5	7,10	198,9	37,0
4	10,0	0,5	10,5	56,9	8,01	47,5	66,6
5	10,0	0,5	32,4	52,9	7,26	146,2	37,8
6	10,0	0,5	54,3	83,6	7,39	108,2	41,4
7	10,0	0,5	22,9	60,7	7,24	135,4	33,4
8	10,0	0,5	15,2	55,0	7,55	85,5	41,8
9	10,0	0,5	35,2	78,3	7,12	156,1	30,8
10	10,0	0,5	36,2	75,0	7,88	54,5	61,7
11	10,0	0,5	67,6	53,3	8,22	31,2	78,6
12	10,0	0,5	93,3	53,9	8,34	25,5	88,2
13	10,0	0,5	101,0	81,4	7,66	65,0	49,4
14	10,0	0,5	183,8	98,3	6,60	275,2	20,5
15	10,0	0,5	18,1	51,4	8,63	16,6	97,5
16	10,0	0,5	69,5	53,1	8,22	35,6	89,9
17	10,0	0,5	99,0	108,9	7,25	160,9	49,2
18	10,0	0,5	27,6	96,6	6,93	252,8	32,8
19	10,0	0,5	43,8	55,5	7,71	82,3	61,7
20	10,0	0,5	105,7	67,4	7,17	159,1	38,6
21	10,0	0,5	120,0	58,1	7,65	74,3	54,8
22	10,0	0,5	21,9	58,7	7,96	50,9	65,4
23	10,0	0,5	39,0	128,9	6,68	304,2	23,7
24	10,0	0,5	276,9	110,5	8,11	43,5	116,6
25	10,0	0,5	118,1	107,1	7,50	90,9	50,5
26	10,0	0,5	121,0	109,7	8,05	57,1	113,2
27	10,0	0,5	16,2	67,0	6,99	201,3	27,9
28	10,0	0,5	60,0	73,9	7,18	143,5	33,6
29	10,0	0,5	95,2	71,8	7,55	91,5	52,8
30	10,0	0,5	156,2	99,5	7,14	166,1	41,7
31	10,0	0,5	87,6	84,2	7,19	147,9	37,5
32	10,0	0,5	139,1	132,6	8,12	38,0	92,8
33	10,0	0,5	31,4	60,7	8,38	24,5	84,7
34	10,0	0,5	48,6	62,1	8,45	25,1	105,5
35	10,0	0,5	44,8	85,4	7,99	44,5	67,0
36	10,0	0,5	37,1	59,4	8,53	18,4	90,6
37	10,0	0,5	46,7	55,0	8,25	29,9	78,0
38	10,0	0,5	142,9	69,1	7,18	153,7	40,2
39	10,0	0,5	48,6	74,7	8,11	47,1	92,4
40	10,0	0,5	95,2	127,9	7,66	83,9	67,2
41	10,0	0,5	22,9	59,5	7,81	62,7	57,3
42	10,0	0,5	461,8	170,1	6,97	214,9	50,9
43	10,0	0,5	74,3	68,4	8,07	41,0	75,6
44	10,0	0,5	163,8	141,1	6,75	295,0	31,8
45	10,0	0,5	112,4	93,9	8,1	52,8	114,0
46	10,0	0,5	100,0	96,2	8,42	25,5	113,5
47	10,0	0,5	55,2	107,6	7,56	96,9	56,9
48	10,0	0,5	217,1	94,0	7,3	137,5	53,0

**Tabelle 48**

## Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings II+“ bei echten Urinen

### Probereihe B (Bicarbonatzugabe = 0,5 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings II+ (mit Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	0,5	81,9	113,0	7,56	103,4	87,6
2	10,0	0,5	96,2	83,7	6,60	406,6	37,0
3	10,0	0,5	48,6	56,5	7,10	198,9	51,0
4	10,0	0,5	10,5	56,9	8,01	47,5	92,0
5	10,0	0,5	32,4	52,9	7,26	146,2	52,2
6	10,0	0,5	54,3	83,6	7,39	108,2	57,2
7	10,0	0,5	22,9	60,7	7,24	135,4	46,1
8	10,0	0,5	15,2	55,0	7,55	85,5	57,8
9	10,0	0,5	35,2	78,3	7,12	156,1	42,6
10	10,0	0,5	36,2	75,0	7,88	54,5	85,2
11	10,0	0,5	67,6	53,3	8,22	31,2	108,4
12	10,0	0,5	93,3	53,9	8,34	25,5	121,8
13	10,0	0,5	101,0	81,4	7,66	65,0	68,2
14	10,0	0,5	183,8	98,3	6,60	275,2	28,3
15	10,0	0,5	18,1	51,4	8,63	16,6	134,6
16	10,0	0,5	69,5	53,1	8,22	35,6	124,1
17	10,0	0,5	99,0	108,9	7,25	160,9	67,9
18	10,0	0,5	27,6	96,6	6,93	252,8	45,3
19	10,0	0,5	43,8	55,5	7,71	82,3	85,1
20	10,0	0,5	105,7	67,4	7,17	159,1	53,3
21	10,0	0,5	120,0	58,1	7,65	74,3	75,7
22	10,0	0,5	21,9	58,7	7,96	50,9	90,3
23	10,0	0,5	39,0	128,9	6,68	304,2	32,7
24	10,0	0,5	276,9	110,5	8,11	43,5	161,0
25	10,0	0,5	118,1	107,1	7,50	90,9	69,7
26	10,0	0,5	121,0	109,7	8,05	57,1	156,3
27	10,0	0,5	16,2	67,0	6,99	201,3	38,5
28	10,0	0,5	60,0	73,9	7,18	143,5	46,4
29	10,0	0,5	95,2	71,8	7,55	91,5	72,9
30	10,0	0,5	156,2	99,5	7,14	166,1	57,6
31	10,0	0,5	87,6	84,2	7,19	147,9	51,8
32	10,0	0,5	139,1	132,6	8,12	38,0	128,1
33	10,0	0,5	31,4	60,7	8,38	24,5	117,0
34	10,0	0,5	48,6	62,1	8,45	25,1	145,6
35	10,0	0,5	44,8	85,4	7,99	44,5	92,4
36	10,0	0,5	37,1	59,4	8,53	18,4	125,1
37	10,0	0,5	46,7	55,0	8,25	29,9	107,7
38	10,0	0,5	142,9	69,1	7,18	153,7	55,5
39	10,0	0,5	48,6	74,7	8,11	47,1	127,5
40	10,0	0,5	95,2	127,9	7,66	83,9	92,7
41	10,0	0,5	22,9	59,5	7,81	62,7	79,0
42	10,0	0,5	461,8	170,1	6,97	214,9	70,3
43	10,0	0,5	74,3	68,4	8,07	41,0	104,4
44	10,0	0,5	163,8	141,1	6,75	295,0	44,0
45	10,0	0,5	112,4	93,9	8,1	52,8	157,3
46	10,0	0,5	100,0	96,2	8,42	25,5	156,7
47	10,0	0,5	55,2	107,6	7,56	96,9	78,6
48	10,0	0,5	217,1	94,0	7,3	137,5	73,2

Tabelle 49

## Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings I-“ bei echten Urinen

### Probereihe B (Bicarbonatzugabe = 0,5 ml)

Urin-probe Nr.	Original-Urin ml	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine					Bicarbonat-bestimmung nach Hastings I- (ohne Na u. K pK = 6,47) mmol/l
		KHCO <sub>3</sub> (1mol/l ) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	
1	10,0	0,5	81,9	113,0	7,56	103,4	38,2
2	10,0	0,5	96,2	83,7	6,60	406,6	16,5
3	10,0	0,5	48,6	56,5	7,10	198,9	25,5
4	10,0	0,5	10,5	56,9	8,01	47,5	49,4
5	10,0	0,5	32,4	52,9	7,26	146,2	27,0
6	10,0	0,5	54,3	83,6	7,39	108,2	27,0
7	10,0	0,5	22,9	60,7	7,24	135,4	23,9
8	10,0	0,5	15,2	55,0	7,55	85,5	30,8
9	10,0	0,5	35,2	78,3	7,12	156,1	20,9
10	10,0	0,5	36,2	75,0	7,88	54,5	42,0
11	10,0	0,5	67,6	53,3	8,22	31,2	52,6
12	10,0	0,5	93,3	53,9	8,34	25,5	56,7
13	10,0	0,5	101,0	81,4	7,66	65,0	30,2
14	10,0	0,5	183,8	98,3	6,60	275,2	11,1
15	10,0	0,5	18,1	51,4	8,63	16,6	72,0
16	10,0	0,5	69,5	53,1	8,22	35,6	60,1
17	10,0	0,5	99,0	108,9	7,25	160,9	29,1
18	10,0	0,5	27,6	96,6	6,93	252,8	21,9
19	10,0	0,5	43,8	55,5	7,71	82,3	42,9
20	10,0	0,5	105,7	67,4	7,17	159,1	23,9
21	10,0	0,5	120,0	58,1	7,65	74,3	33,7
22	10,0	0,5	21,9	58,7	7,96	50,9	47,2
23	10,0	0,5	39,0	128,9	6,68	304,2	14,8
24	10,0	0,5	276,9	110,5	8,11	43,5	57,0
25	10,0	0,5	118,1	107,1	7,50	90,9	29,2
26	10,0	0,5	121,0	109,7	8,05	57,1	65,1
27	10,0	0,5	16,2	67,0	6,99	201,3	20,0
28	10,0	0,5	60,0	73,9	7,18	143,5	22,1
29	10,0	0,5	95,2	71,8	7,55	91,5	33,0
30	10,0	0,5	156,2	99,5	7,14	166,1	23,3
31	10,0	0,5	87,6	84,2	7,19	147,9	23,3
32	10,0	0,5	139,1	132,6	8,12	38,0	50,9
33	10,0	0,5	31,4	60,7	8,38	24,5	59,7
34	10,0	0,5	48,6	62,1	8,45	25,1	71,9
35	10,0	0,5	44,8	85,4	7,99	44,5	44,2
36	10,0	0,5	37,1	59,4	8,53	18,4	63,4
37	10,0	0,5	46,7	55,0	8,25	29,9	54,0
38	10,0	0,5	142,9	69,1	7,18	153,7	23,6
39	10,0	0,5	48,6	74,7	8,11	47,1	61,7
40	10,0	0,5	95,2	127,9	7,66	83,9	39,0
41	10,0	0,5	22,9	59,5	7,81	62,7	41,2
42	10,0	0,5	461,8	170,1	6,97	214,9	20,4
43	10,0	0,5	74,3	68,4	8,07	41,0	49,0
44	10,0	0,5	163,8	141,1	6,75	295,0	16,9
45	10,0	0,5	112,4	93,9	8,1	52,8	67,6
46	10,0	0,5	100,0	96,2	8,42	25,5	68,2
47	10,0	0,5	55,2	107,6	7,56	96,9	35,8
48	10,0	0,5	217,1	94,0	7,3	137,5	27,9

Tabelle 50

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings II“ bei echten Urinen**

**Probereihe B** (Bicarbonatzugabe = 0,5 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings II-(ohne Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	0,5	81,9	113,0	7,56	103,4	52,7
2	10,0	0,5	96,2	83,7	6,60	406,6	22,7
3	10,0	0,5	48,6	56,5	7,10	198,9	35,1
4	10,0	0,5	10,5	56,9	8,01	47,5	68,2
5	10,0	0,5	32,4	52,9	7,26	146,2	37,3
6	10,0	0,5	54,3	83,6	7,39	108,2	37,3
7	10,0	0,5	22,9	60,7	7,24	135,4	33,0
8	10,0	0,5	15,2	55,0	7,55	85,5	42,6
9	10,0	0,5	35,2	78,3	7,12	156,1	28,9
10	10,0	0,5	36,2	75,0	7,88	54,5	58,0
11	10,0	0,5	67,6	53,3	8,22	31,2	72,7
12	10,0	0,5	93,3	53,9	8,34	25,5	78,3
13	10,0	0,5	101,0	81,4	7,66	65,0	41,7
14	10,0	0,5	183,8	98,3	6,60	275,2	15,4
15	10,0	0,5	18,1	51,4	8,63	16,6	99,4
16	10,0	0,5	69,5	53,1	8,22	35,6	82,9
17	10,0	0,5	99,0	108,9	7,25	160,9	40,1
18	10,0	0,5	27,6	96,6	6,93	252,8	30,2
19	10,0	0,5	43,8	55,5	7,71	82,3	59,2
20	10,0	0,5	105,7	67,4	7,17	159,1	33,0
21	10,0	0,5	120,0	58,1	7,65	74,3	46,6
22	10,0	0,5	21,9	58,7	7,96	50,9	65,1
23	10,0	0,5	39,0	128,9	6,68	304,2	20,4
24	10,0	0,5	276,9	110,5	8,11	43,5	78,6
25	10,0	0,5	118,1	107,1	7,50	90,9	40,3
26	10,0	0,5	121,0	109,7	8,05	57,1	89,9
27	10,0	0,5	16,2	67,0	6,99	201,3	27,6
28	10,0	0,5	60,0	73,9	7,18	143,5	30,5
29	10,0	0,5	95,2	71,8	7,55	91,5	45,6
30	10,0	0,5	156,2	99,5	7,14	166,1	32,2
31	10,0	0,5	87,6	84,2	7,19	147,9	32,1
32	10,0	0,5	139,1	132,6	8,12	38,0	70,3
33	10,0	0,5	31,4	60,7	8,38	24,5	82,5
34	10,0	0,5	48,6	62,1	8,45	25,1	99,3
35	10,0	0,5	44,8	85,4	7,99	44,5	61,0
36	10,0	0,5	37,1	59,4	8,53	18,4	87,5
37	10,0	0,5	46,7	55,0	8,25	29,9	74,6
38	10,0	0,5	142,9	69,1	7,18	153,7	32,6
39	10,0	0,5	48,6	74,7	8,11	47,1	85,1
40	10,0	0,5	95,2	127,9	7,66	83,9	53,8
41	10,0	0,5	22,9	59,5	7,81	62,7	56,8
42	10,0	0,5	461,8	170,1	6,97	214,9	28,1
43	10,0	0,5	74,3	68,4	8,07	41,0	67,6
44	10,0	0,5	163,8	141,1	6,75	295,0	23,3
45	10,0	0,5	112,4	93,9	8,1	52,8	93,3
46	10,0	0,5	100,0	96,2	8,42	25,5	94,1
47	10,0	0,5	55,2	107,6	7,56	96,9	49,4
48	10,0	0,5	217,1	94,0	7,3	137,5	38,5

**Tabelle 51**

## Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings O+“ bei echten Urinen

Probereihe B (Bicarbonatzugabe = 0,5 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings O+ (mit Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	0,5	81,9	113,0	7,36	103,4	55,3
2	10,0	0,5	96,2	83,7	6,48	406,6	28,1
3	10,0	0,5	48,6	56,5	6,91	198,9	32,9
4	10,0	0,5	10,5	56,9	7,66	47,5	41,1
5	10,0	0,5	32,4	52,9	7,07	146,2	33,7
6	10,0	0,5	54,3	83,6	7,22	108,2	38,6
7	10,0	0,5	22,9	60,7	7,10	135,4	33,4
8	10,0	0,5	15,2	55,0	7,34	85,5	35,6
9	10,0	0,5	35,2	78,3	7,01	156,1	33,0
10	10,0	0,5	36,2	75,0	7,56	54,5	40,8
11	10,0	0,5	67,6	53,3	7,85	31,2	46,3
12	10,0	0,5	93,3	53,9	7,96	25,5	50,8
13	10,0	0,5	101,0	81,4	7,44	65,0	41,1
14	10,0	0,5	183,8	98,3	6,57	275,2	26,4
15	10,0	0,5	18,1	51,4	8,01	16,6	32,3
16	10,0	0,5	69,5	53,1	7,76	35,6	43,0
17	10,0	0,5	99,0	108,9	7,05	160,9	42,8
18	10,0	0,5	27,6	96,6	6,78	252,8	32,1
19	10,0	0,5	43,8	55,5	7,34	82,3	36,3
20	10,0	0,5	105,7	67,4	6,97	159,1	33,6
21	10,0	0,5	120,0	58,1	7,36	74,3	38,8
22	10,0	0,5	21,9	58,7	7,59	50,9	38,5
23	10,0	0,5	39,0	128,9	6,51	304,2	22,1
24	10,0	0,5	276,9	110,5	7,67	43,5	58,5
25	10,0	0,5	118,1	107,1	7,26	90,9	40,1
26	10,0	0,5	121,0	109,7	7,72	57,1	73,1
27	10,0	0,5	16,2	67,0	6,79	201,3	24,3
28	10,0	0,5	60,0	73,9	6,95	143,5	27,3
29	10,0	0,5	95,2	71,8	7,28	91,5	39,2
30	10,0	0,5	156,2	99,5	6,95	166,1	37,2
31	10,0	0,5	87,6	84,2	6,98	147,9	31,9
32	10,0	0,5	139,1	132,6	7,73	38,0	52,2
33	10,0	0,5	31,4	60,7	7,94	24,5	42,5
34	10,0	0,5	48,6	62,1	7,86	25,1	37,4
35	10,0	0,5	44,8	85,4	7,66	44,5	43,2
36	10,0	0,5	37,1	59,4	8,09	18,4	45,4
37	10,0	0,5	46,7	55,0	7,80	29,9	38,2
38	10,0	0,5	142,9	69,1	6,98	153,7	35,0
39	10,0	0,5	48,6	74,7	7,71	47,1	50,8
40	10,0	0,5	95,2	127,9	7,36	83,9	46,5
41	10,0	0,5	22,9	59,5	7,51	62,7	39,6
42	10,0	0,5	461,8	170,1	6,80	214,9	47,5
43	10,0	0,5	74,3	68,4	7,69	41,0	43,5
44	10,0	0,5	163,8	141,1	6,61	295,0	31,8
45	10,0	0,5	112,4	93,9	7,69	52,8	61,2
46	10,0	0,5	100,0	96,2	7,94	25,5	51,9
47	10,0	0,5	55,2	107,6	7,30	96,9	43,2
48	10,0	0,5	217,1	94,0	7,10	137,5	46,2

Tabelle 52

## Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings O-“ bei echten Urinen

### Probereihe B (Bicarbonatzugabe = 0,5 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach Hastings O- (ohne Na u. K pK = 6,33) mmol/l
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	
1	10,0	0,5	81,9	113,0	7,36	103,4	33,2
2	10,0	0,5	96,2	83,7	6,48	406,6	17,2
3	10,0	0,5	48,6	56,5	6,91	198,9	22,7
4	10,0	0,5	10,5	56,9	7,66	47,5	30,5
5	10,0	0,5	32,4	52,9	7,07	146,2	24,1
6	10,0	0,5	54,3	83,6	7,22	108,2	25,2
7	10,0	0,5	22,9	60,7	7,10	135,4	23,9
8	10,0	0,5	15,2	55,0	7,34	85,5	26,2
9	10,0	0,5	35,2	78,3	7,01	156,1	22,4
10	10,0	0,5	36,2	75,0	7,56	54,5	27,8
11	10,0	0,5	67,6	53,3	7,85	31,2	31,0
12	10,0	0,5	93,3	53,9	7,96	25,5	32,6
13	10,0	0,5	101,0	81,4	7,44	65,0	25,1
14	10,0	0,5	183,8	98,3	6,57	275,2	14,3
15	10,0	0,5	18,1	51,4	8,01	16,6	23,8
16	10,0	0,5	69,5	53,1	7,76	35,6	28,7
17	10,0	0,5	99,0	108,9	7,05	160,9	25,3
18	10,0	0,5	27,6	96,6	6,78	252,8	21,4
19	10,0	0,5	43,8	55,5	7,34	82,3	25,3
20	10,0	0,5	105,7	67,4	6,97	159,1	20,8
21	10,0	0,5	120,0	58,1	7,36	74,3	23,9
22	10,0	0,5	21,9	58,7	7,59	50,9	27,8
23	10,0	0,5	39,0	128,9	6,51	304,2	13,8
24	10,0	0,5	276,9	110,5	7,67	43,5	28,6
25	10,0	0,5	118,1	107,1	7,26	90,9	23,2
26	10,0	0,5	121,0	109,7	7,72	57,1	42,0
27	10,0	0,5	16,2	67,0	6,79	201,3	17,4
28	10,0	0,5	60,0	73,9	6,95	143,5	17,9
29	10,0	0,5	95,2	71,8	7,28	91,5	24,5
30	10,0	0,5	156,2	99,5	6,95	166,1	20,8
31	10,0	0,5	87,6	84,2	6,98	147,9	19,8
32	10,0	0,5	139,1	132,6	7,73	38,0	28,6
33	10,0	0,5	31,4	60,7	7,94	24,5	29,9
34	10,0	0,5	48,6	62,1	7,86	25,1	25,5
35	10,0	0,5	44,8	85,4	7,66	44,5	28,5
36	10,0	0,5	37,1	59,4	8,09	18,4	31,8
37	10,0	0,5	46,7	55,0	7,80	29,9	26,5
38	10,0	0,5	142,9	69,1	6,98	153,7	20,6
39	10,0	0,5	48,6	74,7	7,71	47,1	33,9
40	10,0	0,5	95,2	127,9	7,36	83,9	27,0
41	10,0	0,5	22,9	59,5	7,51	62,7	28,5
42	10,0	0,5	461,8	170,1	6,8	214,9	19,0
43	10,0	0,5	74,3	68,4	7,69	41,0	28,2
44	10,0	0,5	163,8	141,1	6,61	295,0	16,9
45	10,0	0,5	112,4	93,9	7,69	52,8	36,3
46	10,0	0,5	100,0	96,2	7,94	25,5	31,2
47	10,0	0,5	55,2	107,6	7,3	96,9	27,1
48	10,0	0,5	217,1	94,0	7,1	137,5	24,3

**Tabelle 53**

## Bicarbonat-Bestimmung durch Titration bei echten Urinen

### Probereihe C (Bicarbonatzugabe = 1,0 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung und pH des Urins			Bicarbonat-Bestimmung (Titration)			
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	pH (pH-Meter)	Zugabe von HCl (0,1mol/l) ml	Rücktitration mit NaOH (0,1mol/l) ml	Differenz ml HCl minus ml NaOH	per Titration bestimmtes HCO <sub>3</sub> - mmol/l
1	10,0	1,0	8,15	20	11,22	8,78	87,8
2	10,0	1,0	7,75	20	12,30	7,70	77,0
3	10,0	1,0	8,18	20	11,80	8,20	82,0
4	10,0	1,0	8,30	20	11,34	8,66	86,6
5	10,0	1,0	7,05	20	12,66	7,34	73,4
6	10,0	1,0	7,72	20	11,90	8,10	81,0
7	10,0	1,0	7,06	20	12,54	7,46	74,6
8	10,0	1,0	7,56	20	12,15	7,85	78,5
9	10,0	1,0	7,17	20	12,68	7,32	73,2
10	10,0	1,0	8,16	20	11,95	8,05	80,5
11	10,0	1,0	8,41	20	10,65	9,35	93,5
12	10,0	1,0	8,52	20	10,96	9,04	90,4
13	10,0	1,0	8,17	20	11,78	8,22	82,2
14	10,0	1,0	7,27	20	13,15	6,85	68,5
15	10,0	1,0	8,62	20	11,03	8,97	89,7
16	10,0	1,0	8,33	20	10,20	9,80	98,0
17	10,0	1,0	7,45	20	10,71	9,29	92,9
18	10,0	1,0	7,17	20	11,91	8,09	80,9
19	10,0	1,0	8,06	20	11,78	8,22	82,2
20	10,0	1,0	7,33	20	12,28	7,72	77,2
21	10,0	1,0	7,96	20	11,41	8,59	85,9
22	10,0	1,0	8,24	20	11,55	8,45	84,5
23	10,0	1,0	6,91	20	13,17	6,83	68,3
24	10,0	1,0	8,25	20	10,50	9,50	95,0
25	10,0	1,0	7,88	20	11,89	8,11	81,1
26	10,0	1,0	8,29	20	7,72	12,28	122,8
27	10,0	1,0	7,39	20	12,36	7,64	76,4
28	10,0	1,0	7,58	20	11,82	8,18	81,8
29	10,0	1,0	7,95	20	11,56	8,44	84,4
30	10,0	1,0	7,59	20	12,18	7,82	78,2
31	10,0	1,0	7,66	20	12,11	7,89	78,9
32	10,0	1,0	8,36	20	11,04	8,96	89,6
33	10,0	1,0	8,58	20	11,45	8,55	85,5
34	10,0	1,0	8,63	20	10,79	9,21	92,1
35	10,0	1,0	8,31	20	11,06	8,94	89,4
36	10,0	1,0	8,61	20	10,29	9,71	97,1
37	10,0	1,0	8,49	20	11,49	8,51	85,1
38	10,0	1,0	7,68	20	12,23	7,77	77,7
39	10,0	1,0	8,26	20	10,28	9,72	97,2
40	10,0	1,0	7,89	20	11,10	8,90	89,0
41	10,0	1,0	8,17	20	11,49	8,51	85,1
42	10,0	1,0	7,23	20	12,50	7,50	75,0
43	10,0	1,0	8,29	20	10,71	9,29	92,9
44	10,0	1,0	7,06	20	13,14	6,86	68,6
45	10,0	1,0	8,28	20	9,50	10,50	105,0
46	10,0	1,0	8,59	20	10,66	9,34	93,4
47	10,0	1,0	7,82	20	11,82	8,18	81,8
48	10,0	1,0	7,62	20	11,62	8,38	83,8

**Tabelle 54**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings I+“ bei echten Urinen**

**Probereihe C (Bicarbonatzugabe = 1,0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings I+ (mit Na u. K pK = 6,47) mmol/l
1	10,0	1,0	78,2	153,5	8,15	69,1	172,7
2	10,0	1,0	91,8	125,5	7,75	149,6	146,3
3	10,0	1,0	46,4	99,5	8,18	68,1	162,6
4	10,0	1,0	10,0	99,8	8,30	49,9	148,2
5	10,0	1,0	30,9	96,0	7,05	305,4	52,5
6	10,0	1,0	51,8	125,4	7,72	105,8	91,6
7	10,0	1,0	21,8	103,5	7,06	237,7	41,7
8	10,0	1,0	14,5	98,1	7,56	143,4	77,9
9	10,0	1,0	33,6	120,3	7,17	248,0	58,6
10	10,0	1,0	34,5	117,2	8,16	62,2	143,1
11	10,0	1,0	64,5	96,5	8,41	37,0	153,4
12	10,0	1,0	89,1	97,0	8,52	32,5	179,8
13	10,0	1,0	96,4	123,3	8,17	50,5	130,2
14	10,0	1,0	175,5	139,4	7,27	215,7	77,9
15	10,0	1,0	17,3	94,6	8,62	24,6	153,2
16	10,0	1,0	66,4	96,3	8,33	48,4	167,3
17	10,0	1,0	94,5	149,5	7,45	205,2	103,8
18	10,0	1,0	26,4	137,7	7,17	305,4	73,2
19	10,0	1,0	41,8	98,5	8,06	73,8	132,6
20	10,0	1,0	100,9	109,9	7,33	204,3	75,3
21	10,0	1,0	114,5	101,0	7,96	65,2	103,2
22	10,0	1,0	20,9	101,5	8,24	40,2	106,2
23	10,0	1,0	37,3	168,5	6,91	337,8	47,1
24	10,0	1,0	264,3	151,0	8,25	49,9	189,4
25	10,0	1,0	112,7	147,8	7,88	84,9	117,8
26	10,0	1,0	115,5	150,3	8,29	51,1	183,4
27	10,0	1,0	15,5	109,5	7,39	200,5	75,2
28	10,0	1,0	57,3	116,1	7,58	127,7	79,7
29	10,0	1,0	90,9	114,1	7,95	77,8	118,7
30	10,0	1,0	149,1	140,5	7,59	147,9	108,7
31	10,0	1,0	83,6	125,9	7,66	120,5	94,8
32	10,0	1,0	132,7	172,1	8,36	40,0	175,9
33	10,0	1,0	30,0	103,5	8,58	26,6	156,6
34	10,0	1,0	46,4	104,8	8,63	22,9	155,4
35	10,0	1,0	42,7	127,1	8,31	43,3	144,4
36	10,0	1,0	35,5	102,3	8,61	23,8	151,1
37	10,0	1,0	44,5	98,1	8,49	29,3	142,2
38	10,0	1,0	136,4	111,5	7,68	119,2	102,9
39	10,0	1,0	46,4	116,8	8,26	52,8	155,5
40	10,0	1,0	90,9	167,6	7,89	99,2	140,6
41	10,0	1,0	21,8	102,4	8,17	56,0	126,3
42	10,0	1,0	440,8	207,9	7,23	251,8	109,9
43	10,0	1,0	70,9	110,8	8,29	46,5	150,6
44	10,0	1,0	156,4	180,3	7,06	358,0	81,5
45	10,0	1,0	107,3	135,2	8,28	54,0	184,4
46	10,0	1,0	95,5	137,4	8,59	27,5	189,5
47	10,0	1,0	52,7	148,3	7,82	110,4	124,2
48	10,0	1,0	207,3	135,3	7,62	145,7	121,1

**Tabelle 55**

## Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings II+“ bei echten Urinen

### Probereihe C (Bicarbonatzugabe = 1,0 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings II+ (mit Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	1,0	78,2	153,5	8,15	69,1	238,4
2	10,0	1,0	91,8	125,5	7,75	149,6	201,9
3	10,0	1,0	46,4	99,5	8,18	68,1	224,5
4	10,0	1,0	10,0	99,8	8,30	49,9	204,6
5	10,0	1,0	30,9	96,0	7,05	305,4	72,5
6	10,0	1,0	51,8	125,4	7,72	105,8	126,5
7	10,0	1,0	21,8	103,5	7,06	237,7	57,6
8	10,0	1,0	14,5	98,1	7,56	143,4	107,5
9	10,0	1,0	33,6	120,3	7,17	248,0	80,9
10	10,0	1,0	34,5	117,2	8,16	62,2	197,5
11	10,0	1,0	64,5	96,5	8,41	37,0	211,8
12	10,0	1,0	89,1	97,0	8,52	32,5	248,1
13	10,0	1,0	96,4	123,3	8,17	50,5	179,8
14	10,0	1,0	175,5	139,4	7,27	215,7	107,5
15	10,0	1,0	17,3	94,6	8,62	24,6	211,5
16	10,0	1,0	66,4	96,3	8,33	48,4	231,0
17	10,0	1,0	94,5	149,5	7,45	205,2	143,3
18	10,0	1,0	26,4	137,7	7,17	305,4	101,0
19	10,0	1,0	41,8	98,5	8,06	73,8	183,0
20	10,0	1,0	100,9	109,9	7,33	204,3	104,0
21	10,0	1,0	114,5	101,0	7,96	65,2	142,4
22	10,0	1,0	20,9	101,5	8,24	40,2	146,7
23	10,0	1,0	37,3	168,5	6,91	337,8	65,0
24	10,0	1,0	264,3	151,0	8,25	49,9	261,5
25	10,0	1,0	112,7	147,8	7,88	84,9	162,6
26	10,0	1,0	115,5	150,3	8,29	51,1	253,1
27	10,0	1,0	15,5	109,5	7,39	200,5	103,7
28	10,0	1,0	57,3	116,1	7,58	127,7	110,0
29	10,0	1,0	90,9	114,1	7,95	77,8	163,9
30	10,0	1,0	149,1	140,5	7,59	147,9	150,0
31	10,0	1,0	83,6	125,9	7,66	120,5	130,9
32	10,0	1,0	132,7	172,1	8,36	40,0	242,8
33	10,0	1,0	30,0	103,5	8,58	26,6	216,1
34	10,0	1,0	46,4	104,8	8,63	22,9	214,5
35	10,0	1,0	42,7	127,1	8,31	43,3	199,4
36	10,0	1,0	35,5	102,3	8,61	23,8	208,6
37	10,0	1,0	44,5	98,1	8,49	29,3	196,3
38	10,0	1,0	136,4	111,5	7,68	119,2	142,0
39	10,0	1,0	46,4	116,8	8,26	52,8	214,7
40	10,0	1,0	90,9	167,6	7,89	99,2	194,0
41	10,0	1,0	21,8	102,4	8,17	56,0	174,4
42	10,0	1,0	440,8	207,9	7,23	251,8	151,7
43	10,0	1,0	70,9	110,8	8,29	46,5	207,8
44	10,0	1,0	156,4	180,3	7,06	358,0	112,5
45	10,0	1,0	107,3	135,2	8,28	54,0	254,5
46	10,0	1,0	95,5	137,4	8,59	27,5	261,6
47	10,0	1,0	52,7	148,3	7,82	110,4	171,5
48	10,0	1,0	207,3	135,3	7,62	145,7	167,2

**Tabelle 56**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings I-“ bei echten Urinen**

**Probereihe C (Bicarbonatzugabe = 1,0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings I- (ohne Na u. K pK = 6,47) mmol/l
1	10,0	1,0	78,2	153,5	8,15	69,1	99,2
2	10,0	1,0	91,8	125,5	7,75	149,6	85,5
3	10,0	1,0	46,4	99,5	8,18	68,1	104,8
4	10,0	1,0	10,0	99,8	8,30	49,9	101,2
5	10,0	1,0	30,9	96,0	7,05	305,4	34,8
6	10,0	1,0	51,8	125,4	7,72	105,8	56,4
7	10,0	1,0	21,8	103,5	7,06	237,7	27,7
8	10,0	1,0	14,5	98,1	7,56	143,4	52,9
9	10,0	1,0	33,6	120,3	7,17	248,0	37,3
10	10,0	1,0	34,5	117,2	8,16	62,2	91,4
11	10,0	1,0	64,5	96,5	8,41	37,0	96,7
12	10,0	1,0	89,1	97,0	8,52	32,5	109,4
13	10,0	1,0	96,4	123,3	8,17	50,5	75,9
14	10,0	1,0	175,5	139,4	7,27	215,7	40,8
15	10,0	1,0	17,3	94,6	8,62	24,6	104,2
16	10,0	1,0	66,4	96,3	8,33	48,4	105,2
17	10,0	1,0	94,5	149,5	7,45	205,2	58,8
18	10,0	1,0	26,4	137,7	7,17	305,4	45,9
19	10,0	1,0	41,8	98,5	8,06	73,8	86,1
20	10,0	1,0	100,9	109,9	7,33	204,3	44,4
21	10,0	1,0	114,5	101,0	7,96	65,2	60,4
22	10,0	1,0	20,9	101,5	8,24	40,2	71,0
23	10,0	1,0	37,3	168,5	6,91	337,8	27,9
24	10,0	1,0	264,3	151,0	8,25	49,9	90,2
25	10,0	1,0	112,7	147,8	7,88	84,9	65,5
26	10,0	1,0	115,5	150,3	8,29	51,1	101,3
27	10,0	1,0	15,5	109,5	7,39	200,5	50,0
28	10,0	1,0	57,3	116,1	7,58	127,7	49,4
29	10,0	1,0	90,9	114,1	7,95	77,8	70,5
30	10,0	1,0	149,1	140,5	7,59	147,9	58,5
31	10,0	1,0	83,6	125,9	7,66	120,5	56,0
32	10,0	1,0	132,7	172,1	8,36	40,0	93,1
33	10,0	1,0	30,0	103,5	8,58	26,6	102,8
34	10,0	1,0	46,4	104,8	8,63	22,9	99,3
35	10,0	1,0	42,7	127,1	8,31	43,3	89,9
36	10,0	1,0	35,5	102,3	8,61	23,8	98,6
37	10,0	1,0	44,5	98,1	8,49	29,3	92,0
38	10,0	1,0	136,4	111,5	7,68	119,2	58,0
39	10,0	1,0	46,4	116,8	8,26	52,8	97,7
40	10,0	1,0	90,9	167,6	7,89	99,2	78,3
41	10,0	1,0	21,8	102,4	8,17	56,0	84,2
42	10,0	1,0	440,8	207,9	7,23	251,8	43,5
43	10,0	1,0	70,9	110,8	8,29	46,5	92,2
44	10,0	1,0	156,4	180,3	7,06	358,0	41,8
45	10,0	1,0	107,3	135,2	8,28	54,0	104,6
46	10,0	1,0	95,5	137,4	8,59	27,5	108,8
47	10,0	1,0	52,7	148,3	7,82	110,4	74,1
48	10,0	1,0	207,3	135,3	7,62	145,7	61,7

**Tabelle 57**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings II-“ bei echten Urinen**

**Probereihe C (Bicarbonatzugabe = 1,0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach Hastings II-(ohne Na u. K pK = 6,33) mmol/l
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	
1	10,0	1,0	78,2	153,5	8,15	69,1	137,0
2	10,0	1,0	91,8	125,5	7,75	149,6	118,0
3	10,0	1,0	46,4	99,5	8,18	68,1	144,6
4	10,0	1,0	10,0	99,8	8,30	49,9	139,7
5	10,0	1,0	30,9	96,0	7,05	305,4	48,1
6	10,0	1,0	51,8	125,4	7,72	105,8	77,9
7	10,0	1,0	21,8	103,5	7,06	237,7	38,3
8	10,0	1,0	14,5	98,1	7,56	143,4	73,1
9	10,0	1,0	33,6	120,3	7,17	248,0	51,5
10	10,0	1,0	34,5	117,2	8,16	62,2	126,2
11	10,0	1,0	64,5	96,5	8,41	37,0	133,5
12	10,0	1,0	89,1	97,0	8,52	32,5	151,0
13	10,0	1,0	96,4	123,3	8,17	50,5	104,8
14	10,0	1,0	175,5	139,4	7,27	215,7	56,4
15	10,0	1,0	17,3	94,6	8,62	24,6	143,9
16	10,0	1,0	66,4	96,3	8,33	48,4	145,2
17	10,0	1,0	94,5	149,5	7,45	205,2	81,2
18	10,0	1,0	26,4	137,7	7,17	305,4	63,4
19	10,0	1,0	41,8	98,5	8,06	73,8	118,9
20	10,0	1,0	100,9	109,9	7,33	204,3	61,3
21	10,0	1,0	114,5	101,0	7,96	65,2	83,4
22	10,0	1,0	20,9	101,5	8,24	40,2	98,0
23	10,0	1,0	37,3	168,5	6,91	337,8	38,5
24	10,0	1,0	264,3	151,0	8,25	49,9	124,5
25	10,0	1,0	112,7	147,8	7,88	84,9	90,4
26	10,0	1,0	115,5	150,3	8,29	51,1	139,8
27	10,0	1,0	15,5	109,5	7,39	200,5	69,1
28	10,0	1,0	57,3	116,1	7,58	127,7	68,1
29	10,0	1,0	90,9	114,1	7,95	77,8	97,3
30	10,0	1,0	149,1	140,5	7,59	147,9	80,7
31	10,0	1,0	83,6	125,9	7,66	120,5	77,3
32	10,0	1,0	132,7	172,1	8,36	40,0	128,6
33	10,0	1,0	30,0	103,5	8,58	26,6	141,9
34	10,0	1,0	46,4	104,8	8,63	22,9	137,1
35	10,0	1,0	42,7	127,1	8,31	43,3	124,1
36	10,0	1,0	35,5	102,3	8,61	23,8	136,0
37	10,0	1,0	44,5	98,1	8,49	29,3	127,1
38	10,0	1,0	136,4	111,5	7,68	119,2	80,1
39	10,0	1,0	46,4	116,8	8,26	52,8	134,8
40	10,0	1,0	90,9	167,6	7,89	99,2	108,1
41	10,0	1,0	21,8	102,4	8,17	56,0	116,2
42	10,0	1,0	440,8	207,9	7,23	251,8	60,0
43	10,0	1,0	70,9	110,8	8,29	46,5	127,2
44	10,0	1,0	156,4	180,3	7,06	358,0	57,7
45	10,0	1,0	107,3	135,2	8,28	54,0	144,4
46	10,0	1,0	95,5	137,4	8,59	27,5	150,1
47	10,0	1,0	52,7	148,3	7,82	110,4	102,4
48	10,0	1,0	207,3	135,3	7,62	145,7	85,2

**Tabelle 58**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings O+“ bei echten Urinen**

**Probereihe C (Bicarbonatzugabe = 1,0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings O+ (mit Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	1,0	78,2	153,5	7,75	69,1	94,9
2	10,0	1,0	91,8	125,5	7,32	149,6	75,0
3	10,0	1,0	46,4	99,5	7,71	68,1	76,1
4	10,0	1,0	10,0	99,8	7,89	49,9	79,6
5	10,0	1,0	30,9	96,0	6,97	305,4	60,3
6	10,0	1,0	51,8	125,4	7,52	105,8	79,8
7	10,0	1,0	21,8	103,5	7,09	237,7	61,7
8	10,0	1,0	14,5	98,1	7,37	143,4	69,4
9	10,0	1,0	33,6	120,3	7,05	248,0	61,3
10	10,0	1,0	34,5	117,2	7,78	62,2	82,4
11	10,0	1,0	64,5	96,5	8,01	37,0	84,3
12	10,0	1,0	89,1	97,0	8,08	32,5	90,1
13	10,0	1,0	96,4	123,3	7,84	50,5	84,1
14	10,0	1,0	175,5	139,4	7,01	215,7	59,1
15	10,0	1,0	17,3	94,6	8,16	24,6	73,3
16	10,0	1,0	66,4	96,3	7,88	48,4	82,0
17	10,0	1,0	94,5	149,5	7,23	205,2	86,4
18	10,0	1,0	26,4	137,7	7,02	305,4	71,5
19	10,0	1,0	41,8	98,5	7,70	73,8	79,9
20	10,0	1,0	100,9	109,9	7,14	204,3	67,1
21	10,0	1,0	114,5	101,0	7,67	65,2	73,0
22	10,0	1,0	20,9	101,5	7,97	40,2	78,8
23	10,0	1,0	37,3	168,5	6,76	337,8	46,0
24	10,0	1,0	264,3	151,0	7,86	49,9	106,5
25	10,0	1,0	112,7	147,8	7,58	84,9	81,5
26	10,0	1,0	115,5	150,3	7,93	51,1	110,5
27	10,0	1,0	15,5	109,5	7,15	200,5	59,7
28	10,0	1,0	57,3	116,1	7,32	127,7	60,5
29	10,0	1,0	90,9	114,1	7,64	77,8	80,3
30	10,0	1,0	149,1	140,5	7,32	147,9	80,6
31	10,0	1,0	83,6	125,9	7,38	120,5	68,7
32	10,0	1,0	132,7	172,1	7,96	40,0	96,7
33	10,0	1,0	30,0	103,5	8,17	26,6	84,1
34	10,0	1,0	46,4	104,8	8,22	22,9	83,4
35	10,0	1,0	42,7	127,1	7,94	43,3	85,0
36	10,0	1,0	35,5	102,3	8,21	23,8	83,0
37	10,0	1,0	44,5	98,1	8,08	29,3	76,4
38	10,0	1,0	136,4	111,5	7,41	119,2	76,3
39	10,0	1,0	46,4	116,8	7,90	52,8	93,7
40	10,0	1,0	90,9	167,6	7,56	99,2	90,8
41	10,0	1,0	21,8	102,4	7,84	56,0	81,6
42	10,0	1,0	440,8	207,9	7,05	251,8	100,2
43	10,0	1,0	70,9	110,8	7,91	46,5	86,6
44	10,0	1,0	156,4	180,3	6,90	358,0	77,8
45	10,0	1,0	107,3	135,2	7,88	54,0	101,3
46	10,0	1,0	95,5	137,4	8,14	27,5	92,8
47	10,0	1,0	52,7	148,3	7,53	110,4	88,0
48	10,0	1,0	207,3	135,3	7,36	145,7	91,9

**Tabelle 59**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings O-“ bei echten Urinen**

**Probereihe C** (Bicarbonatzugabe = 1,0 ml)

	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
Urin-probe Nr.	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings O- (ohne Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	1,0	78,2	153,5	7,75	69,1	54,5
2	10,0	1,0	91,8	125,5	7,32	149,6	43,9
3	10,0	1,0	46,4	99,5	7,71	68,1	49,0
4	10,0	1,0	10,0	99,8	7,89	49,9	54,4
5	10,0	1,0	30,9	96,0	6,97	305,4	40,0
6	10,0	1,0	51,8	125,4	7,52	105,8	49,2
7	10,0	1,0	21,8	103,5	7,09	237,7	41,0
8	10,0	1,0	14,5	98,1	7,37	143,4	47,2
9	10,0	1,0	33,6	120,3	7,05	248,0	39,0
10	10,0	1,0	34,5	117,2	7,78	62,2	52,6
11	10,0	1,0	64,5	96,5	8,01	37,0	53,1
12	10,0	1,0	89,1	97,0	8,08	32,5	54,8
13	10,0	1,0	96,4	123,3	7,84	50,5	49,0
14	10,0	1,0	175,5	139,4	7,01	215,7	31,0
15	10,0	1,0	17,3	94,6	8,16	24,6	49,9
16	10,0	1,0	66,4	96,3	7,88	48,4	51,5
17	10,0	1,0	94,5	149,5	7,23	205,2	48,9
18	10,0	1,0	26,4	137,7	7,02	305,4	44,9
19	10,0	1,0	41,8	98,5	7,70	73,8	51,9
20	10,0	1,0	100,9	109,9	7,14	204,3	39,6
21	10,0	1,0	114,5	101,0	7,67	65,2	42,8
22	10,0	1,0	20,9	101,5	7,97	40,2	52,6
23	10,0	1,0	37,3	168,5	6,76	337,8	27,3
24	10,0	1,0	264,3	151,0	7,86	49,9	50,7
25	10,0	1,0	112,7	147,8	7,58	84,9	45,3
26	10,0	1,0	115,5	150,3	7,93	51,1	61,0
27	10,0	1,0	15,5	109,5	7,15	200,5	39,7
28	10,0	1,0	57,3	116,1	7,32	127,7	37,4
29	10,0	1,0	90,9	114,1	7,64	77,8	47,7
30	10,0	1,0	149,1	140,5	7,32	147,9	43,4
31	10,0	1,0	83,6	125,9	7,38	120,5	40,6
32	10,0	1,0	132,7	172,1	7,96	40,0	51,2
33	10,0	1,0	30,0	103,5	8,17	26,6	55,2
34	10,0	1,0	46,4	104,8	8,22	22,9	53,3
35	10,0	1,0	42,7	127,1	7,94	43,3	52,9
36	10,0	1,0	35,5	102,3	8,21	23,8	54,2
37	10,0	1,0	44,5	98,1	8,08	29,3	49,4
38	10,0	1,0	136,4	111,5	7,41	119,2	43,0
39	10,0	1,0	46,4	116,8	7,90	52,8	58,9
40	10,0	1,0	90,9	167,6	7,56	99,2	50,5
41	10,0	1,0	21,8	102,4	7,84	56,0	54,4
42	10,0	1,0	440,8	207,9	7,05	251,8	39,6
43	10,0	1,0	70,9	110,8	7,91	46,5	53,0
44	10,0	1,0	156,4	180,3	6,90	358,0	39,9
45	10,0	1,0	107,3	135,2	7,88	54,0	57,5
46	10,0	1,0	95,5	137,4	8,14	27,5	53,3
47	10,0	1,0	52,7	148,3	7,53	110,4	52,5
48	10,0	1,0	207,3	135,3	7,36	145,7	46,8

**Tabelle 60**

## Bicarbonat-Bestimmung durch Titration bei echten Urinen

### Probereihe D (Bicarbonatzugabe = 2,0 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung und pH des Urins			Bicarbonat-Bestimmung (Titration)			
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l ) zugegeben ml	pH (pH-Meter)	Zugabe von HCl (0,1mol/l) ml	Rücktitration mit NaOH (0,1mol/l) ml	Differenz ml HCl minus ml NaOH	per Titration bestimmtes HCO <sub>3</sub> - mmol/l
1	10,0	2,0	8,25	20	3,42	16,58	165,8
2	10,0	2,0	7,70	20	4,10	15,90	159,0
3	10,0	2,0	8,25	20	3,50	16,50	165,0
4	10,0	2,0	8,39	20	3,34	16,66	166,6
5	10,0	2,0	7,47	20	5,21	14,79	147,9
6	10,0	2,0	7,76	20	3,89	16,11	161,1
7	10,0	2,0	7,62	20	4,70	15,30	153,0
8	10,0	2,0	8,07	20	4,02	15,98	159,8
9	10,0	2,0	7,50	20	4,83	15,17	151,7
10	10,0	2,0	8,24	20	3,98	16,02	160,2
11	10,0	2,0	8,43	20	3,32	16,68	166,8
12	10,0	2,0	8,46	20	3,86	16,14	161,4
13	10,0	2,0	8,16	20	4,00	16,00	160,0
14	10,0	2,0	7,38	20	5,17	14,83	148,3
15	10,0	2,0	8,66	20	3,44	16,56	165,6
16	10,0	2,0	8,42	20	2,51	17,49	174,9
17	10,0	2,0	7,86	20	4,10	15,90	159,0
18	10,0	2,0	7,29	20	5,63	14,37	143,7
19	10,0	2,0	8,35	20	3,98	16,02	160,2
20	10,0	2,0	7,78	20	4,62	15,38	153,8
21	10,0	2,0	8,17	20	4,16	15,84	158,4
22	10,0	2,0	8,51	20	4,02	15,98	159,8
23	10,0	2,0	7,23	20	5,84	14,16	141,6
24	10,0	2,0	8,14	20	1,92	18,08	180,8
25	10,0	2,0	7,73	20	4,20	15,80	158,0
26	10,0	2,0	8,32	20	1,25	18,75	187,5
27	10,0	2,0	7,69	20	4,82	15,18	151,8
28	10,0	2,0	7,91	20	4,22	15,78	157,8
29	10,0	2,0	8,25	20	3,91	16,09	160,9
30	10,0	2,0	7,78	20	4,46	15,54	155,4
31	10,0	2,0	7,73	20	5,05	14,95	149,5
32	10,0	2,0	8,56	20	3,31	16,69	166,9
33	10,0	2,0	8,65	20	3,46	16,54	165,4
34	10,0	2,0	8,53	20	2,55	17,45	174,5
35	10,0	2,0	8,47	20	3,64	16,36	163,6
36	10,0	2,0	8,66	20	3,25	16,75	167,5
37	10,0	2,0	8,47	20	3,99	16,01	160,1
38	10,0	2,0	7,71	20	4,86	15,14	151,4
39	10,0	2,0	8,41	20	2,73	17,27	172,7
40	10,0	2,0	8,01	20	2,99	17,01	170,1
41	10,0	2,0	8,42	20	3,96	16,04	160,4
42	10,0	2,0	7,24	20	5,29	14,71	147,1
43	10,0	2,0	8,46	20	3,34	16,66	166,6
44	10,0	2,0	7,21	20	6,63	13,37	133,7
45	10,0	2,0	8,5	20	1,93	18,07	180,7
46	10,0	2,0	8,56	20	2,94	17,06	170,6
47	10,0	2,0	8	20	4,58	15,42	154,2
48	10,0	2,0	7,96	20	4,27	15,73	157,3

**Tabelle 61**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings I+“ bei echten Urinen**  
**Probereihe D (Bicarbonatzugabe = 2,0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings I+ (mit Na u. K pK = 6,47) mmol/l
1	10,0	2,0	71,7	224,2	8,25	71,30	241,1
2	10,0	2,0	84,2	198,6	7,70	182,10	171,1
3	10,0	2,0	42,5	174,7	8,25	72,90	225,4
4	10,0	2,0	9,2	175,1	8,39	61,00	249,5
5	10,0	2,0	28,3	171,6	7,47	322,30	161,8
6	10,0	2,0	47,5	198,5	7,76	169,30	175,3
7	10,0	2,0	20,0	178,4	7,62	214,80	152,0
8	10,0	2,0	13,3	173,5	8,07	100,30	197,0
9	10,0	2,0	30,8	193,8	7,50	239,50	132,9
10	10,0	2,0	31,7	191,0	8,24	69,40	211,1
11	10,0	2,0	59,2	172,0	8,43	48,80	232,2
12	10,0	2,0	81,7	172,5	8,46	46,40	243,1
13	10,0	2,0	88,3	196,6	8,16	73,50	199,7
14	10,0	2,0	160,8	211,3	7,38	270,00	132,9
15	10,0	2,0	15,8	170,3	8,66	37,40	285,6
16	10,0	2,0	60,8	171,8	8,42	60,10	280,0
17	10,0	2,0	86,7	220,6	7,86	163,60	228,1
18	10,0	2,0	24,2	209,8	7,29	426,00	147,4
19	10,0	2,0	38,3	173,9	8,35	66,50	257,2
20	10,0	2,0	92,5	184,3	7,78	162,20	182,1
21	10,0	2,0	105,0	176,2	8,17	82,30	227,8
22	10,0	2,0	19,2	176,7	8,51	46,20	252,9
23	10,0	2,0	34,2	238,1	7,23	367,90	115,8
24	10,0	2,0	242,2	222,0	8,14	100,70	309,6
25	10,0	2,0	103,3	219,1	7,73	181,40	190,4
26	10,0	2,0	105,8	221,3	8,32	66,80	274,1
27	10,0	2,0	14,2	183,9	7,69	188,60	156,7
28	10,0	2,0	52,5	190,0	7,91	130,20	189,6
29	10,0	2,0	83,3	188,2	8,25	74,10	244,0
30	10,0	2,0	136,7	212,4	7,78	169,30	204,7
31	10,0	2,0	76,7	199,0	7,73	174,60	174,5
32	10,0	2,0	121,7	241,3	8,56	39,70	293,2
33	10,0	2,0	27,5	178,4	8,65	32,60	249,6
34	10,0	2,0	42,5	179,7	8,53	44,40	263,1
35	10,0	2,0	39,2	200,1	8,47	43,30	228,1
36	10,0	2,0	32,5	177,3	8,66	32,30	254,3
37	10,0	2,0	40,8	173,5	8,47	47,80	244,4
38	10,0	2,0	125,0	185,8	7,71	174,60	173,0
39	10,0	2,0	42,5	190,7	8,41	65,5	298,4
40	10,0	2,0	83,3	237,2	8,01	128,6	256,7
41	10,0	2,0	20,0	177,4	8,42	57,1	254,6
42	10,0	2,0	404,1	274,2	7,24	413,1	188,3
43	10,0	2,0	65,0	185,2	8,46	53,4	278,4
44	10,0	2,0	143,3	248,8	7,21	465,5	157,8
45	10,0	2,0	98,3	207,5	8,5	53,2	323,3
46	10,0	2,0	87,5	209,5	8,56	46,4	320,7
47	10,0	2,0	48,3	219,5	8	138,6	255,6
48	10,0	2,0	190,0	207,6	7,96	216,5	414,8

**Tabelle 62**

## Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings II+“ bei echten Urinen

### Probereihe D (Bicarbonatzugabe = 2,0 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings II+ (mit Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	2,0	71,7	224,2	8,25	71,30	332,8
2	10,0	2,0	84,2	198,6	7,70	182,10	236,2
3	10,0	2,0	42,5	174,7	8,25	72,90	311,1
4	10,0	2,0	9,2	175,1	8,39	61,00	344,4
5	10,0	2,0	28,3	171,6	7,47	322,30	223,3
6	10,0	2,0	47,5	198,5	7,76	169,30	242,0
7	10,0	2,0	20,0	178,4	7,62	214,80	209,8
8	10,0	2,0	13,3	173,5	8,07	100,30	272,0
9	10,0	2,0	30,8	193,8	7,50	239,50	183,4
10	10,0	2,0	31,7	191,0	8,24	69,40	291,4
11	10,0	2,0	59,2	172,0	8,43	48,80	320,6
12	10,0	2,0	81,7	172,5	8,46	46,40	335,5
13	10,0	2,0	88,3	196,6	8,16	73,50	275,6
14	10,0	2,0	160,8	211,3	7,38	270,00	183,4
15	10,0	2,0	15,8	170,3	8,66	37,40	394,2
16	10,0	2,0	60,8	171,8	8,42	60,10	386,5
17	10,0	2,0	86,7	220,6	7,86	163,60	314,8
18	10,0	2,0	24,2	209,8	7,29	426,00	203,4
19	10,0	2,0	38,3	173,9	8,35	66,50	355,1
20	10,0	2,0	92,5	184,3	7,78	162,20	251,3
21	10,0	2,0	105,0	176,2	8,17	82,30	314,5
22	10,0	2,0	19,2	176,7	8,51	46,20	349,2
23	10,0	2,0	34,2	238,1	7,23	367,90	159,9
24	10,0	2,0	242,2	222,0	8,14	100,70	427,4
25	10,0	2,0	103,3	219,1	7,73	181,40	262,8
26	10,0	2,0	105,8	221,3	8,32	66,80	378,3
27	10,0	2,0	14,2	183,9	7,69	188,60	216,4
28	10,0	2,0	52,5	190,0	7,91	130,20	261,8
29	10,0	2,0	83,3	188,2	8,25	74,10	336,9
30	10,0	2,0	136,7	212,4	7,78	169,30	282,6
31	10,0	2,0	76,7	199,0	7,73	174,60	240,8
32	10,0	2,0	121,7	241,3	8,56	39,70	404,7
33	10,0	2,0	27,5	178,4	8,65	32,60	344,5
34	10,0	2,0	42,5	179,7	8,53	44,40	363,2
35	10,0	2,0	39,2	200,1	8,47	43,30	314,9
36	10,0	2,0	32,5	177,3	8,66	32,30	351,0
37	10,0	2,0	40,8	173,5	8,47	47,80	337,3
38	10,0	2,0	125,0	185,8	7,71	174,60	238,7
39	10,0	2,0	42,5	190,7	8,41	65,5	411,9
40	10,0	2,0	83,3	237,2	8,01	128,6	354,4
41	10,0	2,0	20,0	177,4	8,42	57,1	351,5
42	10,0	2,0	404,1	274,2	7,24	413,1	260,0
43	10,0	2,0	65,0	185,2	8,46	53,4	384,4
44	10,0	2,0	143,3	248,8	7,21	465,5	217,8
45	10,0	2,0	98,3	207,5	8,5	53,2	446,2
46	10,0	2,0	87,5	209,5	8,56	46,4	442,7
47	10,0	2,0	48,3	219,5	8	138,6	352,9
48	10,0	2,0	190,0	207,6	7,96	216,5	572,6

**Tabelle 63**

## Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings I-“ bei echten Urinen

### Probereihe D (Bicarbonatzugabe = 2,0 ml)

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach Hastings I-(ohne Na u. K pK = 6,47) mmol/l
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	
1	10,0	2,0	71,7	224,2	8,25	71,30	128,9
2	10,0	2,0	84,2	198,6	7,70	182,10	92,8
3	10,0	2,0	42,5	174,7	8,25	72,90	131,8
4	10,0	2,0	9,2	175,1	8,39	61,00	152,2
5	10,0	2,0	28,3	171,6	7,47	322,30	96,7
6	10,0	2,0	47,5	198,5	7,76	169,30	99,0
7	10,0	2,0	20,0	178,4	7,62	214,80	91,0
8	10,0	2,0	13,3	173,5	8,07	100,30	119,8
9	10,0	2,0	30,8	193,8	7,50	239,50	77,0
10	10,0	2,0	31,7	191,0	8,24	69,40	122,6
11	10,0	2,0	59,2	172,0	8,43	48,80	133,5
12	10,0	2,0	81,7	172,5	8,46	46,40	136,0
13	10,0	2,0	88,3	196,6	8,16	73,50	108,0
14	10,0	2,0	160,8	211,3	7,38	270,00	65,8
15	10,0	2,0	15,8	170,3	8,66	37,40	173,8
16	10,0	2,0	60,8	171,8	8,42	60,10	160,7
17	10,0	2,0	86,7	220,6	7,86	163,60	120,5
18	10,0	2,0	24,2	209,8	7,29	426,00	84,4
19	10,0	2,0	38,3	173,9	8,35	66,50	151,3
20	10,0	2,0	92,5	184,3	7,78	162,20	99,4
21	10,0	2,0	105,0	176,2	8,17	82,30	123,7
22	10,0	2,0	19,2	176,7	8,51	46,20	152,0
23	10,0	2,0	34,2	238,1	7,23	367,90	63,5
24	10,0	2,0	242,2	222,0	8,14	100,70	141,3
25	10,0	2,0	103,3	219,1	7,73	181,40	99,0
26	10,0	2,0	105,8	221,3	8,32	66,80	141,9
27	10,0	2,0	14,2	183,9	7,69	188,60	93,9
28	10,0	2,0	52,5	190,0	7,91	130,20	107,6
29	10,0	2,0	83,3	188,2	8,25	74,10	133,9
30	10,0	2,0	136,7	212,4	7,78	169,30	103,7
31	10,0	2,0	76,7	199,0	7,73	174,60	95,3
32	10,0	2,0	121,7	241,3	8,56	39,70	146,5
33	10,0	2,0	27,5	178,4	8,65	32,60	148,0
34	10,0	2,0	42,5	179,7	8,53	44,40	152,9
35	10,0	2,0	39,2	200,1	8,47	43,30	129,9
36	10,0	2,0	32,5	177,3	8,66	32,30	150,1
37	10,0	2,0	40,8	173,5	8,47	47,80	143,4
38	10,0	2,0	125,0	185,8	7,71	174,60	91,0
39	10,0	2,0	42,5	190,7	8,41	65,5	171,1
40	10,0	2,0	83,3	237,2	8,01	128,6	133,8
41	10,0	2,0	20,0	177,4	8,42	57,1	152,7
42	10,0	2,0	404,1	274,2	7,24	413,1	73,0
43	10,0	2,0	65,0	185,2	8,46	53,4	156,6
44	10,0	2,0	143,3	248,8	7,21	465,5	76,7
45	10,0	2,0	98,3	207,5	8,5	53,2	171,0
46	10,0	2,0	87,5	209,5	8,56	46,4	171,3
47	10,0	2,0	48,3	219,5	8	138,6	140,9
48	10,0	2,0	190,0	207,6	7,96	216,5	200,7

Tabelle 64

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings II-“ bei echten Urinen**  
**Probereihe D (Bicarbonatzugabe = 2,0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (pH-Meter)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings II- (ohne Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	2,0	71,7	224,2	8,25	71,30	177,9
2	10,0	2,0	84,2	198,6	7,70	182,10	128,1
3	10,0	2,0	42,5	174,7	8,25	72,90	181,9
4	10,0	2,0	9,2	175,1	8,39	61,00	210,1
5	10,0	2,0	28,3	171,6	7,47	322,30	133,5
6	10,0	2,0	47,5	198,5	7,76	169,30	136,7
7	10,0	2,0	20,0	178,4	7,62	214,80	125,6
8	10,0	2,0	13,3	173,5	8,07	100,30	165,4
9	10,0	2,0	30,8	193,8	7,50	239,50	106,3
10	10,0	2,0	31,7	191,0	8,24	69,40	169,2
11	10,0	2,0	59,2	172,0	8,43	48,80	184,3
12	10,0	2,0	81,7	172,5	8,46	46,40	187,8
13	10,0	2,0	88,3	196,6	8,16	73,50	149,1
14	10,0	2,0	160,8	211,3	7,38	270,00	90,9
15	10,0	2,0	15,8	170,3	8,66	37,40	239,9
16	10,0	2,0	60,8	171,8	8,42	60,10	221,8
17	10,0	2,0	86,7	220,6	7,86	163,60	166,3
18	10,0	2,0	24,2	209,8	7,29	426,00	116,6
19	10,0	2,0	38,3	173,9	8,35	66,50	208,9
20	10,0	2,0	92,5	184,3	7,78	162,20	137,1
21	10,0	2,0	105,0	176,2	8,17	82,30	170,8
22	10,0	2,0	19,2	176,7	8,51	46,20	209,8
23	10,0	2,0	34,2	238,1	7,23	367,90	87,7
24	10,0	2,0	242,2	222,0	8,14	100,70	195,1
25	10,0	2,0	103,3	219,1	7,73	181,40	136,7
26	10,0	2,0	105,8	221,3	8,32	66,80	195,8
27	10,0	2,0	14,2	183,9	7,69	188,60	129,6
28	10,0	2,0	52,5	190,0	7,91	130,20	148,5
29	10,0	2,0	83,3	188,2	8,25	74,10	184,9
30	10,0	2,0	136,7	212,4	7,78	169,30	143,1
31	10,0	2,0	76,7	199,0	7,73	174,60	131,6
32	10,0	2,0	121,7	241,3	8,56	39,70	202,3
33	10,0	2,0	27,5	178,4	8,65	32,60	204,3
34	10,0	2,0	42,5	179,7	8,53	44,40	211,1
35	10,0	2,0	39,2	200,1	8,47	43,30	179,3
36	10,0	2,0	32,5	177,3	8,66	32,30	207,2
37	10,0	2,0	40,8	173,5	8,47	47,80	197,9
38	10,0	2,0	125,0	185,8	7,71	174,60	125,7
39	10,0	2,0	42,5	190,7	8,41	65,5	236,2
40	10,0	2,0	83,3	237,2	8,01	128,6	184,7
41	10,0	2,0	20,0	177,4	8,42	57,1	210,7
42	10,0	2,0	404,1	274,2	7,24	413,1	100,7
43	10,0	2,0	65,0	185,2	8,46	53,4	216,1
44	10,0	2,0	143,3	248,8	7,21	465,5	105,9
45	10,0	2,0	98,3	207,5	8,5	53,2	236,1
46	10,0	2,0	87,5	209,5	8,56	46,4	236,4
47	10,0	2,0	48,3	219,5	8	138,6	194,5
48	10,0	2,0	190,0	207,6	7,96	216,5	277,1

**Tabelle 65**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings O+“ bei echten Urinen**

**Probereihe D (Bicarbonatzugabe = 2,0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach Hastings O+ (mit Na u. K pK = 6,33) mmol/l
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	
1	10,0	2,0	71,7	224,2	7,97	71,30	174,7
2	10,0	2,0	84,2	198,6	7,45	182,10	132,8
3	10,0	2,0	42,5	174,7	7,93	72,90	148,9
4	10,0	2,0	9,2	175,1	8,06	61,00	161,1
5	10,0	2,0	28,3	171,6	7,25	322,30	134,6
6	10,0	2,0	47,5	198,5	7,55	169,30	149,2
7	10,0	2,0	20,0	178,4	7,44	214,80	138,6
8	10,0	2,0	13,3	173,5	7,80	100,30	146,1
9	10,0	2,0	30,8	193,8	7,35	239,50	129,8
10	10,0	2,0	31,7	191,0	7,99	69,40	163,8
11	10,0	2,0	59,2	172,0	8,14	48,80	164,4
12	10,0	2,0	81,7	172,5	8,15	46,40	164,3
13	10,0	2,0	88,3	196,6	7,90	73,50	151,5
14	10,0	2,0	160,8	211,3	7,22	270,00	126,9
15	10,0	2,0	15,8	170,3	8,26	37,40	156,9
16	10,0	2,0	60,8	171,8	8,03	60,10	157,5
17	10,0	2,0	86,7	220,6	7,59	163,60	169,1
18	10,0	2,0	24,2	209,8	7,15	426,00	147,4
19	10,0	2,0	38,3	173,9	7,99	66,50	155,0
20	10,0	2,0	92,5	184,3	7,52	162,20	138,1
21	10,0	2,0	105,0	176,2	7,83	82,30	143,8
22	10,0	2,0	19,2	176,7	8,15	46,20	152,4
23	10,0	2,0	34,2	238,1	7,05	367,90	105,6
24	10,0	2,0	242,2	222,0	7,76	100,70	178,2
25	10,0	2,0	103,3	219,1	7,49	181,40	151,2
26	10,0	2,0	105,8	221,3	8,01	66,80	185,3
27	10,0	2,0	14,2	183,9	7,46	188,60	127,4
28	10,0	2,0	52,5	190,0	7,61	130,20	131,2
29	10,0	2,0	83,3	188,2	7,91	74,10	154,0
30	10,0	2,0	136,7	212,4	7,52	169,30	155,3
31	10,0	2,0	76,7	199,0	7,48	174,60	135,4
32	10,0	2,0	121,7	241,3	8,21	39,70	180,8
33	10,0	2,0	27,5	178,4	8,30	32,60	153,9
34	10,0	2,0	42,5	179,7	8,17	44,40	158,6
35	10,0	2,0	39,2	200,1	8,18	43,30	161,5
36	10,0	2,0	32,5	177,3	8,30	32,30	153,2
37	10,0	2,0	40,8	173,5	8,09	47,80	140,6
38	10,0	2,0	125,0	185,8	7,48	174,60	140,6
39	10,0	2,0	42,5	190,7	8,03	65,5	171,7
40	10,0	2,0	83,3	237,2	7,68	128,6	165,8
41	10,0	2,0	20,0	177,4	8,07	57,1	157,0
42	10,0	2,0	404,1	274,2	7,07	413,1	175,8
43	10,0	2,0	65,0	185,2	8,08	53,4	160,2
44	10,0	2,0	143,3	248,8	7,03	465,5	143,9
45	10,0	2,0	98,3	207,5	8,09	53,2	173,6
46	10,0	2,0	87,5	209,5	8,15	46,4	172,2
47	10,0	2,0	48,3	219,5	7,67	138,6	165,1
48	10,0	2,0	190,0	207,6	7,43	216,5	169,0

**Tabelle 66**

**Bicarbonat-Bestimmung durch Messmethode nach „Hastings O-“ bei echten Urinen**  
**Probereihe D (Bicarbonatzugabe = 2,0 ml)**

Urin-probe Nr.	Menge, Zusammensetzung, pH und pCO <sub>2</sub> der Urine						Bicarbonat-bestimmung nach
	Original-Urin ml	KHCO <sub>3</sub> (1mol/l) zugegeben ml	Natrium mmol/l	Kalium mmol/l	pH (BGA)	pCO <sub>2</sub> mmHg	Hastings O-(ohne Na u. K pK = 6,33) mmol/l
1	10,0	2,0	71,7	224,2	7,97	71,30	93,4
2	10,0	2,0	84,2	198,6	7,45	182,10	72,0
3	10,0	2,0	42,5	174,7	7,93	72,90	87,1
4	10,0	2,0	9,2	175,1	8,06	61,00	98,3
5	10,0	2,0	28,3	171,6	7,25	322,30	80,4
6	10,0	2,0	47,5	198,5	7,55	169,30	84,3
7	10,0	2,0	20,0	178,4	7,44	214,80	83,0
8	10,0	2,0	13,3	173,5	7,80	100,30	88,8
9	10,0	2,0	30,8	193,8	7,35	239,50	75,2
10	10,0	2,0	31,7	191,0	7,99	69,40	95,2
11	10,0	2,0	59,2	172,0	8,14	48,80	94,5
12	10,0	2,0	81,7	172,5	8,15	46,40	92,0
13	10,0	2,0	88,3	196,6	7,90	73,50	81,9
14	10,0	2,0	160,8	211,3	7,22	270,00	62,9
15	10,0	2,0	15,8	170,3	8,26	37,40	95,5
16	10,0	2,0	60,8	171,8	8,03	60,10	90,4
17	10,0	2,0	86,7	220,6	7,59	163,60	89,3
18	10,0	2,0	24,2	209,8	7,15	426,00	84,4
19	10,0	2,0	38,3	173,9	7,99	66,50	91,2
20	10,0	2,0	92,5	184,3	7,52	162,20	75,4
21	10,0	2,0	105,0	176,2	7,83	82,30	78,1
22	10,0	2,0	19,2	176,7	8,15	46,20	91,6
23	10,0	2,0	34,2	238,1	7,05	367,90	57,9
24	10,0	2,0	242,2	222,0	7,76	100,70	81,3
25	10,0	2,0	103,3	219,1	7,49	181,40	78,7
26	10,0	2,0	105,8	221,3	8,01	66,80	95,9
27	10,0	2,0	14,2	183,9	7,46	188,60	76,3
28	10,0	2,0	52,5	190,0	7,61	130,20	74,4
29	10,0	2,0	83,3	188,2	7,91	74,10	84,5
30	10,0	2,0	136,7	212,4	7,52	169,30	78,7
31	10,0	2,0	76,7	199,0	7,48	174,60	74,0
32	10,0	2,0	121,7	241,3	8,21	39,70	90,3
33	10,0	2,0	27,5	178,4	8,30	32,60	91,3
34	10,0	2,0	42,5	179,7	8,17	44,40	92,2
35	10,0	2,0	39,2	200,1	8,18	43,30	92,0
36	10,0	2,0	32,5	177,3	8,30	32,30	90,4
37	10,0	2,0	40,8	173,5	8,09	47,80	82,5
38	10,0	2,0	125,0	185,8	7,48	174,60	74,0
39	10,0	2,0	42,5	190,7	8,03	65,5	98,5
40	10,0	2,0	83,3	237,2	7,68	128,6	86,4
41	10,0	2,0	20,0	177,4	8,07	57,1	94,1
42	10,0	2,0	404,1	274,2	7,07	413,1	68,1
43	10,0	2,0	65,0	185,2	8,08	53,4	90,1
44	10,0	2,0	143,3	248,8	7,03	465,5	70,0
45	10,0	2,0	98,3	207,5	8,09	53,2	91,8
46	10,0	2,0	87,5	209,5	8,15	46,4	92,0
47	10,0	2,0	48,3	219,5	7,67	138,6	91,0
48	10,0	2,0	190,0	207,6	7,43	216,5	81,8

**Tabelle 67**

**Direkter Vergleich der Bicarbonat-Konzentrationen ermittelt durch  
Titration, Hastings-Varianten „I+, II+, I-, II-, O+, O-“ bei echten Urinen**  
**Probereihe A (10 ml Urin, Bicarbonatzugabe = 0 ml)**

Urin- probe Nr.	Titration mmol/l	Bicarbonat-Konzentration, Messwerte						Abweichung der HCO <sub>3</sub> -Konzentration von der Titration mmol/l					
		Hastings I+ mmol/l	Hastings II+ mmol/l	Hastings I- mmol/l	Hastings II- mmol/l	Hastings O+ mmol/l	Hastings O- mmol/l	Titration minus Hastings I+	Titration minus Hastings II+	Titration minus Hastings I-	Titration minus Hastings II-	Titration minus Hastings O+	Titration minus Hastings O-
1	4,7	9,5	13,2	6,1	8,4	5,7	3,7	-4,8	-8,5	-1,4	-3,7	-1,0	1,0
2	4,3	0,9	1,2	0,6	0,8	1,0	0,6	3,4	3,1	3,7	3,5	3,3	3,7
3	5,7	1,1	1,5	0,8	1,1	1,0	0,7	4,6	4,2	4,9	4,6	4,7	5,0
4	3,7	3,3	4,6	2,8	3,9	1,6	1,3	0,4	-0,9	0,9	-0,2	2,1	2,4
5	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	<<	<<	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	<<	<<
6	0,7	1,3	1,8	0,9	1,3	1,2	0,8	-0,6	-1,1	-0,2	-0,6	-0,5	-0,1
7	2,5	0,1	0,2	0,1	0,1	<<	<<	2,4	2,3	2,4	2,4	<<	<<
8	0,6	0,2	0,2	0,1	0,2	<<	<<	0,4	0,4	0,5	0,4	<<	<<
9	2,9	0,1	0,2	0,1	0,1	<<	<<	2,8	2,7	2,8	2,8	<<	<<
10	0,0	2,1	2,9	1,5	2,1	1,8	1,3	-2,1	-2,9	-1,5	-2,1	-1,8	-1,3
11	2,5	10,1	13,9	7,3	10,1	5,2	3,7	-7,6	-11,4	-4,8	-7,6	-2,7	-1,2
12	3,9	16,0	22,1	11,0	15,2	5,4	3,7	-12,1	-18,2	-7,1	-11,3	-1,5	0,2
13	2,1	1,4	2,0	0,9	1,3	1,3	0,8	0,7	0,1	1,2	0,8	0,8	1,3
14	6,6	0,2	0,2	0,1	0,1	<<	<<	6,4	6,4	6,5	6,5	<<	<<
15	2,6	1,1	1,5	0,9	1,3	0,9	0,7	1,5	1,1	1,7	1,3	1,7	1,9
16	11,0	5,3	7,3	3,8	5,3	2,6	1,9	5,7	3,7	7,2	5,7	8,4	9,1
17	7,6	3,1	4,3	2,0	2,7	3,0	1,9	4,5	3,3	5,6	4,9	4,6	5,7
18	2,0	0,2	0,3	0,2	0,2	<<	<<	1,8	1,7	1,8	1,8	<<	<<
19	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	<<	<<	0,5	0,4	0,5	0,5	<<	<<
20	1,8	0,1	0,2	0,1	0,1	<<	<<	1,7	1,6	1,7	1,7	<<	<<
21	3,3	1,5	2,1	1,0	1,4	1,3	0,8	1,8	1,2	2,3	1,9	2,0	2,5
22	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	<<	<<	0,0	-0,1	0,0	-0,1	<<	<<
23	9,8	0,1	0,1	0,1	0,1	<<	<<	9,7	9,7	9,7	9,7	<<	<<
24	38,4	12,3	17,0	6,2	8,6	9,6	4,8	26,1	21,4	32,2	29,8	28,8	33,6
25	2,6	0,8	1,1	0,5	0,7	0,7	0,4	1,8	1,5	2,1	1,9	1,9	2,2
26	23,1	55,7	76,9	33,6	46,4	30,6	18,5	-32,6	-53,8	-10,5	-23,3	-7,5	4,6
27	0,9	0,1	0,2	0,1	0,1	<<	<<	0,8	0,7	0,8	0,8	<<	<<
28	4,0	0,2	0,2	0,1	0,2	<<	<<	3,8	3,8	3,9	3,8	<<	<<
29	2,1	1,3	1,8	0,9	1,2	<<	<<	0,8	0,3	1,2	0,9	<<	<<
30	2,6	0,3	0,4	0,2	0,2	<<	<<	2,3	2,2	2,4	2,4	<<	<<
31	2,2	0,1	0,1	0,0	0,1	<<	<<	2,1	2,1	2,2	2,1	<<	<<
32	2,6	7,8	10,8	4,5	6,2	4,2	2,4	-5,2	-8,2	-1,9	-3,6	-1,6	0,2
33	1,0	2,7	3,8	2,1	3,0	1,5	1,2	-1,7	-2,8	-1,1	-2,0	-0,5	-0,2
34	9,1	8,0	11,1	6,0	8,2	5,4	4,0	1,1	-2,0	3,1	0,9	3,7	5,1
35	4,6	4,5	6,2	3,2	4,4	3,5	2,5	0,1	-1,6	1,4	0,2	1,1	2,1
36	9,4	14,2	19,6	10,9	15,1	5,5	4,3	-4,8	-10,2	-1,5	-5,7	3,9	5,1
37	2,0	0,6	0,9	0,5	0,7	<<	<<	1,4	1,1	1,5	1,3	<<	<<
38	2,3	0,1	0,1	0,0	0,1	<<	<<	2,2	2,2	2,3	2,2	<<	<<
39	10,7	14,4	19,8	10,4	14,3	10,4	7,5	-3,7	-9,1	0,3	-3,6	0,3	3,2
40	7,4	3,6	5,0	2,2	3,0	3,6	2,2	3,8	2,4	5,2	4,4	3,8	5,2
41	1,7	0,4	0,6	0,3	0,5	<<	<<	1,3	1,1	1,4	1,2	<<	<<
42	3,9	0,1	0,1	0,0	0,0	<<	<<	3,8	3,8	3,9	3,9	<<	<<
43	7,8	6,1	8,4	4,2	5,8	4,5	3,1	1,7	-0,6	3,6	2,0	3,3	4,7
44	3,4	0,1	0,2	0,1	0,1	<<	<<	3,3	3,2	3,3	3,3	<<	<<
45	23,7	35,7	49,2	22,3	30,8	20,5	12,8	-12,0	-25,5	1,4	-7,1	3,2	10,9
46	7,2	10,7	14,8	6,8	9,4	5,4	3,4	-3,5	-7,6	0,4	-2,2	1,8	3,8
47	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	<<	<<	0,5	0,4	0,5	0,5	<<	<<
48	3,5	1,8	2,4	1,0	1,3	1,5	0,8	1,7	1,1	2,5	2,2	2,0	2,7

**Tabelle 68**

**Direkter Vergleich der Bicarbonat-Konzentrationen ermittelt durch  
Titration, Hastings-Varianten „I+, II+, I-, II-, O+, O-“ bei echten Urinen**  
**Probereihe B** (10 ml Urin, Bicarbonatzugabe = 0,5 ml)

Urin-probe Nr.	Titration mmol/l	Bicarbonat-Konzentration, Messwerte						Abweichung der HCO <sub>3</sub> -Konzentration von der Titration mmol/l					
		Hastings I+ mmol/l	Hastings II+ mmol/l	Hastings I- mmol/l	Hastings II- mmol/l	Hastings O+ mmol/l	Hastings O- mmol/l	Titration minus Hastings I+	Titration minus Hastings II+	Titration minus Hastings I-	Titration minus Hastings II-	Titration minus Hastings O+	Titration minus Hastings O-
1	59,5	63,4	87,6	38,2	52,7	55,3	33,2	-3,9	-28,1	21,3	6,8	4,2	26,3
2	51,2	26,8	37,0	16,5	22,7	28,1	17,2	24,4	14,2	34,7	28,5	23,1	34,0
3	51,8	37,0	51,0	25,5	35,1	32,9	22,7	14,8	0,8	26,3	16,7	18,9	29,1
4	43,1	66,6	92,0	49,4	68,2	41,1	30,5	-23,5	-48,9	-6,3	-25,1	2,0	12,6
5	36,0	37,8	52,2	27,0	37,3	33,7	24,1	-1,8	-16,2	9,0	-1,3	2,3	11,9
6	38,8	41,4	57,2	27,0	37,3	38,6	25,2	-2,6	-18,4	11,8	1,5	0,2	13,6
7	33,5	33,4	46,1	23,9	33,0	33,4	23,9	0,1	-12,6	9,6	0,5	0,1	9,6
8	35,1	41,8	57,8	30,8	42,6	35,6	26,2	-6,7	-22,7	4,3	-7,5	-0,5	8,9
9	34,2	30,8	42,6	20,9	28,9	33,0	22,4	3,4	-8,4	13,3	5,3	1,2	11,8
10	41,5	61,7	85,2	42,0	58,0	40,8	27,8	-20,2	-43,7	-0,5	-16,5	0,7	13,7
11	47,0	78,6	108,4	52,6	72,7	46,3	31,0	-31,6	-61,4	-5,6	-25,7	0,7	16,0
12	48,6	88,2	121,8	56,7	78,3	50,8	32,6	-39,6	-73,2	-8,1	-29,7	-2,2	16,0
13	39,8	49,4	68,2	30,2	41,7	41,1	25,1	-9,6	-28,4	9,6	-1,9	-1,3	14,7
14	39,4	20,5	28,3	11,1	15,4	26,4	14,3	18,9	11,1	28,3	24,0	13,0	25,1
15	44,2	97,5	134,6	72,0	99,4	32,3	23,8	-53,3	-90,4	-27,8	-55,2	11,9	20,4
16	48,5	89,9	124,1	60,1	82,9	43,0	28,7	-41,4	-75,6	-11,6	-34,4	5,5	19,8
17	46,1	49,2	67,9	29,1	40,1	42,8	25,3	-3,1	-21,8	17,0	6,0	3,3	20,8
18	38,3	32,8	45,3	21,9	30,2	32,1	21,4	5,5	-7,0	16,4	8,1	6,2	16,9
19	39,8	61,7	85,1	42,9	59,2	36,3	25,3	-21,9	-45,3	-3,1	-19,4	3,5	14,5
20	36,3	38,6	53,3	23,9	33,0	33,6	20,8	-2,3	-17,0	12,4	3,3	2,7	15,5
21	42,0	54,8	75,7	33,7	46,6	38,8	23,9	-12,8	-33,7	8,3	-4,6	3,2	18,1
22	40,3	65,4	90,3	47,2	65,1	38,5	27,8	-25,1	-50,0	-6,9	-24,8	1,8	12,5
23	41,3	23,7	32,7	14,8	20,4	22,1	13,8	17,6	8,6	26,5	20,9	19,2	27,5
24	52,4	116,6	161,0	57,0	78,6	58,5	28,6	-64,2	-108,6	-4,6	-26,2	-6,1	23,8
25	38,3	50,5	69,7	29,2	40,3	40,1	23,2	-12,2	-31,4	9,1	-2,0	-1,8	15,1
26	77,5	113,2	156,3	65,1	89,9	73,1	42,0	-35,7	-78,8	12,4	-12,4	4,4	35,5
27	34,3	27,9	38,5	20,0	27,6	24,3	17,4	6,4	-4,2	14,3	6,7	10,0	16,9
28	38,6	33,6	46,4	22,1	30,5	27,3	17,9	5,0	-7,8	16,5	8,1	11,3	20,7
29	43,1	52,8	72,9	33,0	45,6	39,2	24,5	-9,7	-29,8	10,1	-2,5	3,9	18,6
30	34,1	41,7	57,6	23,3	32,2	37,2	20,8	-7,6	-23,5	10,8	1,9	-3,1	13,3
31	36,3	37,5	51,8	23,3	32,1	31,9	19,8	-1,2	-15,5	13,0	4,2	4,4	16,5
32	52,4	92,8	128,1	50,9	70,3	52,2	28,6	-40,4	-75,7	1,5	-17,9	0,2	23,8
33	43,3	84,7	117,0	59,7	82,5	42,5	29,9	-41,4	-73,7	-16,4	-39,2	0,8	13,4
34	49,3	105,5	145,6	71,9	99,3	37,4	25,5	-56,2	-96,3	-22,6	-50,0	11,9	23,8
35	44,8	67,0	92,4	44,2	61,0	43,2	28,5	-22,2	-47,6	0,6	-16,2	1,6	16,3
36	50,1	90,6	125,1	63,4	87,5	45,4	31,8	-40,5	-75,0	-13,3	-37,4	4,7	18,3
37	40,6	78,0	107,7	54,0	74,6	38,2	26,5	-37,4	-67,1	-13,4	-34,0	2,4	14,1
38	35,9	40,2	55,5	23,6	32,6	35,0	20,6	-4,3	-19,6	12,3	3,3	0,9	15,3
39	54,8	92,4	127,5	61,7	85,1	50,8	33,9	-37,6	-72,7	-6,9	-30,3	4,0	20,9
40	47,1	67,2	92,7	39,0	53,8	46,5	27,0	-20,1	-45,6	8,1	-6,7	0,6	20,1
41	41,0	57,3	79,0	41,2	56,8	39,6	28,5	-16,3	-38,0	-0,2	-15,8	1,4	12,5
42	35,3	50,9	70,3	20,4	28,1	47,5	19,0	-15,6	-35,0	14,9	7,2	-12,2	16,3
43	49,8	75,6	104,4	49,0	67,6	43,5	28,2	-25,8	-54,6	0,8	-17,8	6,3	21,6
44	32,6	31,8	44,0	16,9	23,3	31,8	16,9	0,8	-11,4	15,7	9,3	0,8	15,7
45	64,4	114,0	157,3	67,6	93,3	61,2	36,3	-49,6	-92,9	-3,2	-28,9	3,2	28,1
46	48,6	113,5	156,7	68,2	94,1	51,9	31,2	-64,9	-108,1	-19,6	-45,5	-3,3	17,4
47	38,2	56,9	78,6	35,8	49,4	43,2	27,1	-18,7	-40,4	2,4	-11,2	-5,0	11,1
48	43,2	53,0	73,2	27,9	38,5	46,2	24,3	-9,8	-30,0	15,3	4,7	-3,0	18,9

**Tabelle 69**

**Direkter Vergleich der Bicarbonat-Konzentrationen ermittelt durch  
Titration, Hastings-Varianten „I+, II+, I-, II-, O+, O-“ bei echten Urinen**  
**Probereihe C (10 ml Urin, Bicarbonatzugabe = 1,0 ml)**

Urin-probe Nr.	Titration mmol/l	Bicarbonat-Konzentration, Messwerte						Abweichung der HCO <sub>3</sub> -Konzentration von der Titration mmol/l					
		Hastings I+ mmol/l	Hastings II+ mmol/l	Hastings I- mmol/l	Hastings II- mmol/l	Hastings O- mmol/l	Hastings O+ mmol/l	Titration minus Hastings I+	Titration minus Hastings II+	Titration minus Hastings I-	Titration minus Hastings II-	Titration minus Hastings O+	Titration minus Hastings O-
1	87,8	172,7	238,4	99,2	137,0	94,9	54,5	-84,9	-150,6	-11,4	-49,2	-7,1	33,3
2	77,0	146,3	201,9	85,5	118,0	75,0	43,9	-69,3	-124,9	-8,5	-41,0	2,0	33,1
3	82,0	162,6	224,5	104,8	144,6	76,1	49,0	-80,6	-142,5	-22,8	-62,6	5,9	33,0
4	86,6	148,2	204,6	101,2	139,7	79,6	54,4	-61,6	-118,0	-14,6	-53,1	7,0	32,2
5	73,4	52,5	72,5	34,8	48,1	60,3	40,0	20,9	0,9	38,6	25,3	13,1	33,4
6	81,0	91,6	126,5	56,4	77,9	79,8	49,2	-10,6	-45,5	24,6	3,1	1,2	31,8
7	74,6	41,7	57,6	27,7	38,3	61,7	41,0	32,9	17,0	46,9	36,3	12,9	33,6
8	78,5	77,9	107,5	52,9	73,1	69,4	47,2	0,6	-29,0	25,6	5,4	9,1	31,3
9	73,2	58,6	80,9	37,3	51,5	61,3	39,0	14,6	-7,7	35,9	21,7	11,9	34,2
10	80,5	143,1	197,5	91,4	126,2	82,4	52,6	-62,6	-117,0	-10,9	-45,7	-1,9	27,9
11	93,5	153,4	211,8	96,7	133,5	84,3	53,1	-59,9	-118,3	-3,2	-40,0	9,2	40,4
12	90,4	179,8	248,1	109,4	151,0	90,1	54,8	-89,4	-157,7	-19,0	-60,6	0,3	35,6
13	82,2	130,2	179,8	75,9	104,8	84,1	49,0	-48,0	-97,6	6,3	-22,6	-1,9	33,2
14	68,5	77,9	107,5	40,8	56,4	59,1	31,0	-9,4	-39,0	27,7	12,1	9,4	37,5
15	89,7	153,2	211,5	104,2	143,9	73,3	49,9	-63,5	-121,8	-14,5	-54,2	16,4	39,8
16	98,0	167,3	231,0	105,2	145,2	82,0	51,5	-69,3	-133,0	-7,2	-47,2	16,0	46,5
17	92,9	103,8	143,3	58,8	81,2	86,4	48,9	-10,9	-50,4	34,1	11,7	6,5	44,0
18	80,9	73,2	101,0	45,9	63,4	71,5	44,9	7,7	-20,1	35,0	17,5	9,4	36,0
19	82,2	132,6	183,0	86,1	118,9	79,9	51,9	-50,4	-100,8	-3,9	-36,7	2,3	30,3
20	77,2	75,3	104,0	44,4	61,3	67,1	39,6	1,9	-26,8	32,8	15,9	10,1	37,6
21	85,9	103,2	142,4	60,4	83,4	73,0	42,8	-17,3	-56,5	25,5	2,5	12,9	43,1
22	84,5	106,2	146,7	71,0	98,0	78,8	52,6	-21,7	-62,2	13,5	-13,5	5,7	31,9
23	68,3	47,1	65,0	27,9	38,5	46,0	27,3	21,2	3,3	40,4	29,8	22,3	41,0
24	95,0	189,4	261,5	90,2	124,5	106,5	50,7	-94,4	-166,5	4,8	-29,5	-11,5	44,3
25	81,1	117,8	162,6	65,5	90,4	81,5	45,3	-36,7	-81,5	15,6	-9,3	-0,4	35,8
26	122,8	183,4	253,1	101,3	139,8	110,5	61,0	-60,6	-130,3	21,5	-17,0	12,3	61,8
27	76,4	75,2	103,7	50,0	69,1	59,7	39,7	1,2	-27,3	26,4	7,3	16,7	36,7
28	81,8	79,7	110,0	49,4	68,1	60,5	37,4	2,1	-28,2	32,4	13,7	21,3	44,4
29	84,4	118,7	163,9	70,5	97,3	80,3	47,7	-34,3	-79,5	13,9	-12,9	4,1	36,7
30	78,2	108,7	150,0	58,5	80,7	80,6	43,4	-30,5	-71,8	19,7	-2,5	-2,4	34,8
31	78,9	94,8	130,9	56,0	77,3	68,7	40,6	-15,9	-52,0	22,9	1,6	10,2	38,3
32	89,6	175,9	242,8	93,1	128,6	96,7	51,2	-86,3	-153,2	-3,5	-39,0	-7,1	38,4
33	85,5	156,6	216,1	102,8	141,9	84,1	55,2	-71,1	-130,6	-17,3	-56,4	1,4	30,3
34	92,1	155,4	214,5	99,3	137,1	83,4	53,3	-63,3	-122,4	-7,2	-45,0	8,7	38,8
35	89,4	144,4	199,4	89,9	124,1	85,0	52,9	-55,0	-110,0	-0,5	-34,7	4,4	36,5
36	97,1	151,1	208,6	98,6	136,0	83,0	54,2	-54,0	-111,5	-1,5	-38,9	14,1	42,9
37	85,1	142,2	196,3	92,0	127,1	76,4	49,4	-57,1	-111,2	-6,9	-42,0	8,7	35,7
38	77,7	102,9	142,0	58,0	80,1	76,3	43,0	-25,2	-64,3	19,7	-2,4	1,4	34,7
39	97,2	155,5	214,7	97,7	134,8	93,7	58,9	-58,3	-117,5	-0,5	-37,6	3,5	38,3
40	89,0	140,6	194,0	78,3	108,1	90,8	50,5	-51,6	-105,0	10,7	-19,1	-1,8	38,5
41	85,1	126,3	174,4	84,2	116,2	81,6	54,4	-41,2	-89,3	0,9	-31,1	3,5	30,7
42	75,0	109,9	151,7	43,5	60,0	100,2	39,6	-34,9	-76,7	31,5	15,0	-25,2	35,4
43	92,9	150,6	207,8	92,2	127,2	86,6	53,0	-57,7	-114,9	0,7	-34,3	6,3	39,9
44	68,6	81,5	112,5	41,8	57,7	77,8	39,9	-12,9	-43,9	26,8	10,9	-9,2	28,7
45	105,0	184,4	254,5	104,6	144,4	101,3	57,5	-79,4	-149,5	0,4	-39,4	3,7	47,5
46	93,4	189,5	261,6	108,8	150,1	92,8	53,3	-96,1	-168,2	-15,4	-56,7	0,6	40,1
47	81,8	124,2	171,5	74,1	102,4	88,0	52,5	-42,4	-89,7	7,7	-20,6	-6,2	29,3
48	83,8	121,1	167,2	61,7	85,2	91,9	46,8	-37,3	-83,4	22,1	-1,4	-8,1	37,0

Tabelle 70

**Direkter Vergleich der Bicarbonat-Konzentrationen ermittelt durch  
Titration, Hastings-Varianten „I+, II+, I-, II-, O+, O-“ bei echten Urinen**  
**Probereihe D** (10 ml Urin, Bicarbonatzugabe = 2,0 ml)

Urin-probe Nr.	Titration mmol/l	Bicarbonat-Konzentration, Messwerte						Abweichung der HCO <sub>3</sub> -Konzentration von der Titration mmol/l					
		Hastings I+ mmol/l	Hastings II+ mmol/l	Hastings I- mmol/l	Hastings II- mmol/l	Hastings O- mmol/l	Hastings O+ mmol/l	Titration minus Hastings I+	Titration minus Hastings II+	Titration minus Hastings I-	Titration minus Hastings II-	Titration minus Hastings O+	Titration minus Hastings O-
1	165,8	241,1	332,8	128,9	177,9	174,7	93,4	-75,3	-167,0	36,9	-12,1	-8,9	72,4
2	159,0	171,1	236,2	92,8	128,1	132,8	72,0	-12,1	-77,2	66,2	30,9	26,2	87,0
3	165,0	225,4	311,1	131,8	181,9	148,9	87,1	-60,4	-146,1	33,2	-16,9	16,1	77,9
4	166,6	249,5	344,4	152,2	210,1	161,1	98,3	-82,9	-177,8	14,4	-43,5	5,5	68,3
5	147,9	161,8	223,3	96,7	133,5	134,6	80,4	-13,9	-75,4	51,2	14,4	13,3	67,5
6	161,1	175,3	242,0	99,0	136,7	149,2	84,3	-14,2	-80,9	62,1	24,4	11,9	76,8
7	153,0	152,0	209,8	91,0	125,6	138,6	83,0	1,0	-56,8	62,0	27,4	14,4	70,0
8	159,8	197,0	272,0	119,8	165,4	146,1	88,8	-37,2	-112,2	40,0	-5,6	13,7	71,0
9	151,7	132,9	183,4	77,0	106,3	129,8	75,2	18,8	-31,7	74,7	45,4	21,9	76,5
10	160,2	211,1	291,4	122,6	169,2	163,8	95,2	-50,9	-131,2	37,6	-9,0	-3,6	65,0
11	166,8	232,2	320,6	133,5	184,3	164,4	94,5	-65,4	-153,8	33,3	-17,5	2,4	72,3
12	161,4	243,1	335,5	136,0	187,8	164,3	92,0	-81,7	-174,1	25,4	-26,4	-2,9	69,4
13	160,0	199,7	275,6	108,0	149,1	151,5	81,9	-39,7	-115,6	52,0	10,9	8,5	78,1
14	148,3	132,9	183,4	65,8	90,9	126,9	62,9	15,4	-35,1	82,5	57,4	21,4	85,4
15	165,6	285,6	394,2	173,8	239,9	156,9	95,5	-120,0	-228,6	-8,2	-74,3	8,7	70,1
16	174,9	280,0	386,5	160,7	221,8	157,5	90,4	-105,1	-211,6	14,2	-46,9	17,4	84,5
17	159,0	228,1	314,8	120,5	166,3	169,1	89,3	-69,1	-155,8	38,5	-7,3	-10,1	69,7
18	143,7	147,4	203,4	84,4	116,6	147,4	84,4	-3,7	-59,7	59,3	27,1	-3,7	59,3
19	160,2	257,2	355,1	151,3	208,9	155,0	91,2	-97,0	-194,9	8,9	-48,7	5,2	69,0
20	153,8	182,1	251,3	99,4	137,1	138,1	75,4	-28,3	-97,5	54,4	16,7	15,7	78,4
21	158,4	227,8	314,5	123,7	170,8	143,8	78,1	-69,4	-156,1	34,7	-12,4	14,6	80,3
22	159,8	252,9	349,2	152,0	209,8	152,4	91,6	-93,1	-189,4	7,8	-50,0	7,4	68,2
23	141,6	115,8	159,9	63,5	87,7	105,6	57,9	25,8	-18,3	78,1	53,9	36,0	83,7
24	180,8	309,6	427,4	141,3	195,1	178,2	81,3	-128,8	-246,6	39,5	-14,3	2,6	99,5
25	158,0	190,4	262,8	99,0	136,7	151,2	78,7	-32,4	-104,8	59,0	21,3	6,8	79,3
26	187,5	274,1	378,3	141,9	195,8	185,3	95,9	-86,6	-190,8	45,6	-8,3	2,2	91,6
27	151,8	156,7	216,4	93,9	129,6	127,4	76,3	-4,9	-64,6	57,9	22,2	24,4	75,5
28	157,8	189,6	261,8	107,6	148,5	131,2	74,4	-31,8	-104,0	50,2	9,3	26,6	83,4
29	160,9	244,0	336,9	133,9	184,9	154,0	84,5	-83,1	-176,0	27,0	-24,0	6,9	76,4
30	155,4	204,7	282,6	103,7	143,1	155,3	78,7	-49,3	-127,2	51,7	12,3	0,1	76,7
31	149,5	174,5	240,8	95,3	131,6	135,4	74,0	-25,0	-91,3	54,2	17,9	14,1	75,5
32	166,9	293,2	404,7	146,5	202,3	180,8	90,3	-126,3	-237,8	20,4	-35,4	-13,9	76,6
33	165,4	249,6	344,5	148,0	204,3	153,9	91,3	-84,2	-179,1	17,4	-38,9	11,5	74,1
34	174,5	263,1	363,2	152,9	211,1	158,6	92,2	-88,6	-188,7	21,6	-36,6	15,9	82,3
35	163,6	228,1	314,9	129,9	179,3	161,5	92,0	-64,5	-151,3	33,7	-15,7	2,1	71,6
36	167,5	254,3	351,0	150,1	207,2	153,2	90,4	-86,8	-183,5	17,4	-39,7	14,3	77,1
37	160,1	244,4	337,3	143,4	197,9	140,6	82,5	-84,3	-177,2	16,7	-37,8	19,5	77,6
38	151,4	173,0	238,7	91,0	125,7	140,6	74,0	-21,6	-87,3	60,4	25,7	10,8	77,4
39	172,7	298,4	411,9	171,1	236,2	171,7	98,5	-125,7	-239,2	1,6	-63,5	1,0	74,2
40	170,1	256,7	354,4	133,8	184,7	165,8	86,4	-86,6	-184,3	36,3	-14,6	4,3	83,7
41	160,4	254,6	351,5	152,7	210,7	157,0	94,1	-94,2	-191,1	7,7	-50,3	3,4	66,3
42	147,1	188,3	260,0	73,0	100,7	175,8	68,1	-41,2	-112,9	74,1	46,4	-28,7	79,0
43	166,6	278,4	384,4	156,6	216,1	160,2	90,1	-111,8	-217,8	10,0	-49,5	6,4	76,5
44	133,7	157,8	217,8	76,7	105,9	143,9	70,0	-24,1	-84,1	57,0	27,8	-10,2	63,7
45	180,7	323,3	446,2	171,0	236,1	173,6	91,8	-142,6	-265,5	9,7	-55,4	7,1	88,9
46	170,6	320,7	442,7	171,3	236,4	172,2	92,0	-150,1	-272,1	-0,7	-65,8	-1,6	78,6
47	154,2	255,6	352,9	140,9	194,5	165,1	91,0	-101,4	-198,7	13,3	-40,3	-10,9	63,2
48	157,3	414,8	572,6	200,7	277,1	169,0	81,8	-257,5	-415,3	-43,4	-119,8	-11,7	75,5

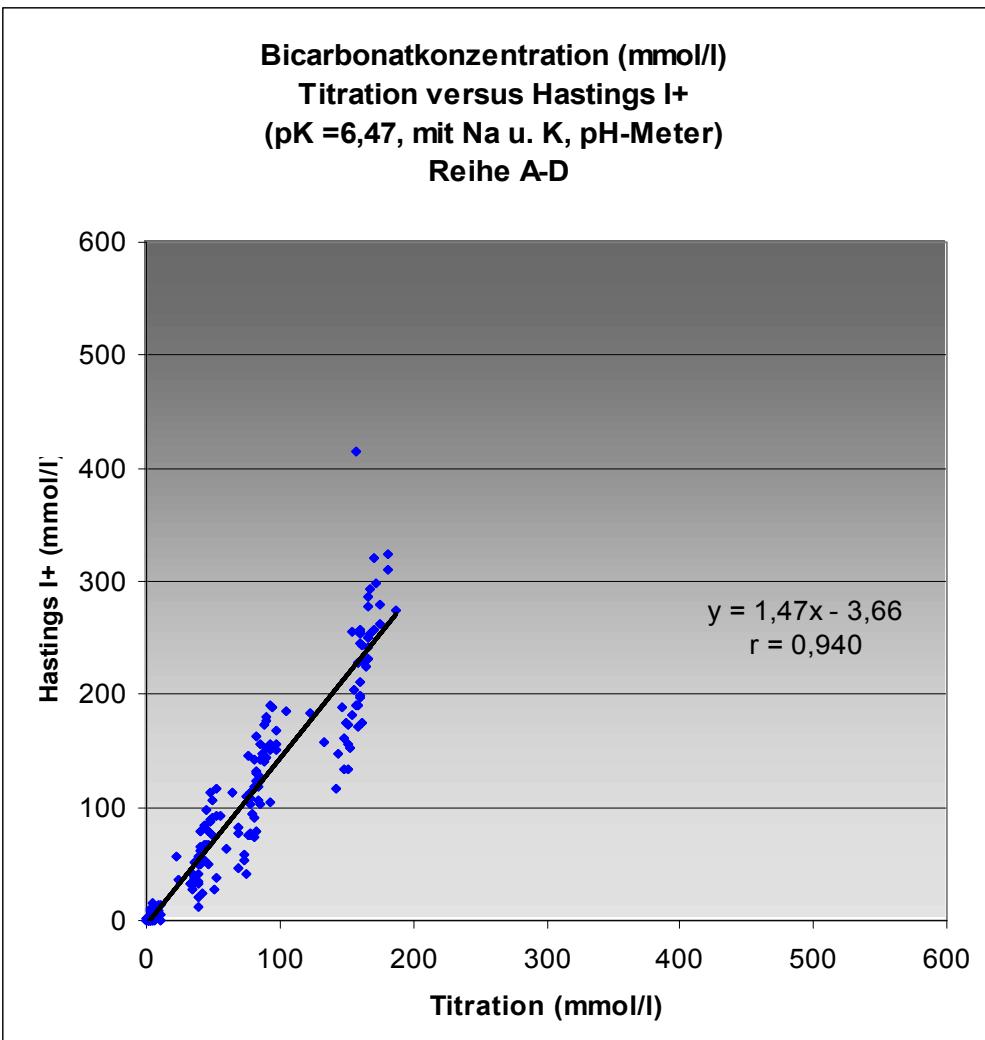
**Tabelle 71**

Die Ergebnisse der Bicarbonat-Messungen der Untersuchungsreihen A bis D, die in den vorangehenden Tabellen detailliert aufgeführt sind, werden der Übersichtlichkeit halber zusätzlich als Diagramme wiedergegeben (*Diagramme 24 bis 29*). In den Diagrammen werden jeweils die nach Hastings ermittelte Bicarbonat-Konzentration (Ordinate) und die durch Titration ermittelte (Abszisse) gegenübergestellt. Je näher die Messpunkte (blau) an der Regressionsgeraden (schwarze Linie) liegen, um so grösser ist die Übereinstimmung der Messwerte der jeweiligen Messmethode mit denen der Titration.

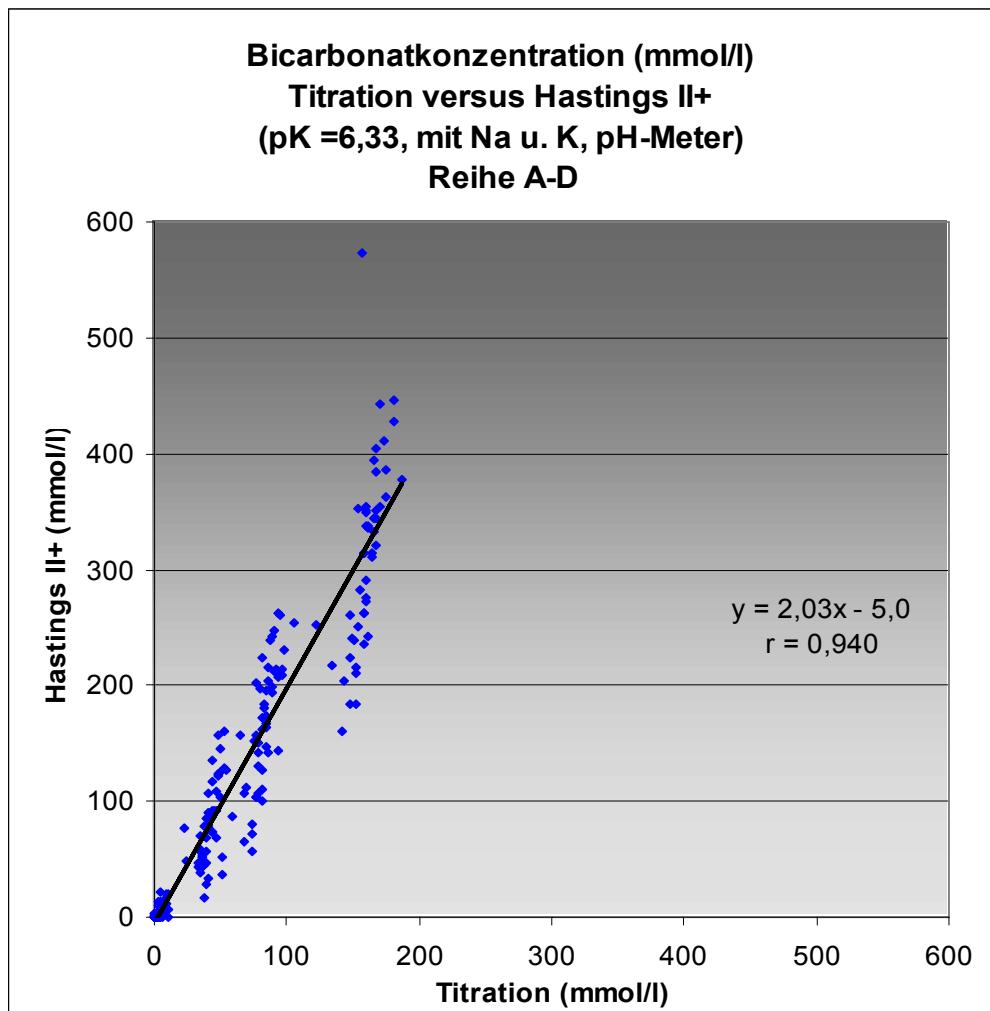
In den einzelnen Diagrammen ist zusätzlich das Ergebnis der Regressionsanalyse als Formel „ $y = b x + a$ “ angegeben, dabei gibt der b-Wert die Steigung der Regressionsgerade an (Werte nahe 1 zeigen eine nur geringe Abweichung der nach den beiden Methoden bestimmten Bicarbonat-Konzentrationen voneinander an) und der a-Wert gibt den Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der Ordinate an (Werte nahe 0 zeigen eine identische Empfindlichkeit der Messmethode an). Zusätzlich angegeben ist jeweils der Korrelationskoeffizient r.

Als nahezu ideal kann die Regressionsformel für den Vergleich der Titration mit „Hastings O+“ (*Diagramm 28*) angesehen werden, so dass man die Methode „Hastings O+“ neben der Titration als die optimale Mess- bzw. Berechnungs-Methode für Bicarbonat-Konzentrationsbestimmungen bezeichnen kann.

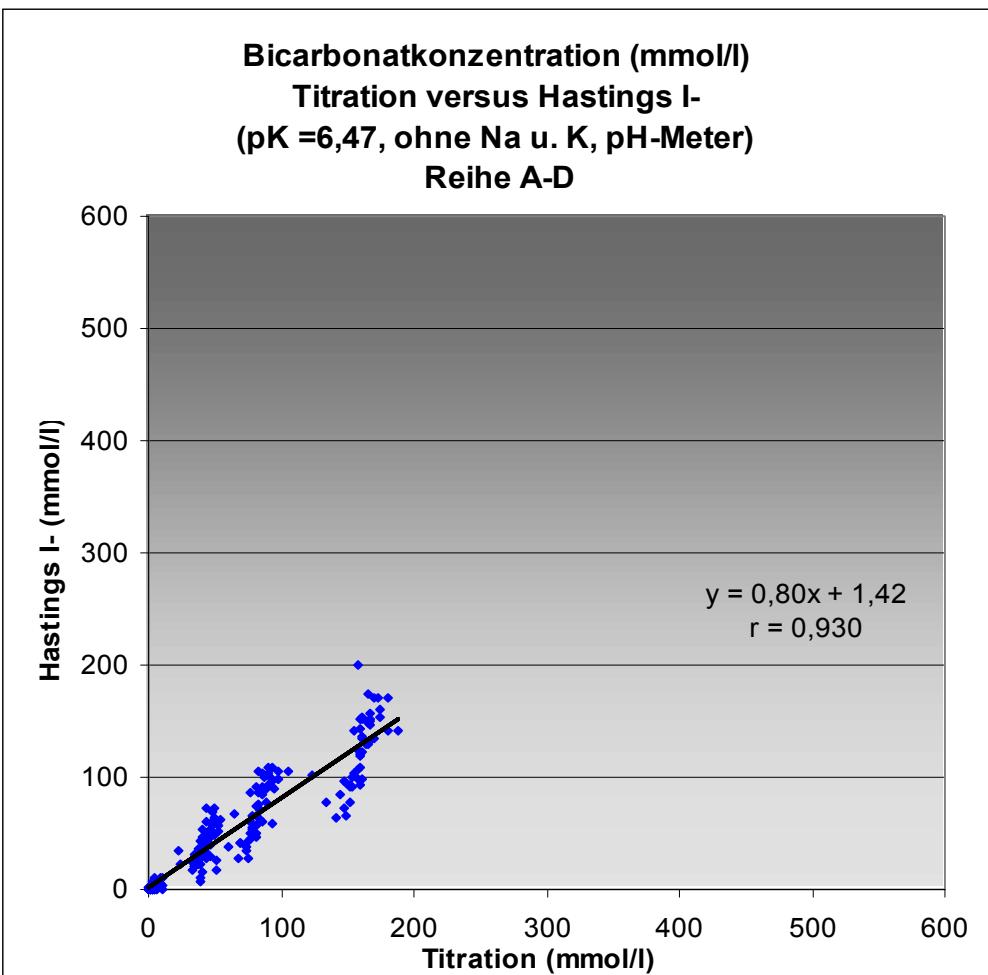
(Text weiter S. 122)



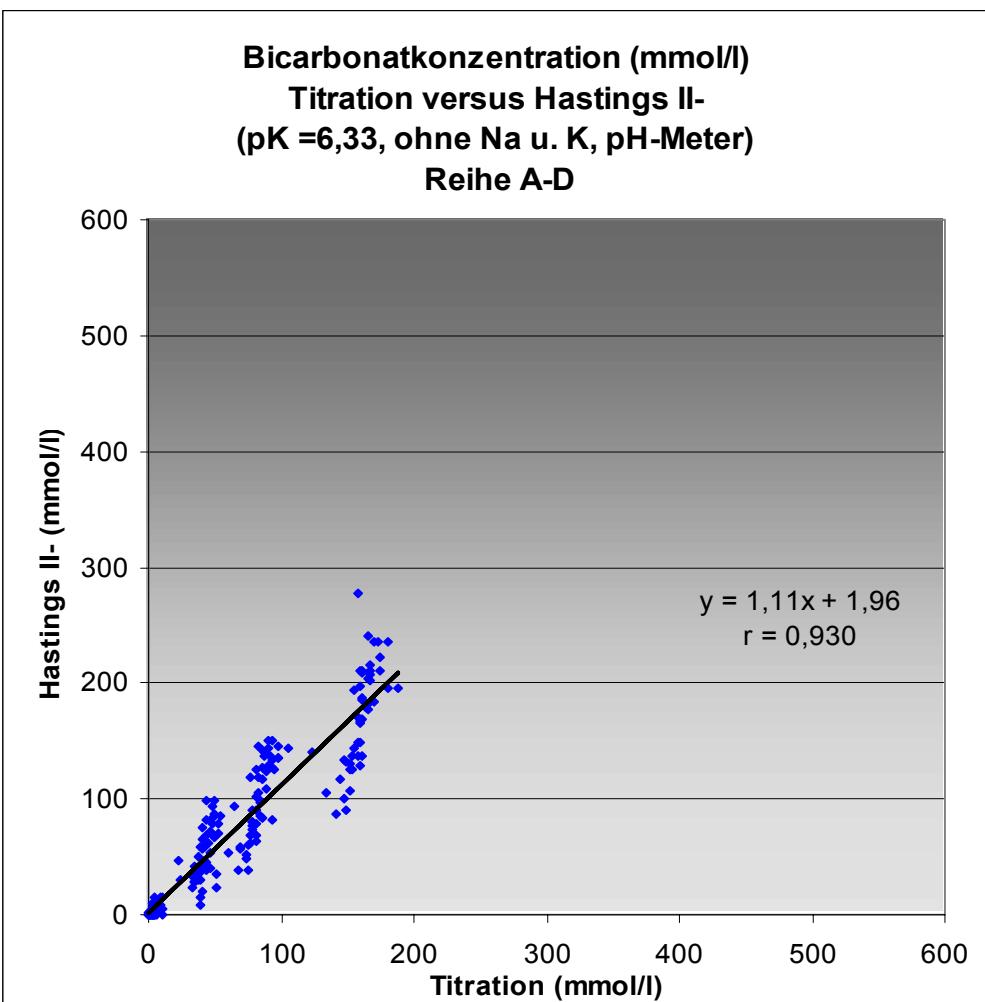
*Diagramm 24*



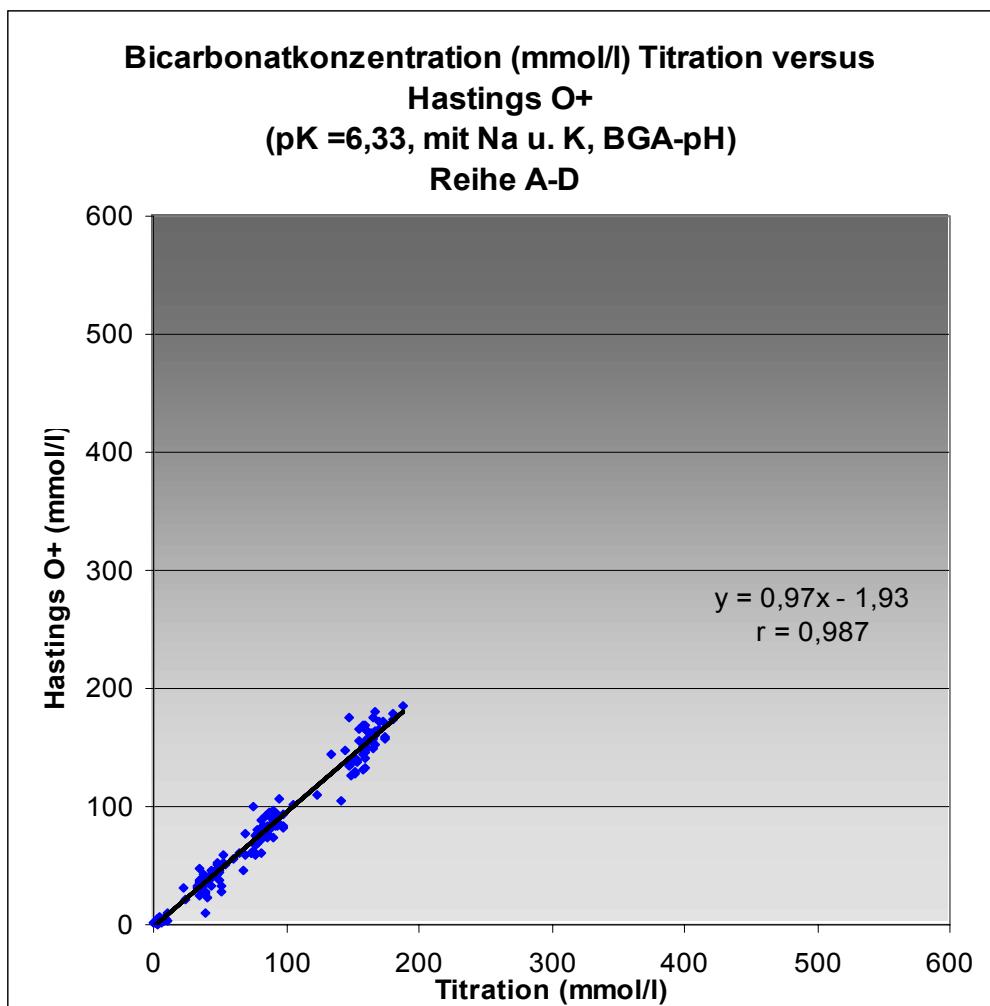
*Diagramm 25*



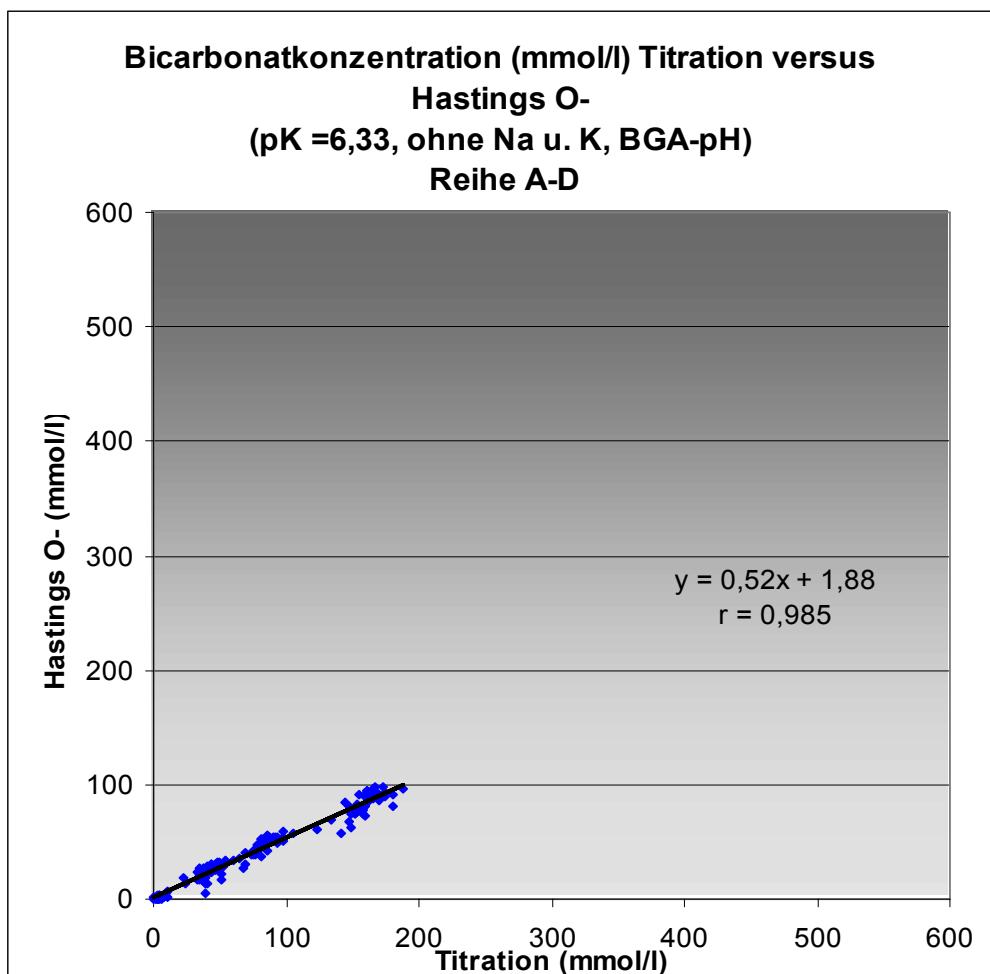
**Diagramm 26**



*Diagramm 27*



*Diagramm 28*

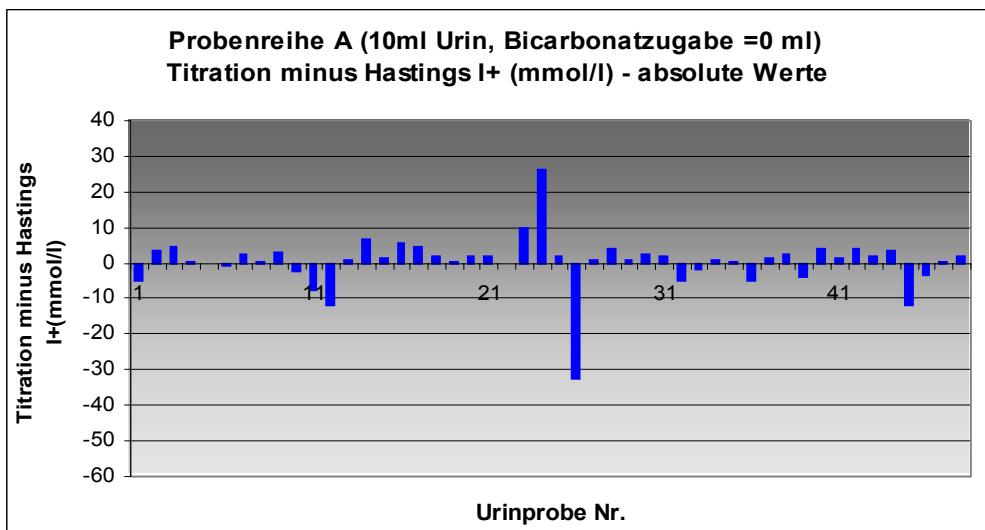


**Diagramm 29**

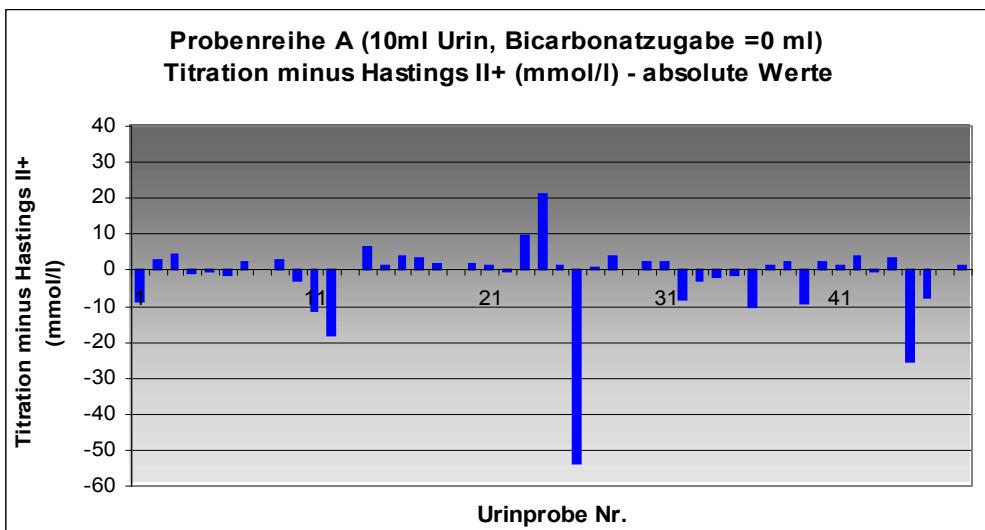
Die Ergebnisse der Bicarbonat-Messungen bzw. -Berechnungen der Versuchsreihen A bis D werden in den folgenden Diagrammen (*Diagramm 30 bis 53*) (in Anlehnung an die Berechnungen der *Tabellen 68 bis 71*) als Abweichungen (Differenz zwischen mmol/l HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ermittelt nach der Methode von Hastings und deren Varianten und mmol/l HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> gemessen mittels Titration) dargestellt.

Die Länge der Balken gibt das Ausmass der Abweichung zwischen der Titration und den Hastings-Varianten an. Bei der Interpretation dieser Diagramme muss beachtet werden, dass die Abweichung der Bicarbonat-Konzentrationen als Differenz „Titration minus Hastings“ berechnet worden ist. Demgemäss entsprechen die berechneten Abweichungen der Hastings-Methode mit negativem Vorzeichen im Vergleich zur Titration den um diesen Betrag zu hoch gemessenen Bicarbonat-Konzentrationen (vice versa bei positivem Vorzeichen).

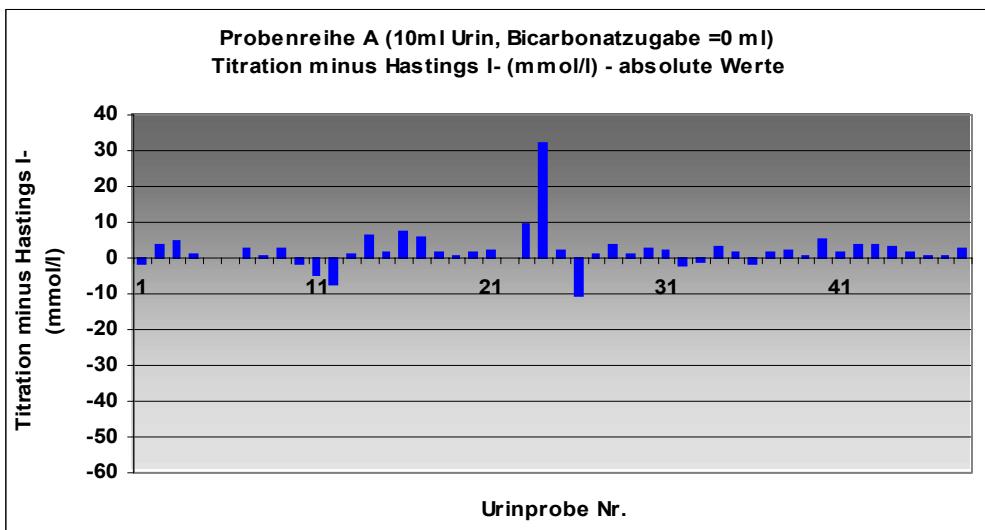
Auch bei dieser Form der Darstellung der Versuchsergebnisse wird deutlich, dass von den Hastings-Varianten „Hastings O+“ die grösste Übereinstimmung mit der Titrationsmethode zeigt (Diagramme 34, 40, 46, 52, Text weiter S. 131).



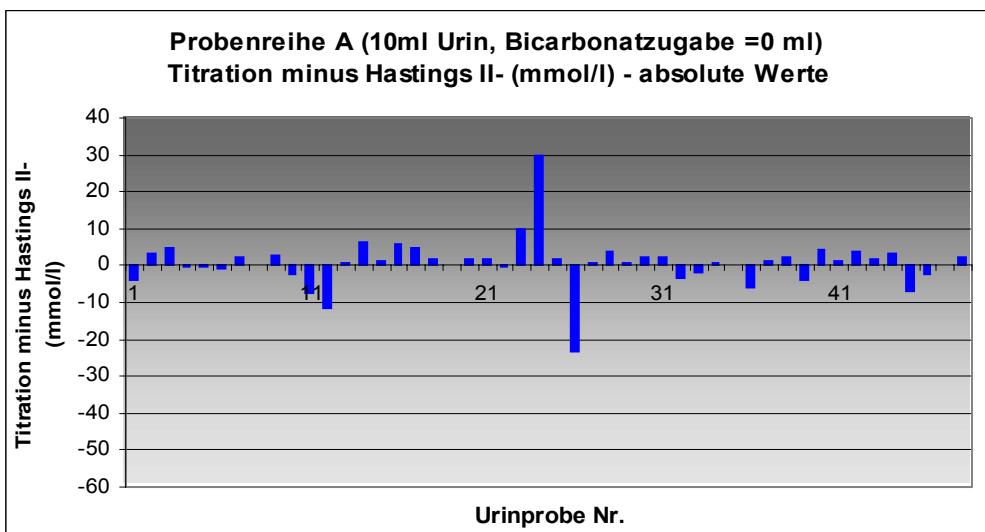
*Diagramm 30*



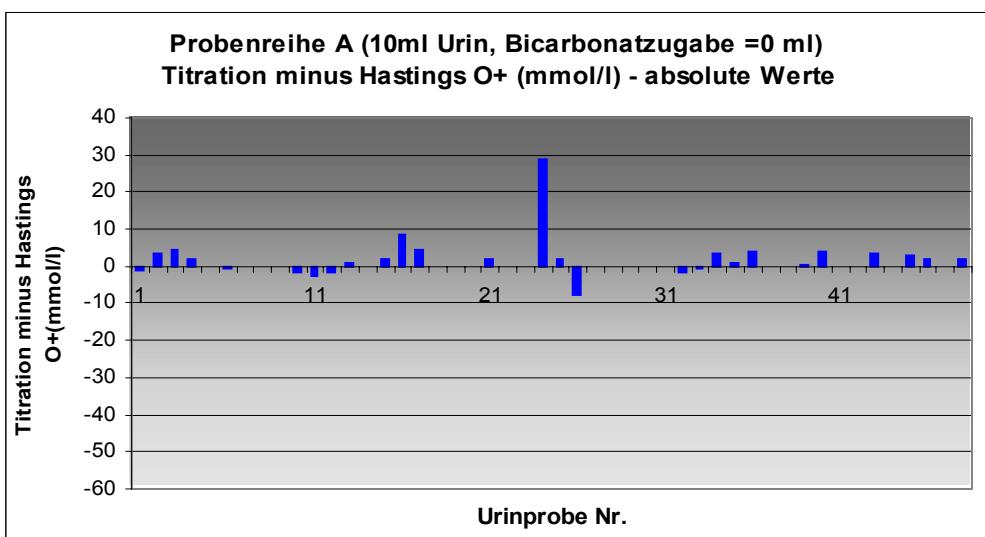
*Diagramm 31*



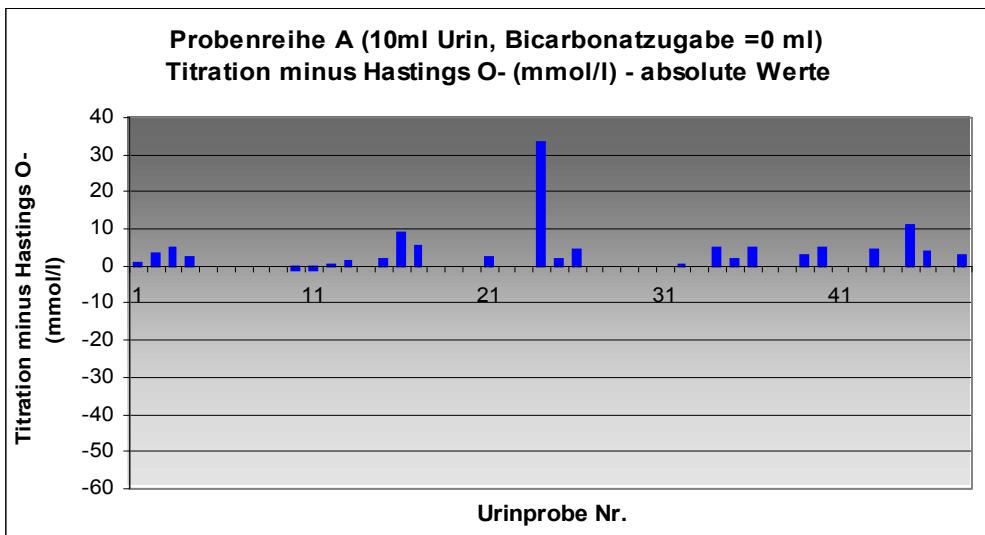
*Diagramm 32*



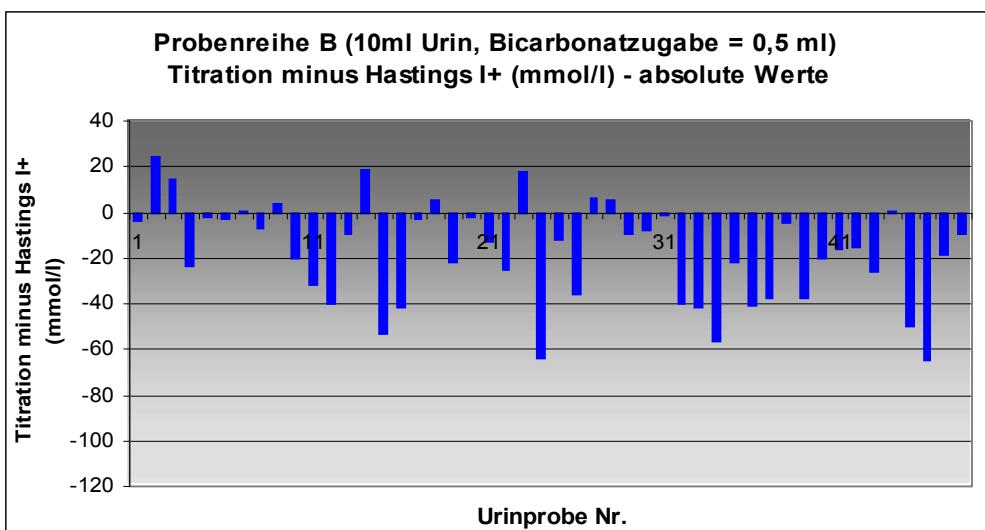
*Diagramm 33*



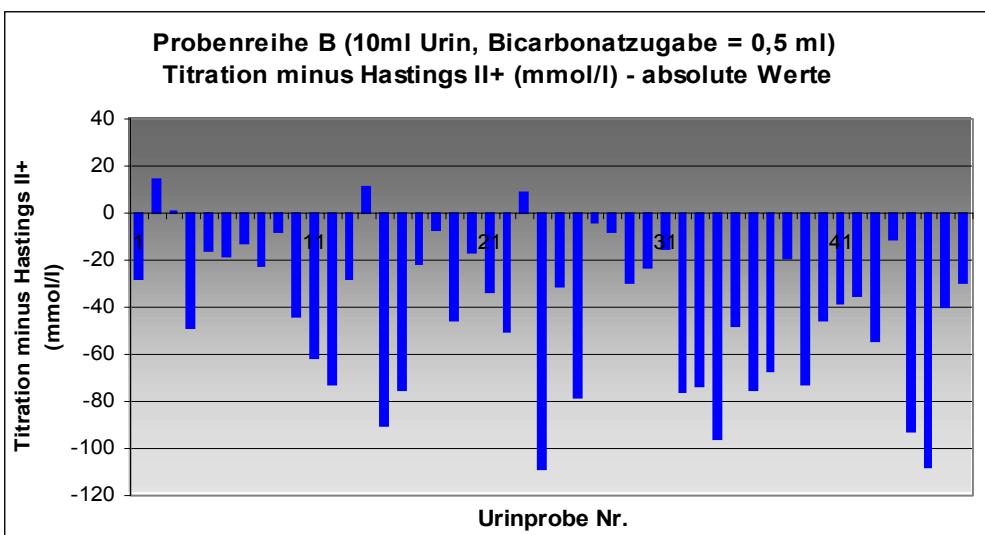
*Diagramm 34*



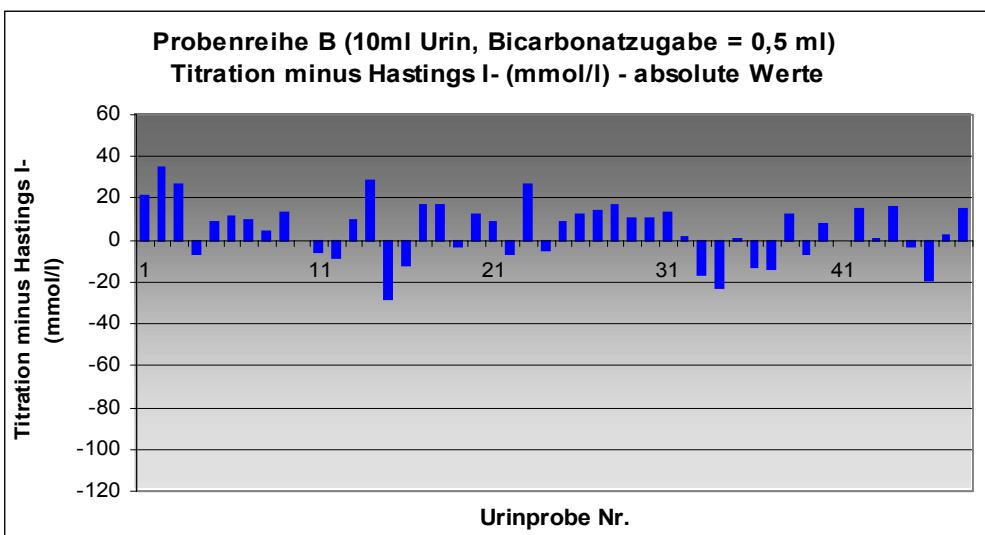
*Diagramm 35*



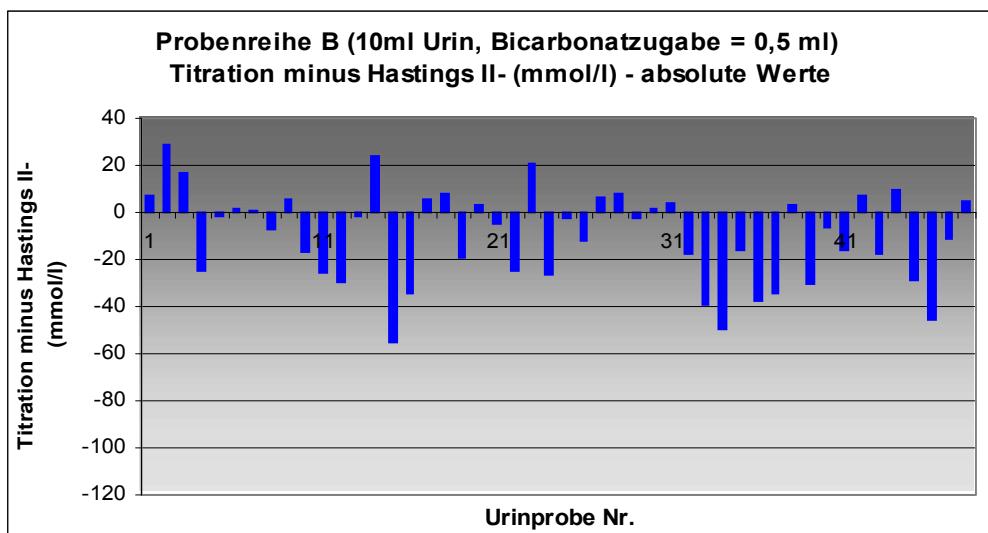
*Diagramm 36*



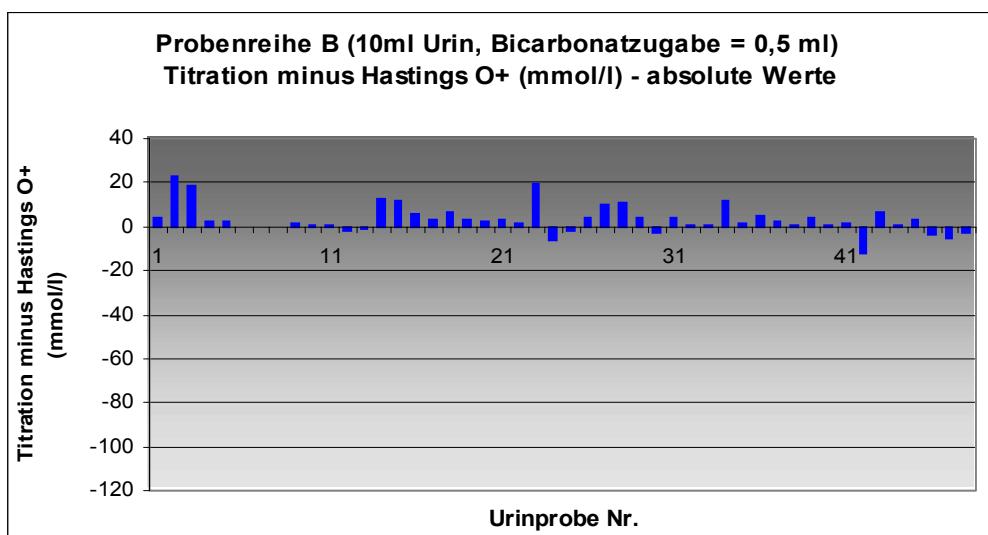
*Diagramm 37*



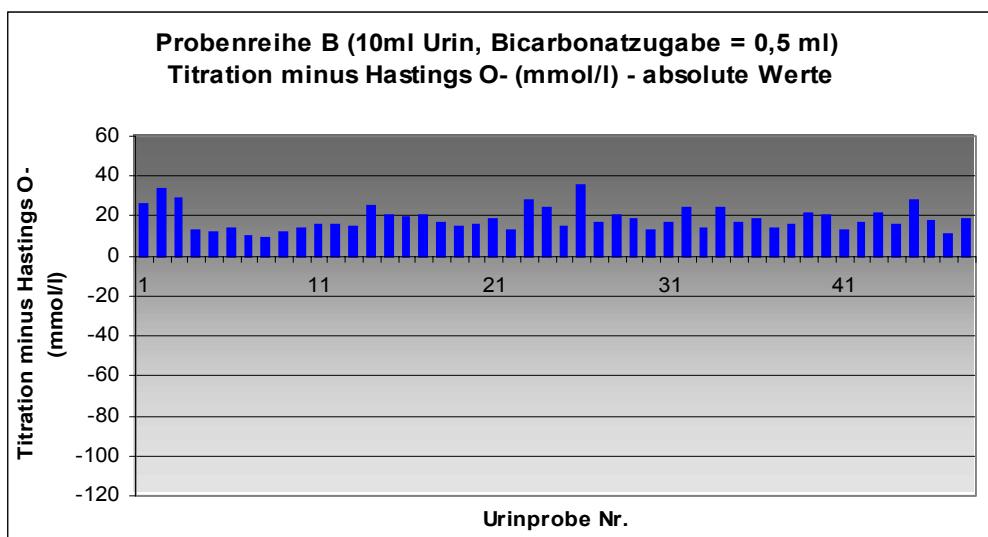
*Diagramm 38*



*Diagramm 39*



*Diagramm 40*



*Diagramm 41*

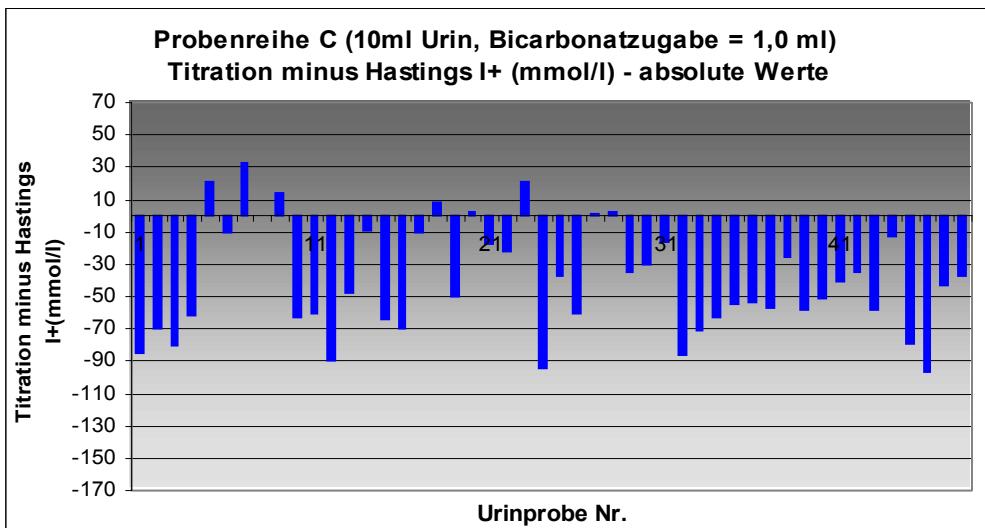
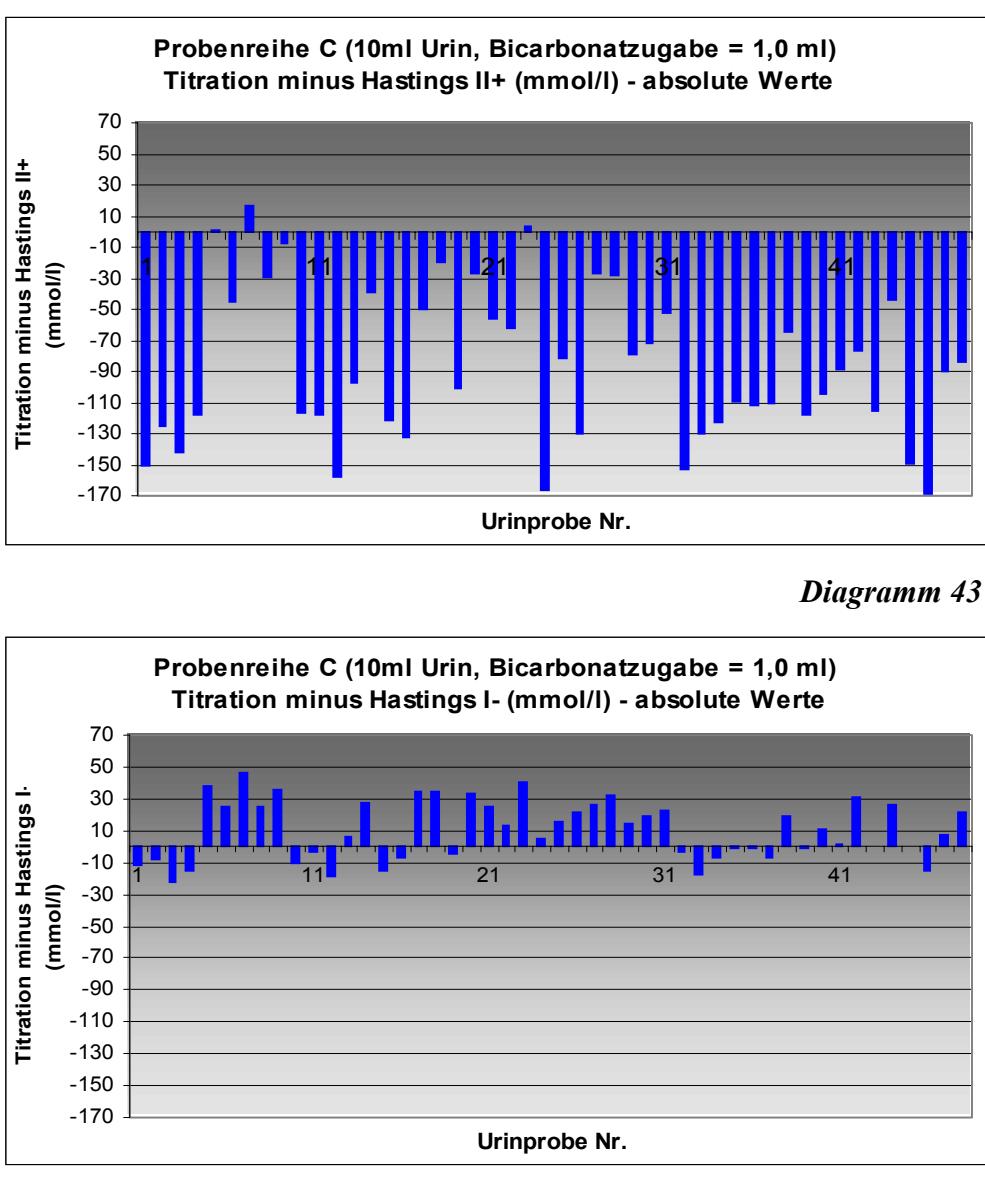
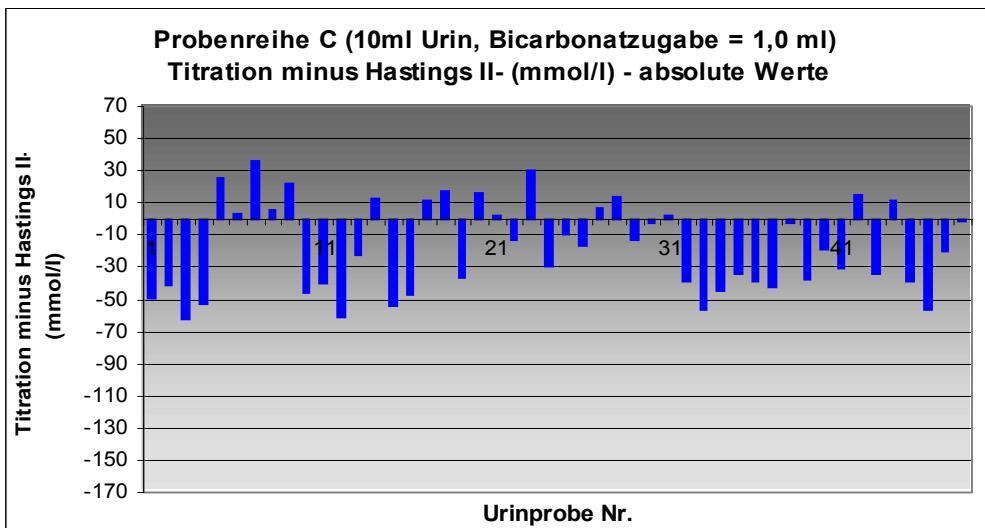
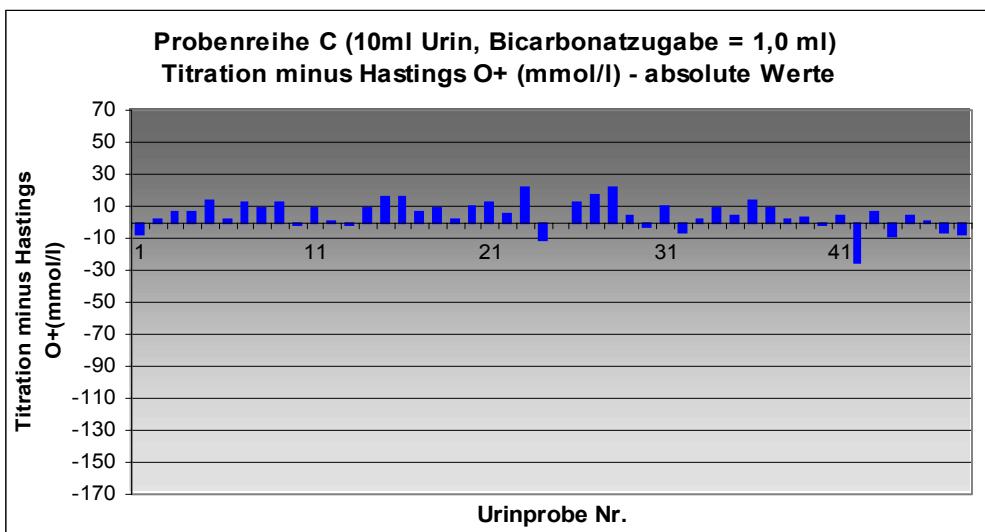


Diagramm 42

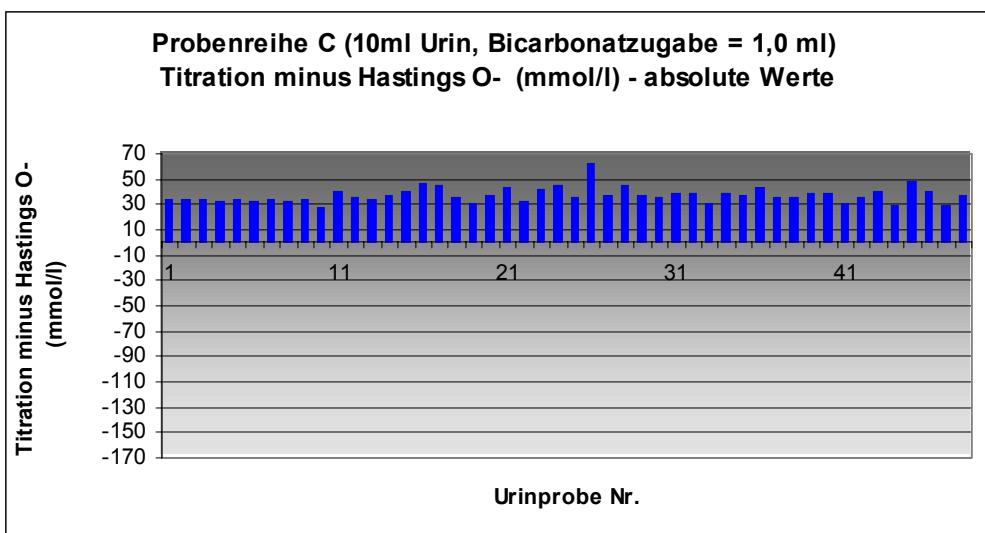




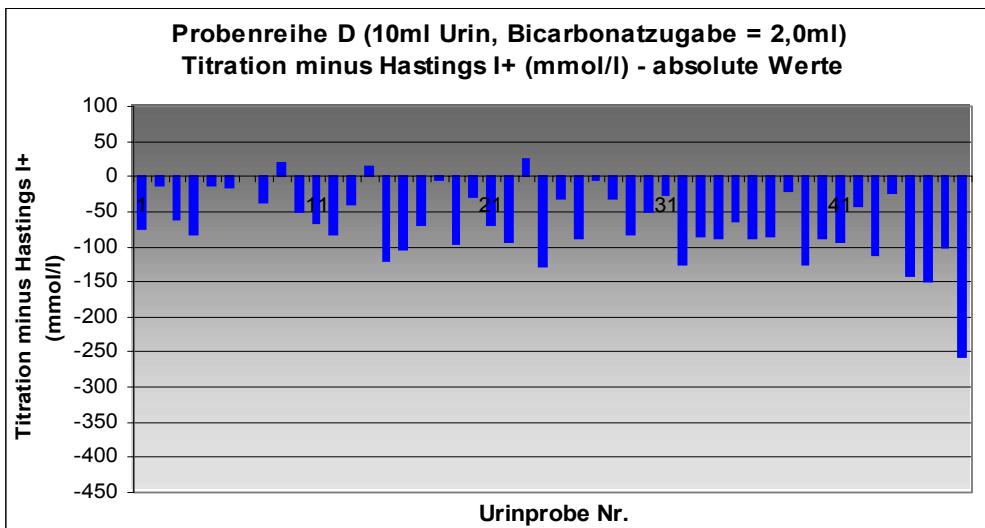
*Diagramm 45*



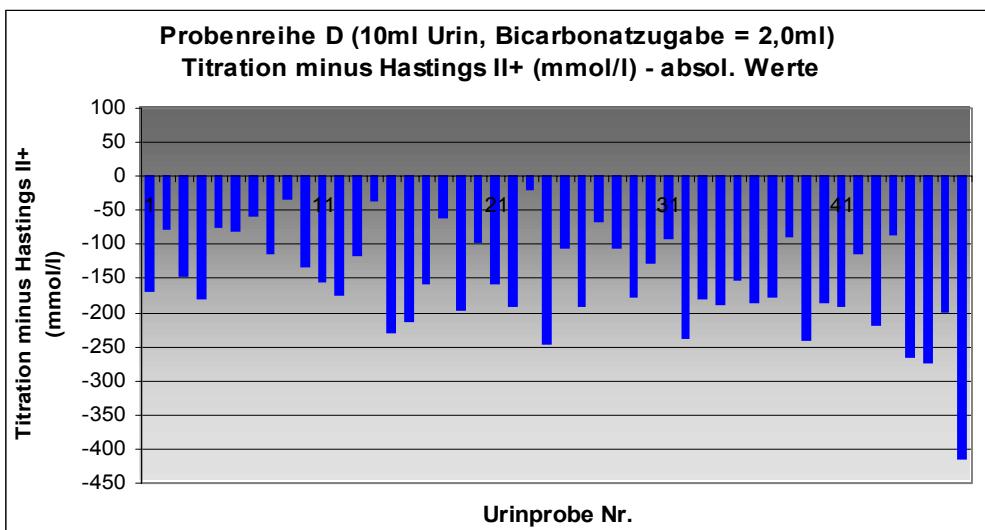
*Diagramm 46*



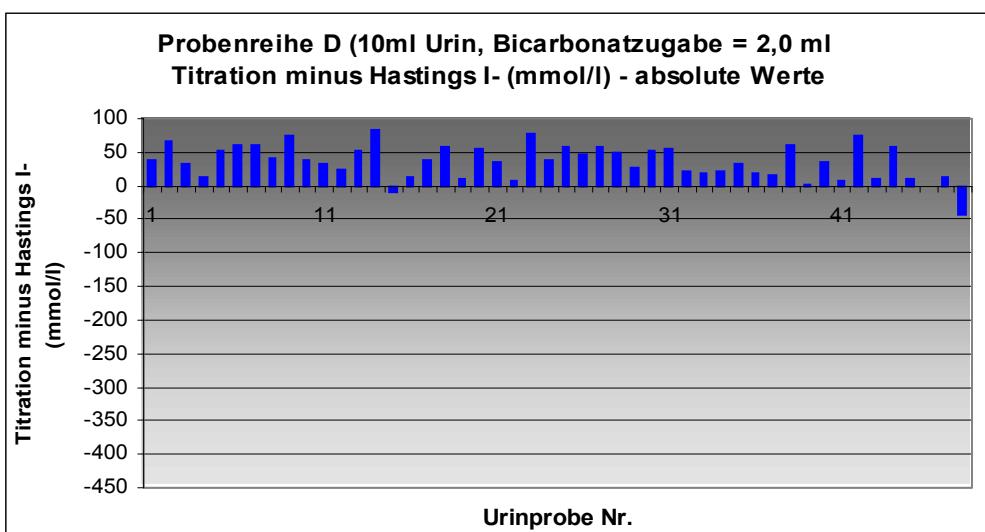
*Diagramm 47*



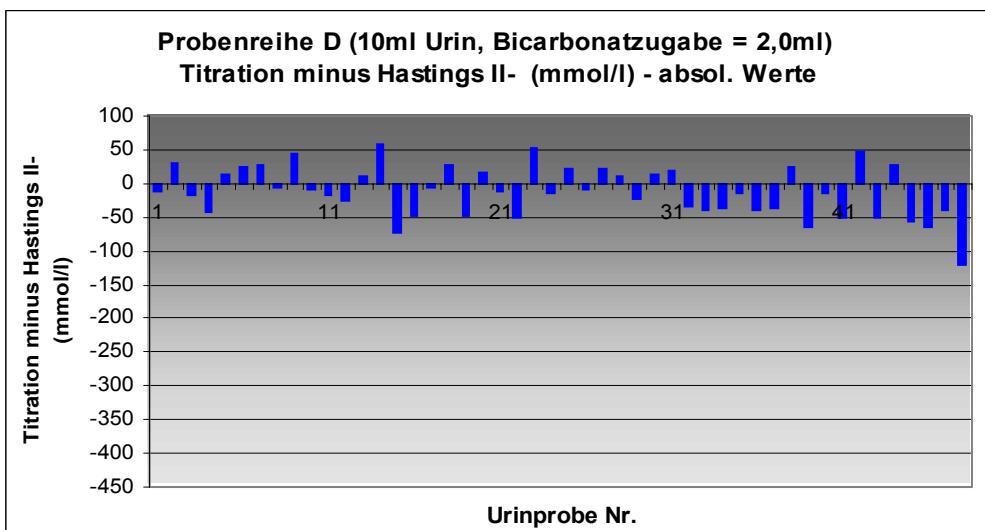
*Diagramm 48*



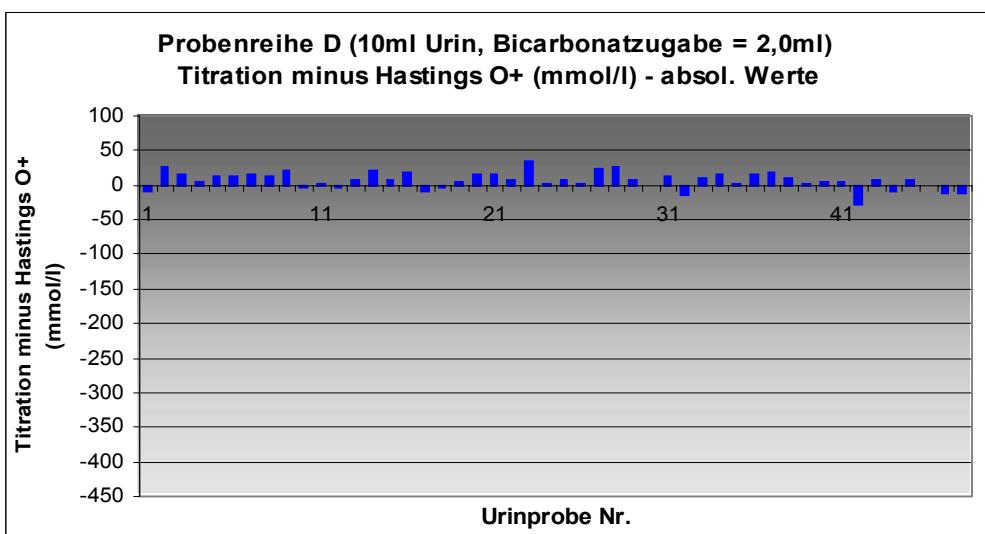
*Diagramm 49*



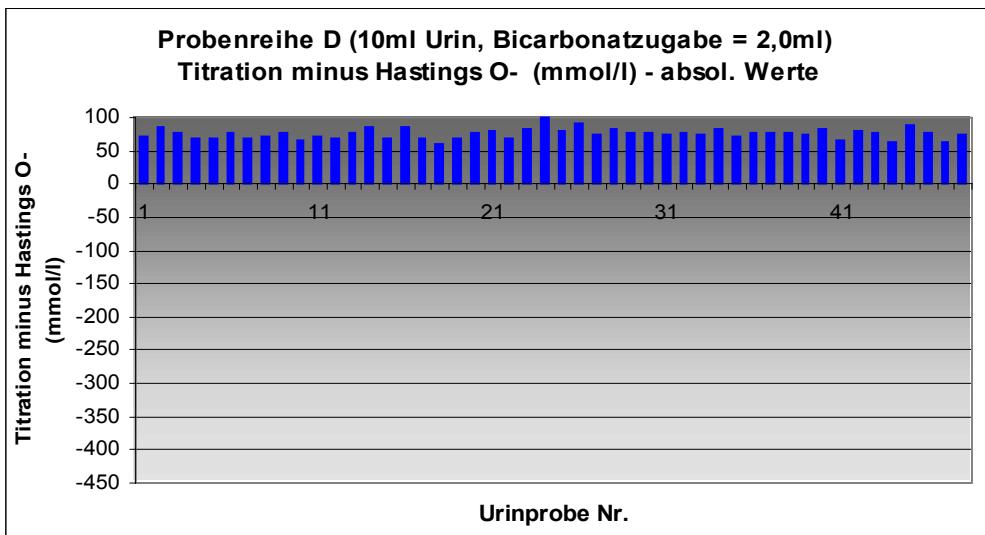
*Diagramm 50*



*Diagramm 51*



*Diagramm 52*



*Diagramm 53*

Berechnet man nicht die absolute sondern die prozentuale Abweichung der durch Hastings ermittelten von der durch Titration gemessenen Bicarbonat-Konzentration, ergeben sich die in den folgenden *Tabellen 72 bis 75* und *Diagrammen 54-59* dargestellten Ergebnisse. Auch bei dieser Form der Berechnung zeigt sich die hochgradige Übereinstimmung von „Hastings O+“ mit der Titration.

**Anmerkung:**

In *Tabelle 72* ist folgendes zu beachten: Bei der Titration konnte in den Proben 5 und 10 kein Bicarbonat gefunden werden, dementsprechend konnte die prozentuale Abweichung der nach Hastings ermittelten Werte von der Titration nicht errechnet werden (dies ist durch die Abkürzung „entfällt“ in den entsprechenden Zeilen) gekennzeichnet. Bei „Hastings O+ und O-“ wurde der pH-Wert im Blutgasanalysegerät gemessen. Lag dieser unter der Messgrenze des Gerätes (gekennzeichnet mit „<<“), konnte keine Berechnung der Bicarbonat-Konzentration nach der Hastings-Formel erfolgen. Analog zur Erklärung für die *Tabellen 45, 46, 68* sind auch in *Tabelle 72* die Berechnungen mit „<<“ angezeigt: für diese Urine konnte kein Bicarbonat-Gehalt errechnet werden.

**Reihe A:** Differenz der Bicarbonatwerte **Titration minus „Hastings I+, I-, II+, II-, O+, O-“**  
**in Prozent**

Reihe	Urin-probe Nr.	Titration $\text{HCO}_3^-$ mmol/l	Titration minus Hastings I+ in %	Titration minus Hastings II+ in %	Titration minus Hastings I- in %	Titration minus Hastings II- in %	Titration minus Hastings O+ in %	Titration minus Hastings O- in %
A	1	4,7	-102,9	-180,1	-29,0	-78,1	-22,3	22,3
A	2	4,3	79,2	71,2	86,4	81,3	77,7	85,5
A	3	5,7	80,6	73,3	85,4	79,8	82,7	87,0
A	4	3,7	9,7	-24,7	23,5	-5,6	57,8	64,2
A	5	0,0	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
A	6	0,7	-87,9	-159,4	-31,8	-82,0	-67,5	-17,5
A	7	2,5	95,3	93,6	96,3	94,9	<<	<<
A	8	0,6	72,0	61,4	76,6	67,7	<<	<<
A	9	2,9	95,3	93,5	96,5	95,2	<<	<<
A	10	0,0	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
A	11	2,5	-302,1	-455,1	-192,2	-303,3	-106,2	-49,8
A	12	3,9	-310,0	-466,0	-182,6	-290,0	-38,9	4,3
A	13	2,1	32,0	6,2	55,9	39,1	39,4	60,7
A	14	6,6	97,7	96,8	98,7	98,2	<<	<<
A	15	2,6	56,9	40,5	63,8	50,1	66,6	71,9
A	16	11,0	52,1	33,8	65,3	52,1	76,5	83,0
A	17	7,6	58,7	42,9	74,2	64,4	60,5	75,4
A	18	2,0	88,9	84,7	92,0	89,0	<<	<<
A	19	0,5	92,0	88,9	93,9	91,5	<<	<<
A	20	1,8	93,8	91,5	95,9	94,4	<<	<<
A	21	3,3	53,6	36,0	69,7	58,2	61,4	74,8
A	22	0,2	-12,7	-55,5	9,0	-25,5	<<	<<
A	23	9,8	99,0	98,6	99,3	99,1	<<	<<
A	24	38,4	67,9	55,6	83,8	77,7	75,1	87,5
A	25	2,6	69,5	57,8	81,4	74,4	73,4	83,8
A	26	23,1	-141,3	-233,1	-45,7	-101,1	-32,6	20,0
A	27	0,9	87,6	82,9	90,1	86,3	<<	<<
A	28	4,0	95,7	94,0	96,9	95,8	<<	<<
A	29	2,1	37,0	13,1	58,1	42,2	<<	<<
A	30	2,6	89,1	84,9	93,6	91,2	<<	<<
A	31	2,2	97,5	96,5	98,3	97,7	<<	<<
A	32	2,6	-200,6	-314,9	-72,0	-137,4	-61,4	7,6
A	33	1,0	-174,8	-279,3	-114,3	-195,8	-47,6	-15,1
A	34	9,1	11,8	-21,8	34,4	9,4	40,4	55,6
A	35	4,6	3,0	-33,8	30,9	4,6	23,0	45,1
A	36	9,4	-50,9	-108,3	-16,2	-60,5	41,3	54,8
A	37	2,0	68,6	56,7	76,2	67,1	<<	<<
A	38	2,3	96,5	95,2	97,8	97,0	<<	<<
A	39	10,7	-34,3	-85,3	2,9	-34,0	2,7	29,7
A	40	7,4	51,4	32,9	70,3	59,1	51,4	70,3
A	41	1,7	75,8	66,6	80,6	73,2	<<	<<
A	42	3,9	98,7	98,2	99,5	99,3	<<	<<
A	43	7,8	22,3	-7,2	46,0	25,5	42,4	60,0
A	44	3,4	96,6	95,3	98,1	97,4	<<	<<
A	45	23,7	-50,5	-107,8	5,9	-29,9	13,4	45,9
A	46	7,2	-48,8	-105,4	5,6	-30,4	25,4	52,7
A	47	0,5	90,4	86,8	93,6	91,1	<<	<<
A	48	3,5	49,8	30,7	72,6	62,2	58,2	77,2

**Tabelle 72**

**Reihe B:** Differenz der Bicarbonatwerte **Titration minus „Hastings I+, I-, II+, II-, O+, O-“**

in Prozent

Reihe	Urin-probe Nr.	Titration $\text{HCO}_3^-$ mmol/l	Titration minus Hastings I+ in %	Titration minus Hastings II+ in %	Titration minus Hastings I- in %	Titration minus Hastings II- in %	Titration minus Hastings O+ in %	Titration minus Hastings O- in %
B	2	51,2	47,6	27,7	67,9	55,6	45,2	66,3
B	3	51,8	28,6	1,5	50,9	32,2	36,4	56,2
B	4	43,1	-54,6	-113,3	-14,6	-58,2	4,7	29,3
B	5	36,0	-5,1	-45,1	24,9	-3,7	6,3	33,0
B	6	38,8	-6,7	-47,3	30,4	3,9	0,4	35,1
B	7	33,5	0,4	-37,5	28,6	1,4	0,4	28,6
B	8	35,1	-19,2	-64,6	12,1	-21,3	-1,5	25,2
B	9	34,2	9,8	-24,4	38,8	15,6	3,4	34,5
B	10	41,5	-48,7	-105,2	-1,3	-39,8	1,8	33,1
B	11	47,0	-67,1	-130,7	-12,0	-54,6	1,6	34,1
B	12	48,6	-81,5	-150,5	-16,7	-61,1	-4,4	32,9
B	13	39,8	-24,1	-71,3	24,1	-4,7	-3,2	36,9
B	14	39,4	47,9	28,1	71,7	61,0	32,9	63,6
B	15	44,2	-120,6	-204,5	-62,9	-124,8	26,9	46,1
B	16	48,5	-85,3	-155,8	-23,8	-70,9	11,3	40,7
B	17	46,1	-6,7	-47,2	36,9	12,9	7,1	45,0
B	18	38,3	14,3	-18,3	42,9	21,2	16,3	44,2
B	19	39,8	-55,0	-113,9	-7,8	-48,8	8,8	36,5
B	20	36,3	-6,4	-46,9	34,1	9,0	7,3	42,6
B	21	42,0	-30,6	-80,2	19,7	-10,9	7,6	43,1
B	22	40,3	-62,4	-124,1	-17,1	-61,6	4,4	31,1
B	23	41,3	42,6	20,7	64,2	50,5	46,4	66,6
B	24	52,4	-122,6	-207,2	-8,7	-50,1	-11,5	45,5
B	25	38,3	-31,8	-81,9	23,7	-5,3	-4,7	39,4
B	26	77,5	-46,1	-101,6	16,0	-16,0	5,7	45,7
B	27	34,3	18,7	-12,2	41,7	19,5	29,2	49,2
B	28	38,6	12,8	-20,3	42,8	21,0	29,1	53,5
B	29	43,1	-22,6	-69,2	23,4	-5,7	9,1	43,2
B	30	34,1	-22,3	-68,9	31,7	5,7	-9,0	39,1
B	31	36,3	-3,4	-42,7	35,9	11,5	12,0	45,4
B	32	52,4	-77,1	-144,4	2,8	-34,1	0,4	45,4
B	33	43,3	-95,7	-170,1	-38,0	-90,5	1,9	30,8
B	34	49,3	-113,9	-195,3	-45,9	-101,3	24,1	48,2
B	35	44,8	-49,5	-106,4	1,3	-36,2	3,5	36,3
B	36	50,1	-80,9	-149,7	-26,5	-74,6	9,3	36,6
B	37	40,6	-92,2	-165,3	-33,1	-83,8	5,9	34,8
B	38	35,9	-11,9	-54,5	34,1	9,1	2,5	42,6
B	39	54,8	-68,6	-132,8	-12,6	-55,4	7,3	38,1
B	40	47,1	-42,6	-96,8	17,2	-14,3	1,4	42,7
B	41	41,0	-39,7	-92,8	-0,4	-38,5	3,4	30,6
B	42	35,3	-44,2	-99,1	42,2	20,3	-34,6	46,1
B	43	49,8	-51,9	-109,7	1,7	-35,7	12,6	43,4
B	44	32,6	2,3	-34,8	48,3	28,6	2,3	48,3
B	45	64,4	-77,0	-144,3	-4,9	-44,8	4,9	43,7
B	46	48,6	-133,6	-222,5	-40,3	-93,7	-6,8	35,9
B	47	38,2	-49,0	-105,7	6,4	-29,2	-13,0	29,0
B	48	43,2	-22,7	-69,4	35,4	10,9	-6,9	43,8

**Tabelle 73**

**Reihe C:** Differenz der Bicarbonatwerte **Titration minus „Hastings I+, I-, II+, II-, O+, O-“**  
**in Prozent**

Reihe	Urin-probe Nr.	Titration $\text{HCO}_3^-$ mmol/l	Titration minus Hastings I+ in %	Titration minus Hastings II+ in %	Titration minus Hastings I- in %	Titration minus Hastings II- in %	Titration minus Hastings O+ in %	Titration minus Hastings O- in %
C	1	87,8	-96,7	-171,5	-13,0	-56,0	-8,1	37,9
C	2	77,0	-89,9	-162,2	-11,1	-53,3	2,6	43,0
C	3	82,0	-98,3	-173,8	-27,8	-76,4	7,2	40,2
C	4	86,6	-71,2	-136,3	-16,9	-61,3	8,1	37,2
C	5	73,4	28,5	1,3	52,5	34,5	17,9	45,5
C	6	81,0	-13,1	-56,2	30,3	3,8	1,5	39,3
C	7	74,6	44,1	22,8	62,8	48,7	17,3	45,0
C	8	78,5	0,8	-37,0	32,6	6,9	11,6	39,9
C	9	73,2	20,0	-10,5	49,1	29,7	16,2	46,7
C	10	80,5	-77,8	-145,4	-13,5	-56,7	-2,3	34,7
C	11	93,5	-64,1	-126,5	-3,4	-42,7	9,8	43,2
C	12	90,4	-98,9	-174,5	-21,0	-67,0	0,3	39,3
C	13	82,2	-58,4	-118,7	7,6	-27,5	-2,3	40,4
C	14	68,5	-13,7	-57,0	40,4	17,7	13,7	54,8
C	15	89,7	-70,8	-135,8	-16,2	-60,4	18,2	44,4
C	16	98,0	-70,8	-135,7	-7,3	-48,2	16,4	47,4
C	17	92,9	-11,8	-54,3	36,7	12,6	7,0	47,4
C	18	80,9	9,5	-24,9	43,2	21,6	11,6	44,5
C	19	82,2	-61,3	-122,7	-4,8	-44,6	2,8	36,9
C	20	77,2	2,4	-34,7	42,5	20,6	13,0	48,7
C	21	85,9	-20,1	-65,8	29,6	2,9	15,0	50,2
C	22	84,5	-25,7	-73,6	16,0	-16,0	6,8	37,7
C	23	68,3	31,1	4,9	59,1	43,6	32,7	60,1
C	24	95,0	-99,4	-175,2	5,0	-31,1	-12,1	46,6
C	25	81,1	-45,3	-100,6	19,3	-11,4	-0,5	44,2
C	26	122,8	-49,3	-106,1	17,5	-13,9	10,0	50,3
C	27	76,4	1,6	-35,8	34,5	9,6	21,9	48,0
C	28	81,8	2,6	-34,5	39,7	16,7	26,1	54,2
C	29	84,4	-40,7	-94,2	16,5	-15,3	4,9	43,5
C	30	78,2	-39,0	-91,9	25,2	-3,2	-3,0	44,6
C	31	78,9	-20,2	-65,9	29,0	2,0	12,9	48,6
C	32	89,6	-96,3	-171,0	-4,0	-43,5	-7,9	42,9
C	33	85,5	-83,1	-152,8	-20,2	-66,0	1,7	35,4
C	34	92,1	-68,7	-132,9	-7,8	-48,8	9,4	42,1
C	35	89,4	-61,6	-123,0	-0,5	-38,8	4,9	40,8
C	36	97,1	-55,6	-114,8	-1,5	-40,1	14,5	44,2
C	37	85,1	-67,1	-130,6	-8,2	-49,3	10,3	41,9
C	38	77,7	-32,4	-82,8	25,4	-3,0	1,8	44,7
C	39	97,2	-60,0	-120,8	-0,5	-38,7	3,6	39,5
C	40	89,0	-57,9	-118,0	12,0	-21,4	-2,0	43,2
C	41	85,1	-48,4	-104,9	1,1	-36,6	4,2	36,1
C	42	75,0	-46,5	-102,2	42,0	20,0	-33,6	47,1
C	43	92,9	-62,1	-123,7	0,8	-36,9	6,7	42,9
C	44	68,6	-18,8	-64,0	39,1	15,9	-13,4	41,8
C	45	105,0	-75,6	-142,4	0,4	-37,5	3,5	45,3
C	46	93,4	-102,9	-180,1	-16,4	-60,7	0,6	43,0
C	47	81,8	-51,9	-109,7	9,4	-25,1	-7,5	35,8
C	48	83,8	-44,5	-99,5	26,3	-1,7	-9,6	44,1

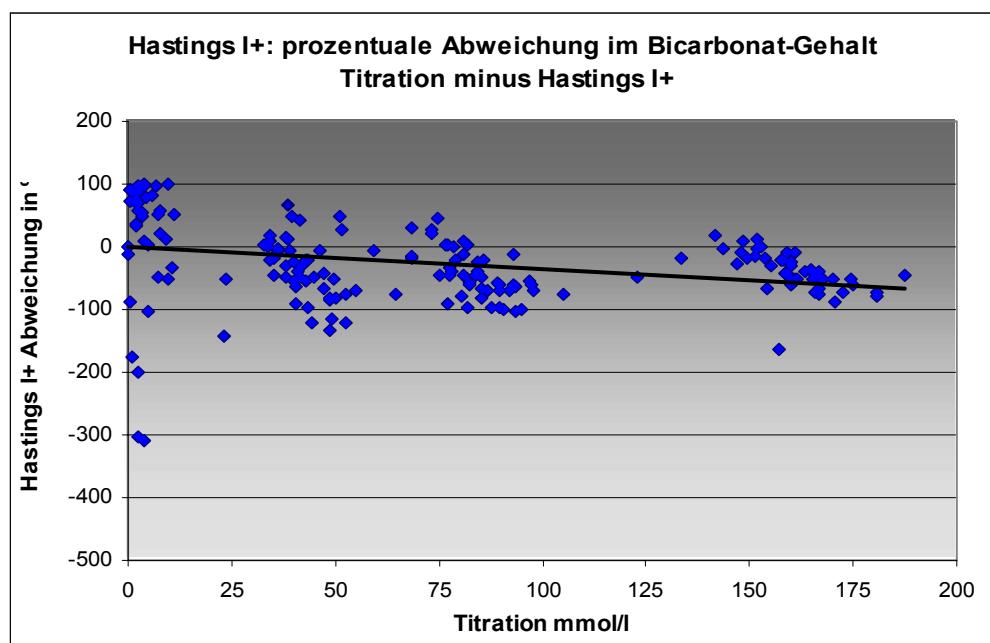
**Tabelle 74**

**Reihe D:** Differenz der Bicarbonatwerte **Titration minus „Hastings I+, I-, II+, II-, O+, O-“**

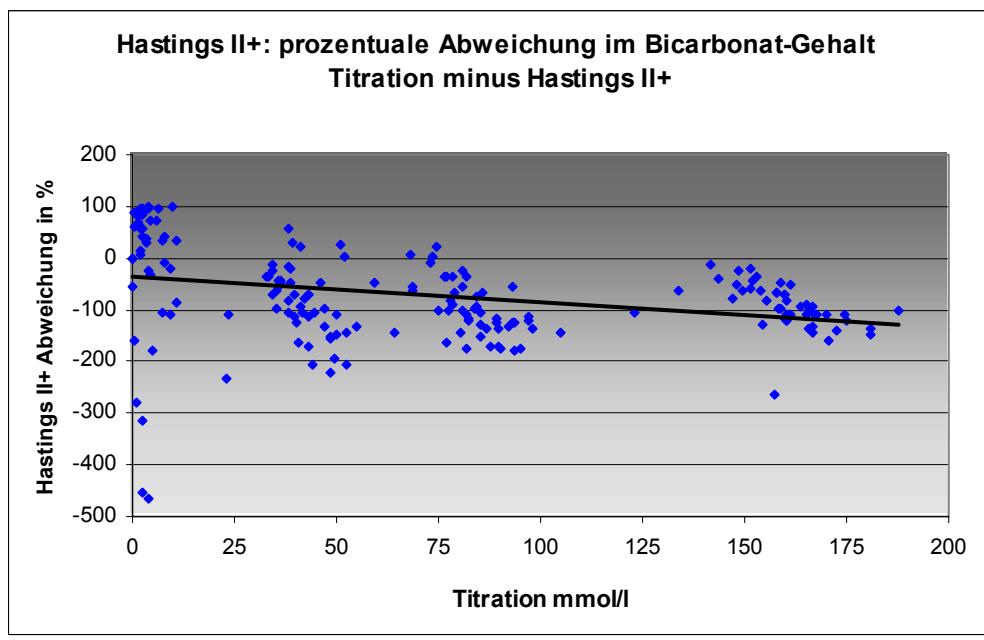
in Prozent

Reihe	Urin-probe Nr.	Titration $\text{HCO}_3^-$ mmol/l	Titration minus Hastings I+ in %	Titration minus Hastings II+ in %	Titration minus Hastings I- in %	Titration minus Hastings II- in %	Titration minus Hastings O+ in %	Titration minus Hastings O- in %
D	1	165,8	-45,4	-100,7	22,3	-7,3	-5,3	43,7
D	2	159,0	-7,6	-48,6	41,7	19,5	16,5	54,7
D	3	165,0	-36,6	-88,5	20,1	-10,2	9,8	47,2
D	4	166,6	-49,8	-106,7	8,6	-26,1	3,3	41,0
D	5	147,9	-9,4	-51,0	34,6	9,8	9,0	45,6
D	6	161,1	-8,8	-50,2	38,5	15,1	7,4	47,7
D	7	153,0	0,6	-37,1	40,5	17,9	9,4	45,7
D	8	159,8	-23,3	-70,2	25,0	-3,5	8,6	44,4
D	9	151,7	12,4	-20,9	49,2	29,9	14,4	50,4
D	10	160,2	-31,8	-81,9	23,5	-5,6	-2,3	40,6
D	11	166,8	-39,2	-92,2	20,0	-10,5	1,4	43,3
D	12	161,4	-50,6	-107,9	15,7	-16,3	-1,8	43,0
D	13	160,0	-24,8	-72,3	32,5	6,8	5,3	48,8
D	14	148,3	10,4	-23,7	55,6	38,7	14,4	57,6
D	15	165,6	-72,5	-138,0	-4,9	-44,9	5,2	42,3
D	16	174,9	-60,1	-121,0	8,1	-26,8	10,0	48,3
D	17	159,0	-43,4	-98,0	24,2	-4,6	-6,3	43,8
D	18	143,7	-2,6	-41,6	41,2	18,9	-2,6	41,2
D	19	160,2	-60,6	-121,6	5,5	-30,4	3,3	43,1
D	20	153,8	-18,4	-63,4	35,4	10,8	10,2	51,0
D	21	158,4	-43,8	-98,6	21,9	-7,8	9,2	50,7
D	22	159,8	-58,3	-118,5	4,9	-31,3	4,6	42,7
D	23	141,6	18,2	-12,9	55,1	38,1	25,4	59,1
D	24	180,8	-71,2	-136,4	21,8	-7,9	1,5	55,0
D	25	158,0	-20,5	-66,3	37,3	13,5	4,3	50,2
D	26	187,5	-46,2	-101,8	24,3	-4,4	1,2	48,8
D	27	151,8	-3,3	-42,5	38,1	14,6	16,1	49,7
D	28	157,8	-20,2	-65,9	31,8	5,9	16,9	52,8
D	29	160,9	-51,7	-109,4	16,8	-14,9	4,3	47,5
D	30	155,4	-31,7	-81,9	33,3	7,9	0,1	49,4
D	31	149,5	-16,7	-61,1	36,2	12,0	9,4	50,5
D	32	166,9	-75,7	-142,5	12,2	-21,2	-8,3	45,9
D	33	165,4	-50,9	-108,3	10,5	-23,5	7,0	44,8
D	34	174,5	-50,8	-108,2	12,4	-21,0	9,1	47,2
D	35	163,6	-39,4	-92,5	20,6	-9,6	1,3	43,8
D	36	167,5	-51,8	-109,6	10,4	-23,7	8,5	46,0
D	37	160,1	-52,6	-110,7	10,4	-23,6	12,2	48,5
D	38	151,4	-14,2	-57,7	39,9	17,0	7,1	51,1
D	39	172,7	-72,8	-138,5	0,9	-36,8	0,6	43,0
D	40	170,1	-50,9	-108,3	21,4	-8,6	2,6	49,2
D	41	160,4	-58,7	-119,1	4,8	-31,4	2,1	41,3
D	42	147,1	-28,0	-76,7	50,4	31,5	-19,5	53,7
D	43	166,6	-67,1	-130,7	6,0	-29,7	3,8	45,9
D	44	133,7	-18,0	-62,9	42,6	20,8	-7,7	47,7
D	45	180,7	-78,9	-146,9	5,4	-30,6	3,9	49,2
D	46	170,6	-88,0	-159,5	-0,4	-38,6	-1,0	46,1
D	47	154,2	-65,8	-128,9	8,6	-26,1	-7,0	41,0
D	48	157,3	-163,7	-264,0	-27,6	-76,1	-7,4	48,0

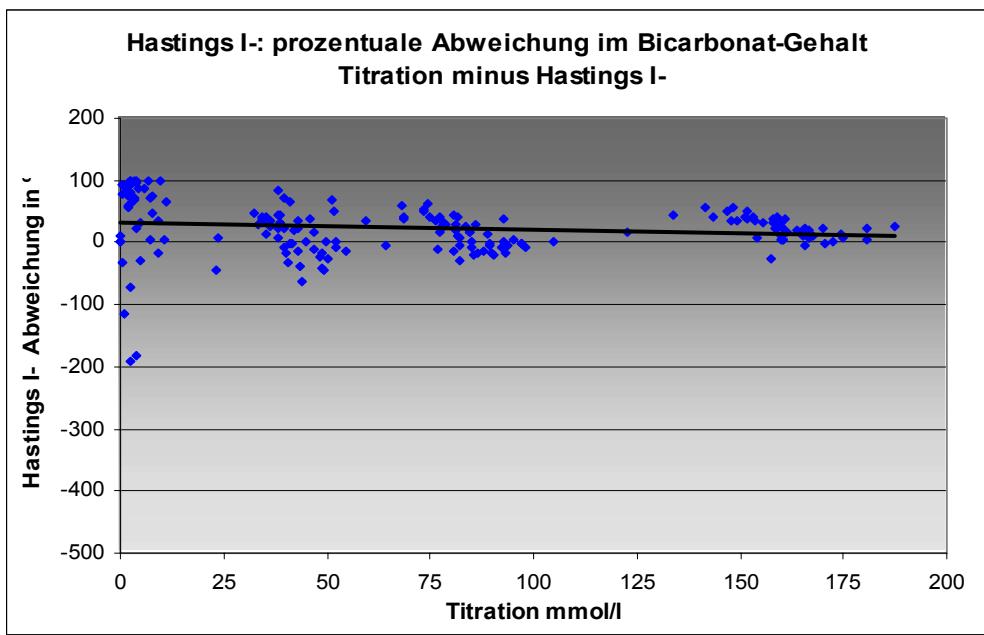
**Tabelle 75**



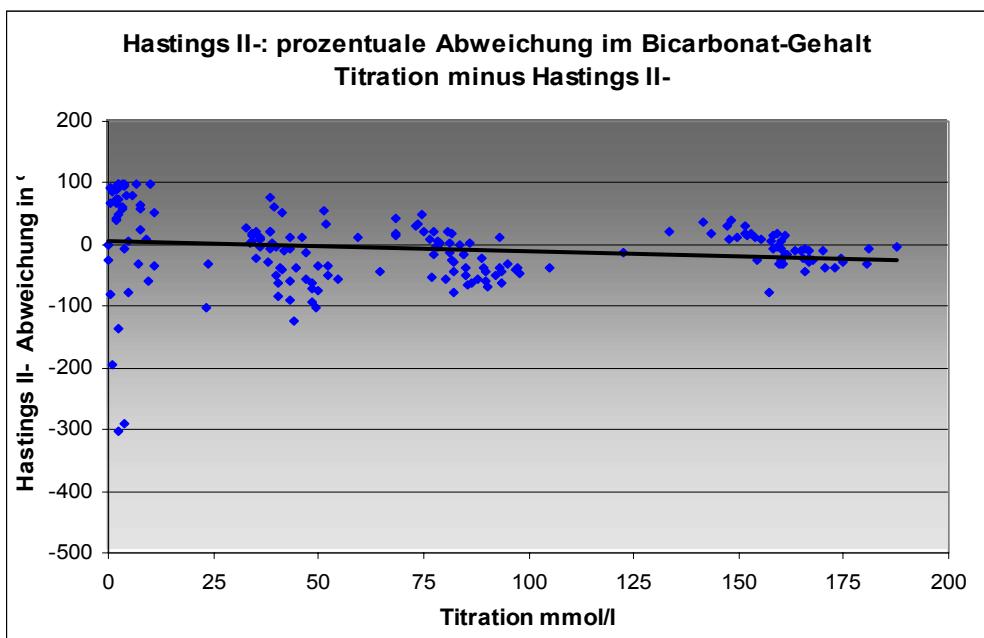
Diagr. 54



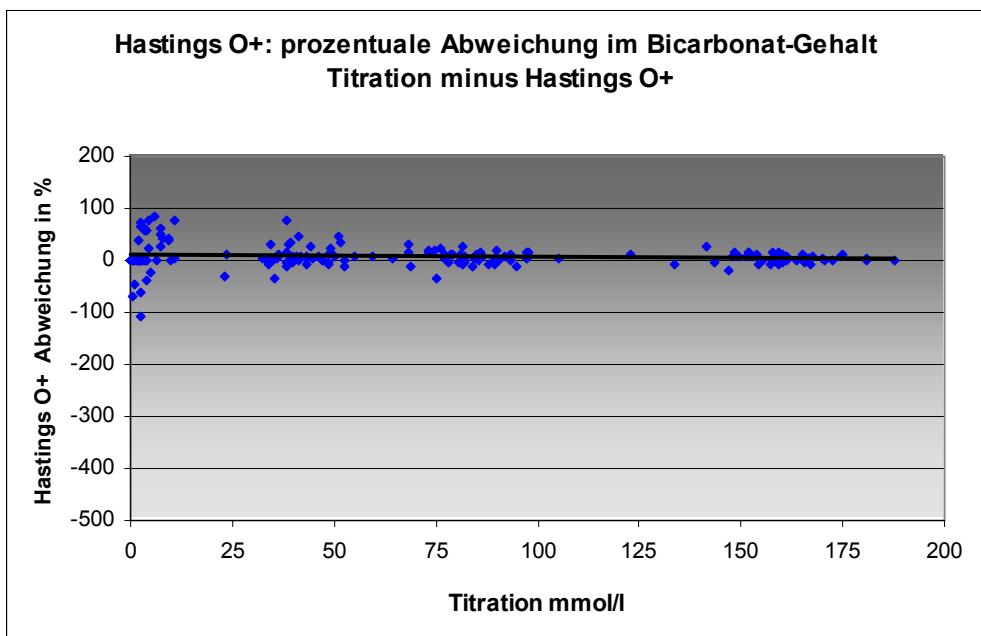
Diagr. 55



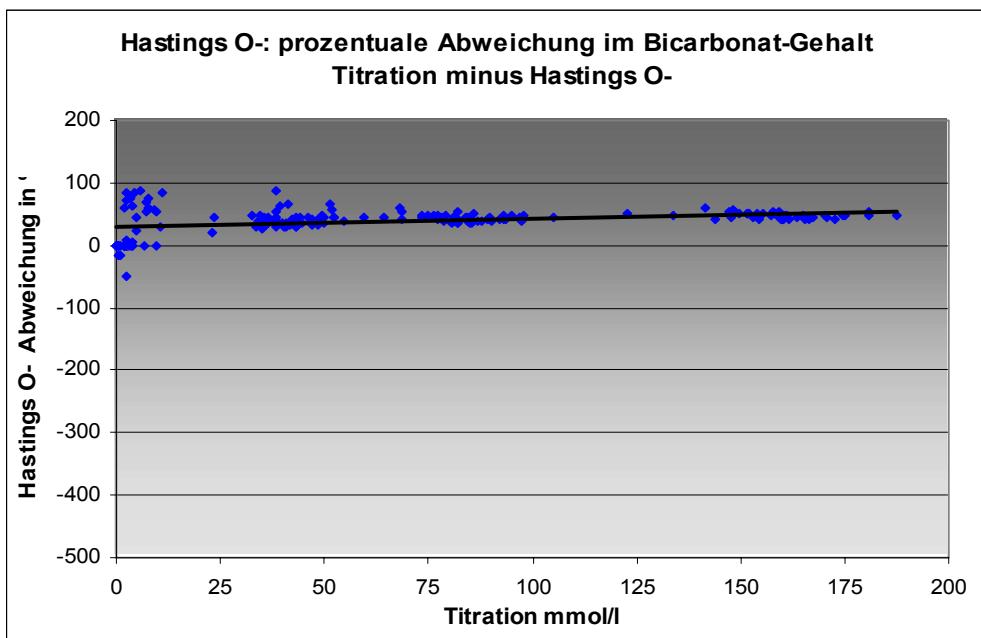
Diagr. 56



Diagr. 57



Diagr. 58



Diagr. 59

## **Ergebnisse der $\text{HCO}_3^-$ -Bestimmung in echten Urinen**

Vergleicht man die Bicarbonat-Konzentrationen in 48 nativen Urinproben gemessen durch die herkömmliche Titration mit denen, die mittels der Methode von Hastings unter Anwendung der modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung in den hier geprüften Varianten „Hastings I+, II+, I-, II-, O+, O-“ ermittelt wurden, so findet man zum Teil deutliche Abweichungen:

### **„Hastings I+“ (Verwendung von pK 6,47 unter Berücksichtigung der Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium – Verwendung des pH-Meter-Werts)**

(Siehe *Tabellen 41, 48, 55, 62, 68-71, Diagramme 24, 30, 36, 42, 48, 54*)

In der Hastings-Variante „I+“ werden verwendet: pK-Wert 6,47 (für +20°C), pH-Wert gemessen mittels pH-Meter bei 20°C und pCO<sub>2</sub>-Wert gemessen bei 37,5°C, Natrium- und Kalium-Gehalt im Urin.

Für das Verhältnis zwischen „Hastings-I+“ und der Titration ergibt die Regressionsanalyse (*Diagramm 24*)  $y = 1,47x - 3,66$ , somit liegen die mit „Hastings-I+“ gemessenen Bicarbonatwerte durchschnittlich um das 1,5-fache über den mittels Titration gemessenen Werten mit einer sehr hohen Korrelation ( $r = 0,940$ ). Es findet sich allerdings eine breite Streuung der Einzelwerte um die Steigungsgerade (*siehe Tab. 68-71*).

### **„Hastings II+“ (Verwendung von pK 6,33 unter Berücksichtigung der Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium – Verwendung des pH-Meter-Werts)**

(Siehe *Tabellen 42, 49, 56, 63, 68-71, Diagramme 25, 31, 37, 43, 49, 55*)

In der Hastings-Variante „II+“ werden verwendet: pK-Wert 6,33 (für 38°C), pH-Wert gemessen mittels pH-Meter bei 20°C und pCO<sub>2</sub>-Wert gemessen bei 37,5°C, Natrium- und Kalium-Gehalt im Urin.

*Diagramm 25* zeigt eine Steigungsgerade gemäß der Gleichung  $y = 2,03x - 5,0$ , somit liegen die gemessenen „Hastings II+“-Bicarbonatwerte durchschnittlich um das 2-fache über den mittels Titration gemessenen Bicarbonatwerten mit einer sehr hohen Korrelation ( $r = 0,940$ ). Es findet sich wieder eine breite Streuung der Einzelwerte um die Steigungsgerade (*siehe Tab. 68-71*).

**„Hastings I -“ (Verwendung von pK = 6,47 ohne Berücksichtigung der Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium - Verwendung des pH-Meter-Werts)**

(Siehe Tabellen 43, 50, 57, 64, 68-71, Diagramme 26, 32, 38, 44, 50, 56)

In der Hastings-Variante „I-“ werden verwendet: pK-Wert 6,47 (für +20°C), pH-Wert gemessen mittels pH-Meter bei 20°C und pCO<sub>2</sub>-Wert gemessen bei 37,5°C. Die Urin-Elektrolyte wurden nicht berücksichtigt, um deren Einfluss auf das Gesamtergebnis evaluieren zu können.

Diagramm 26 zeigt eine Steigungsgerade gemäss der Gleichung  $y = 0,80x + 1,42$ , somit liegen die gemessenen „Hastings I-“-Bicarbonatwerte durchschnittlich etwa 20% unter den mittels Titration gemessenen Bicarbonatwerten mit einer sehr hohen Korrelation ( $r = 0,930$ ). Es findet sich wieder eine breite Streuung der Einzelwerte um die Steigungsgerade (siehe Tab. 68-71).

**„Hastings II - „ (Verwendung von pK = 6,33 ohne Berücksichtigung der Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium - Verwendung des pH-Meter-Werts)**

(Siehe Tab. 44, 51, 58, 65, 68-71, Diagramme 27, 33, 39, 45, 51, 57)

In der Hastings-Variante „II-“ werden verwendet: pK-Wert 6,33 (für 38°C), pH-Wert gemessen mittels pH-Meter bei 20°C und pCO<sub>2</sub>-Wert gemessen bei 37,5°C. Die Urin-Elektrolyte wurden nicht berücksichtigt, um deren Einfluss auf das Gesamtergebnis evaluieren zu können.

Diagramm 27 zeigt eine Steigungsgerade gemäss der Gleichung  $y = 1,11x + 1,96$ , somit liegen die gemessenen „Hastings- II-“ -Bicarbonatwerte durchschnittlich ca. 10% über den mittels Titration gemessenen Bicarbonatwerten mit einer sehr hohen Korrelation ( $r = 0,930$ ). Es findet sich wieder eine breite Streuung der Einzelwerte um die Steigungsgerade (siehe Tab. 68-71).

**„Hastings O+“ (Verwendung von pK 6,33 unter Berücksichtigung der Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium – Verwendung des Blutgasanalyse-pH-Werts)**

(Siehe Tabellen 45, 52, 59, 66, 68-71, Diagramme 28, 34, 40, 46, 52, 58)

In der Original-Hastings-Variante „O+“ werden verwendet: pK = 6,33 (für 38° C), pH-Wert und pCO<sub>2</sub>-Wert zeitgleich gemessen im Blutgasanalysegerät bei 37,5°C sowie Natrium- und Kaliumgehalt im Urin.

Diagramm 28 zeigt eine Steigungsgerade gemäss der Gleichung  $y = 0,97x - 1,93$ , somit liegen die gemessenen „Hastings-O+“-Bicarbonatwerte durchschnittlich sehr nahe an den mittels Titration gemessenen Bicarbonatwerten mit einer sehr hohen Korrelation ( $r = 0,987$ ). Es findet sich eine geringgradige Streuung der Einzelwerte um die Steigungsgerade (siehe Tab. 68-71).

**„Hastings O-“ (Verwendung von pK 6,33 ohne Berücksichtigung der Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium – Verwendung des Blutgasanalyse-pH-Werts)**

(Siehe Tabellen 46, 53, 60, 67, 68-71, Diagramme 29, 35, 41, 47, 53, 59)

In der Hastings-Variante „O-“ werden verwendet: pK = 6,33 (für 38°C), pH-Wert und pCO<sub>2</sub>-Wert zeitgleich gemessen im Blutgasanalysegerät bei 37,5°C. Die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium wurden in der Formel nicht berücksichtigt, um deren Einfluss auf das Gesamtergebnis evaluieren zu können.

Diagramm 29 zeigt eine Steigungsgerade gemäss der Gleichung  $y = 0,52x - 1,88$ , somit liegen die gemessenen „Hastings-O-“-Bicarbonatwerte durchschnittlich etwa 50% unter den mittels Titration gemessenen Bicarbonatwerten mit einer sehr hohen Korrelation ( $r = 0,985$ ). Es findet sich eine geringgradige Streuung der Einzelwerte um die Steigungsgerade (siehe Tab. 68-71).

## 4. DISKUSSION

Anlass für die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zur Bicarbonat-Bestimmung im Urin waren zwei Beobachtungen: erstens, dass eine eigentlich erwünschte oder erforderliche Bicarbonat-Bestimmung im Urin von Patienten häufig nicht erfolgt, weil diese nicht zu den in klinisch-chemischen Labors angebotenen Routineuntersuchungen gehört und zweitens, dass - im Gegensatz zu Urin - Bicarbonat-Bestimmungen im Blut in jedem klinisch-chemischen Labor, oft sogar schon auf Stationen einer Klinik in den Blutgasanalysegeräten durchgeführt werden.

Diese Beobachtungen führten zu der Frage, ob eine Bicarbonat-Bestimmung im Urin eventuell auch am Blutgasanalysegerät möglich sein könnte. Wir haben deshalb vorab in „vorsichtigen“ Vorversuchen geprüft, ob ein Blutgasanalysegerät Urin anstelle von Blut überhaupt akzeptiert und für diesen einen Bicarbonat-Wert berechnet. Dies war in der Tat, allerdings nicht bei allen untersuchten Urinen der Fall. Wie sich im Laufe der Arbeit herausstellte, erfolgte durch das Gerät immer dann keine Berechnung des Bicarbonats, wenn der Urin-pH sehr niedrig war (siehe Kap. 3.3.).

Nachdem sich eine Bestimmung des Urin-Bicarbonats am Blutgasanalysegerät als prinzipiell möglich erwiesen hatte, stellte sich als weiteres die Frage, ob und wie verlässlich eine solche Bestimmung ist und mit welcher Methode die Verlässlichkeit der Messung überprüft werden kann.

In der Literatur findet man zwei Methoden zur Bestimmung von Bicarbonat im Urin: die **Titration** und die **Mess- bzw. Berechnungsmethode nach Hastings** unter Anwendung der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung:

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mmol/l)} = 10 \quad \text{pH} - (6,33 - 0,5 \sqrt{(\text{Na}^+ \text{ mol/l} + \text{K}^+ \text{ mol/l})}) + \log(0,03 * \text{pCO}_2)$$

Diese Original-Hastings-Gleichung enthält den pK-Wert 6,33, der erfordert, dass die in die Gleichung (neben der Natrium- und Kalium-Konzentration des Urins) einzusetzenden Parameter pH und pCO<sub>2</sub> bei 38°C bestimmt werden.

Publizierte Studien, in denen die Hastings-Gleichung systematisch auf ihre Verlässlichkeit in der Urin-Bicarbonat-Bestimmung, d.h. parallel zu einer Referenzmethode überprüft worden sind, haben wir nicht gefunden, auch sind uns keine Berichte bekannt über Versuche der Bicarbonat-Bestimmung im Urin mit einem Blutgasanalysegerät.

Die drei Bicarbonat-Messmethoden (Titration, Berechnungsmethode nach Hastings und Analyse im Blutgasanalysegerät) unterscheiden sich in einer Reihe wesentlicher Versuchsbedingungen, vor allem der Temperatur, der Berücksichtigung der Elektrolyte im Urin und der Verwendung des pK- bzw.  $pK'$ -Werts.

Bei der Messung der Bicarbonat-Konzentration im Urin mit der **Titrationsmethode** muss der pH-Wert des Urins zunächst einmalig im nativen Zustand und dann nach Zugabe von Salzsäure kontinuierlich während der Rücktitration mit Natronlauge bestimmt werden. Für diese Untersuchung fordern Lin & Chan<sup>178</sup> eine Untersuchungstemperatur von 37°C. Die Untersuchung wird – wie wir beobachtet und erfahren haben – in den klinisch-chemischen Labors häufig jedoch bei Zimmertemperatur (20°C) durchgeführt.

Für die Messung der Bicarbonat-Konzentration nach der **Original-Messmethode von Hastings** (von Hastings modifizierte Henderson-Hasselbalch-Gleichung) müssen im nativen Urin gemessen werden: der  $pCO_2$ -Wert, die Konzentration der Elektrolyte Natrium und Kalium und der pH-Wert (hier allerdings im Gegensatz zur Titrationsmethode nur einmalig); sämtliche Untersuchungen, bis auf die der Elektrolyte müssen bei 38°C durchgeführt werden. Im **Blutgasanalysegerät** erfolgen sämtliche Analysen bei 37,5°C.

Für die drei Messmethoden sind also verschiedene Messtemperaturen vorgeschrieben bzw. gebräuchlich.

Ein zweiter Unterschied zwischen den drei Analyseverfahren ergibt sich aus der Tatsache, dass bei der Titrations-Methode der Natrium- und Kalium-Gehalt der Probe nicht, bei den beiden anderen Verfahren aber sehr wohl berücksichtigt werden muss.

Drittens schliesslich wird – im Gegensatz zur Titration – beim Verfahren nach Hastings und bei der Analyse im Blutgasanalysegerät ein pK-Wert bzw.  $pK'$ -Wert berücksichtigt. Hastings verwendet für die Urinanalyse den pK-Wert 6,33. Dieser zusammen mit der Berücksichtigung der Elektrolyte ergäbe formal einen  $pK'$ -Wert für Urin, der abhängig von der Elektrolytkonzentration variabel ist. Für die Berechnung des Blutgasanalysegeräts, der ebenfalls die Henderson-Hasselbalch-Gleichung zu Grunde liegt, wird bei der Blutgasanalyse der für Blut gültige  $pK'$ -Wert 6,10 verwendet, in dem die mittleren Natrium- und Kalium-Konzentrationen des Blutes bereits berücksichtigt werden.

Wenn man also am Blutgasanalysegerät eine Urin-Bicarbonat-Bestimmung durchführen will, darf man im Hinblick auf die genannten Variablen (Temperatur, Elektrolytgehalt, pK- bzw.  $pK'$ -Wert) nicht ohne weiteres eine vom Gerät korrekt berechnete Bicarbonat-Konzentration erwarten. Es erschien uns deshalb notwendig, systematisch den Einfluss der Variablen auf die Bicarbonat-Bestimmung der verschiedenen Analyseverfahren zu untersuchen. Zu diesem Zweck haben wir in der Hastings-Gleichung die Variablen unterschiedlich kombiniert und so (siehe folgendes Schema) ihren Einfluss auf das Ergebnis der Bicarbonat-Bestimmung überprüft:

	Analyseverfahren	Na u. K	pCO <sub>2</sub> mit/bei	pK-Wert, geforderte Messtemp.	pH-Messung mit/bei
A / B	Titration	entfällt	entfällt	entfällt	pH-Meter/ 20°C
A / B	Hastings O+	+	BGA 37,5°C	6,33 38,0°C	BGA/ 37,5°C
A / B	Hastings O-	-	BGA 37,5°C	6,33 38,0°C	BGA/ 37,5°C
A	Hastings I+	+	BGA 37,5°C	6,47 20°C	pH-Meter/ 20°C
A	Hastings II+	+	BGA 37,5°C	6,33 38,0°C	pH-Meter/ 20°C
A	Hastings I-	-	BGA 37,5°C	6,47 20°C	pH-Meter/ 20°C
A	Hastings II-	-	BGA 37,5°C	6,33 38,0°C	pH-Meter/ 20°C
B	Blutgasanalyse	+	BGA 37,5°C	$pK' 6,10$ 37,5°C	BGA/ 37,5°C

Die mit „A“ gekennzeichneten Hastings-Varianten werden in dieser, die mit „B“ gekennzeichneten Varianten werden in der Parallel-Dissertation von Jan Vagedes untersucht.

### **Vorversuche:**

Bevor vergleichende Untersuchungen mit den verschiedenen Methoden zur Bicarbonat-Bestimmung im Urin durchgeführt werden konnten, mussten einige Vorbedingungen überprüft werden:

### **Voruntersuchungen an „künstlichen“ Urinen:**

A.) Vergleichende Urin-Bicarbonat-Bestimmungen mit verschiedenen Messmethoden sind nicht ohne weiteres sinnvoll, weil die tatsächliche Bicarbonat-Konzentration ja nicht bekannt ist und somit ein objektiver Bezugs- oder Vergleichswert fehlt. Um unsere Messmethoden dennoch objektiv vergleichen zu können, haben wir in diesen Versuchen an Stelle normaler Urine „künstliche Urine“ verwendet: aus kommerziell erhältlichen Lösungen mit bekanntem, vom Hersteller deklarierten Gehalt an Natrium, Kalium und Bicarbonat haben wir Lösungsgemische (die hier „künstliche Urine“ genannt werden) hergestellt, deren Bicarbonat-Gehalt mit den verschiedenen Messmethoden bestimmt und die Messergebnisse mit der tatsächlichen (bekannten) Bicarbonat-Konzentration in den Lösungen verglichen. Auf diese Weise konnten wir die Validität der einzelnen Methoden beurteilen (siehe weiter unten).

B.) Durch wiederholte Messungen der Bicarbonat-Konzentration in ein und derselben Probe liessen sich für alle Messmethoden niedrige Variationskoeffizienten errechnen, die mit zunehmender Bicarbonat-Konzentration noch deutlich kleiner wurden, als Ausdruck einer hohen **Reliabilität** der Messmethoden (siehe folgende Tabelle, Spalten 2 und 3).

Künstliche Urine	Reliabilitätsprüfung		Validitätsprüfung	
	Zuverlässigkeit der jeweiligen Methode in der Messung von 10 gleichen Bicarbonat-Lösungen (bei steigender Bic.-Konzentration)	Variationskoeffizient der 10 wiederholten Messungen	Genaugkeit der jeweiligen Methode in der Messung des tatsächlichen Bicarbonat-Gehalts	Differenz der gem. Mittelwerte von den tatsächl. Werten in %
Methode	tatsächliche Bic.-Konzentration mmol/l		tatsächliche Bic.-Konzentration mmol/l	
Titration	57 100 139 175	3,9 1,7 1,5 0,9	57 100 139 175	1,6 0,0 1,7 - 5,9
Hastings I+	57 100 139 175	5,8 3,0 4,3 3,0	57 100 139 175	- 45,4 - 46,1 - 41,7 - 50,1
Hastings II+	57 100 139 175	5,8 3,0 4,3 3,0	57 100 139 175	- 100,7 - 101,7 - 95,6 - 107,2
Hastings I-	57 100 139 175	5,8 3,0 4,3 3,0	57 100 139 175	- 10,5 - 1,5 7,8 7,3
Hastings II-	57 100 139 175	5,8 3,0 4,3 3,0	57 100 139 175	- 52,4 - 40,2 - 27,3 - 28,0
Hastings O+	57 100 139 175	4,3 2,9 1,9 0,9	57 100 139 175	27,8 20,5 12,5 4,0
Hastings O-	57 100 139 175	4,3 2,9 1,9 0,9	57 100 139 175	45,2 45,0 43,0 40,7

Für die „künstlichen Urine“ fanden wir bezüglich der **Validität** (Tabelle, Spalten 4 und 5), dass mit den Methoden „Hastings I+, II+ und II-“ generell zuviel (Differenz negativ), mit „Hastings O+ und O-“ generell zu wenig (Differenz positiv) Bicarbonat gemessen wurde. Für die für unsere weiteren Untersuchungen besonders wichtige Hastings-Variante „O+“ lässt sich eine deutliche Abnahme der Differenzen der Mittelwerte bei Messung höherer Bicarbonat-Konzentrationen (zwischen 139 und 175 mmol/l) feststellen, das bedeutet eine Zunahme der Validität bei Zunahme der Bicarbonat-Konzentration.

„Hastings I-“ zeigte bei den „künstlichen Urinen“ ebenfalls eine hohe Validität, diese ist aus unserer Sicht jedoch eine nur scheinbare, wie weiter unten zu begründen sein wird.

Mit der Titration-Methode wurden in den „künstlichen Urinen“ Bicarbonat-Konzentrationen bestimmt, die fast immer den tatsächlichen Konzentrationen entsprachen. Diese Untersuchungen bestätigten somit die Titration-Methode als verlässliche, d.h. exakte Methode zur Bicarbonat-Bestimmung.

### **Voruntersuchungen an echten Urinen:**

Bestimmung des „Wasserwerts“ bei der Titration.

Für die Durchführung der Titrationsmethode, die auch durch diese Untersuchung als Standardverfahren angesehen werden kann, wird in der Literatur (siehe Kapitel 2.2.) wiederholt gefordert, dass in einer parallel durchzuführenden Kontrolluntersuchung der Bicarbonat-Gehalt in destilliertem Wasser bestimmt und dieser Wert (der sog. Wasserwert) von dem mittels Titration ermittelten Bicarbonat-Gehalt der jeweiligen Urinprobe abgezogen wird. In einer eigenen Untersuchungsreihe haben wir diese Forderung überprüft und festgestellt, dass man auf diesen Untersuchungsschritt verzichten kann: unter unseren Versuchsbedingungen konnten wir in destilliertem Wasser maximal nur 0,5 mmol/l Bicarbonat messen. Diese Konzentration ist so gering, dass wir glauben, sie vernachlässigen zu dürfen.

Untersuchungen zur Aufbewahrungsart der Urine vor der Analyse.

Des Weiteren wurde in den Vorversuchen der Einfluss der Aufbewahrungsart auf die Urin-Bicarbonat-Konzentration untersucht (siehe Kapitel 3.2.3.) mit dem Ergebnis, dass eine verschlossene 10ml-Urinprobe bis zur Analyse entweder bei Raumtemperatur ( $20^{\circ}\text{C}$ ) über 24 Stunden oder im Kühlschrank ( $+4^{\circ}\text{C}$ ) bis zu 7 Tagen ohne Verlust an Bicarbonat aufbewahrt werden kann.

### **Hauptversuche:**

Nachdem wir in den Vorversuchen die Zuverlässigkeit der Titrationsmethode in der Bicarbonat-Messung im Urin überprüft hatten, haben wir in den Hauptversuchen dieser Arbeit in einer Serie von 48 Urinproben von gesunden Probanden und von Patienten („echte Urine“) mittels der verschiedenen Methoden nach Hastings (Hastings-Varianten „Hastings I+, II+, I-, II-, O+, O-“) Bicarbonat bestimmt und die Messergebnisse mit denen der Titrationsmethode verglichen, die wir bei den Hauptversuchen als Referenzmethode verwendeten.

Durch die Anwendung der Hastings-Varianten konnte der Einfluss der Messtemperatur auf die pH- und  $\text{pCO}_2$ -Messung in Abhängigkeit von dem in der Gleichung eingesetzten für eine definierte Temperatur gültigen  $\text{pK}$ -Wert sowie der Einfluss der Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium auf die Messergebnisse untersucht werden.

Ein methodisches Problem der Bicarbonat-Messung bei den „echten Urinen“ ergab sich dadurch, dass die untersuchten Urine überwiegend kein oder nur geringe Bicarbonat-Konzentrationen enthielten. Aus diesem Grund wurden die Urinproben mit einer jeweils bekannten Kalium-Bicarbonat-Lösung alkalisiert. Dadurch konnten Untersuchungen ein und desselben Urins bei verschiedenen (steigenden) Bicarbonat-Konzentrationsstufen durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle gibt, bevor die detailliertere Besprechung der einzelnen Messmethoden in der Untersuchung an echten Urinen folgt, vorab die Ergebnisse der Regressionsanalysen und die Korrelationskoeffizienten aller Messmethoden bei echten und künstlichen Urinen wieder.

Methode	K ü n s t l i c h e   U r i n e		Methode	E c h t e   U r i n e	
Tatsächliche Bic.-Konzentration gegen:	Regressionsanalyse $y = b x + a$	Korrelation r	Bic.-Konzentr. gemessen mittels Titration gegen:	Regressionsanalyse $y = b x + a$	Korrelation r
Titration	$y = 1,08x - 7,34$	0,996			
Hastings I+	$y = 1,50x - 4,31$	0,993	Hastings I+	$y = 1,47x - 3,66$	0,940
Hastings II+	$y = 2,07x - 2,94$	0,993	Hastings II+	$y = 2,03x - 5,00$	0,940
Hastings I-	$y = 0,83x + 16,54$	0,992	Hastings I-	$y = 0,80x + 1,42$	0,930
Hastings II-	$y = 1,14x + 22,83$	0,992	Hastings II-	$y = 1,11x + 1,96$	0,930
Hastings O+	$y = 1,07 x - 23,85$	0,996	Hastings O+	$y = 0,97 x - 1,93$	0,987
Hastings O-	$y = 0,61 x - 4,99$	0,998	Hastings O-	$y = 0,52 x - 1,88$	0,985
<b>Legende:</b>	<b>x = tatsächlicher Bic.-Gehalt</b> <b>y = mittels der zu prüfenden Methode gemessener Bic.-Gehalt</b>		<b>Legende:</b>	<b>x = durch Titration gemessener Bic.-Gehalt</b> <b>y = mittels der zu prüfenden Methode gemessener Bic.-Gehalt</b>	

## **TITRATION:**

Bei der Analyse der „künstlichen Urine“ mittels Titration konnte nach Alkalisierung mit steigendem Bicarbonat-Gehalt der Proben eine Abnahme der Variationskoeffizienten von 3,9 auf 0,9, also eine Zunahme der **Reliabilität**, nachgewiesen werden. Durch Berechnung der prozentualen Abweichung des Mittelwerts der gemessenen Bicarbonat-Konzentrationen vom tatsächlichen Bicarbonat-Gehalt zeigte sich eine nur geringe Abweichung mit Werten zwischen 1,6% und –5,9%, also eine hohe **Validität**.

Die Regressionsanalyse mit dem gemessenen und dem tatsächlichen Bicarbonat-Gehalt der "künstlichen Urinproben" (Ergebnis:  $y = 1,08x - 7,34$ ;  $r = 0,996$ ) zeigt ebenfalls die hohe Validität der Titrationsmethode an.

Es erscheint uns deshalb erlaubt, die Titrationsmethode als Referenz für alle anderen hier zu überprüfenden Messmethoden der Bicarbonat-Bestimmung zu verwenden.

## **DIE BESTIMMUNGSMETHODEN NACH HASTINGS:**

### **„Hastings I+“:**

**In die Hastings-Gleichung wurden eingesetzt:**

**pK-Wert 6,47 für die Messtemperatur 20° C**

**die Urin-Elektrolytekonzentrationen von Natrium und Kalium**

**pH-Wert (gemessen im pH-Meter bei 20°C)**

**pCO<sub>2</sub>-Wert (gemessen im Blutgasanalysegerät bei 37,5°C)**

Hier wurde der pK-Wert 6,47 für Raumtemperatur (20 °C) anstelle des pK 6,33 für 38°C der Original-Hastings-Gleichung verwendet. Die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium wurden in der Gleichung berücksichtigt. Die pH-Messung erfolgte bei 20°C, die pCO<sub>2</sub>-Messung bei 37,5°C.

In die Variante „Hastings I+“ wurde also ein „falscher“ pCO<sub>2</sub>-Wert eingesetzt, da die Messung des pCO<sub>2</sub>-Werts bei 20°C hätte erfolgen müssen.

Die Regressionsanalyse für die „echten Urine“ ergab  $y = 1,47x - 3,66$ ,  $r = 0,940$  und für die „künstlichen Urine“  $y = 1,50x - 4,31$ ,  $r = 0,993$ . Die mit der Variante „Hastings-I+“ ermittelten Bicarbonat-Werte lagen also durchschnittlich 1,5 mal höher als die Referenzwerte

(Titration bei den echten Urinen) bzw. die tatsächlichen Konzentrationen (bei den „künstlichen“ Urinen). Auffällig war eine breite Streuung der einzelnen Messwerte.

Somit ist die Variante „Hastings-I+“ nicht als alternative Messmethode zur Titrationsmethode zu empfehlen. Die erheblichen Abweichungen der Bicarbonat-Messungen mit dieser Methode beruhen darauf, dass die pCO<sub>2</sub>-Messungen anstelle von 20°C hier bei 37,5°C durchgeführt wurden.

### **„Hastings II+“:**

**In die Hastings-Gleichung wurden eingesetzt:**

**pK-Wert 6,33 für die Messtemperatur 38°C**

**die Urin-Elektrolytkonzentrationen von Natrium und Kalium**

**pH-Wert (gemessen im pH-Meter bei 20°C)**

**pCO<sub>2</sub>-Wert (gemessen im Blutgasanalysegerät bei 37,5°C)**

Hier wurde die Hastings-Formel mit Verwendung des pK-Werts 6,33 für 38°C geprüft. Die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium wurden in der Gleichung berücksichtigt. Die Verwendung des pK-Werts 6,33 erfordert, dass der pH- und der pCO<sub>2</sub>-Wert bei 38°C bestimmt werden. Die tatsächliche Untersuchungstemperatur für die pH-Messung lag hier bei 20°C, die pCO<sub>2</sub>-Messung erfolgte bei 37,5°C. In die Variante „Hastings II+“ wurde also ein „falscher“ pH-Wert eingesetzt, da die Messung des pH-Werts bei 38°C hätte erfolgen müssen.

Die Regressionsanalyse für die „echten Urine“ ergab  $y = 2,02x - 5,0$  ( $r = 0,940$ ) und für die „künstlichen Urine“  $y = 2,07x - 2,94$  ( $r = 0,993$ ). Die mit der Variante „Hastings-II+“ ermittelten Bicarbonat-Werte lagen also durchschnittlich doppelt so hoch wie die Referenzwerte (Titration bei den echten Urinen) bzw. die tatsächlichen Konzentrationen (bei den „künstlichen“ Urinen). Auffällig war auch hier eine breite Streuung der einzelnen Messwerte.

Somit ist die Hastings-Variante „Hastings-II+“ ebenfalls nicht als alternative Messmethode zur Titration zu empfehlen. Die erheblichen Abweichungen der Bicarbonat-Bestimmungen mit dieser Methode beruhen darauf, dass die in die Gleichung eingesetzten pH-Werte nicht bei 38°C, sondern bei 20°C gemessen wurden.

### **„Hastings I-“:**

**In die Hastings-Gleichung wurden eingesetzt:**

**pK-Wert 6,47 für die Messtemperatur 20°C**

**nicht die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium**

**pH-Wert (gemessen im pH-Meter bei 20°C)**

**pCO<sub>2</sub>-Wert (gemessen Blutgasanalysegerät bei 37,5°C)**

Hier lagen die gleichen Untersuchungsbedingungen vor wie bei „Hastings I+“ (also ein „falscher“ pCO<sub>2</sub>-Wert, der nicht bei 20°C, sondern bei 37,5°C gemessen wurde). Zusätzlich wurden die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium nicht berücksichtigt; so liess sich der Einfluss der Urin-Elektrolyte bewerten.

Die Regressionsanalyse für die „echten Urine“ ergab  $y = 0,80x + 1,42$  ( $r = 0,930$ ) und für die „künstlichen“ Urine  $y = 0,83 x + 16,54$  ( $r = 0,992$ ). Die mit der Variante „Hastings-I-“ ermittelten Bicarbonat-Werte lagen also ca. 20% unter den Referenzwerten (Titration bei den echten Urinen) bzw. den tatsächlichen Konzentrationen (bei den „künstlichen“ Urinen). Auffällig war auch hier eine breite Streuung der einzelnen Messwerte.

Bei dieser Messmethode waren die Abweichungen der Bicarbonat-Messwerte im Vergleich zur Methode „Hastings-I+“ viel geringer. Die Erklärung für diese Beobachtung ist in der Hastings-Gleichung erkennbar: wird der pK-Wert von 6,33 auf 6,47 erhöht und werden gleichzeitig die Elektrolyt-Werte mit Null eingesetzt (nichts anders bedeutet ja deren Nichtberücksichtigung bei der Berechnung), dann gleichen sich diese beiden systematischen Fehler offenbar teilweise aus.

Diese Hastings-Variante kann trotz ihrer erheblich geringeren Abweichung der Bicarbonat-Messwerte im Vergleich zu „Hastings-I+“ ebenfalls nicht als Alternative für die Titrationsmethode empfohlen werden, weil es sich bei der geringeren Abweichung offensichtlich nur um eine scheinbar nahezu korrekte Messung handelt, die dadurch zustande kommt, dass sich zwei methodische Fehler teilweise ausgleichen.

### **„Hastings II-“:**

**In die Gleichung wurden eingesetzt:**

**pK-Wert 6,33 für die Messtemperatur 38°C**

**nicht die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium**

**pH-Wert (gemessen im pH-Meter bei 20°C)**

**pCO<sub>2</sub> (gemessen im Blutgasanalysegerät bei 37,5°C)**

Hier lagen die gleichen Untersuchungsbedingungen vor wie bei „Hastings II+“, jedoch wurden die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium in der Hastings-Formel nicht berücksichtigt. Mit diesem Versuch liess sich der Einfluss der Elektrolyte auf die Bicarbonat-Bestimmung bewerten.

Die Regressionsanalyse für die „echten Urine“ ergab  $y = 1,11x + 1,96$  ( $r = 0,930$ ) und für die „künstlichen“ Urine  $y = 1,14 x + 22,83$  ( $r = 0,992$ ). Die mit der Variante „Hastings-II-“ ermittelten Bicarbonat-Werte der echten Urine lagen also nur knapp über den Referenzwerten (Titration bei den echten Urinen). Auffällig war auch hier eine breite Streuung der einzelnen Messwerte.

Diese Hastings-Variante kann (wie schon „Hastings I-“) trotz der erheblich geringeren Abweichung der Bicarbonat-Messwerte ebenfalls nicht als Alternative für die Titrationsmethode empfohlen werden, weil es sich bei der geringeren Abweichung auch hier offensichtlich nur um eine scheinbar nahezu korrekte Messung handelt, die dadurch zustande kommt, dass sich zwei methodische Fehler (pH-Wert nicht bei 38°C, sondern bei 20°C gemessen und Nicht-Berücksichtigung der Elektrolyte) teilweise ausgleichen.

### **„Hastings O+“:**

**In die Gleichung wurden eingesetzt:**

**pK-Wert 6,33 für die Messtemperatur 38°C**

**die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium**

**pH-Wert und pCO<sub>2</sub>-Wert (gemessen zeitgleich im Blutgasanalysegerät bei 37,5°C)**

Hier wurde die Original-Hastings-Formel mit Verwendung des pK-Werts 6,33 für 38°C angewendet, die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium wurden in der Gleichung berücksichtigt. Bei dieser Variante wurden der pH- und der pCO<sub>2</sub>-Wert zeitgleich im

Blutgasanalysegerät bei 37,5°C untersucht und die für den pK-Wert 6,33 geforderte Messtemperatur sowohl für pH als auch für pCO<sub>2</sub> eingehalten.

Bei den „echten Urinen“ zeigte die Regressionsgerade eine Steigung gemäss der Gleichung  $y = 0,97x - 1,93$  (bei „künstlichen Urinen“  $y = 1,07x - 23,85$ ), somit lagen hier die gemessenen „Hastings-O+“-Werte durchschnittlich sehr nah an den Werten der Titrationsergebnisse, die Abweichung vom Nullpunkt war mit – 1,93 mmol/l geringgradig ausgeprägt verglichen mit derjenigen bei den „künstlichen Urinen“ (-23,85 mmol/l). Die Korrelation war sehr hoch ( $r = 0,987$ ). Die Streuung der einzelnen Messwerte war hier gering ausgeprägt.

Bei der Untersuchung an „künstlichen Urinen“ konnten mittels „Hastings O+“ annähernd die oben aufgezeigten Variationskoeffizienten der Titration erreicht werden, bezüglich der Validität, lagen die „Hastings O+“-Bicarbonat-Werte aufgrund der Differenzbildung „Titration minus Hastings O+“ bei niedriger Konzentration um 20,5 bis 27,8 % und bei hoher Konzentration um 4,0 bis 12,5 % zu niedrig. Diese prozentualen Abweichungen sowie die beträchtliche Abweichung vom Nullpunkt bei der Regressionsanalyse dieser Methode bei „künstlichen Urinen“ (-23,9) im Gegensatz zu den „echten Urinen“ (-1,93) beruht darauf, dass die Hastings-Formel für die Untersuchung des Bicarbonat-Gehaltes in biologischen Lösungen wie Urin konzipiert ist, hier aber auf die Bicarbonat-Messungen in anorganischen Lösungen („künstlichen Urinen“) angewendet wurde.

Vergleicht man die Ergebnisse der Titration mit den nach der Hastings-Formel „O+“ gemessenen, so kann als Ergebnis der Untersuchungen an „echten Urinen“ festgehalten werden, dass bei der Überprüfung der Original-Hastings-Formel („Hastings O+“) der pK-Wert 6,33, die Messtemperatur von ca. 38°C für pH- und pCO<sub>2</sub>-Wert und die Berücksichtigung der Urin-Elektrolytkonzentrationen Natrium und Kalium korrekt ist und dass die im Jahre 1917 von Hastings aufgestellte Formel zuverlässige Ergebnisse erbringt. Besonders deutlich erkennbar ist dies am Verlauf der Regressionsgeraden, die die beiden Messmethoden (Titration und „Hastings O+“) vergleicht und die nahezu der Idealgleichung  $y = x$  entspricht: es ergibt sich für die durch „Hastings O+“ ermittelten Bicarbonat-Konzentrationen bei „echten Urinen“ ein hohes Mass an Übereinstimmung mit den Bicarbonat-Messwerten der Titration.

## **„Hastings O-“:**

**In die Gleichung wurden eingesetzt:**

**pK-Wert 6,33 für die Messtemperatur 38° C**

**nicht die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium**

**pH-Wert und pCO<sub>2</sub>-Wert (gemessen zeitgleich im Blutgasanalysegerät bei 37,5°C)**

Hier wurde, wie bei „Hastings O+“, die Original-Hastings-Formel mit Verwendung des pK-Werts 6,33 für 38°C angewendet. Die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium wurden in der Gleichung nicht berücksichtigt. Bei dieser Variante wurden der pH- und der pCO<sub>2</sub>-Wert zeitgleich im Blutgasanalysegerät bei 37,5°C untersucht und die für den pK-Wert 6,33 geforderte Messtemperatur sowohl für pH als auch pCO<sub>2</sub> eingehalten.

Bei den „echten Urinen“ zeigte die Regressionsgerade eine Steigung gemäss der Gleichung  $y = 0,52x - 1,88$  (bei den „künstlichen Urinen“  $y = 0,61x - 4,99$ ), somit lagen die gemessenen „Hastings-O-“-Werte durchschnittlich bei nur 50% der entsprechenden Titrationswerte bei sehr hoher Korrelation ( $r = 0,985$ ); es fand sich eine nur geringgradige Streuung der einzelnen Messwerte.

Damit ist im Hinblick auf die „Hastings-O+“-Ergebnisse eindeutig belegt, dass durch Nicht-Berücksichtigung der Urinelektrolyte Natrium und Kalium bei der Hastings-Original-Formel Abweichungen von ca. 50% nach unten auftreten. Die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium dürfen in der Hastings-Formel also keinesfalls vernachlässigt werden.

## **Zusammenfassende Beurteilung der hier geprüften Untersuchungsmethoden**

Ausgehend von Lösungsgemischen mit definiertem Elektrolyt- und Bicarbonat-Gehalt (den sogenannten "künstlichen Urinen" dieser Studie) kann als Standardmethode zur Messung der Bicarbonat-Konzentration die Titrationsmethode angesehen werden (Regressionsanalyse: gemessenes HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 1,08 \* tatsächliches HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> minus 7,34 (Einheit: mmol/l);  $r = 0,996$ ). Leider ist diese sehr genau messende Methode sehr aufwendig und für klinische Routineuntersuchungen nicht verwendbar. Sie dient uns in diesen Studien jedoch immer dann als Referenzmethode, wenn - wie bei allen (echten) Urinen - die tatsächliche Bicarbonat-Konzentration nicht bekannt ist.

Die mit der Titrationsmethode als Referenz verglichenen Bicarbonat-Bestimmungsmethoden nach Hastings werden erheblich gestört durch Messungen des Urin-pH-Werts bei falscher

(hier zu niedriger) Messtemperatur (Hastings II+) oder durch Messungen des Urin-pCO<sub>2</sub>-Werts bei falscher (hier zu hoher) Messtemperatur (Hastings I+).

Unter den Hastings-Varianten kommt die hier als „Hastings O+“ bezeichnete Variante der Titrationsmethode am nächsten (Regressionsanalyse: gemessenes HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 0,97 \* tatsächliches HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> minus 1,93 (Einheit: mmol/l); r = 0,987). In dieser Variante werden Messwerte von pH und pCO<sub>2</sub> im Urin berücksichtigt, die bei Messtemperaturen um 38°C gemessen werden (Messtemperatur im Blutgasanalysegerät).

Somit lässt sich aus den in dieser Arbeit durchgeföhrten Analysen ableiten, dass bei Messung von Urin-pH und -pCO<sub>2</sub> im Blutgasanalysegerät (bei einer Temperatur von 37,5 °C) und bei Einsetzen des Temperatur-adäquaten pK-Wertes 6,33 und der Urin-Konzentrationen von Natrium und Kalium Bicarbonat-Konzentrationen gemessen werden können, die dem tatsächlichen Bicarbonat-Gehalt des Urins entsprechen.

In Zusammenschau aller aufgeführten **Hastings-Varianten** („I+, II+, I-, II-, O+, O-“) lässt sich folgendes feststellen: In der Original-Version der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung „Hastings O+“ wurde der pK-Wert 6,33 verwendet, die Messungen von pH-Wert und pCO<sub>2</sub> erfolgten zeitgleich im Blutgasanalysegerät bei der durch diesen pK-Wert definierten Temperatur von ca. 38°C, die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium wurden berücksichtigt. Unter diesen Bedingungen zeigte sich bei den „echten Urinen“ im Vergleich der „Hastings-O+“-Bicarbonat-Konzentrationen mit denen der Titration, die hier als Vergleichsmethode diente, eine Regressionsgerade, die nahezu der Idealgleichung y = x entspricht. Alle übrigen Hastings-Varianten wichen unterschiedlich stark in ihren Messergebnissen von denen der Titration ab, so dass alle Hastings-Varianten, ausgenommen „Hastings O+“, als Messmethode nicht empfohlen werden können. Wurden bei falschen Messbedingungen die Messfehler durch Nicht-Berücksichtigung der Urin-Elektrolyte (bei „Hastings I-, II-,“) annähernd wieder ausgeglichen, so fanden sich hier täuschend „akzeptable“ Regressionsanalysen, jedoch mit ausgeprägter Streuung der Einzelmesswerte.

Insgesamt gesehen war es hilfreich, die Messergebnisse aller Hastings-Varianten auszuwerten, da daran folgendes abgelesen werden kann: der pK-Wert von 6,33 bei Körpertemperatur ist korrekt und es ist von grosser Bedeutung, pH- und pCO<sub>2</sub>-Wert bei ca. 38° zu bestimmen. Betrachtet man die „Hastings-O-“-Ergebnisse, so wird hier eindeutig belegt, dass durch Nicht-Berücksichtigung der Urinelektrolyte Natrium und Kalium bei der Hastings-Original-Formel Abweichungen von ca. 50% nach unten auftreten und die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium in der Hastings-Formel keinesfalls vernachlässigt werden dürfen.

Durch Verwendung des Blutgasanalysegeräts, in dem ja mittlerweile auch die routinemässige Bestimmung des Natrium- und Kalium-Gehaltes erfolgt, liegt anhand der Original-Version der von Hastings modifizierten Henderson-Hasselbalch-Gleichung („Hastings O+“) eine nach der Untersuchung des Urins im Blutgasanalysegerät sofort berechenbare Gleichung vor, die klinisch wertvoll ist, da durch sie relativ einfach und schnell ein Bicarbonatverlust über die Niere beurteilbar ist und dessen Therapie unkompliziert kontrolliert werden kann.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Eine Reihe von nephrologischen, gastroenterologischen und Stoffwechselerkrankungen erfordern für die Diagnostik oder für die Überwachung der Therapie die Bestimmung der renalen Bicarbonat-Ausscheidung. Um diese berechnen zu können, ist eine Messung des Bicarbonat-Gehalts im Urin erforderlich. Für diese Bicarbonat-Messungen im Urin gibt es kein einfaches, in klinisch-chemischen Laboratorien als Routinemethode anwendbares Verfahren. Das Standardverfahren zur Bicarbonat-Messung im Urin ist die aufwendige Titrationsmethode. Für die Gasanalysen und für die Messung des Bicarbonat-Gehaltes des Blutes dagegen sind vollautomatisch arbeitende und inzwischen in jeder Klinik bereitstehende Blutgasanalysegeräte entwickelt worden. Es liegt daher nahe zu versuchen, ein solches Blutgasanalysegerät für die Bestimmung des Bicarbonats im Urin zu verwenden. In dieser Arbeit wird deshalb untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine Bicarbonat-Bestimmung des Urins in einem Blutgasanalysegerät möglich sein könnte.

Die Bestimmung des Bicarbonat-Gehalts im Urin ist mit Hilfe der von Hastings modifizierten Formel von Henderson-Hasselbalch möglich, wenn Messwerte vorliegen für den pH-, den pCO<sub>2</sub>-Wert und für den Natrium- und Kalium-Gehalt des Urins und wenn diese sowie der von Hastings ermittelte pK-Wert 6,33 in die Formel eingesetzt werden:

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mmol/l)} = 10^{\frac{\text{pH} - (6,33 - 0,5 \sqrt{(\text{Na}^+ \text{ mol/l} + \text{K}^+ \text{ mol/l})}) + \log(0,03 * \text{pCO}_2)}{4}}$$

Um die Anwendbarkeit der Hastings-Formel für die Bestimmung des Bicarbonat-Gehalts im Urin bei Verwendung der am Blutgasanalysegerät gemessenen pH- und pCO<sub>2</sub>-Werte zu überprüfen, wurden die Messgrößen der Formel variiert: Messung des pH mit verschiedenen Methoden (pH-Meter und Blutgasanalysegerät) und bei verschiedenen Messtemperaturen (37,5 und 20°C), Eingabe verschiedener pK-Werte (6,33 für die Messtemperatur 38°C und 6,47 für 20°C) sowie Berücksichtigung oder Nicht-Berücksichtigung der Urin-Natrium- und -Kalium-Konzentrationen. So war es möglich, den Einfluss der Variablen auf das Ergebnis der Bicarbonat-Bestimmung zu erfassen.

Da es nicht möglich ist, die Validität einer Messmethode zur Bestimmung einer Stoffkonzentration (hier: die Bicarbonat-Konzentration im Urin) zu ermitteln, wenn die tatsächliche Konzentration des Stoffes nicht bekannt ist (wie die Bicarbonat-Konzentration in Urinproben von Patienten oder Probanden), mussten wir die Validität der Mess- bzw. Bestimmungsmethoden zunächst an Standardlösungen mit bekanntem Bicarbonat-Gehalt überprüfen. Für diese Versuche wurde in Lösungsgemischen aus kommerziell erworbenen Bicarbonat-, Natrium- und Kalium-Lösungen der (bekannte) Bicarbonat-Gehalt bestimmt mit der Titrationsmethode und nach Hastings. Hier zeigten die Messwerte der Titration eine hohe Zuverlässigkeit in der Bestimmung des Bicarbonat-Gehalts, dieses galt jedoch nicht für alle Varianten der Hastings-Formel, deren Messergebnisse in den hier untersuchten anorganischen Lösungen verschiedene Abweichungsgrade aufwiesen.

Die Untersuchung des (unbekannten) Bicarbonat-Gehalts im Urin von 48 Patienten wurde wieder mit der Titrations- und nach der Hastings-Methode durchgeführt, hier wurden jedoch die Ergebnisse der Hastings-Methode mit denen der Titration auf ihre Abweichungsgrade hin verglichen. Anders als in den vorhergehenden Untersuchungen an anorganischen Lösungsgemischen („künstlichen Urinen“) war bei den „echten Urinen“ die hohe Zuverlässigkeit der Hastings-Formel nachweisbar unter der Voraussetzung, dass der pK-Wert 6,33 für 38° verwendet wurde, die Messtemperatur für pH und pCO<sub>2</sub> bei annähernd 38°C (d.h. bei 37,5°C) lag und die Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium in der Formel berücksichtigt wurden. Wurde dagegen die geforderte Messtemperatur (38°C und 20°C) für die genannten Parameter bei den entsprechenden pK-Werten (6,33 oder 6,47) nicht eingehalten oder wurde die Konzentration der Urin-Elektrolyte Natrium und Kalium nicht in die Hastings-Formel eingesetzt, dann wichen die Messergebnisse unterschiedlich gravierend ab.

Wird die Hastings-Formel also auf Urin (und damit auf eine organische Lösung) korrekt angewendet, d.h. Einhaltung der Messtemperatur von ca. 38°C bei der pH- und pCO<sub>2</sub>-Messung im Blutgasanalysegerät, Verwendung des von Hastings 1917 experimentell gefundenen pK-Werts 6,33 und Berücksichtigung des Gehaltes von Urin-Natrium und -Kalium, dann ist nachweislich durch die Hastings-Formel eine zuverlässige und unkomplizierte Bestimmung des Bicarbonat-Gehalts im Urin für die Diagnostik und die Therapiekontrolle gewährleistet.

Mit Hilfe neuerer Modelle der Blutgasanalysegeräte, die neben den Parametern pH, pCO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pO<sub>2</sub> etc. auch den Gehalt von Natrium und Kalium bestimmen, liegen damit alle in die Hastings-Formel einzusetzenden Parameter sofort und ohne grösseren Aufwand vor.

Die Hastings-Methode bietet eine sichere Alternative zum etablierten, aber aufwendigen Standardverfahren der Titration. Durch die korrekte Anwendung der Methode nach Hastings steht künftig eine zuverlässige, unkomplizierte und schnelle Möglichkeit zur Bicarbonat-Bestimmung im Urin für den klinischen Alltag zur Verfügung.

## **6. LITERATURVERZEICHNIS**

<sup>1</sup> Gamble JL jr.: Basis for presentation of acid-base in two dimensions. Am J Physiol. 1999 Dec; 277(6 pt 2):136-9.

<sup>2</sup> Carlin K, Carlin S.: Acid/base may be more variable than previously thought. Med Hypotheses. 1993 Jul; 41(1):42-7.

<sup>3</sup> Settergren G, Gardeback M.: Acid-base balance. J Cardiothorac Vasc Anesth. 1996 Jun; 10(4):566-7.

<sup>4</sup> Maldonado Simo ML.: Disorders of acid-base equilibrium. Rev Enferm. 1994 Jan; 17(185): 30-9.

<sup>5</sup> Fujimoto M.: General aspect of cellular pH regulation. Nippon Rinsho. 1992 Sep; 50(9):2016-47.

<sup>6</sup> van Kampen EJ.: A nomogram for interpretation of acid-base data. J Clin Chem Clin Biochem. 1988 May; 26(5):349-50.

<sup>7</sup> Constable PD.: Clinical assessment of acid-base status. Strong ion difference theory. Vet Clin North Am Food Anim Pract. 1999 Nov; 15(3):447-71.

<sup>8</sup> Story DA, Poustie S, Bellomo R.: Quantitative physical chemistry analysis of acid-base disorders in critically ill patients. Anaesthesia. 2001 Jun; 56(6):530-3.

<sup>9</sup> von Stockhausen HB.: Problems of establishing average values in studies of acid-base equilibrium. Monatsschr Kinderheilkd. 1971 Jul; 119(7):300-2.

<sup>10</sup> Hannedouche T, Caillard S.: Disorders of acid-base balance. Physiopathology, diagnosis, treatment. Rev Prat. 2000 Jun 1;50(11):1257-66.

<sup>11</sup> Schaefer RM, Schaefer L.: Disorders of acid-base balance. Internist (Berl). 1998 Aug; 39(8):820-4.

<sup>12</sup> Lanford A.: Name that acid-base. Crit Care Nurse. 1981 Mar-Apr; 1(3):10-2.

<sup>13</sup> Hills AG.: pH and the Henderson-Hasselbalch equation. Am J Med. 1973 Aug; 55(2):131-3.

<sup>14</sup> Agabiti E., Todisco T, Grassi V, Sorbini CA: Calculation of plasma bicarbonates using Henderson-Hasselbalch equation. Influence of pK changes as a function of pH. Mod Hosp. 1973 Jan-Feb;20(1):23-7.

<sup>15</sup> Cohen JJ.: A new acid-base nomogram featuring hydrogen ion concentration. Henderson revisited. Ann Intern Med. 1967 Jan;66(1):159-64.

<sup>16</sup> Qian G.: Typing and diagnosis of mixed acid-base disorders. Zhonghua Nei Ke Za Zhi. 1996 Nov;35(11):725-6.

- 
- <sup>17</sup> Koshikawa S.: Acid-base imbalance - classification and differential diagnosis. Nippon Rinsho. 1981 Nov;39(11):3423-31.
- <sup>18</sup> Rothe KF, Schimek F, Kuhn K, Fluchters H.: What is new in acid-base balance? Acta Anaesthesiol Belg. 1984;35 Suppl:347-52.
- <sup>19</sup> Nahas GG.: Acid-base equilibrium and pharmacodynamics. Presse Med. 1967 Jun 10; 75(28):1445-8.
- <sup>20</sup> Leiner GC, Abramowitz S, Small MJ: Acid-base balance. Rev Allergy. 1970 Jan; 24(1):63.
- <sup>21</sup> Gammon SS.: Respiratory acidosis. Nursing. 1982 Aug;12(8):65.
- <sup>22</sup> Ponten U.: Consecutive acid-base changes in blood, brain tissue and cerebrospinal fluid during respiratory acidosis and baseosis. Acta Neurol Scand. 1966;42(4):455-71.
- <sup>23</sup> Stumpe KO, Kruck F.: Acidosis - alkalosis. Schwest Rev. 1973 Feb 15;11(2):20-1.
- <sup>24</sup> Aronoff GR, Lavelle KJ, Luft FC.: A practical approach to acid-base disorders. J Indiana State Med Assoc. 1983 Nov;76(11):764-6.
- <sup>25</sup> Pocidalo JJ.: Interpretation of acid-base equilibrium and identification of mixed disorders. Rev Prat. 1974 Mar 13;24(15):1307-15.
- <sup>26</sup> Brobst D.: Pathophysiologic and adaptive changes in acid-base disorders. J Am Vet Med Assoc. 1983 Oct 1;183(7):773-80.
- <sup>27</sup> Wall RE.: Respiratory acid-base disorders. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 2001 Nov;31(6):1355-67.
- <sup>28</sup> Baglione G.: Alterations of acid-base equilibrium of respiratory origin. Ann Laringol Otol Rinol Faringol. 1976 May-Aug;75(3-4):223-32.
- <sup>29</sup> Takasaki Y, Kudo S.: Progress on diagnosis and therapy of acid-base imbalance - respiratory acidosis and alkalosis. Nippon Naika Gakkai Zasshi. 1997 Oct 10;86(10):1884-90.
- <sup>30</sup> Levin ML.: Disorders of acid-base equilibrium. Internist (Berl). 1973 Jun;14(6):293-8.
- <sup>31</sup> Davis RP.: Logland: a Gibbsian view of acid-base balance. Am J Med. 1967 Feb; 42(2):159-2.
- <sup>32</sup> Knepil J.: Biochemistry. 7. Acid/base balance. Nurs Mirror. 1983 Apr 6;156(14):40-1.
- <sup>33</sup> Roth KS, Chan JC.: Renal tubular acidosis: a new look at an old problem. Clin Pediatr (Phila). 2001 Oct;40(10):533-43.
- <sup>34</sup> Wrong OM, Feest TG.: Renal tubular acidosis. N Engl J Med. 1981 Jun 18;304(25):1548-9.
- <sup>35</sup> Ploier R, Wilk F, Hohenauer L.: Transitory distal renal tubular acidosis. Wien Med Wochenschr. 1976 Jun 25;126(25-27):367-70.

- 
- <sup>36</sup> Fencl V, Jabor A, Kazda A, Figge J.: Diagnosis of metabolic acid-base disturbances in critically ill patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000 Dec;162(6):2246-51.
- <sup>37</sup> Simpson DP.: Mitochondrial bicarbonate carrier: a site of regulation of renal substrate metabolism by acid-base changes. *Trans Assoc Am Physicians.* 1983;96:218-24.
- <sup>38</sup> Loebstein R, Koren G.: Ifosfamide-induced nephrotoxicity in children: critical review of predictive risk factors. *Pediatrics.* 1998 Jun;101(6):E8.
- <sup>39</sup> Loebstein R, Atanackovic G, Bishai R, Wolpin J, Khattak S, Hashemi G, Gobrial M, Baruchel S, Ito S, Koren G.: Risk factors for long-term outcome of ifosfamide-induced nephrotoxicity in children. *J Clin Pharmacol.* 1999 May;39(5):454-61.
- <sup>40</sup> English MW, Skinner R, Pearson AD, Price L, Wyllie R, Craft AW.: The influence of ifosfamide scheduling on acute nephrotoxicity in children. *Br J Cancer.* 1997;75(9):1356-9.
- <sup>41</sup> Bompard G, Orfila C.: Cisplatin nephrotoxicity in lead-pretreated rats: enzymatic and morphological studies. *Toxicol Lett.* 1990 Feb;50(2-3):237-47.
- <sup>42</sup> Collier SJ, Calne RY, White DJ, Winters S, Thiru S.: Blood levels and nephrotoxicity of cyclosporin A and G in rats. *Lancet.* 1986 Jan 25;1(8474):216.
- <sup>43</sup> Fanos V, Cataldi L.: Renal transport of antibiotics and nephrotoxicity: a review. *J Chemother.* 2001 Oct;13(5):461-72.
- <sup>44</sup> Masereeuw R, Russel FG.: Mechanisms and clinical implications of renal drug excretion. *Drug Metab Rev.* 2001 Aug-Nov;33(3-4):299-351.
- <sup>45</sup> Skinner R, Pearson AD, Price L, Coulthard MG, Craft AW.: Nephrotoxicity of ifosfamide in children. *Lancet.* 1989 Jul 15;2(8655):159.
- <sup>46</sup> Tokuc G, Yalciner A, Kebudi R, Dogan S, Gorgun O, Ayan I.: Renal dysfunctions secondary to ifosfamide treatment in children. *J Exp Clin Cancer Res.* 1997 Jun;16(2):227-30.
- <sup>47</sup> Kleinknecht D, Landais P, Goldfarb B.: Pathophysiology and clinical aspects of drug-induced tubular necrosis in man. *Contrib Nephrol.* 1987;55:145-58.
- <sup>48</sup> Skinner R, Sharkey IM, Pearson AD, Craft AW.: Ifosfamide, mesna and nephrotoxicity in children. *J Clin Oncol.* 1993 Jan;11(1):173-90.
- <sup>49</sup> Rodriguez-Soriano J, Boichis H, Stark H, Edelmann CM jr.: Proximal renal tubular acidosis. A defect in bicarbonate reabsorption with normal urinary acidification. *Pediatr Res.* 1967 Mar;1(2):81-98.
- <sup>50</sup> Chan JC, Scheinman JI, Roth KS.: Consultation with the specialist: renal tubular acidosis. *Pediatr Rev.* 2001 Aug;22(8):277-87.
- <sup>51</sup> Fulop M.: Pathogenesis of renal tubular acidosis. *Lancet.* 1971 Apr 3;1(7701):704-5.

---

<sup>52</sup> Buckalew VM jr.: Familial renal tubular acidosis. Ann Intern Med. 1968 Jun;68(6):1367-8.

<sup>53</sup> Holmes NM, Kane CJ, Cilento BG jr.: Renal tubular acidosis. Urology. 1997 Aug; 50(2):279.

<sup>54</sup> Leumann EP, Steinmann B.: Persistant and transient distal renal tubular acidosis with bicarbonate wasting. Pediatr Res. 1975 Oct;9(10):767-73.

<sup>55</sup> Edelmann CM jr: Clinical quiz. Renal tubular acidosis (RTA). Pediatr Nephrol. 1989 Jan; 3(1):111-2.

<sup>56</sup> Penney MD, Oleesky DA.: Renal tubular acidosis. Ann Clin Biochem. 1999 Jul; 36(pt4):408-22.

<sup>57</sup> Rodriguez-Soriano J, Edelmann CM jr.: Renal tubular acidosis. Annu Rev Med. 1969;20:363-82.

<sup>58</sup> McSherry E, Sebastian A, Morris RC jr.: Renal tubular acidosis in infants: the several kinds, including bicarbonate-wasting, classical renal tubular acidosis. J Clin Invest. 1972 Mar; 51(3):499-514.

<sup>59</sup> Schabel F, Irnberger E.: Infantile transitory distal renal tubular acidosis with bicarbonate loss. Pediatr Padol. 1985;20(4):353-62.

<sup>60</sup> Rodriguez-Soriano J, Vallo A, Garcia-Fuentes M.: Distal renal tubular acidosis in infancy: a bicarbonate wasting state. J Pediatr. 1975 Apr;86(4):524-32.

<sup>61</sup> Lüthy C, Moser C, Oetliker O.: Acid-base determination of urine in 3 steps. Med Lab (Stuttg.) 1977 Jul;30(7):174-81.

<sup>62</sup> Goldberg G, Paul W, Gonick H.: A titrimetric method for determining organic acids and bases in urine. Clin Chem. 1966 Dec;12(12):830-6.

<sup>63</sup> Hastings AB, Sendroy J jr.: The effect of variation in ionic strength on the apparent first and second dissociation constants of carbonic acid. J Biol Chem. 1925 Jun;65:445-455.

<sup>64</sup> Edelmann CM jr., Rodriguez Soriano J, Boichis H, Gruskin AB, Acosta MI.: Renal bicarbonate reabsorption and hydrogen ion excretion in normal infants. J of Clin Invest 1967; 46(8):1309-17.

<sup>65</sup> Rivkees SA, Fine BP.: The reliability of calculated bicarbonate in clinical practice. Clin Pediatrics. 1987;27(5):240-242.

<sup>66</sup> Strife CF, Clardy CW, Varade WS, Prada AL, Waldo FB.: Urine-to-blood carbon dioxide tension gradient and maximal depression of urinary pH to distinguish rate-dependent from classical distal renal tubular acidosis in children. J of Pediatrics. 1993 Jan;60-65.

<sup>67</sup> Ramiro-Tolentino SB, Markarian K, Kleinman LI.: Renal bicarbonate excretion in extremely low birth weight infants. Pediatrics. 1996;98(2):256-261.

---

<sup>68</sup> nach einer mündlichen Mitteilung benützt auch Herr PD Dr. M.G. Bianchetti, Pädiatrische Nephrologie des Universitätsspital Bern, die von Hastings modifizierte H.-H.-Gleichung zur Berechnung des Bicarbonat-Gehaltes im Urin.

<sup>69</sup> Okeda K.: pH 7,4, pCO<sub>2</sub> of 40 mmHg as the normal values for the arterial blood. Kokyu To Junkan. 1977 Sept;25(9):812

<sup>70</sup> Rahn H.: Why are pH of 7,4 an pCO<sub>2</sub> of 40 normal values for man? Bull Eur Physiopathol Respir. 1976 Jan-Feb;12(1):5-13

<sup>71</sup> Dormandy TL.: Body pH. Lancet 1966 Apr 2;1(7440):755-9.

<sup>72</sup> Norby JG.: The origin and the meaning of the little p in pH. Trends Biochem Sci. 2000 Jan; 25(1):36-7.

<sup>73</sup> Lubran MM.: The meaning of pH. Ann Clin Lab Sci. 1973 May-Jun;3(3):181-6.

<sup>74</sup> Glass LB, Jenkins CA.: The ups and downs of serum pH. Nursing. 1983 Sep;13(9):34-41.

<sup>75</sup> Heisler N, Nissen P, Piiper J.: Behaviour of intracellular pH in exercised rat diaphragms with metabolic changes of extracellular pH. Pflugers Ach. 1972;332:Suppl 332:R72.

<sup>76</sup> Fogel BJ, Hook WA, Fife EH: Effekt of pH on human complement activity. Nature. 1966 Jun 25;210(43):1381.

<sup>77</sup> Rothe KF, Heisler N.: Intracellular acid-base balance; correlation between intra- and extracellular acid-base status during variation of plasma pH. Acta Anaesthesiol Belg. 1979; 30 Suppl:65-9.

<sup>78</sup> Messeter K, Siesjo BK.: Regulation of intracellular pH in the rat brain in chronic hypercapnia. Acta Physiol Scand. 1970 May;79(1):136-8.

<sup>79</sup> Mrzena B, Macek M, Vavra J, Zika K.: Changes in the acid-base equilibrium during muscular work in children. Cesk Pediatr. 1972 Aug;27(8):389-91.

<sup>80</sup> Story DA, Poustie S.: Agreement between two plasma bicarbonate assays in critically ill patients. Anaesth Intensive Care. 2000 Aug;28(4):399-402.

<sup>81</sup> Hultman E, Sahlin K.: Acid-base balance during exercise. Exerc Sport Sci Rev. 1980;8:41-128.

<sup>82</sup> Schaer M.: A practical review of simple acid-base disorders. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 1982 Aug;12(3): 439-52.

<sup>83</sup> Baumelou A, Hurault de Ligny B.: Acid-base equilibrium: control-studies. Soins. 1981 Feb 5;26(3):29-32.

<sup>84</sup> Russell CD.: Acid-base metabolism and the proton condition. J Theor Biol. 1968 May; 19(2):196-214.

---

<sup>85</sup> Paillard M, Leviel F.: pH regulation in the extra- and intracellular environment. Rev Prat. 1974 Mar 13;24(15):1317-23.

<sup>86</sup> Masoro EJ.: An overview of hydrogen ion regulation. Arch Intern Med. 1982 May;142(5):1019-23.

<sup>87</sup> Amiel C, de Rohan-Chabot P, Leviel F.: H<sup>+</sup>ion balance. Rev Prat. 1974 Mar 13;24(15):1301-6.

<sup>88</sup> Löffler G, Petrides P.: Physiolog. Chemie 4. Aufl. 1990. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

<sup>89</sup> Seal US.: The chemistry of buffers. Arch Intern Med. 1965 Nov;116(5):658-64.

<sup>90</sup> Karmann U, Held DR.: Equations treating the pH and (HCO<sub>3</sub>-) of buffered media as functions of pCO<sub>2</sub>. Respir Physiol. 1972 Jul;15(3):343-9.

<sup>91</sup> Bates RG.: Acids, bases and buffers. Ann NY Acad Sci. 1966 Apr 1;133(1):25-33.

<sup>92</sup> Mochizuki M, Tazawa H, Tamura M.: Mathematical formulation of CO<sub>2</sub> dissociation curve and buffer line of human blood at rest. JPN J Physiol. 1982;32(2):231-44.

<sup>93</sup> Cassel D, Rothman M.: Regulation of the intracellular pH in the presence and absence of bicarbonate buffers. J Basic Clin Physiol Pharmacol. 1990 Jan-Dec;1(1-4):393-8.

<sup>94</sup> Haber RJ.: A practical approach to acid-base disorders. West J Med. 1991 Aug;155(2):146-51.

<sup>95</sup> Flear CT, Covington AK, Stoddart JC.: Bicarbonate or CO<sub>2</sub>? Arch Intern Med. 1984 Nov;144(11):2285-7.

<sup>96</sup> Turakhia DP, Ramamoorthy K.: Mixed acid-base disorders. J Assoc Physicians India. 1985 May;33(5):369-70.

<sup>97</sup> Zhao J, Hogan EM, Bevensee MO, Boron WF.: Out-of-equilibrium CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-solutions and their use in characterizing a new K<sup>+</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> cotransporter. Nature. 1995 Apr 13;374(6523):636-9.

<sup>98</sup> Gross E, Hopfer U.: Effects of pH on kinetic parameters of the Na<sup>+</sup>-cotransporter in renal proximal tubule. Biophys J. 1999 Jun;76(6):3066-75.

<sup>99</sup> Blanchard A, Leviel F, Biachara M, Podevin RA, Paillard M.: Interactions of external and internal K<sup>+</sup> with K<sup>(+)</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-cotransporter of rat medullary thick ascending limb. Am J Physiol. 1996 Jul;271(1pt1):C218-25.

<sup>100</sup> Chen LK, Boron WF.: Acid extrusion in S3 segment of rabbit proximal tubule. I. Effect of bilateral CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Am J Physiol. 1995 Feb;268(2pt2):F179-92.

<sup>101</sup> Maren TH.: The kinetics of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-synthesis related to fluid secretion, pH control, and CO<sub>2</sub> elimination. Annu Rev Physiol. 1988;50:695-717.

- 
- <sup>102</sup> Slaughter BD, Osiecki HS, Cross RB, Budtz-Olsen O, Jedrzejczyk H.: The regulation of bicarbonate reabsorption. The role of arterial pH, pCO<sub>2</sub> and plasma bicarbonate concentration. *Pflugers Arch.* 1974 May 24;349(1):29-40.
- <sup>103</sup> Silverman DN.: Carbonic anhydrase catalyzed oxygen-18 exchange between bicarbonate and water. *Arch Biochem Biophys.* 1973 Apr;155(2):452-7.
- <sup>104</sup> Wistrand PJ, Knuutila KG.: Bovine lens carbonic anhydrases: purification and properties. *Exp Eye Res.* 1980 Mar;30(3):277-90.
- <sup>105</sup> Silverman DN, Vincent SH.: Proton transfer in the catalytic mechanism of carbonic anhydrase. *CRC Crit Rev Biochem.* 1983;14(3):207-55.
- <sup>106</sup> Furuki T, Sakurai M, Inoue Y.: The catalytic mechanism of carbonic anhydrase. *Tanpakushitsu Kakusan Koso.* 1995 Sep;40(12):1835-45.
- <sup>107</sup> Effros RM, Wasserman K.: Pulmonary carbonic anhydrase and the release of carbon dioxide from the blood. *Trans Assoc Am Physicians.* 1978;91:186-96.
- <sup>108</sup> Dodgson SJ, Gros G, Grawiec JA, Lin L, Bitterman N, Forster RE.: Comparison of 18O exchange an pH stop-flow assays for carbonic anhydrase. *J Appl Physiol.* 1990 Jun;68(6):2443-50.
- <sup>109</sup> Tu CK, Silverman DN.: Letter: The mechanism of carbonic anhydrase studied by 13C an 18Q labeling of carbon dioxide. *J Am Chem Soc.* 1975 Oct 1;97(20):5935-6.
- <sup>110</sup> Lindskog S, Coleman JE.: The catalytic mechanism of carbonic anhydrase. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1973 Sep;70(9):2505-8.
- <sup>111</sup> Wahlstrand T, Knuutila KG, Wistrand PJ.: A radioimmunosorbent technique for the assay of B- and C-types of carbonic anhydrase in human tissues. *Scand J Clin Lab Invest.* 1979 Oct;39(6):503-9.
- <sup>112</sup> Bitterman N, Lin L, Forster RE.: A micromethod for measuring carbonic anhydrase activity using 18O exchange between CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. *J Appl Physiol.* 1988 Oct;65(4):1902-6.
- <sup>113</sup> Tu C, Silverman DN.: Comparison of 18O exchange catalyzed by isoenzymes of carbonic anhydrase. *J Biol Chem.* 1977 May 25;252(10):3332-7.
- <sup>114</sup> Steiner H, Jonsson BH, Lindskog S.: The catalytic mechanism of human carbonic anhydrase C: inhibition of CO<sub>2</sub> hydratation and ester hydrolysis by HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. *FEBS Lett.* 1976 Feb 1;62(1):16-20.
- <sup>115</sup> Waters WE, Sussman M, Ascher AW.: Community study of urinary pH an osmolality. *Br J Prev Soc Med.* 1967 Jul;21(3):129-32.
- <sup>116</sup> Berg B.: U-pH as normal analysis procedure. *Lakartidningen.* 1980 Apr 9;77(15):1412-3.
- <sup>117</sup> Kagawa T, Mochizuki M.: Numerical solution of partial differential equations for CO<sub>2</sub> diffusion accompanying HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - shift in red blood cells. *Jpn J Physiol.* 1984;34(6):1029-47.

---

<sup>118</sup> Niizeki K, Mochizuki M, Kagawa T.: Secondary CO<sub>2</sub> diffusion following HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - shift across the red blood cell membrane. Jpn J Physiol. 1984;34(6):1003-13.

<sup>119</sup> Planichphant S.: Respiratory acidosis. J Med Assoc Thai. 1978 Nov;61(11):637-46.

<sup>120</sup> Yokoyama T.: Acid-base imbalance in pulmonary disorders. Nippon Rinsho. 1981 Nov;39(11):3478-82.

<sup>121</sup> Pocidalo JJ.: Acid-base equilibrium and hypercapnia (author's transl). Bull Eur Physiopathol Respir. 1976 Jan-Feb;12(1):71-6.

<sup>122</sup> MacDonald FM.: Respiratory acidosis. Arch Intern Med. 1965 Nov;116(5):689-98.

<sup>123</sup> Suwa K.: HCO<sub>3</sub> and base excess in respiratory acidosis. Kokyu To Junkan. 1980;28(7):713-7.

<sup>124</sup> Abrahamsen J, Norrie B, Andersen PK, Stokke DB, Nedergaard OA.: Carbon dioxide tensions in physiological salt solutions: direct measurements. Clin Chim Acta. 1989 Oct 31;185(1):1-6.

<sup>125</sup> Urrutia J.: Respiratory acidosis. Rev Med Chil. 1975 Aug;103(8):571-3.

<sup>126</sup> Mattos LU.: Respiratory acidosis. Rev Enferm Nov Dimens. 1978 Jul-Aug; 4(4):193-5.

<sup>127</sup> Lai YL, Martin ED, Attebery BA, Brown EB jr.: Mechanisms of extracellular pH adjustments in hypercapnia. Respir Physiol. 1973 Nov;19(2):107-14.

<sup>128</sup> Preisig P.: Renal physiology series: part 7 of 8: renal acidification. ANNA J. 1994 Aug;21(5):251-7;quiz 258-9.

<sup>129</sup> Kaehny WD.: Respiratory acid-base disorders. Med Clin North Am. 1983 Jul; 67(4):915-28.

<sup>130</sup> Walmsley RN, White GH.: Mixed acid-base disorders. Clin Chem. 1985 Feb;31(2):321-5.

<sup>131</sup> Adams LG, Polzin DJ.: Mixed acid-base disorders. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 1989 Mar;19(2):307-26.

<sup>132</sup> Masters P, Blackburn ME, Henderson MJ, Barrett JF, Dear PR.: Determination of plasma bicarbonate of neonates in intensive care. Clin Chem. 1988 Jul;34(7):1483-5.

<sup>133</sup> Lindinger MI, Franklin TW, Lands LC, Pedersen PK, Welsh DG, Heigenhauser GJ.: NaHCO(3) and KHCO(3) ingestion rapidly increases renal electrolyte excretion in humans. J Appl Physiol. 2000 Feb;88(2):540-50.

<sup>134</sup> van Buren M, Rabelink TJ, van Rijn HJ, Koomans HA.: Effects of acute NaCl, KCl and KHCO<sub>3</sub> loads on renal electrolyte excretion in humans. Clin Sci (Lond). 1992 Nov;83(5):567-74.

---

<sup>135</sup> Rothe KF, Harzmann R.: New aspects of acid-base balance. *Acta Anaesthesiol Belg.* 1983 Dec;34(4):309-17.

<sup>136</sup> Carson RI, Shapiro JI.: Acid-base disorders revisited. *West J Med.* 1992 Aug;157(2):197.

<sup>137</sup> Preuss HG.: Fundamentals of clinical acid-base evaluation. *Clin Lab Med.* 1993 Mar; 13(1):103-16.

<sup>138</sup> Russell CD.: Acid-base metabolism and the proton condition. *J Theor Biol.* 1968 May; 19(2):196-214.

<sup>139</sup> Chan YL, Biagi B, Giebisch G.: Control mechanisms of bicarbonate transport across the rat proximal convoluted tubule. *Am J Physiol* 1982;242:F532.

<sup>140</sup> Alpern RJ, Cogan MG, Rector FC jr.: Flow dependence of proximal tubular bicarbonate absorption. *Am J Physiol* 1983;245:F478.

<sup>141</sup> Sasaki S, Berry CA, Rector FC jr.: Effect of luminal and peritubular HCO<sub>3</sub> concentrations and pCO<sub>2</sub> on HCO<sub>3</sub> reabsorption in rabbit proximal convoluted tubules perfused in vitro. *J Clin Invest* 1982;70:639.

<sup>142</sup> Cogan MG.: Neurogenic regulation of proximal bicarbonate and chloride reabsorption. *Am J Physiol* 1986;250:F22

<sup>143</sup> Chan YL, Biagi B, Giebisch G.: Control mechanisms of bicarbonate transport across the rat proximal convoluted tubule. *Am J Physiol* 1982;242:F532.

<sup>144</sup> Alpern RJ, Cogan MG, Rector FC jr.: Flow dependence of proximal tubular bicarbonate absorption. *Am J Physiol* 1983;245:F478.

<sup>145</sup> Alpern RJ.: Bicarbonate-water interactions in the rat proximal convoluted tubule: An effect of volume flux on active proton secretion. *J Gen Physiol* 1984;84:753.

<sup>146</sup> Ötlicher O, Rossi E.: The influence of extracellular fluid volume on the renal bicarbonate threshold. A study of two children with Lowe's syndrome. *Pediatr Res* 1969;3:140.

<sup>147</sup> Sebastian A, Schambelan M, Lindenfeld S.: Amelioration of metabolic acidosis with fludrocortisone therapy in hyporeninemic hypoaldosteronism. *N Engl J Med* 1977;297:576.

<sup>148</sup> Garcia-Aust J, Good DW, Burg MB, Knepper MA.: Deoxycorticosterone-stimulated bicarbonate secretion in rabbit cortical collecting ducts: Effects of luminal chloride removal and in vivo acid loading. *Am J Physiol* 1985;249:F205.

<sup>149</sup> Stone DK, Seldin DW, Kokko JP, Jacobson HR.: Anion dependence of rabbit medullary collecting duct acidification. *J Clin Invest* 1983;71:1505.

<sup>150</sup> Ötlicher O, Hadorn B, Chatta A, Schultz S.: Secretin induces renal bicarbonate loss in man. *Biologie et Gastro-Enterologie* 1971;4:309.

- 
- <sup>151</sup> Baron D, Newman F, Warrick A.: The effects of secretin on urinary volume and electrolytes in normal subjects and patients with chronic pancreatic disease. *Experientia* 1958;14:30.
- <sup>152</sup> Viteria A, Poppell W, Lasater J, Dyck W.: Renal response to secretin. *J Appl Physiol* 1975;38(4):661.
- <sup>153</sup> Matheova E, Tischler V, Kahaneck D et al.: The effect of secretin on the renal excretion of electrolytes in patients with cystic fibrosis. *Acta Facult Med Univ Brunensis* 1977;58:309.
- <sup>154</sup> Christensen HN.: Proteins as buffers. *Ann N Y Acad Sci.* 1966 Apr 1;133(1):34-40.
- <sup>155</sup> Boyd WC.: A nomogram for phosphate buffers. *J Biol Chem.* 1965 Oct;240(10):4097-8.
- <sup>156</sup> Flynn GL.: Buffers - pH control within pharmaceutical systems. *J Parenter Drug Assoc.* 1980 Mar-Apr;34(2):139-62.
- <sup>157</sup> Doonan S.: Making and changing buffers. *Methods Mol Biol.* 1996;59:103-13.
- <sup>158</sup> Pitts RF.: Physiology of the kidney and body fluids. 2<sup>nd</sup> Edition. Year Book Medical Publisher, Inc. Chicago (1968).
- <sup>159</sup> Gamble JL, Ross GS, Tisdall FF.: The metabolism of fixed base during fasting. *J Biol Chem.* 1923;(57):633.
- <sup>160</sup> Gamble JL, Ross GS, Tisdall FF.: The metabolism of fixed base during fasting. *J Biol Chem.* 1923;(57):633.
- <sup>161</sup> Henderson LJ, Palmer WW.: On the several factors of acid excretion. *J Biol Chem.* 1914; (17):305.
- <sup>162</sup> Jørgensen K.: Titrimetric determination of the net excretion of acid/base in urine. *Scand J Clin Lab Invest.* 1957 Sep;287-291.
- <sup>163</sup> Gamble JL, Ross GS, Tisdall FF.: The metabolism of fixed base during fasting. *J Biol Chem.* 1923;(57):633.
- <sup>164</sup> Henderson LJ, Palmer WW.: On the several factors of acid excretion. *J Biol Chem.* 1914; (17):305.
- <sup>165</sup> Bjorn-Andersen H, Lauritzen M.: Über Säure- und Ammoniakbestimmung im Urin und ihre klinische Anwendung. *Ztschr. f physiol Chemie.* 1910;(64):21.
- <sup>166</sup> Sørensen SPL.: Enzymstudien I. Über die quantitative Messung proteolytischer Spaltungen. *Biochem Z* 7. 1908;45.
- <sup>167</sup> Henderson LJ, Palmer WW.: On the several factors of acid excretion. *J Biol Chem.* 1914; (17):305.
- <sup>168</sup> Jørgensen K.: Titrimetric determination of the net excretion of acid/base in urine. *Scand J Clin Lab Invest.* 1957 Sep;287-291.

- 
- <sup>169</sup> Sørensen SPL.: Enzymstudien I. Über die quantitative Messung proteolytischer Spaltungen. Biochem Z. 1908;7:45.
- <sup>170</sup> Chan JCM.: The rapid determination of urinary titratable acid and ammonium and evaluation of freezing as a method of preservation. Clin Biochem. 1972;(5):94-98.
- <sup>171</sup> Jørgensen K.: Titrimetric determination of the net excretion of acid/base in urine. Scand J Clin Lab Invest. 1957 Sep;287-291.
- <sup>172</sup> Kildeberg P.: Clinical acid-base physiology: Studies in neonates, infants and young children. 1968. Williams and Wilkins, Baltimore (Maryland).
- <sup>173</sup> Sørensen SPL.: Enzymstudien I. Über die quantitative Messung proteolytischer Spaltungen. Biochem Z 7. 1908;45.
- <sup>174</sup> Chan JCM.: The rapid determination of urinary titratable acid and ammonium and evaluation of freezing as a method of preservation. Clin Biochem. 1972;(5):94-98.
- <sup>175</sup> Lin SL, Chan JCM.: Urinary bicarbonate: A titrimetric method for determination. Clin Biochem. 1973;(6):207-210.
- <sup>176</sup> Van Slyke DD.: Studies of acidosis II: A method for determination of the net excretion of carbon dioxide and carbonates in solution. J Biol Chem. 1917;(30):347-350.
- <sup>177</sup> Van Slyke DD, Neill JM.: The determination of gases in blood and other solutions by vacuum extraction and manometric measurement. J Biol Chem. 1924;(61):523-575.
- <sup>178</sup> Gyory AZ, Edwards KDG.: Simultaneous titrimetric determination of bicarbonate and titratable acid of urine. Aust J exp Biol Med Sci. 1967;(45):141-147.
- <sup>179</sup> Pitts RF.: Physiology of the kidney and body fluids. Year Book Medical Publisher, Inc. Chicago. 1968.
- <sup>180</sup> Natelson S.: Microtechniques of clinical chemistry. 2<sup>nd</sup> Edition. Charles C Thomas, Springfield. 1963.
- <sup>181</sup> Hargreaves AB, Hargreaves CM.: Semimicro method for the determination of the pH and pCO<sub>2</sub> in blood. Hospital (Rio J). 1969 Jan;75(1):123-33.
- <sup>182</sup> Mohler JG, Mohler PA, Pallivathucal RG.: Failure of the serum CO<sub>2</sub> determined by automation to estimate the plasma bicarbonate. Scand J Clin Lab Invest Suppl.1987;188:61-7.
- <sup>183</sup> Tietz NW.: Comparison of calculated and experimental PCO<sub>2</sub> values. Ann Clin Lab Sci. 1973 Sep-Oct;3(5):341-4.
- <sup>184</sup> Fulop M, Fulop M.: Plasma bicarbonate and CO<sub>2</sub> tension. Ren Physiol. 1982;5(4):182-5.
- <sup>185</sup> Kost GJ, Trent JK, Saeed D.: Indications for measurement of total carbon dioxide in arterial blood. Clin Chem. 1988 Aug;34(8):1650-2.

- 
- <sup>186</sup> Albers C, Usinger W, Spaich P.: Effect of temperature on the intracellular CO<sub>2</sub> dissociation curve and pH. *Respir Physiol.* 1971 Jan;11(2):211-22.
- <sup>187</sup> Hastings AB.: Acid-base measurements in vitro. *Ann N Y Acad Sci.* 1966 Apr 1;133(1):15-24.
- <sup>188</sup> Honda Y.: Acid-base equilibrium theory. *Nippon Rinsho.* 1981 Nov;39(11):3377-89.
- <sup>189</sup> Settergren G, Gardeback M.: Acid-base balance. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1996 Jun;10(4):566-7
- <sup>190</sup> Coleman NJ, Houston L.: Demystifying acid-base regulation. *Aust Nurs J.* 1998 Mar;5(8):23-6.
- <sup>191</sup> Kassirer JP, Madias NE.: Respiratory acid-base disorders. *Hosp Pract.* 1980 Cec;15(12):57-9,65-71.
- <sup>192</sup> Iluchev D, Kirin I.: Quantitative analysis of metabolic compensation in respiratory acid-base disorders. *Folia Med (Plovdiv).* 1979;21(2):25-31.
- <sup>193</sup> Seyfried MT.: Recognizing respiratory acidosis and alkalosis. *RN.* 1974 Jul;37(7):48-9.
- <sup>194</sup> Honda Y.: pH, HCO<sub>3</sub>, BE. *Kokyu To Junkan.* 1982 May;30(5):519-20.
- <sup>195</sup> Robson JS, Bone JM, Lambie AT.: Intracellular pH. *Adv Clin Chem.* 1968;11:213-75.
- <sup>196</sup> Batlle DC, Alpern RJ.: Regulation of intracellular pH. Introduction. *Semin Nephrol.* 1991 Jan;11(1):1-2.
- <sup>197</sup> Butler TC, Waddell WJ, Poole DT.: The pH of intracellular water. *Ann N Y Acad Sci.* 1966 Apr 1;133(1):73-7.
- <sup>198</sup> Siesjo BK, Ponten U.: Intracellular pH - true parameter or misnomer? *Ann N Y Acad Sci.* 1966 Apr 1;133(1):78-86.
- <sup>199</sup> Hamm LL, Hering-Smith KS, Weiner ID.: Optical studies of intracellular pH in kidney cells in vitro. *Int Rev Exp Pathol.* 1996;36:161-73.
- <sup>200</sup> Perrin DD; Sayce IG.: A pH-titration cell for precise measurements. *Chem Ind.* 1966 Apr 16;16:661.
- <sup>201</sup> Hastings AB, Sendroy J jr.: The effect of variation in ionic strength on the apparent first and second dissociation constants of carbonic acid. *Journal of Biol Chem* 65-66. 1925 Aug-Dec;445-455.
- <sup>202</sup> Milner SR.: *Phil Mag.* 1912;xxiii, series 6:551.
- <sup>203</sup> Debye P, Hückel E.: *Physik Z.* 1923;xxiv:185.
- <sup>204</sup> Lewis GN, Randall M.: *Thermodynamics.* New York and London. 1923.

---

<sup>205</sup> Brönsted JN, La Mer VK: J Am Chem Soc. 1924;xlvi:555.

<sup>206</sup> Walker J, Cormack W.: J Chem Soc. 1900;lxxvii:5.

<sup>207</sup> Kendall J.: J Am Chem Soc. 1916;xxxviii:1480.

<sup>208</sup> Sørensen SPL, Linderström-Lang K.: Compt. rend. Lab. Carlsberg. 1924;(6):xv.

<sup>209</sup> Edelmann CM jr., Rodriguez Soriano J, Boichis H, Gruskin AB, Acosta MI.: Renal bicarbonate reabsorption and hydrogen ion excretion in normal infants. J of Clin Invest 1967; 46(8):1309-17.

<sup>210</sup> Ramiro-Tolentino SB, Markarian K, Kleinman LI.: Renal bicarbonate excretion in extremely low birth weight infants. Pediatrics. 1996;98(2):256-261.

<sup>211</sup> Chan JCM.: The rapid determination of urinary titratable acid and ammonium and evaluation of freezing as a method of preservation. Clin Biochem. 1972;(5):94-98.

<sup>212</sup> Reiter K.: Nierenfunktions-Parameter bei nierengesunden und nierenkranken Kindern. Dissertation. 1995:103-04.

---

## **Lebenslauf**

Name : Eva Wagner

Geburtsdatum: 29.10.1957

Geburtsort: München

Eltern: Vater: Adolf Wagner, ehem. Bankangestellter  
Mutter: Anneliese Wagner, Hausfrau

Wohnung: Hohenzollernstr. 74, 80801 München

Familienstand: verheiratet  
eine Tochter

Schulausbildung: 1964 - 1968 Grundschule  
1968 - 1977 Sophie-Scholl-Gymnasium, München  
Abschluß: Allgemeine Hochschulreife

Hochschulstudium: 1977 - 1985 Studienfächer Philosophie, Theaterwissenschaften, Geschichte,  
LMU-München

1993 - 2000 Humanmedizin, LMU-München  
Studienabschluß: 17.05.2000

Klinische Tätigkeit seit: 01.07.2000 Krankenhaus München-Neuperlach  
Innere Medizin, 3. Med. Abteilung  
(Endokrinologie und Angiologie)