

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit  
der Universität Würzburg

Poliklinik für Kieferorthopädie

Direktorin: Professor Dr. med. dent. Angelika Stellzig-Eisenhauer

---

**Temporale Eigenschaften ingressiver und egressiver  
Phonationsleistungen gesunder Neugeborener**

**Inaugural - Dissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Navid Sereschk

aus Landsberg am Lech

Würzburg, Dezember 2018

**Referentin:** Prof. Dr. rer. nat. Kathleen Wermke

**Koreferent:** Prof. Dr. med. Johannes Wirbelauer

**Dekan:** Prof. Dr. med. Matthias Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung:** 05.03.2019

**Der Promovend ist Zahnarzt**

# Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| <b>Inhaltsverzeichnis</b> .....   | <b>III</b> |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b> .....  | <b>VII</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b> .....  | <b>XI</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....  | <b>XIV</b> |
| <b>1 Einleitung</b> .....   | <b>1</b>   |
| <b>2 Material und Methoden</b> .....  | <b>11</b>  |
| 2.1 Probandenkollektiv .....  | 11         |
| 2.2 Datenbasis .....  | 13         |
| 2.3 Datenanalyse .....  | 18         |
| 2.3.1 Erstellung des Praat-Skripts .....  | 18         |
| 2.3.2 Testung des erstellten Praat-Skripts .....  | 20         |
| 2.4 Beschreibung des erstellten Messalgorithmus .....   | 21         |
| 2.5 Reliabilität .....  | 23         |
| 2.6 Statistische Auswertung .....   | 24         |
| <b>3 Ergebnisse</b> .....   | <b>26</b>  |
| 3.1 Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten .....  | 26         |
| 3.2 Auswertung auf Kindebene .....  | 28         |
| 3.2.1 Analyse der temporalen Eigenschaften der Lauterzeugung<br>während der Inspiration .....               | 28         |
| 3.2.1.1 Deskriptive Analyse der Inspirationslänge .....   | 28         |
| 3.2.1.2 Inspirationslänge differenziert nach den Probandengruppen   | 29         |
| 3.2.1.3 Inspirationslänge differenziert nach dem Geschlecht .....   | 31         |
| 3.2.1.4 Inspirationslänge differenziert nach dem Alter .....  | 32         |
| 3.2.1.4.1 Inspirationslänge differenziert nach dem Alter im<br>Probandengruppen-Vergleich .....             | 34         |
| 3.2.1.4.2 Inspirationslänge differenziert nach dem Alter im<br>Geschlechtsvergleich .....                   | 36         |
| 3.2.1.5 Inspirationslänge differenziert nach dem Geburtszeitpunkt in<br>Schwangerschaftswochen (vSSW) ..... | 38         |
| 3.2.1.6 Inspirationslänge differenziert nach dem Geburtsmodus .....   | 40         |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 3.2.2     | Analyse der Expirationslängen .....   | 41 |
| 3.2.2.1   | Deskriptive Analyse der Expirationslänge.....   | 41 |
| 3.2.2.2   | Expirationslänge differenziert nach den<br>Probandengruppen .....                                 | 42 |
| 3.2.2.3   | Expirationslänge differenziert nach dem Geschlecht.....   | 44 |
| 3.2.2.4   | Expirationslänge differenziert nach dem Alter .....   | 45 |
| 3.2.2.4.1 | Expirationslänge differenziert nach dem Alter im<br>Probandengruppen-Vergleich .....              | 46 |
| 3.2.2.4.2 | Expirationslänge differenziert nach dem Alter im<br>Geschlechtsvergleich.....                     | 48 |
| 3.2.2.5   | Expirationslänge differenziert nach dem Geburtszeitpunkt in<br>Schwangerschaftswochen (vSSW)..... | 50 |
| 3.2.2.6   | Expirationslänge differenziert nach dem Geburtsmodus .....  | 51 |
| 3.2.3     | Analyse der Gesamtlänge eines Einzelsignals .....   | 53 |
| 3.2.3.1   | Deskriptive Analyse der Gesamtlänge eines Einzelsignals ..  | 53 |
| 3.2.3.2   | Gesamtlänge der Einzelsignale differenziert nach den<br>Probandengruppen .....                    | 54 |
| 3.2.3.3   | Gesamtlänge der Einzelsignale differenziert nach dem<br>Geschlecht.....                           | 56 |
| 3.2.3.4   | Gesamtlänge der Einzelsignale differenziert nach dem Alter  | 57 |
| 3.2.3.4.1 | Gesamtlänge der Einzelsignale differenziert nach dem<br>Alter im Probandengruppen-Vergleich.....  | 59 |
| 3.2.3.4.2 | Gesamtlänge differenziert nach dem Alter im<br>Geschlechtsvergleich.....                          | 60 |
| 3.2.3.5   | Gesamtlänge differenziert nach dem Geburtszeitpunkt in<br>Schwangerschaftswochen (vSSW).....      | 62 |
| 3.2.4     | Analyse des Verhältnisses Inspirationslänge zu<br>Expirationslänge .....                          | 63 |
| 3.2.4.1   | Deskriptive Analyse des Verhältnisses Inspirationslänge zu<br>Expirationslänge .....              | 63 |
| 3.2.4.2   | Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge differenziert<br>nach den Probandengruppen ..... | 64 |
| 3.2.4.3   | Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge differenziert<br>nach dem Geschlecht.....        | 66 |
| 3.2.4.4   | Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge differenziert<br>nach dem Alter.....             | 67 |
| 3.2.4.5   | Korrelation zwischen Inspirationslänge und<br>Expirationslänge .....                              | 69 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.2.5   | Analyse des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen .....                          | 70 |
| 3.2.5.1 | Deskriptive Analyse des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen .....              | 70 |
| 3.2.5.2 | Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen differenziert nach den Probandengruppen ..... | 71 |
| 3.2.5.3 | Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen differenziert nach dem Geschlecht.....        | 73 |
| 3.2.5.4 | Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen differenziert nach dem Alter .....            | 74 |
| 3.2.5.5 | Korrelation zwischen Inspirationslänge und Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen.....                               | 76 |
| 3.2.6   | Analyse des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/Lges .....  | 77 |
| 3.2.6.1 | Deskriptive Analyse des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/Lges.....   | 78 |
| 3.2.6.2 | Längennormierter Quotient ( $I'/E'$ )/Lges differenziert nach den Probandengruppen .....  | 79 |
| 3.2.6.3 | Längennormierter Quotient ( $I'/E'$ )/Lges differenziert nach dem Geschlecht.....   | 80 |
| 3.2.6.4 | Längennormierter Quotient ( $I'/E'$ )/Lges differenziert nach dem Alter .....   | 82 |
| 3.2.6.5 | Längennormierter Quotient ( $I'/E'$ )/Lges differenziert nach dem Gestationsalter in Schwangerschaftswochen (vSSW).....           | 83 |
| 3.2.6.6 | Korrelation zwischen $I'/E'$ und der Gesamtlänge eines Einzelsignals (Lges).....  | 84 |
| 3.2.7   | Analyse des Verhältnisses der Übergangsphasen IE und EI2....  | 87 |
| 3.2.7.1 | Deskriptive Analyse des Verhältnisses der Übergangsphasen (IE zu EI2).....  | 87 |
| 3.2.7.2 | Verhältnis der Übergangsphasen (IE zu EI2) differenziert nach den Probandengruppen .....  | 89 |
| 3.2.7.3 | Verhältnis der Übergangsphasen (IE zu EI2) differenziert nach dem Geschlecht.....   | 90 |
| 3.2.7.4 | Verhältnis der Übergangsphasen (IE zu EI2) differenziert nach dem Alter .....   | 91 |
| 3.3     | Auswertung auf Signalebene .....  | 93 |
| 3.3.1   | Deskriptive Analyse der Inspirationslänge .....   | 93 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.3.2    | Deskriptive Analyse der Inspirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase IE .....      | 95         |
| 3.3.3    | Deskriptive Analyse der Expirationslänge .....  | 96         |
| 3.3.4    | Deskriptive Analyse der Expirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase EI2 .....      | 97         |
| 3.3.5    | Deskriptive Analyse der Gesamtlänge eines Einzelsignals.....  | 99         |
| 3.3.6    | Deskriptive Analyse des längennormierten Quotienten (I'/E')/Lges .....                              | 100        |
| 3.3.7    | Deskriptive Analyse der Länge der Übergangsphase IE.....  | 102        |
| 3.3.8    | Deskriptive Analyse der Länge der Übergangsphase EI2.....   | 103        |
| <b>4</b> | <b>Diskussion .....</b>   | <b>104</b> |
| 4.1      | Vergleich der Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten.....                                       | 104        |
| 4.2      | Dauer der Atemphasen und ihr Verhältnis zueinander .....  | 104        |
| 4.3      | Abhängigkeit vom Neugeborenen-Hörscreening-Test .....   | 110        |
| 4.4      | Geschlechts- und altersspezifische Analysen .....   | 111        |
| 4.5      | Zusammenhang zwischen Geburtszeitpunkt sowie Geburtsmodus und dem Atemverhalten der Probanden ..... | 115        |
| 4.6      | Einordnung der Ergebnisse und Ausblick .....  | 117        |
| <b>5</b> | <b>Zusammenfassung.....</b>   | <b>120</b> |
| <b>6</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b>   | <b>123</b> |
|          | <b>Danksagung.....</b>  |            |
|          | <b>Lebenslauf.....</b>  |            |

## Abbildungsverzeichnis

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1:  | Verschaltung der hemmenden und erregenden Neuronen im Atemzentrum mit dem Regelkreis des Hering-Breuer-Reflexes ( $R\alpha$ -Neuron = inspiratorisches Neuron; $R\beta$ -Neuron = zwischengeschaltetes Interneuron) ..... | 6  |
| Abbildung 2:  | Spezifische und unspezifische Reize auf das Atemzentrum ..  | 7  |
| Abbildung 3:  | Zeitdarstellung eines Einzelsignals (Wave-File) .....   | 14 |
| Abbildung 4:  | Vom Autor vorliegender Arbeit erstelltes und verwendetes Praat-Skript.....  | 19 |
| Abbildung 5:  | Beispiel einer für ein untersuchtes Einzelsignal ausgegebenen Textdatei .....   | 20 |
| Abbildung 6:  | Cursorsetzung im Textgrid (Praat).....  | 22 |
| Abbildung 7:  | Boxplot-Diagramm: Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten (IL) in der NHS_TU-Gruppe aufgeteilt nach dem Geschlecht.....  | 27 |
| Abbildung 8:  | Boxplot-Diagramm: Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten (IL) in der NHS_TA-Gruppe aufgeteilt nach dem Geschlecht.....  | 27 |
| Abbildung 9:  | Histogramm: Verteilung der gemessenen Inspirationslängen auf Kindebene.....   | 29 |
| Abbildung 10: | Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen in den Probandengruppen .....  | 30 |
| Abbildung 11: | Boxplot: Verteilung der Inspirationslänge nach dem Geschlecht.....  | 31 |
| Abbildung 12: | Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter ..  | 33 |
| Abbildung 13: | Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich .....   | 35 |
| Abbildung 14: | Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich.....  | 37 |
| Abbildung 15: | Streudiagramm: Korrelation zwischen Inspirationslänge und Schwangerschaftswoche (SSW), in der die Neugeborenen geboren wurden .....   | 39 |
| Abbildung 16: | Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen nach dem Geburtsmodus .....  | 40 |
| Abbildung 17: | Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Expirationslänge .....   | 42 |
| Abbildung 18: | Boxplot: Verteilung der Expirationslängen in den Probandengruppen .....   | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 19: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Geschlecht.....  | 44 |
| Abbildung 20: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter.....   | 45 |
| Abbildung 21: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich.....   | 47 |
| Abbildung 22: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich.....   | 49 |
| Abbildung 23: Streudiagramm: Korrelation zwischen Expirationslänge und Schwangerschaftswoche (SSW), in der die Neugeborenen geboren wurden.....                   | 51 |
| Abbildung 24: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Geburtsmodus .....   | 52 |
| Abbildung 25: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Gesamtlänge eines Einzelsignals.....   | 54 |
| Abbildung 26: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen der Einzelsignale in den Probandengruppen .....  | 55 |
| Abbildung 27: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen der Einzelsignale nach dem Geschlecht.....   | 56 |
| Abbildung 28: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter.....  | 58 |
| Abbildung 29: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich.....  | 59 |
| Abbildung 30: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich.....  | 61 |
| Abbildung 31: Streudiagramm: Korrelation zwischen Gesamtlänge der Einzelsignale und der Schwangerschaftswoche (SSW), in der die Neugeborenen geboren wurden ..... | 62 |
| Abbildung 32: Histogramm: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zur Expirationslänge (I/E).....  | 64 |
| Abbildung 33: Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) in den Probandengruppen .....                                     | 65 |
| Abbildung 34: Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) nach dem Geschlecht.....  | 66 |
| Abbildung 35: Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) nach dem Alter .....  | 68 |
| Abbildung 36: Streudiagramm: Korrelation zwischen Inspirations- und Expirationslänge .....  | 69 |
| Abbildung 37: Histogramm: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen (I'/E') .....                     | 71 |



|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Abbildung 38: | Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen ( $I'/E'$ ) in den Probandengruppen .....                     | 72 |
| Abbildung 39: | Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen ( $I'/E'$ ) nach dem Geschlecht .....                         | 73 |
| Abbildung 40: | Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich Übergangsphasen ( $I'/E'$ ) nach dem Alter .....                                  | 75 |
| Abbildung 41: | Streudiagramm: Korrelation zwischen Inspirationslänge + Übergangsphase IE ( $I'$ ) und Expirationslänge + Übergangsphase EI2 ( $E'$ ) .....                                  | 77 |
| Abbildung 42: | Histogramm: Verteilung des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/ $L_{ges}$ .....  | 78 |
| Abbildung 43: | Boxplot: Verteilung des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/ $L_{ges}$ in den Probandengruppen .....   | 79 |
| Abbildung 44: | Boxplot: Verteilung des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/ $L_{ges}$ nach dem Geschlecht .....   | 81 |
| Abbildung 45: | Boxplot: Verteilung des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/ $L_{ges}$ nach dem Alter .....  | 82 |
| Abbildung 46: | Streudiagramm: Korrelation zwischen dem längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/ $L_{ges}$ und der Schwangerschaftswoche (SSW), in der die Neugeborenen geboren wurden ..... | 84 |
| Abbildung 47: | Streudiagramm: Korrelation zwischen $I'/E'$ und Gesamtlänge eines Einzelsignals ( $L_{ges}$ ) .....  | 85 |
| Abbildung 48: | Streudiagramm: Korrelation zwischen Inspirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase IE ( $I'$ ) und Gesamtlänge eines Einzelsignals ( $L_{ges}$ ) .....        | 86 |
| Abbildung 49: | Streudiagramm: Korrelation zwischen Expirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase EI2 ( $E'$ ) und Gesamtlänge eines Einzelsignals ( $L_{ges}$ ) .....        | 86 |
| Abbildung 50: | Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte des Verhältnisses der Übergangsphasen ( $IE/EI2$ ) .....  | 88 |
| Abbildung 51: | Boxplot: Verteilung des Verhältnisses der Übergangsphasen ( $IE/EI2$ ) in den Probandengruppen .....   | 89 |
| Abbildung 52: | Boxplot: Verteilung des Verhältnisses der Übergangsphasen ( $IE/EI2$ ) nach dem Geschlecht .....   | 90 |
| Abbildung 53: | Boxplot: Verteilung des Verhältnisses der Übergangsphasen ( $IE/EI2$ ) nach dem Alter .....  | 92 |
| Abbildung 54: | Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Inspirationslänge .....   | 94 |

|  |     |
|--|-----|
| Abbildung 55: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Inspirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase IE (= I').....  | 96  |
| Abbildung 56: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Expirationslänge .....  | 97  |
| Abbildung 57: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Expirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase EI2 (= E') ..... | 98  |
| Abbildung 58: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Gesamtlänge eines Einzelsignals.....  | 100 |
| Abbildung 59: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte des Quotienten (I'/E')/Lges .....   | 101 |
| Abbildung 60: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Länge der Übergangsphase IE.....  | 102 |
| Abbildung 61: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Länge der Übergangsphase EI2.....   | 103 |

## Tabellenverzeichnis

|             |   |
|-------------|---|
| Tabelle 1:  | Übersicht über die Probandengruppen, die Gesamtanzahl der Probanden, die Anzahl der männlichen und weiblichen Probanden und die Probandenanzahl bezüglich des Alters .12  |
| Tabelle 2:  | Übersicht über das Geschlecht, das Alter zum Aufnahmezeitpunkt, dem Geburtszeitpunkt (in Schwangerschaftswochen = SSW), dem Geburtsmodus, die Anzahl der analysierten Laute, die Gesamtanzahl der im CDAP-Archiv verfügbaren Laute und die Anzahl der Inspirationslaute des Probandenkollektivs der Gruppe NHS_TU [N=41]..... 16  |
| Tabelle 3:  | Übersicht über das Geschlecht, das Alter zum Aufnahmezeitpunkt, dem Geburtszeitpunkt (in Schwangerschaftswochen = SSW), dem Geburtsmodus, die Anzahl der analysierten Laute, die Gesamtanzahl der im CDAP-Archiv verfügbaren Laute und die Anzahl der Inspirationslaute des Probandenkollektivs der Gruppe NHS_TA [N=41] ..... 17 |
| Tabelle 4:  | Ergebnisse der Testmessungen zur Überprüfung des erstellten Praat-Skripts .....21   |
| Tabelle 5:  | Messungen zur Reliabilitätsprüfung.....24   |
| Tabelle 6:  | Deskriptive Statistik der Inspirationslänge .....29   |
| Tabelle 7:  | Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter .....33   |
| Tabelle 8:  | Übersicht über den Median der Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich .....35  |
| Tabelle 9:  | Übersicht über den Median der Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich37  |
| Tabelle 10: | Deskriptive Statistik der Expirationslänge .....41  |
| Tabelle 11: | Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter .....46  |
| Tabelle 12: | Übersicht über den Median der Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich .....47   |
| Tabelle 13: | Übersicht über den Median der Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich.....49  |
| Tabelle 14: | Deskriptive Statistik der Gesamtlänge eines Einzelsignals ..53  |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabelle 15: | Übersicht über Median, Interquartilbereich und Extremwerte bzw. Ausreißer der Verteilung der Gesamtlängen der Einzelsignale in den Probandengruppen .....   | 55 |
| Tabelle 16: | Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung der Gesamtlängen der Einzelsignale nach dem Geschlecht .....   | 57 |
| Tabelle 17: | Übersicht über den Median der Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich .....  | 60 |
| Tabelle 18: | Übersicht über den Median der Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich .....  | 61 |
| Tabelle 19: | Deskriptive Statistik des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) .....   | 63 |
| Tabelle 20: | Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) in den Probandengruppen .....                                      | 65 |
| Tabelle 21: | Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) nach dem Geschlecht .....  | 67 |
| Tabelle 22: | Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) nach dem Alter .....  | 68 |
| Tabelle 23: | Deskriptive Statistik des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen (I'/E') .....  | 70 |
| Tabelle 24: | Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen (I'/E') in den Probandengruppen ..... | 72 |
| Tabelle 25: | Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich Übergangsphasen (I'/E') nach dem Alter .....                                   | 75 |
| Tabelle 26: | Deskriptive Statistik des längennormierten Quotienten (I'/E')/Lges .....  | 78 |
| Tabelle 27: | Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des längennormierten Quotienten (I'/E')/Lges in den Probandengruppen .....   | 80 |
| Tabelle 28: | Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des längennormierten Quotienten (I'/E')/Lges nach dem Geschlecht .....   | 81 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 29: | Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/Lges nach dem Alter .....  | 82  |
| Tabelle 30: | Deskriptive Statistik des Verhältnisses der Übergangsphasen ( $IE/EI2$ ).....  | 87  |
| Tabelle 31: | Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses der Übergangsphasen ( $IE/EI2$ ) nach dem Alter..... | 92  |
| Tabelle 32: | Deskriptive Statistik der Inspirationslänge .....  | 93  |
| Tabelle 33: | Deskriptive Statistik der Inspirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase $IE (= I')$ .....                        | 95  |
| Tabelle 34: | Deskriptive Statistik der Expirationslänge .....   | 96  |
| Tabelle 35: | Deskriptive Statistik der Expirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase $EI2 (= E')$ .....                        | 98  |
| Tabelle 36: | Deskriptive Statistik der Gesamtlänge eines Einzelsignals ..   | 99  |
| Tabelle 37: | Deskriptive Statistik des Quotienten ( $I'/E'$ )/Lges .....  | 100 |
| Tabelle 38: | Deskriptive Statistik der Länge der Übergangsphase $IE$ ....   | 102 |
| Tabelle 39: | Deskriptive Statistik der Länge der Übergangsphase $EI2$ ..  | 103 |

## Abkürzungsverzeichnis

|                |  |
|----------------|--|
| AGA            | appropriate for gestational age  |
| ANOVA          | analysis of variance = Varianzanalyse  |
| ANS = IRDS     | Atemnotsyndrom des Neugeborenen = infant respiratory distress syndrome (engl.) |
| APGAR          | Apgar-Score  |
| CHC            | Comprehensive Hearing Center   |
| CDAP           | Cry-Data-Analysis-Program (pw-project, Peter Wermke)                           |
| CPAP           | continuous positive airway pressure  |
| CSL            | Computer Speech Lab, Sprachanalysesoftware (KayPENTAX)                         |
| DRG            | Dorsale respiratorische Gruppe   |
| E              | Phonierte Expirationsphase   |
| E'             | Summe aus Expirationslänge und Länge der Übergangsphase EI2                    |
| EI2            | Übergangsphase zwischen Expiration und nachfolgender Inspiration               |
| Exsp.          | Lauterzeugung während Expiration   |
| F <sub>0</sub> | Grundfrequenz  |
| FS             | Frequenzspektrum   |
| H <sup>+</sup> | Wasserstoffion   |
| I              | Phonierte Inspirationsphase  |
| I'             | Summe aus Inspirationslänge und Länge der Übergangsphase IE                    |
| I2             | Nachfolgende phonierte Inspirationsphase                                       |
| IE             | Übergangsphase zwischen Inspiration und Expiration                             |

|                        |   |
|------------------------|---|
| IE/EI2                 | Verhältnis aus Länge der Übergangsphase IE und Länge der Übergangsphase EI2   |
| IL                     | Inspirationslaut  |
| Insp.                  | Lauterzeugung während vorangehender Inspiration   |
| Insp.2                 | Lauterzeugung während nachfolgender Inspiration   |
| I/E                    | Verhältnis aus Inspirationslänge und Expirationslänge   |
| I'/E'                  | Verhältnis aus Inspirationslänge und Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen  |
| (I'/E')/Lges           | Verhältnis aus Inspirationslänge und Expirationslänge einschließlich Übergangsphasen (I'/E') und der Gesamtlänge eines Einzelsignals (Lges) |
| I/I2                   | Verhältnis aus vorangehender Inspirationslänge und nachfolgender Inspirationslänge  |
| Lges                   | Gesamtlänge eines Einzelsignals   |
| m                      | männlich  |
| N                      | Anzahl der in die Statistik eingegangenen Fälle   |
| NHS                    | Neugeborenen-Hörscreening   |
| NHS_TA                 | Neugeborenen-Hörscreening-Test auffällig  |
| NHS_TU                 | Neugeborenen-Hörscreening-Test unauffällig  |
| pCO <sub>2</sub>       | Kohlenstoffdioxidpartialdruck   |
| pO <sub>2</sub>        | Sauerstoffpartialdruck  |
| PRG                    | Pontine respiratorische Gruppe  |
| r                      | Korrelationskoeffizient   |
| R <sub>α</sub> -Neuron | Inspiratorisches Neuron   |
| R <sub>β</sub> -Neuron | Zwischengeschaltetes Interneuron  |
| s                      | Sekunde   |

|      |   |
|------|---|
| SD   | Standardabweichung  |
| SSW  | Schwangerschaftswoche   |
| TG   | Textgrid  |
| U1   | Pädiatrische Vorsorgeuntersuchung 1                                 |
| U2   | Pädiatrische Vorsorgeuntersuchung 2                                 |
| VRG  | Ventrale respiratorische Gruppe                                     |
| vSSW | vollendete Schwangerschaftswoche                                    |
| w    | weiblich  |
| ZS   | Zeitsignal  |
| ZVES | Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und<br>Entwicklungsstörungen |



# 1 Einleitung

Die einzigartige Fähigkeit des Menschen zu sprechen und die modernen Sprachen der heutigen Zeit zu beherrschen, erfordert eine Fülle von physischen Fertigkeiten sowie komplexe kognitive Leistungen. Die Vorgänge, die zur Sprachevolution geführt haben, sind bis heute unverstanden und beschäftigen die Forscher auf diesem Gebiet intensiv. Anders als bei Knochen finden sich in der Paläoanthropologie für die Anfänge der Sprache keine Fossilien.

Eine Möglichkeit, zumindest Hinweise darauf zu erhalten, welche Mechanismen bei der frühen Evolution der Sprachfähigkeit eine Rolle gespielt haben könnten, liefern Tier-Mensch-Vergleiche und die Analyse der ontogenetischen Entwicklung beim Säugling. Die neuro-biologische Sprachforschung hat gezeigt, welche morphologischen und neuro-physiologischen Voraussetzungen die Fähigkeit zur Produktion von Vokalen und Konsonanten beim Menschen ermöglicht haben (z.B. CATFORD, 1977; LIEBERMAN, 1984; CATFORD, 1988; LIEBERMAN, 1993; KUHL, 2004; BOUCHON et al., 2015; NISHIBAYASHI & NAZZI, 2016; VON HOLZEN et al., 2018).

Dabei wurde ein wesentlicher Aspekt der Evolution der Sprache vergleichsweise wenig berücksichtigt, die Bedeutung der respiratorischen Kontrollfähigkeit (MACLARNON & HEWITT, 2004). Die fein abgestimmte Atmungskontrolle ist das primäre Element, um den Sprachfluss in sinnvolle Einheiten zu segmentieren und gibt so dem Sprecher die Möglichkeit Wörter, Phrasen, aber auch lange Sätze zu bilden (LIEBERMAN, 1985).

Durch sein spezifisches Atemmuster übertrifft der Mensch die Möglichkeiten der Lautproduktion nicht-humaner Primaten erheblich und ist als einziger Primat befähigt zu sprechen. Eine ausgedehnte Expiration während der Sprechatmung, kombiniert mit fein abgestimmten respiro-laryngealen Mechanismen und kognitiven Prozessen sowie die Möglichkeit zur Feinjustierung des Vokaltraktes liefern die Mittel, mit denen der Mensch höchst variable Lautsequenzen produzieren kann. Die rezenten nicht-humanen Primaten sind dagegen z.B. nicht in der Lage die Expirationsphase in dem Maße zu verlängern

wie es der Mensch kann und sind auf die Erzeugung eines Lautes (im Englischen call genannt) pro Atembewegung limitiert. Die Rate ihrer Lautsequenzen ist durch die maximal mögliche Rate an Ein- und Ausatmungen begrenzt (MACLARNON & HEWITT, 1999; MACLARNON & HEWITT, 2004). Die Expiration beim Menschen kann sich um die vier- bis sechsfache Länge von der nicht-humaner Primaten unterscheiden (MACLARNON & HEWITT, 2004). Daraus resultiert beim Sprechen ein ungleichmäßig segmentierter Atemzyklus, mit kurzer Inspirationsphase und ausgedehnter Expirationsphase, die sogenannte Sprechatmung des Menschen. Bei der Ruheatmung, die sich beim Mensch und anderen Primaten, wie z.B. den Galagos (Feuchtnasenasaffen) oder den Gorillas (Menschenaffen) ähneln, haben Inspiration und Expiration ungefähr die gleiche Dauer (MACLARNON & HEWITT, 2004).

Das Prinzip des segmentierten Atemzyklus oder Atemrhythmus beim Sprechen, das in der linguistischen Literatur auch als „breath group“ (LIEBERMAN, 1985, S. 32) oder „breathing cycle“ (MACLARNON & HEWITT, 2004, S. 183) bezeichnet wird, ist ein essentielles Prinzip für die Segmentierung des Sprachflusses. Aus ontogenetischer Sicht stellt sich die Frage ob die Atmung des Säuglings eher dem einfachen Muster der Affen folgt oder bereits Vorstufen der späteren Sprechatmung zeigt. LIEBERMAN (1985) postulierte, dass das Prinzip der „breath group“ schon während der ersten Schreie Neugeborener zu beobachten ist, auch wenn es in der Komplexität noch nicht so ausgereift ist wie beim Erwachsenen (LIEBERMAN, 1985).

Zur Geburt sind die artikulatorischen, respiratorischen und neurophysiologischen Kontrollmechanismen noch nicht vollständig ausgebildet. Dadurch weisen Neugeborene spezifische anatomische Unterschiede in ihrem Atem- und Vokalisationsapparat zum Erwachsenen auf. So zeigt der im Vergleich zum Erwachsenen kürzere supralaryngeale Vokaltrakt von Neugeborenen, der sich erst mit ungefähr 3 Monaten beginnt umzustrukturieren, eher Ähnlichkeiten mit nicht-humanen Primaten (LIEBERMAN & CRELIN, 1971; LIEBERMAN et al., 1972; BOSMA, 1975; GEORGE, 1978; LAITMAN et al., 1978).

Die lange und dünne Zunge der Neugeborenen, die keine zirkuläre Form wie beim Erwachsenen hat, nimmt die komplette Mundhöhle ein (NEAREY, 1978). Sie

ist durch ihre im Verhältnis zur relativ kleinen Mundhöhle enorme Größe in ihrer Bewegung eingeschränkt und lässt es, noch abgesehen von der neurophysiologischen Unreife der Artikulationsmechanismen, nicht zu feine Artikulationsbewegungen auszuführen. Neugeborene erzeugen anfangs nur also Wein- und Phonationslaute und velare Artikulationslaute, sogenannte Gurrlaute (FLETCHER, 1973).

Ein weiterer Unterschied im Vokalisationsapparat des Neugeborenen ist die stark abweichende Lage des Larynx vom Erwachsenen. Der Larynx des Neugeborenen befindet sich auf der Höhe zwischen 1. und 4. Halswirbel und steigt in den ersten Lebensmonaten langsam auf die Position zwischen 3. und 6. Halswirbel, die der Topographie des adulten Larynx entspricht, ab (GARDOSIK et al., 1980; PLOOG, 1985; 1989; GLÜCK, 1992; GRAU et al., 1995). Die Literatur ist sich über den genauen Zeitpunkt des Descensus laryngis, dem Absinken des Larynx, jedoch nicht einig. PLOOG (1989) beschreibt ihn bereits für die ersten drei Lebensmonate, laut LIEBERMAN (1985) findet er zu Beginn des 3. Lebensmonats statt und GRAU et al. (1995) nennen als Zeitraum des Descensus laryngis den 4. bis 6. Lebensmonat.

Der Atemapparat Neugeborener stellt sich vor allem durch einen differenten Aufbau des Brustkorbs zum Erwachsenen dar. Aufgrund der rechtwinkligen Stellung der Rippen zur Wirbelsäule und der vorwiegenden Zusammensetzung aus Knorpel ist die Form des Brustkorbs runder als beim Erwachsenen (OPENSHAW et al., 1984). Dadurch ist die Atemexkursion des Thorax bei Neugeborenen limitiert und das Brustkorbvolumen kann nicht wie beim Erwachsenen durch Anheben der Rippen erhöht werden (GAULTIER, 1995; OCZENSKI, 2012).

Eine wichtige Rolle innerhalb der Atemmechanik beim Erwachsenen spielt neben dem Brustkorb die Atemmuskulatur, die zusammen durch ihre Bewegungen das Lungenvolumen so einstellen, dass die für die Ventilation nötigen Druckunterschiede hergestellt werden. Während der Inspiration flacht sich das Diaphragma als Hauptatemmuskel durch Anspannung ab, um den Thorax zu vergrößern. Zusätzlich bewirken die Musculi intercostales externi durch ihre

Kontraktion die Rippenhebung. Bei der Expiration, die normalerweise passiv erfolgt, können zusätzlich die Musculi intercostales interni aktiviert werden und sorgen für eine Senkung der Rippen. Bei verstärkter Atmung können einige Muskeln der Hals-, Brust- sowie Bauchmuskulatur als sogenannte Atemhilfsmuskeln zur Unterstützung mitwirken (SILBERNAGL & DESPOPOULOS, 2001; SCHMIDT et al., 2011).

Da die Atemmuskulatur zur Geburt nicht vollständig entwickelt ist und mit dem Wachstum erst an Masse zunimmt sowie sich postnatal in ihrer Struktur verändert, sind Neugeborene in ihrer Atemmechanik eingeschränkt. So ermüdet das Zwerchfell schneller, da es im Vergleich zum Erwachsenen aus weniger als 10% Typ I-Muskelfasern besteht (KEENS et al., 1978) und auch dessen oxidative Kapazität zur Geburt geringer ist (SIECK & FOURNIER, 1991; SIECK et al., 1991; MANTILLA & SIECK, 2008; OCZENSKI, 2012).

Die neurale Steuerung der Atemtätigkeit wird, wie BIRUS et al. (2001), SILBERNAGL & DESPOPOULOS (2001) und SCHMIDT et al. (2011) beschreiben, durch das Atemzentrum in der Medulla oblongata des Gehirns bewerkstelligt.

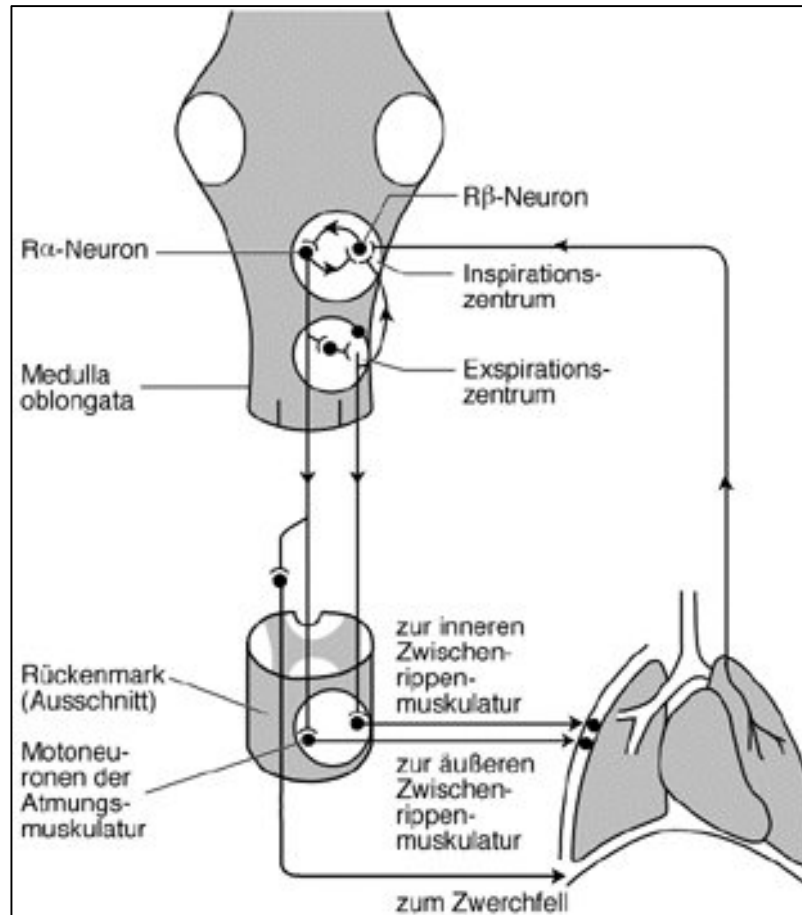
Alle Muskelkontraktionen der Atemmuskulatur werden durch eine rhythmische, zentralnervöse Aktivität inspiratorischer und expiratorischer Neuronen, die in einem komplexen Netzwerk verschaltet sind, gesteuert. Diese Neuronen beeinflussen sich durch alternierend auftretende Aktivitäts- und Hemmphasen, was in einem neuronalen Atemrhythmus mit drei Zyklusphasen resultiert.

Er gliedert sich in: Inspirationsphase, in der die Nerven der inspiratorischen Muskeln (Zwerchfell und Musculi intercostales externi) erregt werden und die Muskeln zur Kontraktion veranlassen; Postinspirationsphase, in der durch Nachlassen der Kontraktion der Einatemmuskulatur die passive Ausatmung beginnt; aktive Expirationsphase, in der die Ausatemmuskulatur (Musculi intercostales interni, Abdominal- und Lumbalmuskeln) aktiviert wird (SCHMIDT et al., 2011).

Das Atemzentrum liegt in der ventrolateralen Medulla oblongata des Gehirns und ist definiert als ventrale respiratorische Gruppe (VRG). Es teilt sich in einem rostral gelegenen Bötzing-Komplex, einem kaudal liegenden Prä-Bötzing-

Komplex und einer kaudal sich anschließenden VRG auf. In räumlicher Nähe befindet sich der Nucleus ambiguus, in dem die Motoneuronen des Pharynx und Larynx lokalisiert sind, sowie bronchomotorische Neurone und kardiale Vagusneurone, mit denen das VRG synaptisch gekoppelt ist und ein kardiorespiratorisches Regelsystem bildet. Neben der VRG gibt es Interneurone der dorsalen respiratorischen Gruppe (DRG), die sich im Nucleus tractus solitarius befinden. Sie sind jedoch an der Rhythmogenese der Atmung nicht beteiligt, sondern modifizieren den von der VRG vorgegebenen Atemrhythmus durch reflektorische Einflüsse. Ein Beispiel dafür ist der Hering-Breuer-Reflex, bei dem Lungendehnungssensoren die Atemtiefe steuern und die Atmung gehemmt wird, um eine Überdehnung der Lunge zu verhindern. Eine im Pons lokalisierte weitere Schaltstelle für überwiegend hemmende Einflüsse auf die Atmung, die als pontine respiratorische Gruppe (PRG) bekannt ist, liegt im Nucleus parabrachialis und Nucleus Kölliger-Fuse (BIRUS et al., 2001; SILBERNAGL & DESPOPOULOS, 2001; SCHMIDT et al., 2011).

Das Atemzentrum (VRG) oder auch teilweise Rhythmusgenerator genannt, wird rhythmusunabhängig und spontan aktiv durch die *Formatio reticularis* angetrieben, die wiederum modulierende Reize aus der Peripherie und anderen supraspinalen Gebieten (z.B. Hypothalamus) erhält. Die Signale der VRG werden dann über retikulospinale Bahnen auf Motoneuronen im Rückenmark projiziert, die über ihre Nervenfasern die Atemmuskeln versorgen (BIRUS et al., 2001; SILBERNAGL & DESPOPOULOS, 2001; SCHMIDT et al., 2011) (Abbildung 1).



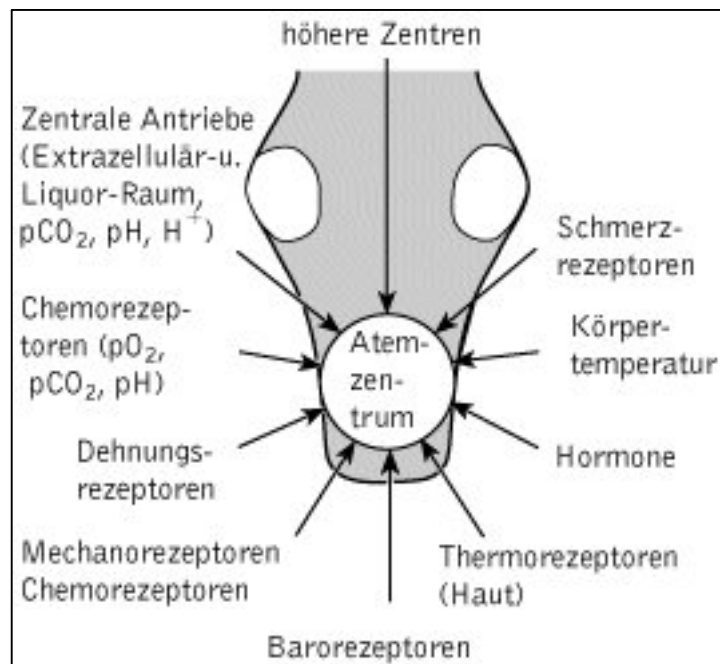
**Abbildung 1:** Verschaltung der hemmenden und erregenden Neuronen im Atemzentrum mit dem Regelkreis des Hering-Breuer-Reflexes (R $\alpha$ -Neuron = inspiratorisches Neuron; R $\beta$ -Neuron = zwischengeschaltetes Interneuron) (BIRUS et al., 2001) [Nachdruck genehmigt: Copyright 2001 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg]

Eine wichtige Rolle bei der Regulierung der Atmung spielen zudem periphere und zentrale Chemorezeptoren, die eine Veränderung der Blutgaskonzentrationen registrieren und durch Rückkopplung mit dem Atemzentrum eine reflektorische Ventilationsanpassung gewährleisten. Die peripheren oder arteriellen Chemorezeptoren an der Aorta und der Arteria carotis liefern vor allem Informationen über den Sauerstoffpartialdruck ( $pO_2$ ), wohingegen die zentralen Chemorezeptoren an der Medulla oblongata auf eine Änderung des Kohlenstoffdioxidpartialdrucks ( $pCO_2$ ) und der Wasserstoffionen- ( $H^+$ ) Konzentration im Liquor cerebrospinalis ansprechen (BIRUS et al., 2001; SILBERNAGL & DESPOPOULOS, 2001; SCHMIDT et al., 2011).

Auch bei körperlicher Arbeit funktioniert die Anpassung der Atmung durch einen Feedback-Mechanismus, indem Mechanorezeptoren im Bewegungsapparat Informationen übermitteln (SILBERNAGL & DESPOPOULOS, 2001).

Zusätzlich beeinflussen, wie in Abbildung 2 veranschaulicht, eine Vielzahl von weiteren Impulsen, wie Emotion, Schmerz, Temperaturreize oder Hormone, die entweder durch zentralnervöse Vernetzungen oder Rezeptoren dem Atemzentrum vermittelt werden, den Atemrhythmus (BIRUS et al., 2001; SILBERNAGL & DESPOPOULOS, 2001).

Das Atemzentrum in der Medulla oblongata ist schon zur Mitte der Gestation angelegt (ZEC & KINNEY, 2001; 2003), jedoch ist der Hirnstamm zur Geburt nicht komplett entwickelt und unterliegt noch strukturellen Veränderungen bis zum 1. Lebensjahr postnatal (DARNALL et al., 2006). Dadurch wird auch die Kontrolle des respiratorischen Systems beeinflusst und das Neugeborene erlangt erst über die Reifung eine hohe Stabilität in den respiratorischen Funktionen.



**Abbildung 2:** Spezifische und unspezifische Reize auf das Atemzentrum (BIRUS et al., 2001)  
[Nachdruck genehmigt: Copyright 2001 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg]

Neben einer funktionierenden Atmungskontrolle als Energiequelle der vokalen Lauterzeugung ist für eine normale Sprachentwicklung ein normales Hörvermögen von großer Bedeutung. Säuglinge lernen durch das Hören in der Umgebung, in der sie aufwachsen, Charakter und Lauteigenschaften der Muttersprache und trainieren durch das auditorische Feedback gleichzeitig die eigene Phonation und Artikulation. Es ist beschrieben, dass Säuglinge bereits im Alter von 3 Lebensmonaten das Intonationsmuster der mütterlichen Sprache imitieren (SANDNER, 1981). Das Team um Wermke am ZVES hat sogar bei Neugeborenen bereits formende Eigenschaften der Muttersprache auf die Melodie im Weinen entdeckt (MAMPE et al., 2009; WERMKE et al., 2016a; WERMKE et al., 2016b). Daher zeigen Säuglinge mit Hörschäden Abweichungen in ihrer Phonation und sind im Lautrepertoire eingeschränkt. Sie produzieren vorzugsweise niederfrequente Laute, die akustisch besser wahrzunehmen sind und fallen bei den ersten Babbellauten überwiegend mit artikulatorisch einfacher zu erzeugenden Vokalen sowie einem reduzierten Spektrum an Konsonanten auf (STOEL-GAMMON & OTOMO, 1986; PRATT, 2005).

Hörverlust wirkt sich auch auf das Atemverhalten während der Vokalisation aus. Bereits Untersuchungen von HUDGINS (1934; 1937; 1946) zeigten, dass hörbehinderte Kinder kurze und irreguläre Atemrhythmen aufweisen, die vor allem mit ungewöhnlich langen Atempausen auf eine insuffiziente respiratorische Kontrolle hinweisen können. Andere Autoren berichten auch über vermehrt längere Atempausen während der Vokalisation von hörbehinderten Kindern (JOHN & HOWARTH, 1965; BOONE, 1966; HOOD, 1966; HEIDINGER, 1972; BOOTHROYD et al., 1974; STEVENS et al., 1978; SHOJAEI et al., 2016). Das intakte Gehör unterstützt nämlich das Kind beim Wechsel von einem unwillkürlichen Atemmuster zu einem kontrollierten Atemrhythmus, der für die intentionale, geregelte Vokalisation wesentlich ist (PRATT, 2005).

Vor diesem Hintergrund war die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit die temporalen Eigenschaften von Atemzyklen bei der Erzeugung ingressiv, während der Inspiration erzeugter Laute und egressiv, während der Expiration erzeugter Laute Neugeborener zu untersuchen. Durch vorangegangene



Untersuchungen am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) (HASCHEMI, 2017; WERMKE et al., 2017) wurde festgestellt, dass der ingressive Laut ein regulär vorkommendes Phänomen in den Schreien gesund und normal entwickelter Säuglinge bis zum Alter von 10 Wochen ist. In diesen Vorarbeiten wurden ingressive Laute separat analysiert. In der vorliegenden Arbeit wird erstmalig die vollständige „breath group“ – gekoppelte Lauterzeugung objektiv untersucht. Die vorliegende Arbeit soll Referenzwerte für medizinisch unauffällige und physiologisch gereifte Neugeborene liefern. Um einen potenziellen Zusammenhang des Gehörsystems mit dem Atemrhythmus zu prüfen, wurde in dieser Studie das Resultat eines Neugeborenen-Hörscreenings (NHS) mitberücksichtigt. Im Ergebnis des NHS wurden zwei Gruppen gebildet: Gruppe 1 = NHS\_TU (unauffälliger Hörscreening-Test) und Gruppe 2 = NHS\_TA (auffälliger Hörscreening-Test). Dann wird der potenzielle Einfluss von Schalleitungsstörungen auf den Zyklus berücksichtigt.

Es sollten folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Sind regelmäßig vorkommende segmentierte Atemzyklen (Kapitel 2.4) bei den Neugeborenen vorhanden, und wenn ja, wie verhalten sich die einzelnen Atemphasen zeitlich zueinander?
- Zeigen sich Unterschiede in den temporalen Eigenschaften ingressiver und egressiver Phonationsleistungen zwischen im Neugeborenen-Hörscreening unauffälligen und auffälligen Neugeborenen?
- Lassen sich geschlechtsspezifische Charakteristika in den Messgrößen feststellen?
- Ist ein altersabhängiger Entwicklungsprozess bezüglich des Atemrhythmus über den Untersuchungszeitraum zu beobachten?
- Beeinflussen Geburtszeitpunkt (Schwangerschaftswoche) und Geburtsmodus (Spontangeburt, primäre und sekundäre Sectio) die zeitliche Dauer der Atemphasen?

## 2 Material und Methoden

Im Rahmen eines interdisziplinären Projektes zwischen dem ZVES, der Kinderklinik, der Frauenklinik und dem Comprehensive Hearing Center (CHC) der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen des Universitätsklinikums Würzburg wurde eine Pilotstudie zu Vokalisationseigenschaften von Neugeborenen mit und ohne Hörstörung durchgeführt (Ethiknummer: 145/12). Für diese Untersuchung erfolgten während des routinemäßig durchgeführten Neugeborenen-Hörscreening zur Früherkennung von Hörstörungen zusätzlich Tonaufnahmen der spontanen Lautäußerungen der Neugeborenen. In der vorliegenden Arbeit wurden die in dem genannten Projekt aufgenommenen und anonymisiert abgespeicherten Soundfiles / Begleitdaten ausgewertet.

Seit 1997 wird bei allen Neugeborenen, die in der Universitäts-Frauenklinik Würzburg zur Welt kommen, das Neugeborenen-Hörscreening als Vorsorgeuntersuchung angewandt, um eine vorhandene Hörminderung so früh wie möglich festzustellen. Hierbei werden auch bestehende Schallleitungsstörungen erfasst. In diesen Fällen erfolgt eine Kontrolluntersuchung mit 2,5 – 3 Monaten zum Ausschluss einer sensorineuralen Schwerhörigkeit. Bei allen hier untersuchten Neugeborenen der NHS\_TA – Gruppe lag keine sensorineurale Schwerhörigkeit vor.

### 2.1 Probandenkollektiv

Die Gesamtanzahl der im Projekt rekrutierten Probanden umfasst 82 Neugeborene, von denen 42 Mädchen und 40 Jungen sind. Diese Gesamtgruppe wurde, wie im Projekt vorgesehen, basierend auf den Ergebnissen des Neugeborenen-Hörscreenings in folgende Untergruppen eingeteilt:

- (1) Im Neugeborenen-Hörscreening-Test unauffällige Probanden (NHS\_TU – Gruppe),
- (2) Im Neugeborenen-Hörscreening-Test auffällige Probanden (NHS\_TA – Gruppe).

Die NHS\_TU – Gruppe setzt sich aus 25 Mädchen und 16 Jungen, insgesamt also 41 Neugeborenen zusammen.

Die NHS\_TA – Gruppe enthält ebenfalls 41 Neugeborene, 17 Mädchen und 24 Jungen (Tabelle 1).

Die Probanden befanden sich zum Zeitpunkt der Datenerhebung in einem Lebensalter von zwei, drei oder vier Tagen. Damit nur Spontanlaute aufgezeichnet werden konnten und so wenig Einfluss wie möglich auf die sensible frühe Mutter-Kind-Beziehung ausgeübt wurde, musste sich der Aufnahmezeitpunkt nach dem klinischen Alltag richten, sodass sich die drei oben genannten Aufnahmezeitpunkte ergaben. Zudem wurden, um eine potentielle Einflussnahme durch das Reifealter auszuschließen, nur termgeborene Probanden für das Projekt ausgewählt:

**Tabelle 1: Übersicht über die Probandengruppen, die Gesamtanzahl der Probanden, die Anzahl der männlichen und weiblichen Probanden und die Probandenanzahl bezüglich des Alters**

| Gruppe | Gesamtanzahl der Probanden | Männliche Probanden | Weibliche Probanden | Anzahl der Probanden im Alter [d] von |    |    |
|--------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|----|----|
|        |                            |                     |                     | 2                                     | 3  | 4  |
| NHS_TU | 41                         | 16                  | 25                  | 13                                    | 24 | 4  |
| NHS_TA | 41                         | 24                  | 17                  | 12                                    | 19 | 12 |

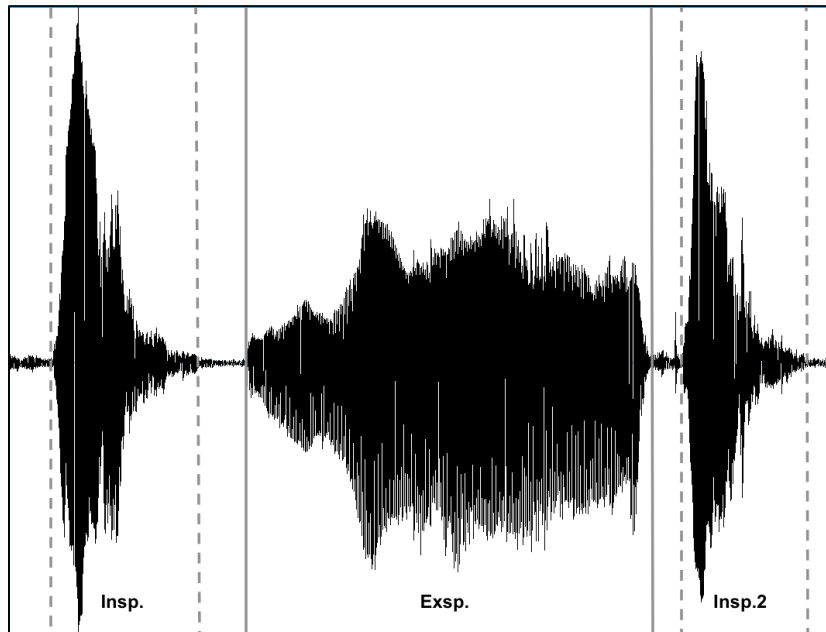
Zu beachten ist, dass in der NHS\_TA – Gruppe von zwei Probanden (AV und BC) (Tabelle 3) nochmal an einem weiteren Tag Tonaufnahmen gemacht wurden. Dadurch ergaben sich in Tabelle 1 in der NHS\_TA – Gruppe bei der Probandenanzahl bezüglich des Alters in Summe 43 Probanden. Die Tonaufnahmen, die bei diesen beiden Probanden am späteren Tag gemacht wurden, wurden aber bei der späteren Analyse aufgrund bestimmter Aussortierungskriterien nicht berücksichtigt (Kapitel 2.2).

### **Einschlusskriterien der Probanden**

- reife Neugeborene 37+0 bis 41+6 SSW
- Mehrling möglich
- kontrollierte Schwangerschaft mit unauffälligem Verlauf
- AGA (10. – 90. Perzentile)
- APGAR 5'  $\geq$  8, Umbilikalarterie pH  $>$  7,20
- unauffällige U1 (und U2)
- keine genetischen Abnormalitäten (keine Syndrome)
- keine vital bedrohliche Erkrankung
- keine behandlungsbedürftige Hyperbilirubinämie
- keine Intubation und Beatmung
- CPAP-Atemhilfe möglich
- keine Katecholamine, keine Antibiotikatherapie, keine Surfactantgabe
- keine symptomatische Hypoglykämie
- monolinguale deutsche Eltern
- Bereitschaft der Eltern bzw. des Sorgeberechtigten zur Teilnahme (schriftliche Einwilligungserklärung)

## **2.2 Datenbasis**

In der vorliegenden explorativen Pilotstudie wurden Aufnahmen des unter 2.1 beschriebenen Probandenkollektivs verwendet, die bereits als sogenannte Einzelsignale in Form von anonymisierten digitalen Wave-Dateien im Archiv des ZVES vorlagen. Ein Einzelsignal, wie in Abbildung 3 dargestellt, besteht hier aus einer Lautäußerung während der Expirationsphase (Exsp.) mit vorangehenden und darauffolgenden ingressiven Lautbildungen (Insp. und Insp.2).



**Abbildung 3: Zeitdarstellung eines Einzelsignals (Wave-File)**

**Lauterzeugung während** ⇒ **Insp. = vorangehende Inspiration (ingressiv),  
Exsp. = Expiration (egressiv),  
Insp.2 = nachfolgende Inspiration (ingressiv).**

Insgesamt lagen 3438 Einzelsignale vom gesamten Probandenkollektiv vor, 1742 von Mädchen und 1696 von Jungen. In Bezug auf die zwei verschiedenen Probandengruppen teilen sich 1715 Einzelsignale auf die Gruppe NHS\_TU und 1723 Einzelsignale auf die Gruppe NHS\_TA. In der NHS\_TU - Gruppe wurden 1079 Einzelsignale von Mädchen und 636 Einzelsignale von Jungen gemacht. Von den im Hörtest auffälligen Neugeborenen lagen 663 Einzelsignale von Mädchen und 1060 Einzelsignale von Jungen vor.

Im Rahmen einer Voranalyse erfolgte zunächst durch eine visuelle Analyse von Frequenzspektren der Einzelsignale, die im *Cry-DATA-Analysis-Programm (CDAP, Firma pw-project)* des ZVES vorliegen, eine Aussortierung der für die Analyse hier nicht geeigneten Einzelsignale. So wurden Einzelsignale, die nicht der Form hier definierter Einzelsignale (Abbildung 3) entsprachen, von der Analyse ausgeschlossen (Tabelle 2 und Tabelle 3). Des Weiteren wurden Einzelsignale mit Störgeräuschen und schlechter Qualität in der späteren Analyse nicht berücksichtigt. Danach standen 1545 Einzelsignale für die hier

durchgeführte Untersuchung zur Verfügung. Sie teilen sich in 777 Einzelsignale aus der NHS\_TU-Gruppe und in 768 Einzelsignale aus der NHS\_TA-Gruppe auf.

Tabelle 2 und Tabelle 3 liefern eine Übersicht über die Datenbasis des gesamten Probandenkollektivs.

**Tabelle 2: Übersicht über das Geschlecht, das Alter zum Aufnahmezeitpunkt, dem Geburtszeitpunkt (in Schwangerschaftswochen = SSW), dem Geburtsmodus, die Anzahl der analysierten Laute, die Gesamtanzahl der im CDAP-Archiv verfügbaren Laute und die Anzahl der Inspirationslaute des Probandenkollektivs der Gruppe NHS\_TU [N=41]**

| Proband | Geschlecht | Alter in [d] | SSW | Geburtsmodus     | Anzahl der analysierten Laute [N (%)] | Gesamtanzahl der Laute [N] | Einzel-signale mit Inspirationslauten [N (%)] |
|---------|------------|--------------|-----|------------------|---------------------------------------|----------------------------|---|
| AA      | m          | 3            | 37  | spontan          | 8 (26,7)                              | 30                         | 22 (73,3)                                     |
| AB      | m          | 3            | 41  | spontan          | 27 (87,1)                             | 31                         | 31 (100)                                      |
| AC      | w          | 3            | 38  | spontan          | 25 (78,1)                             | 32                         | 28 (87,5)                                     |
| AD      | m          | 2            | 39  | spontan          | 23 (71,9)                             | 32                         | 31 (96,9)                                     |
| AE      | w          | 2            | 40  | spontan          | 35 (58,3)                             | 60                         | 35 (58,3)                                     |
| AF      | w          | 3            | 38  | primäre Sectio   | 21 (21,0)                             | 100                        | 40 (40,0)                                     |
| AG      | w          | 4            | 39  | spontan          | 8 (22,2)                              | 36                         | 8 (22,2)                                      |
| AH      | w          | 2            | 39  | primäre Sectio   | 32 (82,1)                             | 39                         | 36 (92,3)                                     |
| AI      | w          | 3            | 40  | spontan          | 6 (10,7)                              | 56                         | 21 (37,5)                                     |
| AJ      | m          | 2            | 40  | spontan          | 30 (52,6)                             | 57                         | 47 (82,5)                                     |
| AK      | m          | 3            | 39  | spontan          | 23 (25,3)                             | 91                         | 39 (42,9)                                     |
| AL      | w          | 3            | 37  | spontan          | 11 (16,7)                             | 66                         | 26 (39,4)                                     |
| AM      | m          | 2            | 41  | spontan          | 18 (72,0)                             | 25                         | 18 (72,0)                                     |
| AN      | w          | 4            | 37  | spontan          | 10 (19,2)                             | 52                         | 15 (28,8)                                     |
| AO      | w          | 3            | 39  | spontan          | 20 (87,0)                             | 23                         | 20 (87,0)                                     |
| AP      | m          | 3            | 41  | sekundäre Sectio | 37 (86,0)                             | 43                         | 42 (97,7)                                     |
| AQ      | w          | 2            | 40  | sekundäre Sectio | 25 (80,6)                             | 31                         | 29 (93,5)                                     |
| AR      | m          | 2            | 40  | spontan          | 10 (43,5)                             | 23                         | 13 (56,5)                                     |
| AS      | m          | 3            | 38  | spontan          | 1 (2,4)                               | 41                         | 15 (36,6)                                     |
| AT      | w          | 3            | 38  | spontan          | 5 (20,8)                              | 24                         | 7 (29,2)                                      |
| AU      | m          | 3            | 39  | spontan          | 32 (65,3)                             | 49                         | 43 (87,8)                                     |
| AV      | m          | 4            | 39  | spontan          | 34 (82,9)                             | 41                         | 41 (100)                                      |
| AW      | w          | 2            | 39  | spontan          | 14 (25,5)                             | 55                         | 38 (69,1)                                     |
| AX      | w          | 2            | 38  | primäre Sectio   | 18 (100)                              | 18                         | 18 (100)                                      |
| AY      | w          | 3            | 41  | spontan          | 30 (76,9)                             | 39                         | 38 (97,4)                                     |
| AZ      | m          | 3            | 38  | spontan          | 6 (17,6)                              | 34                         | 31 (91,2)                                     |
| BA      | w          | 3            | 41  | spontan          | 43 (68,3)                             | 63                         | 54 (85,7)                                     |
| BB      | w          | 3            | 39  | primäre Sectio   | 8 (17,8)                              | 45                         | 9 (20,0)                                      |
| BC      | w          | 3            | 37  | sekundäre Sectio | 1 (3,8)                               | 26                         | 13 (50,0)                                     |
| BD      | m          | 3            | 40  | spontan          | 16 (32,7)                             | 49                         | 27 (55,1)                                     |
| BE      | w          | 2            | 40  | spontan          | 32 (69,6)                             | 46                         | 36 (78,3)                                     |
| BF      | w          | 4            | 40  | spontan          | 12 (63,2)                             | 19                         | 14 (73,7)                                     |
| BG      | w          | 3            | 39  | spontan          | 14 (36,8)                             | 38                         | 17 (44,7)                                     |
| BH      | w          | 2            | 40  | spontan          | 37 (68,5)                             | 54                         | 37 (68,5)                                     |
| BI      | w          | 3            | 41  | spontan          | 22 (71,0)                             | 31                         | 29 (93,5)                                     |
| BJ      | m          | 2            | 40  | spontan          | 1 (3,4)                               | 29                         | 4 (13,8)                                      |
| BK      | m          | 2            | 38  | spontan          | 8 (40,0)                              | 20                         | 8 (40,0)                                      |
| BL      | w          | 3            | 38  | sekundäre Sectio | 10 (29,4)                             | 34                         | 10 (29,4)                                     |
| BM      | m          | 3            | 39  | primäre Sectio   | 23 (56,1)                             | 41                         | 24 (58,5)                                     |
| BN      | w          | 3            | 39  | spontan          | 27 (50,9)                             | 53                         | 35 (66,0)                                     |
| BO      | w          | 3            | 40  | spontan          | 14 (35,9)                             | 39                         | 17 (43,6)                                     |



**Tabelle 3: Übersicht über das Geschlecht, das Alter zum Aufnahmezeitpunkt, dem Geburtszeitpunkt (in Schwangerschaftswochen = SSW), dem Geburtsmodus, die Anzahl der analysierten Laute, die Gesamtanzahl der im CDAP-Archiv verfügbaren Laute und die Anzahl der Inspirationslaute des Probandenkollektivs der Gruppe NHS\_TA [N=41]**

| Proband | Geschlecht | Alter in [d] | SSW | Geburtsmodus     | Anzahl der analysierten Laute [N (%)] | Gesamtanzahl der Laute [N] | Einzel Signale mit Inspirationslauten [N (%)] |
|---------|------------|--------------|-----|------------------|---------------------------------------|----------------------------|---|
| AA      | m          | 3            | 39  | spontan          | 21 (35,6)                             | 59                         | 26 (44,1)                                     |
| AB      | m          | 3            | 39  | primäre Sectio   | 18 (64,3)                             | 28                         | 21 (75,0)                                     |
| AC      | w          | 3            | 40  | spontan          | 21 (60,0)                             | 35                         | 25 (71,4)                                     |
| AD      | m          | 4            | 38  | spontan          | 4 (17,4)                              | 23                         | 13 (56,5)                                     |
| AE      | w          | 2            | 38  | spontan          | 20 (45,5)                             | 44                         | 24 (54,5)                                     |
| AF      | m          | 4            | 38  | primäre Sectio   | 4 (12,9)                              | 31                         | 10 (32,3)                                     |
| AG      | w          | 3            | 39  | primäre Sectio   | 0 (0,0)                               | 25                         | 2 (8,0)                                       |
| AH      | m          | 2            | 41  | spontan          | 15 (75,0)                             | 20                         | 17 (85,0)                                     |
| AI      | m          | 3            | 38  | primäre Sectio   | 1 (5,0)                               | 20                         | 3 (15,0)                                      |
| AJ      | w          | 2            | 38  | spontan          | 0 (0,0)                               | 13                         | 0 (0,0)                                       |
| AK      | m          | 3            | 40  | spontan          | 29 (50,0)                             | 58                         | 40 (69,0)                                     |
| AL      | m          | 2            | 40  | spontan          | 28 (77,8)                             | 36                         | 32 (88,9)                                     |
| AM      | w          | 3            | 39  | spontan          | 11 (40,7)                             | 27                         | 12 (44,4)                                     |
| AN      | m          | 3            | 41  | primäre Sectio   | 7 (33,3)                              | 21                         | 10 (47,6)                                     |
| AO      | m          | 3            | 41  | spontan          | 5 (11,6)                              | 43                         | 13 (30,2)                                     |
| AP      | m          | 3            | 38  | spontan          | 10 (25,0)                             | 40                         | 18 (45,0)                                     |
| AQ      | m          | 3            | 38  | sekundäre Sectio | 22 (81,5)                             | 27                         | 25 (92,6)                                     |
| AR      | w          | 3            | 40  | spontan          | 12 (44,4)                             | 27                         | 14 (51,6)                                     |
| AS      | w          | 2            | 39  | spontan          | 17 (81,0)                             | 21                         | 17 (81,0)                                     |
| AT      | m          | 3            | 41  | spontan          | 7 (41,2)                              | 17                         | 9 (52,9)                                      |
| AU      | m          | 4            | 41  | sekundäre Sectio | 10 (35,7)                             | 28                         | 10 (35,7)                                     |
| AV      | w          | 2            | 39  | spontan          | 47 (67,1)                             | 70                         | 50 (71,4)                                     |
| AW      | w          | 4            | 38  | spontan          | 0 (0,0)                               | 34                         | 2 (5,9)                                       |
| AX      | w          | 2            | 38  | spontan          | 0 (0,0)                               | 47                         | 0 (0,0)                                       |
| AY      | w          | 4            | 40  | sekundäre Sectio | 0 (0,0)                               | 36                         | 1 (2,8)                                       |
| AZ      | m          | 3            | 41  | sekundäre Sectio | 14 (51,6)                             | 27                         | 17 (63,0)                                     |
| BA      | w          | 2            | 41  | primäre Sectio   | 19 (31,1)                             | 61                         | 23 (37,7)                                     |
| BB      | w          | 4            | 38  | primäre Sectio   | 3 (15,8)                              | 19                         | 3 (15,8)                                      |
| BB      | m          | 4            | 38  | spontan          | 52 (98,1)                             | 53                         | 52 (98,1)                                     |
| BC      | m          | 2            | 37  | spontan          | 35 (76,1)                             | 46                         | 35 (76,1)                                     |
| BC      | m          | 3            | 37  | spontan          | 0 (0,0)                               | 132                        | 72 (54,5)                                     |
| BD      | w          | 3            | 41  | primäre Sectio   | 47 (88,7)                             | 53                         | 50 (94,3)                                     |
| BE      | w          | 4            | 40  | spontan          | 26 (72,2)                             | 36                         | 28 (77,8)                                     |
| BF      | w          | 4            | 39  | primäre Sectio   | 26 (63,4)                             | 41                         | 31 (75,6)                                     |
| BG      | m          | 2            | 40  | spontan          | 36 (92,3)                             | 39                         | 36 (92,3)                                     |
| BH      | w          | 2            | 39  | spontan          | 22 (47,8)                             | 46                         | 22 (47,8)                                     |
| BI      | m          | 2            | 39  | spontan          | 76 (85,4)                             | 89                         | 83 (93,3)                                     |
| BJ      | m          | 3            | 40  | spontan          | 18 (40,9)                             | 44                         | 22 (50,0)                                     |
| BK      | m          | 3            | 38  | sekundäre Sectio | 16 (64,0)                             | 25                         | 16 (64,0)                                     |
| BL      | m          | 3            | 38  | spontan          | 0 (0,0)                               | 28                         | 0 (0,0)                                       |
| BM      | m          | 4            | 36  | spontan          | 18 (27,3)                             | 66                         | 39 (59,1)                                     |
| BN      | m          | 4            | 40  | sekundäre Sectio | 44 (73,3)                             | 60                         | 49 (81,7)                                     |
| BO      | w          | 4            | 39  | spontan          | 7 (25,0)                              | 28                         | 15 (53,6)                                     |

## 2.3 Datenanalyse

### 2.3.1 Erstellung des Praat-Skripts

Ziel der Arbeit war die zeitliche Komponente des Phonationsprozesses und begleitender ingressiver Lauterzeugungen als Proxy für den Atemrhythmus zu untersuchen. Dazu wurden die verschiedenen Phasen während eines Einzelsignals (Definition Kapitel 2.2) zeitlich vermessen. Diese Vermessung wurde mit Hilfe der freeware Software *Praat* (BOERSMA & WEENINK, 2014), einer phonetischen Analysesoftware im Bereich der Sprach- und Kommunikationswissenschaften durchgeführt. Für die hier geplante Analyse musste der Autor der vorliegenden Arbeit ein eigenes Praat-Skript erstellen. „Skripte sind kleine 'Programme', vergleichbar mit Makros in anderen Programmen. Damit lassen sich z.B. fehlende Funktionen in Praat nachrüsten, umfangreiche Arbeitsabläufe können automatisiert werden und mit entsprechend komplexen Skripten können die Funktionen von Praat zu einer neuen, spezialisierten Anwendung kombiniert werden“ (MAYER, 2016b, S. 21). So wurde auch bei der vorliegenden Arbeit, um mögliche Messfehler bei manueller Datenübertragung zu vermeiden und zusätzlich eine Zeitersparnis zu erreichen, durch das eigene Skript eine automatische Berechnung von Zeitintervallen basierend auf manuell gesetzte Cursor ermöglicht. Für die Erstellung des Skripts informierte sich der Autor der vorliegenden Arbeit insbesondere auf der Website „Die Praatpfanne“ (MAYER, 2016a) und arbeitete sich in die theoretischen Grundlagen der Programmiersprache ein.

Nachfolgend ist das entworfene Skript dargestellt (Abbildung 4).

```
#Form für die Auswahl des Pfades
form Dateneingabe
  sentence Pfad_zu_den_Dateien F:\KAYDAT\06-PRAAT-RHYTHMUS\NHS_TA\BN-MARIUS\004-Tage\
endform

#Auswahl des TextGrids(muss im Objects-Fenster angeklickt sein)
dateiName$ = selected$("TextGrid")
select TextGrid 'dateiName$'

#Pfad und Dateiname werden im Kopf des Infofensters gespeichert
echo 'pfad_zu_den_Dateien$'
printline Dateiname: 'dateiName$'

#Kopfzeile der Tabelle
printline
printline Intervalle(Kategorie) 'tab$' Dauer(in s)

#Analyse

#Anzahl der Intervalle abfragen
noi = Get number of intervals... 1
#Die folgende Schleife (for...endfor) springt von Intervall zu Intervall
for n from 1 to noi
  #Label des aktuellen Intervalls abfragen
  label$ = Get label of interval... 1 n
  if label$ <> ""
    #Startzeitpunkt des aktuellen Intervalls abfragen
    start = Get start point... 1 n
    #Endzeitpunkt des aktuellen Intervalls abfragen
    end = Get end point... 1 n
    #Dauer berechnen (end-start)
    dauer = end-start
    #neue Zeile in das Infofenster schreiben
    printline 'label$' 'tab$' 'tab$' 'tab$' 'dauer'
  endif
endfor

#Möglicherweise existierende Datei (Intervalldaten) gleichen Namens wird gelöscht, danach neue Datei (Intervalldaten) abgespeichert
filedelete 'pfad_zu_den_Dateien$' 'dateiName$'.rhd.pra
fappendinfo 'pfad_zu_den_Dateien$' 'dateiName$'.rhd.pra

#TextGrid (Bild) wird abgespeichert
save as text file... 'pfad_zu_den_Dateien$' 'dateiName$'.rhd.pra

#Objects-Fenster wird gelöscht
select all
Remove
```

**Abbildung 4:** Vom Autor vorliegender Arbeit erstelltes und verwendetes Praat-Skript

In dem erstellten Skript wurden Einstellungen vorgenommen, die zu jedem untersuchten Einzelsignal eine Textdatei (Abbildung 5) mit den verschiedenen Zeitwerten der Phasen des inspiratorischen und expiratorischen Phonationsprozesses ausgibt sowie die erzeugten Dateien abspeichert. Dadurch lässt sich die durchgeführte Messung jeder Zeit reproduzieren und kontrollieren. Die in der Textdatei enthaltenen Messdaten wurden im Anschluss mit Hilfe einer automatischen Routine, die im CDAP-System des ZVES implementiert ist in eine tabellarische Form im Programm *Microsoft Excel (Microsoft Corporation)* importiert und zusammengestellt.

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel einer vom Programm Praat erzeugten Textdatei, die für jedes analysierte Einzelsignal ausgegeben wurde.

```
F:\KAYDAT\06-PRAAT-RHYTHMUS\NHS_TA\BC-████████\002-Tage\  
Dateiname:      BC00242c  
  
Intervalle(Kategorie)  Dauer(in s)  
I(2)                  0.21630512005510538  
I-E(2)                 0.07553555487519648  
E(2)                   0.6082394607636004  
E-I2(2)                0.05392005375463871  
I2(2)                  0.18486521635672015
```

**Abbildung 5:** Beispiel einer für ein untersuchtes Einzelsignal ausgegebenen Textdatei  
Es werden der Pfadname der Textdatei, der Dateiname des Einzelsignals, die inspiratorischen und expiratorischen Phasen bzw. Intervalle mit den dazugehörigen Kategorien (Kapitel 2.4) und die gemessenen Zeitwerte angegeben

### 2.3.2 Testung des erstellten Praat-Skripts

Bevor das Praat-Skript zur eigentlichen Datenanalyse verwendet wurde, erfolgte eine Testung und Kontrolle des Skripts. Es wurden 20 zufällig ausgewählte Einzelsignale mit Praat vermessen und die Zeitdauern durch das Skript automatisch berechnet. Zum Vergleich wurden dieselben Aufnahmen mit der Sprachanalysesoftware *Computerized Speech Lab (CSL, Modell 4500, KayPENTAX, USA)* ein zweites Mal vermessen und die Berechnung der Zeitdauern erfolgte hier manuell. Damit die Messgenauigkeit geprüft wird, wurden die gemessenen Werte miteinander verglichen und die mittleren Differenzen sowie die Standardabweichungen für jeden Abschnitt des Einzelsignals, wie in Tabelle 4 dargestellt, berechnet. Aus den Werten der einzelnen Abschnitte wurde zusätzlich das arithmetische Mittel 0,00474 s und die Standardabweichung 0,00218 s ermittelt.

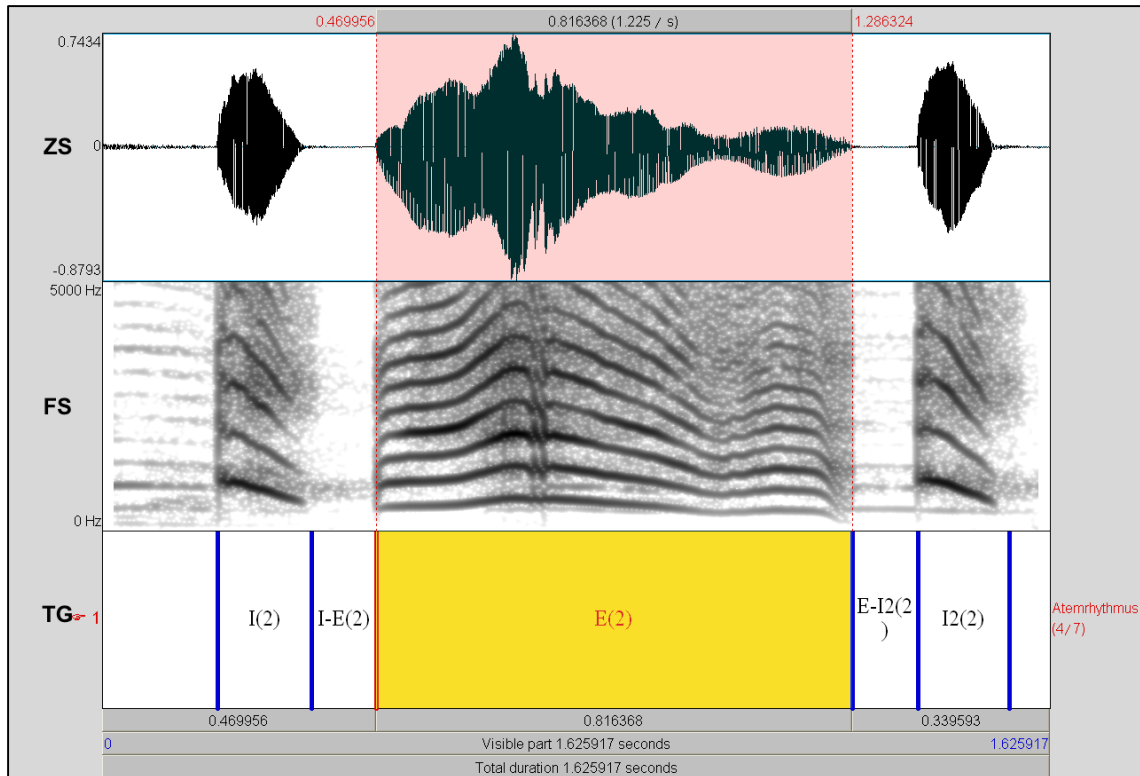
**Tabelle 4:** Ergebnisse der Testmessungen zur Überprüfung des erstellten Praat-Skripts

|                               | I       | IE      | E       | EI2     | I2      |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Mittlere Differenz [s]</b> | 0,00451 | 0,00570 | 0,00243 | 0,00314 | 0,00792 |
| <b>Standardabweichung [s]</b> | 0,00605 | 0,00571 | 0,00350 | 0,00459 | 0,00784 |

I = Lauterzeugung während Inspiration,  
 IE = Abschnitt zwischen ingressiven und egressiven Laut,  
 E = Lauterzeugung während Expiration,  
 EI2 = Abschnitt zwischen egressiven und nachfolgendem ingressiven Laut,  
 I2 = Lauterzeugung während nachfolgender Inspiration.  
 (Definition der Abschnitte Kapitel 2.4)

## 2.4 Beschreibung des erstellten Messalgorithmus

Zu jeder Wave-Datei wurde im Programm Praat, wie in Abbildung 6 veranschaulicht, ein so genanntes Text-Grid erzeugt, in dem es möglich war in einer dritten Ebene ergänzend zum Zeitsignal und Frequenzspektrum manuell Cursor zu setzen und die Bereiche zwischen den einzelnen Cursors zu benennen.



**Abbildung 6: Cursorsetzung im Textgrid (Praat)**  
**ZS = Zeitsignal, FS = Frequenzspektrum, TG = Textgrid.**

Die Cursorsetzung erfolgte durch die auditive und visuelle Beurteilung der Zeitsignale und Frequenzspektren.

Im Folgenden wird aus Gründen der Vereinfachung der Begriff Inspiration verwendet, wenn von ingressiven Lauten gesprochen wird, da die Inspirationslänge anhand der Lautbildung vermessen wurde.

Es wurden Cursor zur Begrenzung der vorangehenden Inspiration, der Expiration und der nachfolgenden Inspiration gesetzt, sodass sich verschiedene zeitliche Intervalle ergaben. Unterschieden wurde zwischen der Inspirationsphase I, dem Intervall zwischen Inspiration und Expiration IE, der Expirationsphase E und dem Abschnitt zwischen Ende Expiration und Anfang nächster Inspiration EI2. Bei einem Teil der Einzelsignale konnte noch ein weiterer Cursor am Ende der nachfolgenden Inspiration gesetzt werden. Somit ergab sich ein weiteres Intervall, das I2 genannt wurde und mit der vorangehenden Inspiration (I) verglichen werden konnte. Da die zweite vermessende Inspiration (I2) sich nach einer Voruntersuchung in den Werten von

der vorangehenden Inspiration (I) nicht unterschied und das Verhältnis aus ihren Werten ( $I/I_2$ ) annähernd immer 1 ergaben, wurde im Folgenden nur die vorangehende Inspirationsphase den Analysen unterzogen.

Da die Aufnahmequalität der Einzelsignale sich untereinander unterschied und es bei einigen Einzelsignalen nicht möglich war alle Cursor zu setzen, wurde eine Kategorisierung vorgenommen. Es folgte eine Unterteilung in drei Kategorien: Kategorie 2 entsprach „sehr gut“ vermessbaren Einzelsignale, Kategorie 1 „fragliche“ und Kategorie 0 „schlechte“ Signale. So wurde jedem einzelnen Intervall eine Kategorie beigelegt, indem die Zahl der entsprechenden Kategorie in runden Klammern hinter dem Buchstabenkürzel des Intervalls vermerkt wurde (Abbildung 6). Durch diese Kategorisierung konnte nach der Vermessung der Daten eine Aussortierung der Intervalle (0) vorgenommen werden bzw. eine Differenzierung zwischen Intervallen der Kategorie 1 und 2.

## 2.5 Reliabilität

Für die Gewährleistung der Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit des erstellten Messalgorithmus wurden 50 Einzelsignale der Datenbasis nochmals vermessen und die Zeitwerte mit den Originalmessungen, die in die statistische Auswertung eingegangen sind, verglichen. Es wurde darauf geachtet, dass die beiden Probandengruppen (NHS\_TU und NHS\_TA) sowie die Geschlechter durch eine gleiche Anzahl an Einzelsignalen repräsentiert waren. Außerdem wurde nur eine Aufnahme pro Neugeborenes ausgewählt, sodass insgesamt 50 Neugeborene in dieser Analyse vertreten waren. Für jede Phase wurde die mittlere Differenz sowie die Standardabweichung berechnet und in Tabelle 5 berichtet. Das arithmetische Mittel von allen Phasen beträgt 0,00661 s, die Standardabweichung ist 0,00410 s. Die erhaltenen Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen entsprechen bei der späteren Auswertung der Messdaten der Messgenauigkeitsgrenze.

**Tabelle 5: Messungen zur Reliabilitätsprüfung**

|                               | I       | IE      | E       | EI2     | I2      |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Mittlere Differenz [s]</b> | 0,00862 | 0,01164 | 0,00254 | 0,00222 | 0,00803 |
| <b>Standardabweichung [s]</b> | 0,01961 | 0,03608 | 0,00374 | 0,00284 | 0,01308 |

## 2.6 Statistische Auswertung

Nach der Vermessung der Einzelsignale wurden die erhaltenen Messwerte, wie in Kapitel 2.3.1 erklärt, in einer Excel-Tabelle zusammengeführt. Somit baute sich die Tabelle aus den Messwerten für jedes untersuchte Einzelsignal der Probanden auf. Für eine statistische kindbasierte Datenauswertung wurde eine zweite Excel-Tabelle zusammengestellt, in der pro Neugeborenes ein Mittelwert aus den verschiedenen Einzelsignalen für jede zu untersuchende Variable ermittelt wurde. Diese zwei Tabellen standen somit statistischen Tests, welche mit der Statistik-Software *SPSS (Version 23 & 24)* durchgeführt wurden, zur Verfügung.

Es erfolgten deskriptive und explorative Datenanalysen, um die Verteilungseigenschaften der untersuchten Variablen zu beschreiben. Dazu wurden statistische Größen wie z. B. der Mittelwert, die Standardabweichung, das Minimum, das Maximum und der Median berechnet. Zur Veranschaulichung wurden die Verteilungen der untersuchten Parameter in Form von Histogrammen und Boxplots graphisch dargestellt. Ein Boxplot wird in der vorliegenden Arbeit definiert als Box, welche vom unteren und oberen Quartil begrenzt wird. Diese Begrenzungen sind gleichzusetzen mit der 25. und 75. Perzentile. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand und in diesem Bereich liegen die mittleren 50% der Daten. In der Box wird durch eine durchgehende Linie der Median dargestellt. An beiden Enden der Box liegen in Verlängerung zwei so genannte Antennen, die auch als Whisker bezeichnet werden und mit einem Querstrich abschließen. Diese Querstriche repräsentieren den kleinsten (Minimum) und größten Wert (Maximum), solange keine Ausreißer vorliegen. Werte, die zwischen dem 1,5- und 3-fachem des Interquartilsabstands vom



unteren oder oberen Rand der Box entfernt liegen, werden als Ausreißer mit einem Kreis gekennzeichnet. Extreme Ausreißer, die mehr als das 3-fache des Interquartilsabstands von der unteren oder oberen Begrenzung der Box entfernt liegen, werden als Sternchen gezeichnet.

Zur Prüfung von statistisch signifikanten Ergebnissen wurden Mittelwertvergleichstests wie der t-Test, Mann-Whitney-Test und die ein- oder zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt.

Als Signifikanzniveau wurde für alle Tests  $p = 0,05$  bestimmt.

Für die gesamte statistische Datenanalyse wurden nur Messwerte, die der Kategorie 2 (Kapitel 2.4) zugehörig sind, verwendet. So verfolgte man das Ziel die zuverlässigsten Daten auszuwerten und die Ergebnisse nicht durch Variabilität in der Qualität zu beeinflussen. Dadurch wurden nicht alle zur Verfügung stehenden Daten in die Ergebnisse einbezogen, sondern eine inhaltlich sinnvolle Reduzierung der Datenanzahl vorgenommen.

Aufgrund der voreingestellten englischen Nomenklatur in der Statistik-Software *SPSS (Version 23 & 24)* wurde in allen Diagrammen, die in der vorliegenden Arbeit abgebildet sind, als Dezimaltrennzeichen ein Punkt anstelle eines Kommas verwendet.

## **3 Ergebnisse**

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung, wie in Kapitel 2.6 erklärt, dargestellt. Dabei erfolgte die Auswertung auf zwei unterschiedlichen Datenebenen, auf Kindebene und auf Signalebene. In der kindbasierten Analyse wurde für jedes Neugeborene ein arithmetischer Mittelwert für die Variablen der Messungen der einzelnen Aufnahmen gebildet. Als zweite Analyseebene wurde die Signalebene festgelegt. In diesem Teil wurden die Messgrößen der Einzelsignale betrachtet und es erfolgten deskriptive Analysen. Zusätzlich wurden Probandengruppen-, Geschlechts-, Alters- sowie teilweise Geburtszeitpunkt- (Schwangerschaftswoche) und Geburtsmodusunterschiede geprüft.

### **3.1 Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten**

Da die Vermessung der Einzelsignale durch visuelle und auditive Beurteilung ergänzt wurde, konnten in der vorliegenden Arbeit nur Einzelsignale, die hörbare Inspirations- und Expirationslaute beinhalten, analysiert werden.

In Abbildung 7 und Abbildung 8 sind die Auftrittshäufigkeiten von Inspirationslauten in den beiden Probandengruppen aufgeteilt nach dem Geschlecht in Form von Boxplot-Diagrammen dargestellt. Damit sollte überprüft werden, wie repräsentativ die hier analysierten Einzelsignale sind, indem die Auftrittshäufigkeit mit der von WERMKE et al. (2017) verglichen wird (Kapitel 4.1).

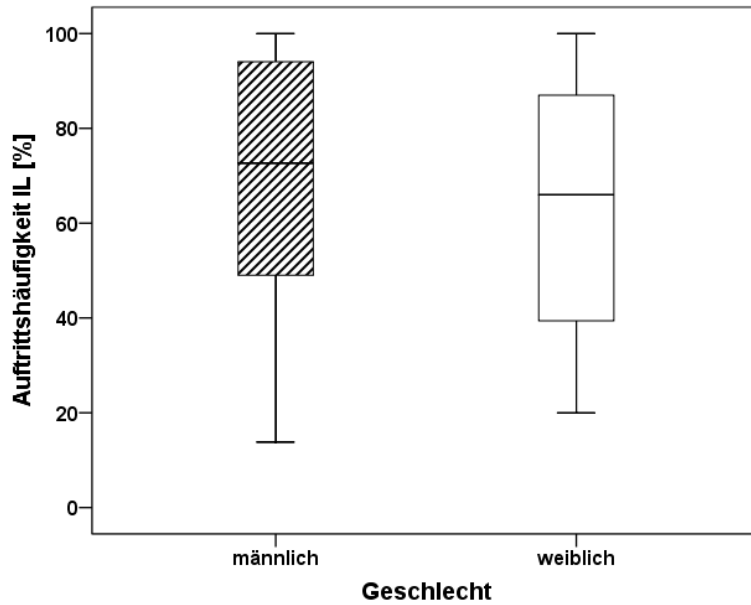


Abbildung 7: Boxplot-Diagramm: Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten (IL) in der NHS\_TU-Gruppe aufgeteilt nach dem Geschlecht

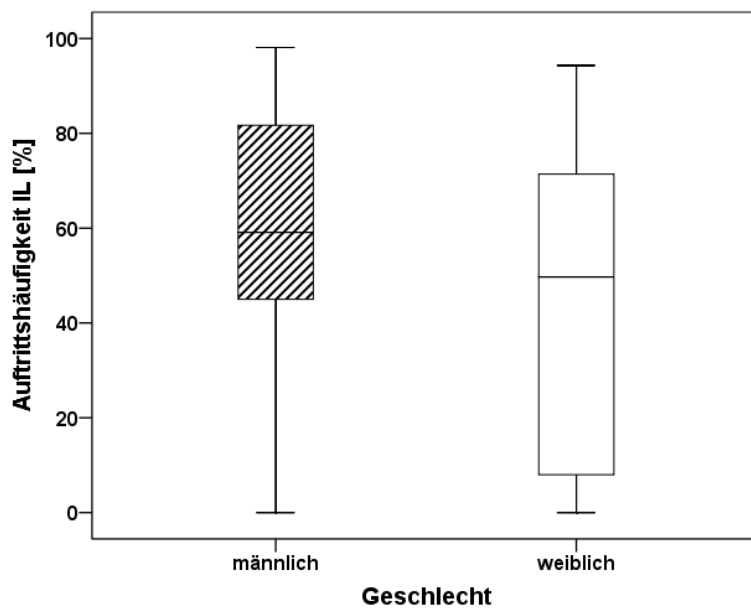


Abbildung 8: Boxplot-Diagramm: Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten (IL) in der NHS\_TA-Gruppe aufgeteilt nach dem Geschlecht

Anhand der Diagramme lassen sich im Untersuchungszeitraum vom 2. – 4. Lebensstag in der NHS\_TU-Gruppe folgende Werte für die mittlere Auftretshäufigkeit von Inspirationslauten erkennen: männliche Probanden: 69 ( $\pm 27$ ) %; weibliche Probanden: 61 ( $\pm 27$ ) % (Abbildung 7).

In der NHS\_TA-Gruppe liegen die Werte bei den männlichen Probanden bei 60 ( $\pm 26$ ) % und bei den weiblichen Probanden bei 44 ( $\pm 32$ ) % (Abbildung 8).

### **3.2 Auswertung auf Kindebene**

Wie oben erläutert, wurden die gemessenen Werte für die temporalen Eigenschaften der Lautproduktion für jedes Neugeborene gemittelt. Auf diese Weise konnten die Kindmittelwerte für die Testung auf statistische Gruppenunterschiede verwendet werden.

#### **3.2.1 Analyse der temporalen Eigenschaften der Lauterzeugung während der Inspiration**

Nachfolgend werden die deskriptive Statistik, die Probandengruppen-, Geschlechts- und Altersunterschiede sowie Unterschiede im Zeitpunkt der Geburt (Schwangerschaftswoche) hinsichtlich der Inspirationslänge vorgestellt. Weiterhin wurde der Geburtsmodus der Probanden als Co-Faktor zusätzlich untersucht.

##### **3.2.1.1 Deskriptive Analyse der Inspirationslänge**

Zuerst wurde die inspiratorische Phase des Atemzyklus anhand der vermessbaren Lauterzeugung als ihr Proxy untersucht. Die nachfolgende Tabelle 6 zeigt die deskriptive Statistik dieser Inspirationslängen. Im Mittel betrug die Inspirationslänge 0,199 s. Das Auftreten einer symmetrischen Verteilung der Daten wird mit der geringen Abweichung des Medianwertes (0,191 s) vom Mittelwert bekräftigt (Abbildung 9). Die längste Inspiration hatte eine Länge von 0,341 s, die kürzeste eine von 0,076 s. Beide Werte liegen genügend außerhalb der Messgrenzen (Kapitel 2.5).

Tabelle 6: Deskriptive Statistik der Inspirationslänge

|                   | Mittelwert<br>( $\pm$ SD) [s] | Median [s] | Minimum<br>[s] | Maximum<br>[s] |
|-------------------|-------------------------------|------------|----------------|----------------|
| Inspirationslänge | 0,199<br>( $\pm$ 0,055)       | 0,191      | 0,076          | 0,341          |

Im Folgenden werden in Abbildung 9 die Verteilungseigenschaften der Inspirationslängen zur Veranschaulichung als Histogramm mit vertikaler Orientierungslinie, repräsentativ für den Medianwert, dargestellt. Laut des Tests auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilk waren die Werte für die Inspirationslänge hinreichend normalverteilt ( $p = 0,591$ ).

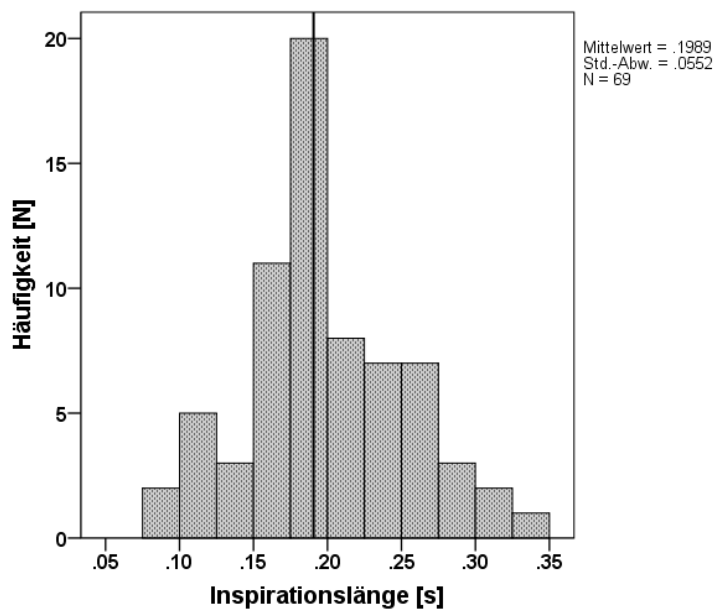


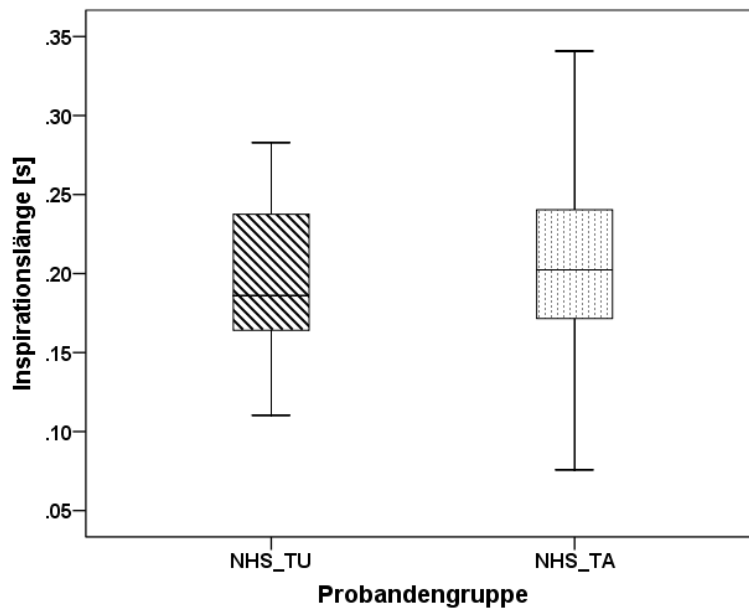
Abbildung 9: Histogramm: Verteilung der gemessenen Inspirationslängen auf Kindebene

### 3.2.1.2 Inspirationslänge differenziert nach den Probandengruppen

Es erfolgte der Vergleich der beiden Probandengruppen NHS\_TU und NHS\_TA bezüglich der Inspirationslänge. Von den je 41 Probanden beider Gruppen konnten von 35 Neugeborenen der NHS\_TU-Gruppe und von 34 Neugeborenen

der NHS\_TA-Gruppe Daten für die Inspirationslänge ausgewertet werden. Die restlichen Daten wurden aussortiert (Kapitel 2.4 und 2.6).

Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt die Verteilung der Inspirationslängen für beide Probandengruppen als Boxplot-Diagramm.



**Abbildung 10: Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen in den Probandengruppen**

Die Boxplots der beiden Probandengruppen zeigen hinsichtlich der Inspirationslänge keine großen Unterschiede. Das Ausmaß der Box der NHS\_TU-Gruppe ist geringfügig größer und der Interquartilbereich liegt zwischen 0,160 s und 0,240 s. In der NHS\_TA-Gruppe liegt die 25. Perzentile bei 0,171 s und die 75. Perzentile bei 0,243 s. In der NHS\_TU-Gruppe liegt der Median mit einem Wert von 0,186 s etwas niedriger als der Median der NHS\_TA-Gruppe, der 0,202 s beträgt. Das Maximum (0,283 s) ist bei der NHS\_TU-Gruppe im Vergleich zum Maximum (0,341 s) der NHS\_TA-Gruppe kleiner. Die Minima verhalten sich jedoch gegenläufig. In der NHS\_TU-Gruppe liegt das Minimum bei 0,110 s und ist somit größer als in der NHS\_TA-Gruppe, das ein Minimum von 0,076 s aufweist. Als Streuungsmaß für eine dimensionslose Vergleichsgröße zur Variabilität wurde der Variationskoeffizient für beide Gruppen berechnet und

zeigt, dass NHS\_TA mit einem Variationskoeffizienten von 31 % eine größere Streuung aufweist als NHS\_TU mit einem Variationskoeffizienten von 24 %.

Die Werte zeigen in beiden Gruppen nach Shapiro-Wilk eine Normalverteilung auf (NHS\_TU:  $p = 0,207$ ; NHS\_TA:  $p = 0,819$ ). Nach dem t-Test bestehen keine signifikanten Gruppenunterschiede bezüglich der Inspirationslänge ( $p = 0,400$ ).

### 3.2.1.3 Inspirationslänge differenziert nach dem Geschlecht

Als zweiter Untersuchungsfaktor hinsichtlich der Inspirationslänge wurde das Geschlecht der Probanden gewählt. In der Auswertung vertreten von den insgesamt 40 Jungen 35 das männliche Geschlecht sowie von den 42 Mädchen 34 das weibliche Geschlecht. Auch hier erklärt die Aussortierung der Daten, die in Kapitel 2.4 und 2.6 erklärt ist, die Reduzierung der Probandenanzahl.

Abbildung 11 stellt die Verteilung der gemessenen Inspirationslängen beider Geschlechter in einem Boxplot-Diagramm dar.

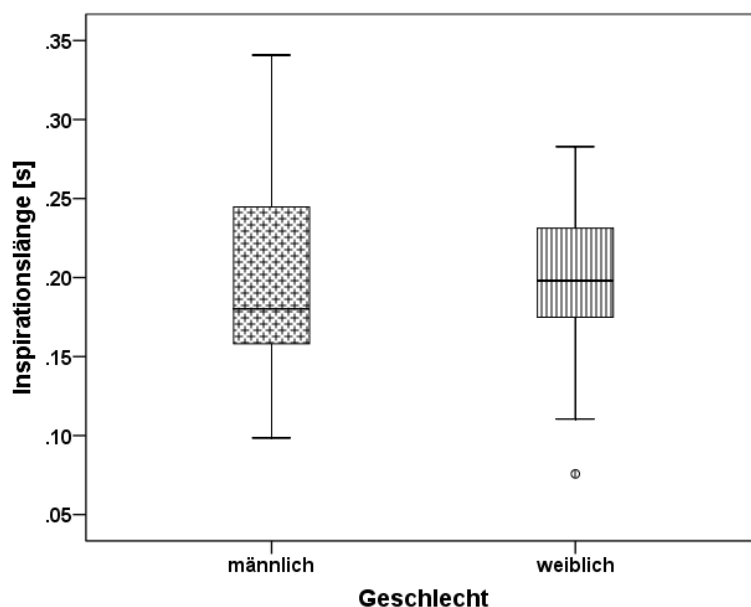


Abbildung 11: Boxplot: Verteilung der Inspirationslänge nach dem Geschlecht

Der Median der männlichen Probanden beträgt 0,179 s und ist somit geringfügig kleiner als der Median der weiblichen Probanden mit einem Wert von 0,198 s. Durch einen Interquartilbereich von 0,093 s zeigt sich die Box der Jungen in ihrer Ausdehnung größer als die der Mädchen (Interquartilbereich: 0,059 s). Bei den männlichen Neugeborenen liegen die Quartile bei 0,156 s und 0,249 s. Die Quartile der weiblichen Neugeborenen verhalten sich dazu anders und liegen in einer Höhe von 0,174 s und 0,233 s. Die längste Inspiration in der Gruppe der männlichen Probanden hat eine zeitliche Dauer von 0,341 s und die kürzeste eine Dauer von 0,099 s. In der Gruppe der weiblichen Probanden liegt das Maximum bei 0,283 s und das Minimum bei 0,076 s, das in Abbildung 11 als Ausreißer mit einem Kreis markiert ist. Der Variationskoeffizient für die männlichen Probanden beträgt 31 %, für die weiblichen Probanden 24 %.

Die Verteilungen stellen für die männlichen ( $p = 0,079$ ) sowie für die weiblichen ( $p = 0,483$ ) Neugeborenen nach Shapiro-Wilk eine hinreichende Normalverteilung dar. Die Inspirationslänge lässt jedoch nach dem t-Test keinen signifikanten Geschlechtsunterschied erkennen ( $p = 0,823$ ).

Da die Inspirationslänge eine gewisse Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (vSSW), in der die Neugeborenen geboren sind, aufweist (Kapitel 3.2.1.5), musste der Einfluss der vSSW auf einen möglichen Geschlechtsunterschied bezüglich der Inspirationslänge berücksichtigt werden. Nach Berücksichtigung des vSSW-Effekts auf das Geschlecht, sofern relevant (38-41 vSSW), lässt sich ebenfalls nach dem t-Test kein signifikanter Geschlechtsunterschied für die Inspirationslänge feststellen (SSW 38:  $p = 0,101$ ; SSW 39:  $p = 0,148$ ; SSW 40:  $p = 0,706$ ; SSW 41:  $p = 0,858$ ).

### **3.2.1.4 Inspirationslänge differenziert nach dem Alter**

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Messungen der Inspirationslänge in Abhängigkeit vom Alter der Probanden präsentiert. Wie in Kapitel 2.1 erläutert, befanden sich die Neugeborenen zum Aufnahmezeitpunkt der Einzelsignale in drei Altersklassen (2., 3. und 4. Tag). Die statistische Berechnung lieferte von 23 Probanden im Alter von 2 Tagen, von 34 Probanden im Alter von 3 Tagen und



von 12 Probanden im Alter von 4 Tagen Ergebnisse. Da nur Inspirationsphasen der Kategorie 2 ausgewertet wurden, kam es zu einer Reduzierung der Probandenanzahl in den verschiedenen Altersgruppen (Kapitel 2.4 und 2.6).

Die Boxplots in der nachfolgenden Abbildung 12 stellen diese Ergebnisse grafisch dar.

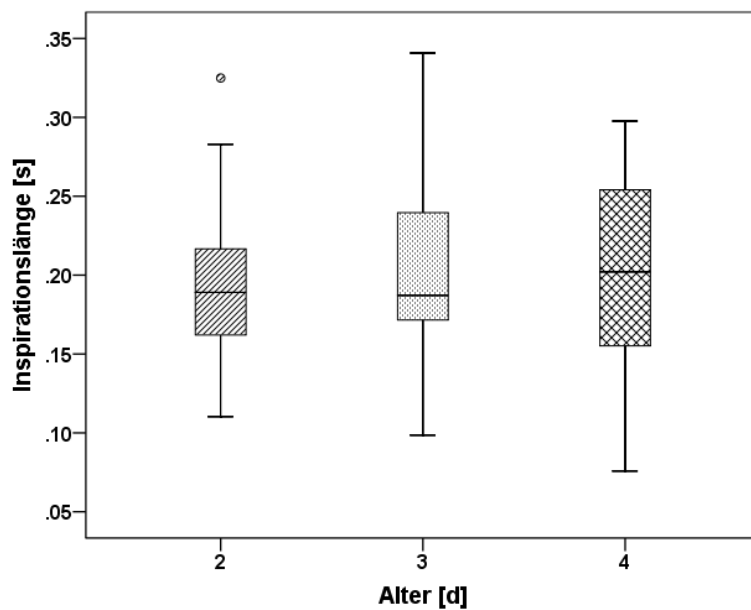


Abbildung 12: Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter

Tabelle 7: Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter

| Alter [d] | Median [s] | Minimum [s] | Maximum [s] |
|-----------|------------|-------------|-------------|
| 2         | 0,189      | 0,110       | 0,325       |
| 3         | 0,187      | 0,099       | 0,341       |
| 4         | 0,202      | 0,076       | 0,298       |

Anhand von Tabelle 7 ist zu erkennen, dass der Median im Alter von 2 und 3 Tagen annähernd gleich ist und zum 4. Tag steigt. Auffällig ist auch, dass mit zunehmendem Alter die Größe der Box zunimmt. Das Maximum der Inspirationslänge steigt vom 2. zum 3. Tag, aber fällt wieder zum 4. Tag. Das Minimum kennzeichnet sich durch einen kontinuierlichen Abfall von Tag zu Tag. Die Variationskoeffizienten zeigen am 2. (27 %) und 3. Tag (27 %) eine gleiche Variabilität in den Altersgruppen, am 4. Tag (33 %) ist die Streuung im Vergleich dazu etwas mehr.

Im Verlauf des Alters zeigen sich nach einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) keine signifikanten Mittelwertunterschiede in der Länge der inspiratorischen Phase des Atemzyklus ( $p = 0,749$ ). Durch den Levene-Test ist eine Varianzhomogenität gegeben [ $F_{(2; 66)} = 0,756$ ;  $p = 0,474$ ].

### ***3.2.1.4.1 Inspirationslänge differenziert nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich***

Um die Altersunterschiede in Bezug zur Inspirationslänge noch genauer zu betrachten, wurden diese im Gruppenvergleich der beiden Probandengruppen, NHS\_TU und NHS\_TA, geprüft.

Abbildung 13 zeigt die Gegenüberstellung der Probandengruppen im Altersverlauf.

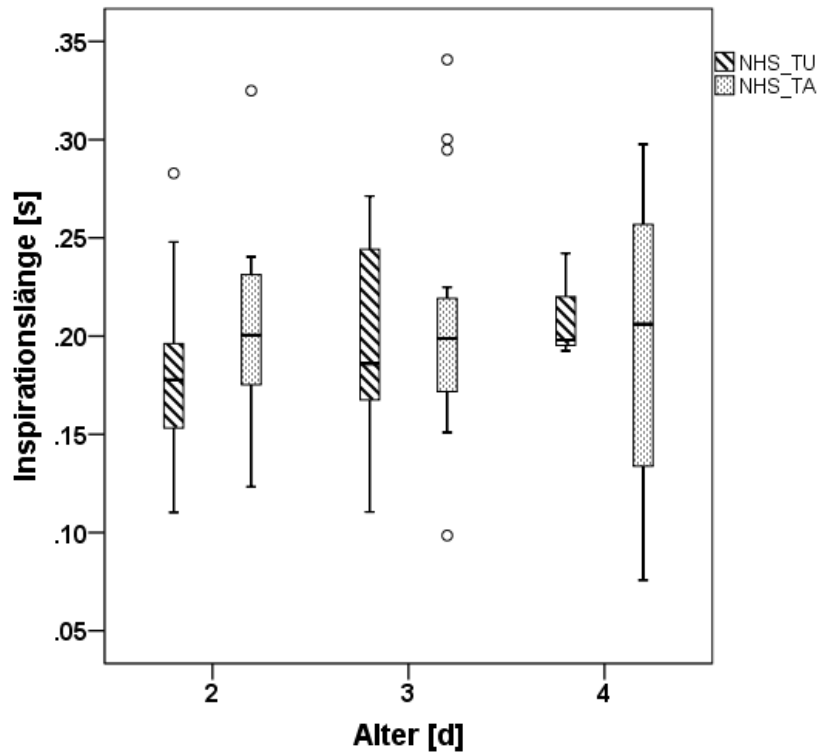


Abbildung 13: Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich

Tabelle 8: Übersicht über den Median der Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich

| Probandengruppe  | NHS_TU            | NHS_TA |
|------------------|-------------------|--------|
| <b>Alter [d]</b> | <b>Median [s]</b> |        |
| <b>2</b>         | 0,178             | 0,200  |
| <b>3</b>         | 0,186             | 0,199  |
| <b>4</b>         | 0,198             | 0,206  |

Zunächst sieht man, wie in Kapitel 3.2.1.2 keine großen Unterschiede zwischen den beiden Probandengruppen. Die im Neugeborenen-Hörscreening unauffälligen Probanden haben insgesamt eine leicht kürzere Inspirationsphase

als die im Hörscreening auffälligen Probanden. Dies lässt sich mit der Betrachtung der Mediane erklären (Tabelle 8).

Das Boxplot-Diagramm lässt im Probandengruppen-Vergleich eine ähnliche Entwicklung der Inspirationslänge im Altersverlauf, wie auch schon in Kapitel 3.2.1.4 festgestellt, erkennen. In beiden Gruppen gibt es einen Anstieg der mittleren (Median) Inspirationslänge vom 3. zum 4. Tag. In der NHS\_TU-Gruppe lässt sich zusätzlich eine Zunahme der mittleren (Median) Inspirationslänge vom 2. zum 3. Tag beobachten. Die Probanden der NHS\_TA-Gruppe im Alter von 2 und 3 Tagen haben annähernd eine identische Dauer der inspiratorischen Phase. Im Alter von 4 Tagen nimmt die Inspiration wieder an Länge zu. Auffällig ist am 2. Tag, dass beide Gruppen einen Ausreißer nach oben haben (NHS\_TU: 0,283 s; NHS\_TA: 0,325 s). Weitere Ausreißer sind im Alter von 3 Tagen nur in der NHS\_TA-Gruppe zu beobachten. Hier liegt das Maximum bei 0,341 s und das Minimum bei 0,096 s.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) berichtet von keiner Signifikanz bei Probandengruppenunterschieden im Altersverlauf bezüglich der Inspirationslänge ( $p = 0,661$ ). Der Levene-Test liefert eine Gleichheit der Varianzen [ $F_{(5; 63)} = 1,256$ ;  $p = 0,294$ ].

### ***3.2.1.4.2 Inspirationslänge differenziert nach dem Alter im Geschlechtsvergleich***

Als weitere Komponente wurde das Geschlecht der Probanden zur Prüfung von Unterschieden der Inspirationslänge im Altersverlauf miteinbezogen.

Das nachfolgende Boxplot-Diagramm (Abbildung 14) stellt diese Unterschiede grafisch dar.

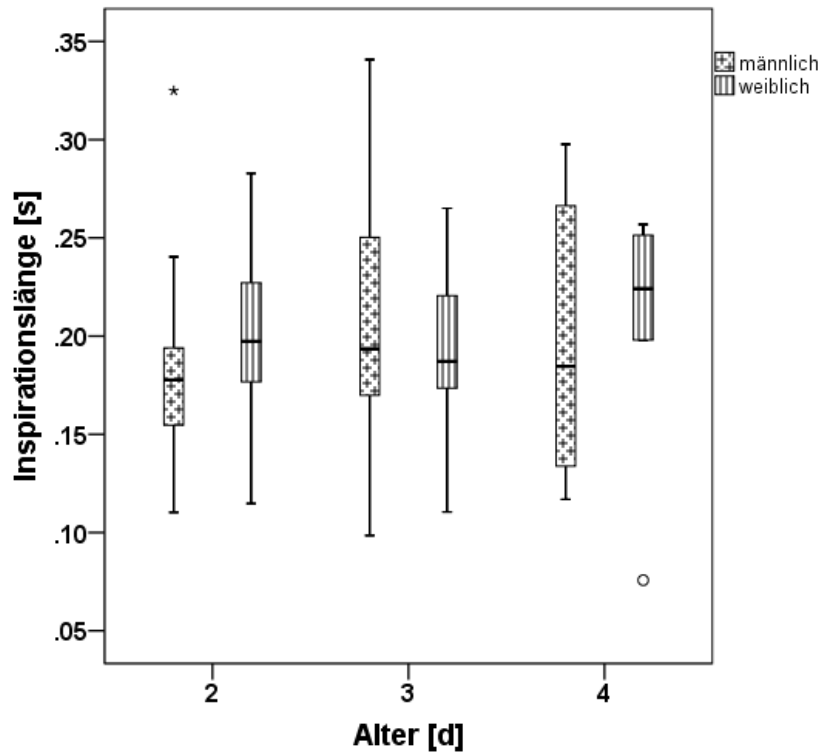


Abbildung 14: Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich

Tabelle 9: Übersicht über den Median der Verteilung der Inspirationslängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich

| Geschlecht | männlich   | weiblich |
|------------|------------|----------|
| Alter [d]  | Median [s] |          |
| 2          | 0,178      | 0,194    |
| 3          | 0,194      | 0,187    |
| 4          | 0,185      | 0,224    |

Bis auf den 3. Tag haben die männlichen Probanden im Mittel (Median) eine leicht kürzere Inspirationslänge als die weiblichen Probanden. Der Median der männlichen Probanden zeigt erst einen Anstieg vom 2. zum 3. Tag und fällt wieder zum 4. Tag. Bei den Mädchen ist ein gegensätzlicher Verlauf zu

beobachten, indem der Median vom 2. zum 3. Tag sinkt und wieder zum 4. Tag steigt (Tabelle 9). Des Weiteren ist am 2. Tag bei den Jungen ein Extremwert (0,325 s) sowie am 4. Tag ein Ausreißer bei den Mädchen (0,075 s) zu erkennen. Auffällig ist bei diesen Mädchen, dass das Ende der unteren Antenne fast mit der 25. Perzentile (0,198 s) zusammenfällt.

Es besteht nach dem Levene-Test eine Varianzhomogenität in den Verteilungen [ $F_{(5; 63)} = 0,913$ ;  $p = 0,478$ ], jedoch sind keine signifikanten Geschlechtsunterschiede im Altersverlauf durch die zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) festzustellen ( $p = 0,550$ ).

### **3.2.1.5 Inspirationslänge differenziert nach dem Geburtszeitpunkt in Schwangerschaftswochen (vSSW)**

In diesem Abschnitt wird die Abhängigkeit der Inspirationslänge von der Schwangerschaftswoche (vSSW), in der die Neugeborenen geboren wurden, analysiert.

In Abbildung 15 ist die Beziehung der Inspirationslänge zu den vSSW in einem Streudiagramm veranschaulicht.

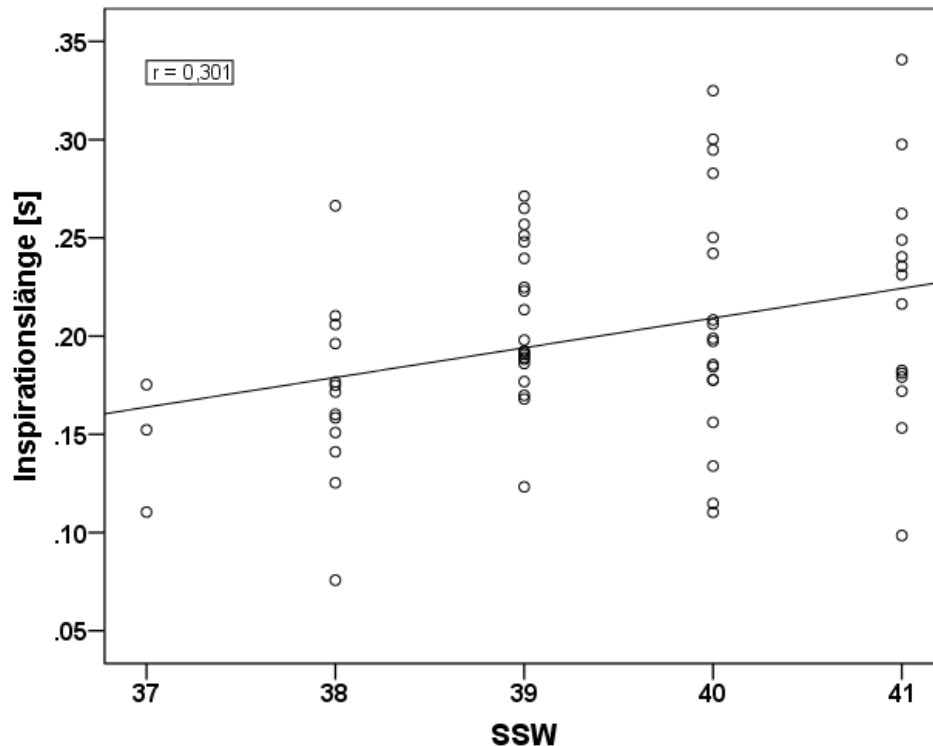


Abbildung 15: Streudiagramm: Korrelation zwischen Inspirationslänge und Schwangerschaftswoche (SSW), in der die Neugeborenen geboren wurden

Im Streudiagramm ist eine positive Korrelation zwischen der Länge der Inspiration und der vSSW zu erkennen. Mit zunehmender vSSW steigt auch die Inspirationslänge.

Der Test nach Spearman bestätigt auch diese signifikante Korrelation zwischen Inspirationslänge und vSSW, jedoch ist der Korrelationskoeffizient relativ klein ( $r = 0,301$ ;  $p = 0,012$ ).

Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) zeigt dagegen keine signifikanten Mittelwertunterschiede der Inspirationslänge hinsichtlich der vSSW ( $p = 0,055$ ). Der Levene-Test liefert eine Varianzhomogenität der Daten [ $F_{(4; 63)} = 1,420$ ;  $p = 0,238$ ].

### 3.2.1.6 Inspirationslänge differenziert nach dem Geburtsmodus

Die Geburten der Probanden in der vorliegenden Arbeit erfolgten durch drei Modi: Spontangeburt, primäre und sekundäre Sectio. Die Rolle des Geburtsmodus bezüglich der Inspirationslänge wird in diesem Unterkapitel untersucht. Von den 69 Neugeborenen deren Inspirationslänge analysiert wurde, sind 50 spontan geboren, 11 durch primäre Sectio und 8 durch sekundäre Sectio zur Welt gekommen.

Dazu wurde zur Veranschaulichung ein Boxplot-Diagramm (Abbildung 16) erstellt.

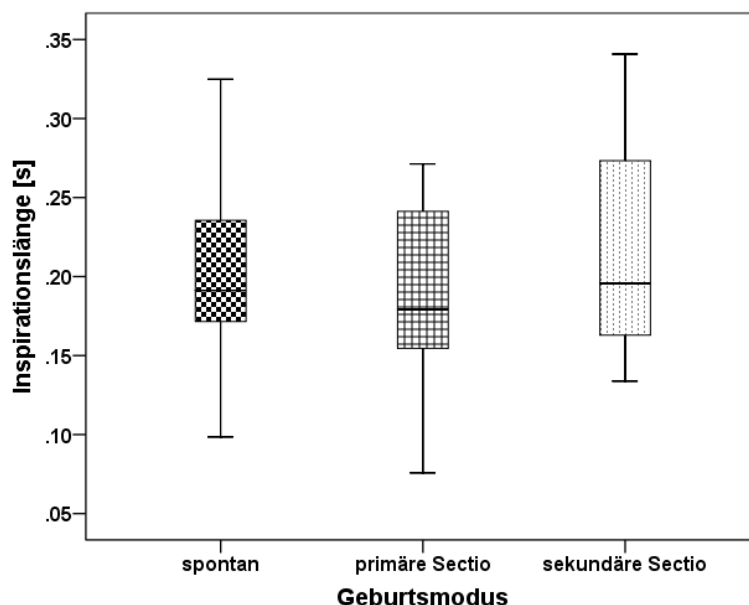


Abbildung 16: Boxplot: Verteilung der Inspirationslängen nach dem Geburtsmodus

Die drei Gruppen unterscheiden sich kaum hinsichtlich ihrer Inspirationslänge. Der Median bei den Spontangeborenen Probanden liegt bei 0,191 s, bei den Probanden mit primärer Sectio beträgt er 0,1792 s und bei den Probanden mit sekundärer Sectio liegt der Median bei 0,196 s. Die Lage der Boxen unterscheidet sich, jedoch ist die Spannweite der einzelnen Verteilungen ähnlich. Als weiteres Streuungsmaß bestätigt der Variationskoeffizient die annähernd gleiche Variabilität der Verteilungen der Sectiogruppen (prim. Sectio: 33 %, sek.



Sectio: 33 %). Bei der Spontangeburt ist die Box mit einem Interquartilbereich von 0,065 s kleiner, der Variationskoeffizient beträgt hier nur 26 %.

Signifikante Differenzen hinsichtlich der Inspirationslänge zwischen den Neugeborenen mit unterschiedlichem Geburtsmodus lieferte die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) nicht ( $p = 0,563$ ). Der Levene-Test bestätigt wie die Variationskoeffizienten (siehe oben) die Homoskedastizität innerhalb der Daten [ $F_{(2; 66)} = 1,629$ ;  $p = 0,204$ ].

### 3.2.2 Analyse der Expirationslängen

In diesem Unterkapitel wird die Länge der expiratorischen Phonation auf Basis von deskriptiver Statistik, Probandengruppen-, Geschlechts- und Altersunterschieden sowie den Schwangerschaftswochen (vSSW), in den die Probanden geboren wurden, analysiert. Der Geburtsmodus wurde wie bei der Inspirationslänge als weiterer Co-Faktor geprüft.

#### 3.2.2.1 Deskriptive Analyse der Expirationslänge

Tabelle 10 stellt eine Übersicht der wichtigsten statistischen Größen für die Expirationslänge dar.

**Tabelle 10: Deskriptive Statistik der Expirationslänge**

|                         | <b>Mittelwert<br/>(<math>\pm</math>SD) [s]</b> | <b>Median [s]</b> | <b>Minimum<br/>[s]</b> | <b>Maximum<br/>[s]</b> |
|-------------------------|--|-------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Expirationslänge</b> | 1,185<br>( $\pm$ 0,494)                        | 1,051             | 0,562                  | 2,937                  |

Um zu ergründen wie sich die Expirationslänge über die Probanden verteilt, wurde ein Histogramm (Abbildung 17) erstellt. Für eine hinreichende Normalverteilung, wurden die Werte logarithmiert. Der Shapiro-Wilk-Test ergab somit nach Logarithmieren eine hinreichende Normalverteilung ( $p = 0,187$ ). Zur

Veranschaulichung des Median wurde eine Bezugslinie zur x-Achse eingefügt, die den Medianwert wiedergibt.

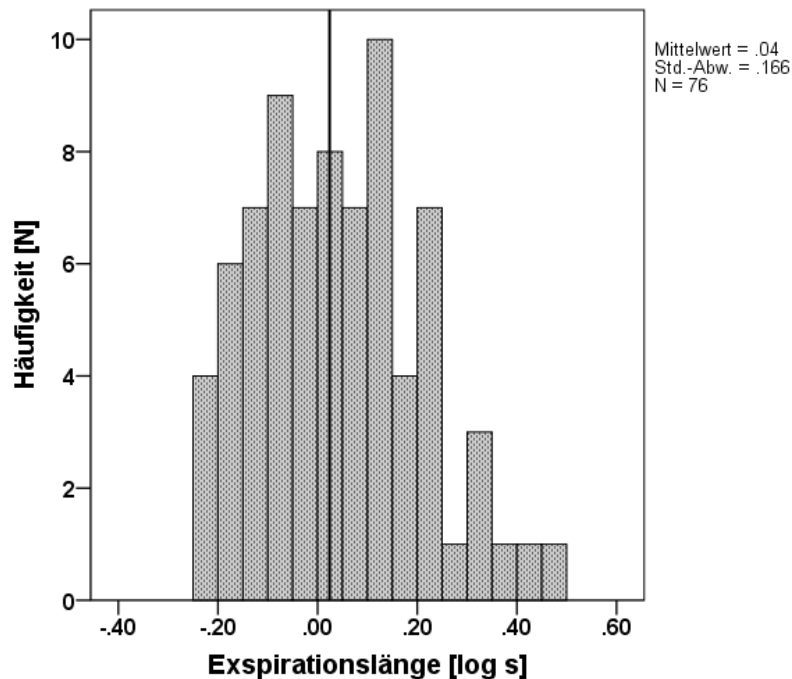
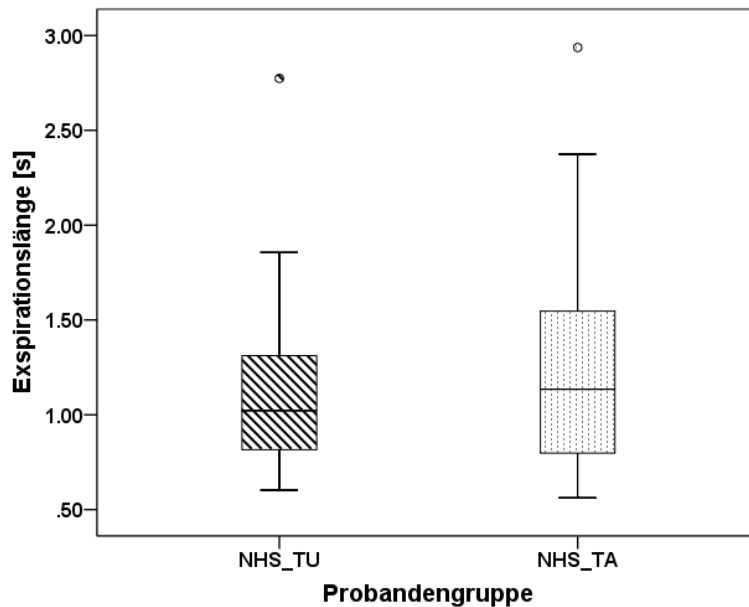


Abbildung 17: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Expirationslänge

### 3.2.2.2 Expirationslänge differenziert nach den Probandengruppen

Zur Auswertung der Expirationslänge standen in der NHS\_TU-Gruppe Messwerte von 40 Probanden und in der NHS\_TA-Gruppe Messwerte von 36 Probanden zur Verfügung. Die restlichen Messwerte, die nicht der Kategorie 2 zugehörten, wurden nicht berücksichtigt (Kapitel 2.4 und 2.6).

Abbildung 18 zeigt die Verteilung der Expirationslängen im Gruppenvergleich.



**Abbildung 18: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen in den Probandengruppen**

Wie auch schon bei der Inspirationslänge ergaben sich keine großen Unterschiede in der Expirationslänge der beiden Probandengruppen. Der Median in der NHS\_TU-Gruppe beträgt 1,021 s, in der NHS\_TA-Gruppe 1,135 s. Die Box von NHS\_TU ist mit den Perzentilen von 0,814 s und 1,314 s kleiner als die Box von NHS\_TA mit den Perzentilen von 0,797 s und 1,584 s. Ebenfalls liegt das Maximum (Ausreißer) der NHS\_TU-Gruppe (2,774 s) niedriger als das Maximum der NHS\_TA-Gruppe (2,937 s). Auch, wie bereits bei der Inspirationslänge weist hier NHS\_TU (0,603 s) ein etwas größeres Minimum im Vergleich zu NHS\_TA (0,562 s) auf. Die Variationskoeffizienten (NHS\_TU: 37 %, NHS\_TA: 45 %) lassen keine großen Unterschiede in der Variabilität der Verteilungen erkennen.

Zur Prüfung von statistisch signifikanten Gruppenunterschieden bezüglich der Expirationslänge wurden wieder die logarithmierten Werte verwendet, da diese nach dem Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung aufzeigten (NHS\_TU:  $p = 0,408$ ; NHS\_TA:  $p = 0,595$ ). Der t-Test lieferte keine signifikanten Probandengruppenunterschiede ( $p = 0,424$ ).

### 3.2.2.3 Expirationslänge differenziert nach dem Geschlecht

Für den Geschlechtsvergleich bezüglich der Expirationslänge wurden Daten von 39 männlichen und 37 weiblichen Probanden ausgewählt. Die Daten der aussortierten Probanden wurden aufgrund der Kategorieeinteilungen (Kapitel 2.4 und 2.6) in die Auswertung nicht herangezogen.

Das Boxplot-Diagramm in Abbildung 19 stellt die geschlechtsspezifischen Unterschiede grafisch dar.

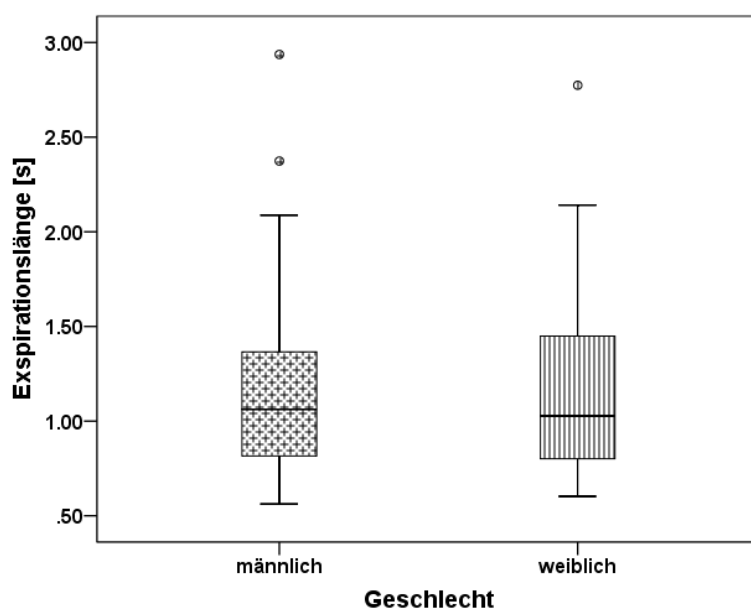


Abbildung 19: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Geschlecht

Betrachtet man die Mediane der beiden Geschlechter, liegen sie auf einer Höhe. Bei den Jungen beträgt der Median 1,062 s und bei den Mädchen 1,028 s. Die Box der weiblichen Neugeborenen fällt etwas größer als die der männlichen Neugeborenen aus. Die Variationen der Verteilungen bei beiden Geschlechter verhalten sich gleich. Beide Variationskoeffizienten betragen 42 %. Zudem sind zwei Ausreißer bei den Jungen (2,374 s; 2,937 s), sowie ein Ausreißer bei den Mädchen (2,774 s) zu erkennen.

Wie schon anhand des Boxplot-Diagramms zu vermuten war, zeigt sich nach dem t-Test keine signifikante Abhängigkeit der Expirationslänge vom Geschlecht ( $p = 0,934$ ). Auch hier wurden die logarithmierten Werte für die statistische Signifikanzprüfung eingesetzt, welche nach Shapiro-Wilk hinreichend normalverteilt sind (männlich:  $p = 0,595$ ; weiblich:  $p = 0,388$ ).

### 3.2.2.4 Expirationslänge differenziert nach dem Alter

Die altersbezogenen Ergebnisse für die Expirationsphase berücksichtigen wieder die drei schon beschriebenen Altersklassen der Probanden. Im Alter von 2 Tagen waren 23 Probanden, im Alter von 3 Tagen 39 Probanden und im Alter von 4 Tagen 14 Probanden relevant für die statistische Analyse. Die Messwerte der restlichen Probanden wurden aussortiert, da sie die Kriterien der Kategorie 2 nicht erfüllten (Kapitel 2.4 und 2.6).

Die nachfolgende Abbildung 20 zeigt die Veränderungen der Expirationslänge im Altersverlauf.

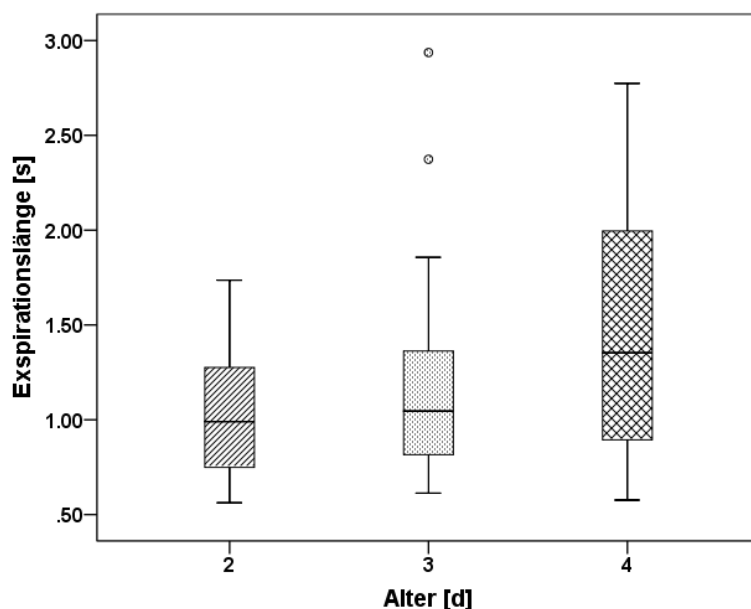


Abbildung 20: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter

**Tabelle 11: Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter**

| Alter [d] | Median [s] | Minimum [s] | Maximum [s] |
|-----------|------------|-------------|-------------|
| 2         | 0,990      | 0,562       | 1,736       |
| 3         | 1,046      | 0,613       | 2,937       |
| 4         | 1,354      | 0,576       | 2,774       |

Im Altersverlauf lassen sich bei der Expirationslänge wieder Parallelen zur Inspirationslänge feststellen. Am 2. und 3. Tag sind die Medianwerte fast identisch. Darauf ist der schon bei den Inspirationslängen beobachtete Sprung des Medians zu höheren Werten am 4. Tag zu sehen (Tabelle 11). Auch die Zunahme der Ausmaße der Box ist mit dem Anstieg des Alters wieder zu beobachten. Die Streuung in den Altersgruppen, wie an den Variationskoeffizienten zu erkennen ist, nimmt mit dem Alter zu: 2. Tag (32 %), 3. Tag (42 %), 4. Tag (44 %).

Die im Boxplot beobachtete Zunahme der Expirationslänge mit dem Alter wird durch die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) nicht bestätigt. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied der Expirationslänge mit dem Alter ( $p = 0,092$ ). Der Levene-Test liefert eine Varianzhomogenität der Daten [ $F_{(2; 73)} = 0,798$ ;  $p = 0,454$ ].

#### **3.2.2.4.1 Expirationslänge differenziert nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich**

Im Folgenden werden die Messergebnisse der Expirationslänge der zwei Probandengruppen aufgeteilt in die drei Altersklassen berichtet.

Zur Veranschaulichung stellt Abbildung 21 die Ergebnisse in Form eines Boxplot-Diagramms dar.

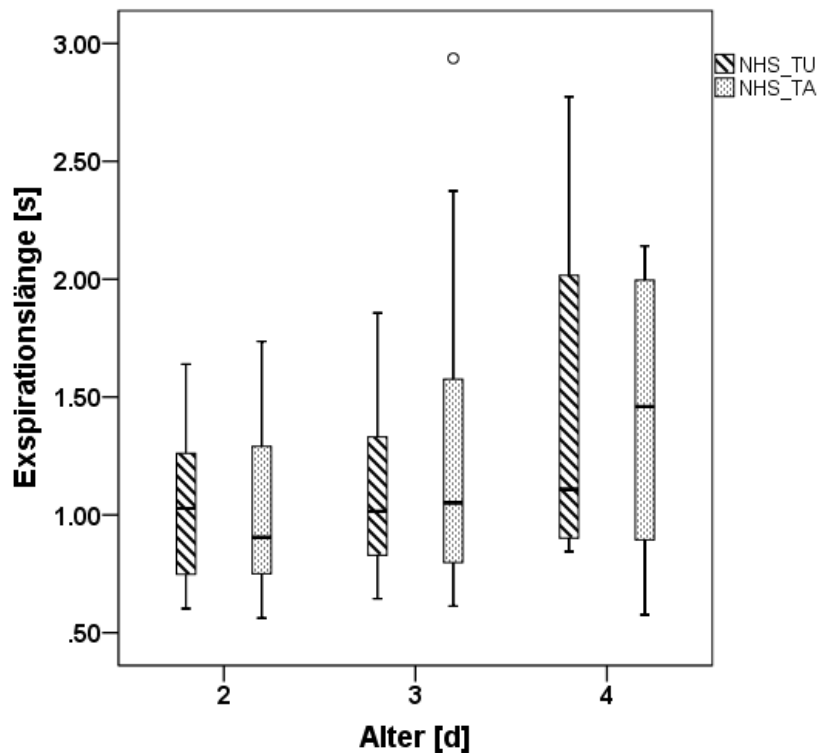


Abbildung 21: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich

Tabelle 12: Übersicht über den Median der Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich

| Probandengruppe | NHS_TU     | NHS_TA |
|-----------------|------------|--------|
| Alter [d]       | Median [s] |        |
| 2               | 1,028      | 0,905  |
| 3               | 1,015      | 1,051  |
| 4               | 1,109      | 1,460  |

Im Alter von 2 und 3 Tagen unterscheiden sich die Mediane der beiden Gruppen kaum, am 4. Tag ist jedoch ein größerer Unterschied zu erkennen. Bei NHS\_TU ist im Mittel (Median) eine leichte Abnahme der Expirationslänge vom 2. zum 3. Tag festzustellen, worauf ein Anstieg zum 4. Tag folgt. Im Gegensatz dazu steigt

im Mittel (Median) die Länge der Expiration bei NHS\_TA kontinuierlich mit dem Alter und erfährt eine deutliche Zunahme vom 2. zum 4. Tag (Tabelle 12). Weiterhin auffällig ist, dass am 4. Tag das Maximum der NHS\_TU-Gruppe größer als das Maximum der NHS\_TA-Gruppe ist, da sonst die NHS\_TA-Gruppe das größere Maximum aufweist. Die Minima verhalten sich dagegen gleich. In allen drei Altersklassen liegt das Minimum von NHS\_TU höher als bei NHS\_TA.

Die oben beschriebenen Altersunterschiede der beiden Probandengruppen bezüglich der Expirationslänge sind nach einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) nicht signifikant ( $p = 0,844$ ). Die Homogenität der Varianzen ist nach dem Levene-Test gegeben [ $F_{(5; 70)} = 0,760$ ;  $p = 0,582$ ].

### ***3.2.2.4.2 Expirationslänge differenziert nach dem Alter im Geschlechtsvergleich***

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Untersuchung von Geschlechtsunterschieden bezüglich der Expirationslänge aufgegliedert in die drei Altersklassen berichtet.

Das Boxplot-Diagramm (Abbildung 22) zeigt die Ergebnisse.



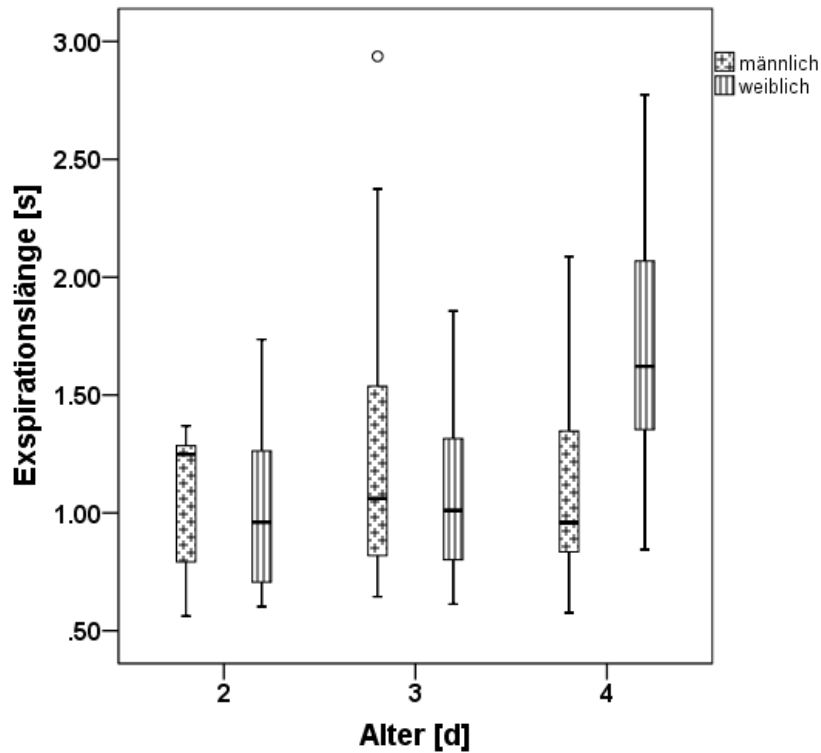


Abbildung 22: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich

Tabelle 13: Übersicht über den Median der Verteilung der Expirationslängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich

| Geschlecht | männlich   | weiblich |
|------------|------------|----------|
| Alter [d]  | Median [s] |          |
| 2          | 1,248      | 0,961    |
| 3          | 1,062      | 1,011    |
| 4          | 0,959      | 1,622    |

Wenn die beiden Gruppen im Altersverlauf betrachtet werden, fällt besonders die gegenläufige Entwicklung der Expirationslänge beider Gruppen auf. Bei den männlichen Neugeborenen verliert die Expiration mit Zunahme des Alters an Länge. Die Expirationslänge der weiblichen Neugeborenen demgegenüber

wächst mit dem Alter. Am 2. und 3.Tag sind die Mediane bei den Mädchen nur leicht unterschiedlich, jedoch am 4. Tag liegt ein deutlich erhöhter Wert vor (Tabelle 13).

Wie in den vorhergehenden Abschnitten zu sehen war, bestanden keine signifikanten Geschlechts- und Altersunterschiede zwischen den Probanden in ihrer Expirationslänge, wenn das Geschlecht und Alter jeweils als einzelner Faktor berücksichtigt wurde. Sobald das Geschlecht und das Alter nicht als alleinige Faktoren berücksichtigt wurden, sondern die Interaktion zwischen beiden durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) geprüft wurde, erhielt man ein signifikantes Ergebnis ( $p = 0,049$ ). Dieser Effekt lässt sich durch die signifikante Zunahme der Expirationslänge mit dem steigenden Alter der weiblichen Probanden erklären ( $p = 0,007$ ).

Die Varianzhomogenität der Daten war als Voraussetzung für die ANOVA durch den Levene-Test gegeben [ $F_{(5; 70)} = 0,357$ ;  $p = 0,876$ ].

### **3.2.2.5 Expirationslänge differenziert nach dem Geburtszeitpunkt in Schwangerschaftswochen (vSSW)**

Das Verhalten der Expirationslänge in den verschiedenen Schwangerschaftswochen (vSSW), in denen die Probanden geboren sind, wird im folgenden Streudiagramm (Abbildung 23) dargestellt.

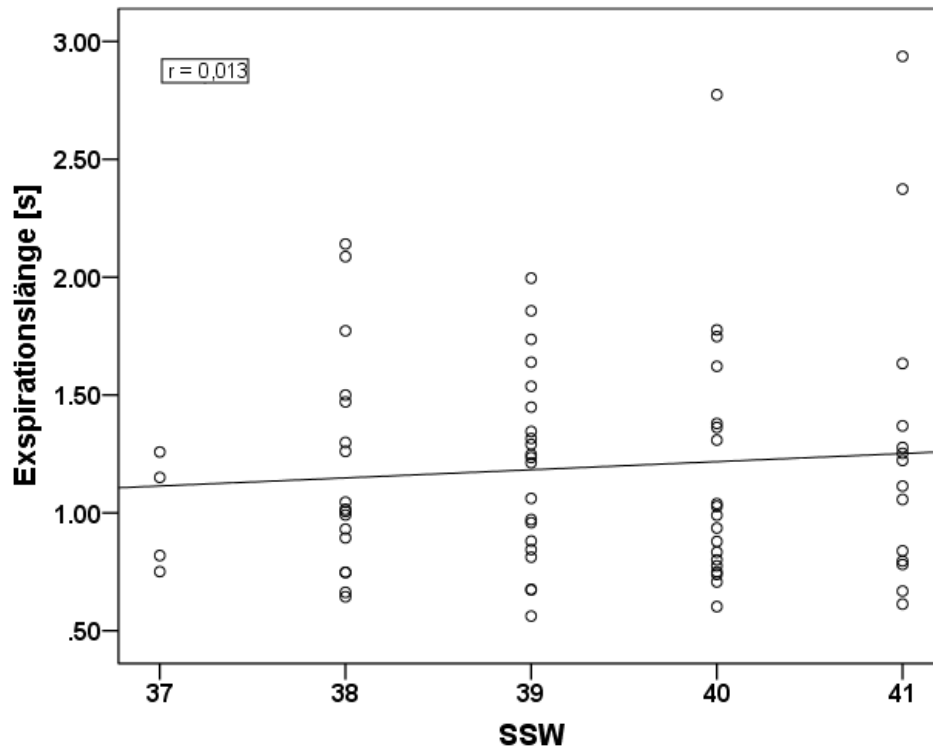


Abbildung 23: Streudiagramm: Korrelation zwischen Expirationslänge und Schwangerschaftswoche (SSW), in der die Neugeborenen geboren wurden

Anhand des Diagramms ist ein leichter Anstieg der Expirationslänge mit zunehmender vSSW erkennbar, jedoch ist diese leicht positive Korrelation nach Spearman nicht signifikant ( $r = 0,013$ ;  $p = 0,910$ ).

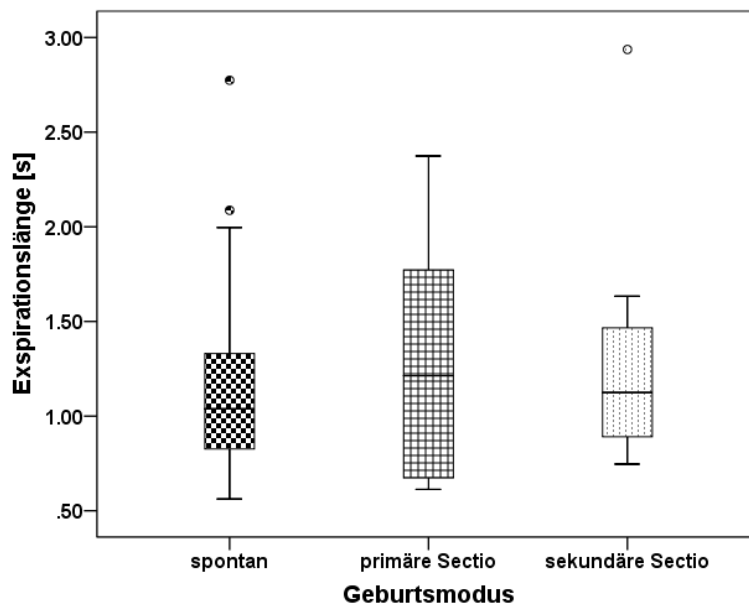
Auch die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) berichtet von keinem signifikanten Unterschied der Expirationslänge bezüglich der vSSW ( $p = 0,924$ ).

Die Homogenität der Varianzen war für die Daten nach dem Levene-Test gegeben [ $F_{(4; 70)} = 0,341$ ;  $p = 0,849$ ].

### 3.2.2.6 Expirationslänge differenziert nach dem Geburtsmodus

Der Co-Faktor Geburtsmodus wurde auch hier, wie bei der Inspirationslänge, untersucht. 55 Neugeborene gehörten zur Gruppe mit spontaner Geburt, 13 Neugeborene zur Gruppe mit primärer Sectio und 8 Neugeborene zur Gruppe mit sekundärer Sectio. Insgesamt wurde hier von 76 Neugeborenen die Expirationslänge analysiert.

Das Boxplot-Diagramm (Abbildung 24) zeigt die Verteilungen grafisch.



**Abbildung 24: Boxplot: Verteilung der Expirationslängen nach dem Geburtsmodus**

Es lässt sich erkennen, dass die Box in der Gruppe mit primärer Sectio (Interquartilbereich: 1,144 s) größer ist als die Box der Spontangeborenen (Interquartilbereich: 0,526 s) und der Probanden mit sekundärer Sectio (Interquartilbereich: 0,717 s). Der Median ist bei den Probanden mit primärer Sectio (1,213 s) am größten, aber weicht nicht stark von den anderen beiden Gruppen ab (spontan: 1,039 s; sek. Sectio: 1,125 s). Durch die Ausreißer hat die Gruppe mit sekundärer Sectio das größte Maximum (2,937 s), gefolgt von den mit spontanem Geburtsmodus mit einem Maximum von 2,774 s. Das kleinste Maximum hat die Box der Probanden mit primärer Sectio, das jedoch kein Ausreißer ist (2,374 s). Die Variabilität der Verteilungen zeigen die Variationskoeffizienten von 38 % beim spontanen Geburtsmodus, 48 % bei der primären Sectio und 53 % bei der sekundären Sectio.

Der Geburtsmodus ist nach einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) kein signifikanter Faktor, der sich auf die Dauer der Expiration auswirkt ( $p = 0,636$ ).

Die Gleichheit der Varianzen war nach dem Levene-Test gegeben [ $F_{(2; 73)} = 2,448; p = 0,094$ ].

### 3.2.3 Analyse der Gesamtlänge eines Einzelsignals

Als nächste Komponente des Atemzyklus wurde die Gesamtlänge eines Einzelsignals untersucht. Dazu wurde die Dauer von Beginn der Inspiration bis zum Anfang der folgenden Inspiration gemessen. So setzte sich die Gesamtlänge zusammen aus der Inspirationslänge, der Länge der Übergangsphase IE, der Expirationslänge und der Länge der Übergangsphase EI2 (Kapitel 2.4).

Für die Auswertung wurden, wie in den vorherigen Abschnitten, nur Messwerte der Kategorie 2 für die einzelnen Phasen des Einzelsignals verwendet, sodass für 68 Probanden Ergebnisse berichtet werden.

#### 3.2.3.1 Deskriptive Analyse der Gesamtlänge eines Einzelsignals

Zur Beschreibung der Statistik wurden der Mittelwert, der Median, das Minimum und das Maximum der Verteilung der Messwerte angegeben.

In Tabelle 14 sind die Werte dieser Größen aufgeführt.

**Tabelle 14:** Deskriptive Statistik der Gesamtlänge eines Einzelsignals

|                    | Mittelwert<br>( $\pm$ SD) [s] | Median [s] | Minimum<br>[s] | Maximum<br>[s] |
|--------------------|-------------------------------|------------|----------------|----------------|
| <b>Gesamtlänge</b> | 1,619<br>( $\pm$ 0,720)       | 1,426      | 0,825          | 4,850          |

Das Verhalten der Verteilung wird in Abbildung 25 grafisch dargestellt. Aufgrund der symmetrischeren Werteverteilung, wurden auch hier die logarithmierten Werte gewählt. Eine Normalverteilung war trotz logarithmischer Datentransformation nach dem Shapiro-Wilk-Test nicht gegeben ( $p = 0,001$ ). Der

Median ist in Abbildung 25 durch eine vertikale Bezugslinie zur x-Achse wiedergegeben.

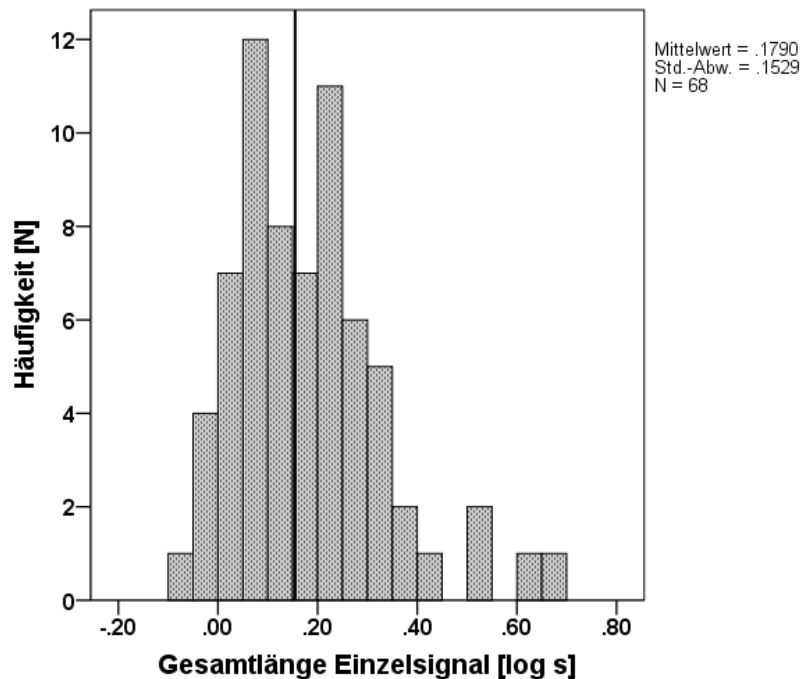


Abbildung 25: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Gesamtlänge eines Einzelsignals

### 3.2.3.2 Gesamtlänge der Einzelsignale differenziert nach den Probandengruppen

Die 68 Probanden bei der Analyse der Gesamtlänge teilen sich mit 35 Probanden auf die NHS\_TU-Gruppe und mit 33 Probanden auf die NHS\_TA-Gruppe auf. Auch hier wurde das Gruppenverhalten bezüglich der Gesamtlänge eines Einzelsignals in einem Boxplot-Diagramm (Abbildung 26) dargestellt.

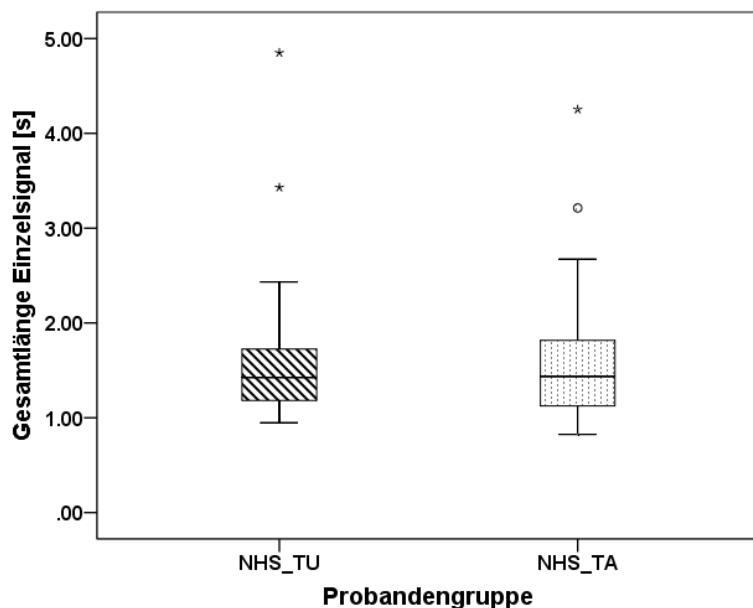


Abbildung 26: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen der Einzelsignale in den Probandengruppen

Tabelle 15: Übersicht über Median, Interquartilbereich und Extremwerte bzw. Ausreißer der Verteilung der Gesamtlängen der Einzelsignale in den Probandengruppen

| Probandengruppe | Median [s] | Interquartilbereich [s] | Extremwert / Ausreißer [s] |
|-----------------|------------|-------------------------|----------------------------|
| NHS_TU          | 1,424      | 0,553                   | 3,429<br>4,850             |
| NHS_TA          | 1,435      | 0,738                   | 3,213<br>4,252             |

Die Mediane der beiden Boxen zeigen, dass es keinen Unterschied in der mittleren Gesamtlänge der Einzelsignale zwischen den Gruppen gibt. Das Ausmaß der Box von NHS\_TA ist leicht größer als bei NHS\_TU. Auffällig ist das Auftreten einiger Extremwerte (Tabelle 15). Wie auch schon das Boxplot-Diagramm erkennen lässt, verdeutlichen die Variationskoeffizienten von 46 % (NHS\_TU) und 44 % (NHS\_TA), dass eine fast identische Variabilität der Verteilungen vorliegt.

Aufgrund der nicht normalverteilten Werte in beiden Gruppen (Shapiro-Wilk: beide  $p < 0,001$ ) wurde für die Signifikanzüberprüfung der Mann-Whitney-Test durchgeführt. Es resultierte kein signifikanter Probandengruppenunterschied in der Gesamtlänge der Einzelsignale ( $p = 0,985$ ).

### 3.2.3.3 Gesamtlänge der Einzelsignale differenziert nach dem Geschlecht

Im Folgenden wurden 35 männliche und 33 weibliche Probanden hinsichtlich der Gesamtlänge untersucht.

Im Boxplot-Diagramm (Abbildung 27) sind die beiden Gruppen gegenübergestellt.

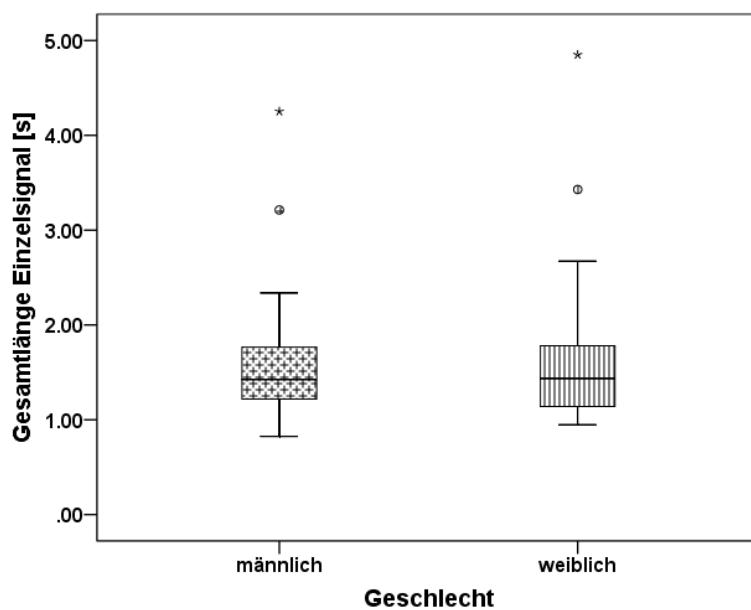


Abbildung 27: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen der Einzelsignale nach dem Geschlecht



**Tabelle 16: Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung der Gesamtlängen der Einzelsignale nach dem Geschlecht**

| <b>Geschlecht</b> | <b>Median [s]</b> | <b>Interquartilbereich [s]</b> | <b>Minimum [s]</b> | <b>Maximum [s]</b> |
|-------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>männlich</b>   | 1,424             | 0,574                          | 0,825              | 4,252              |
| <b>weiblich</b>   | 1,435             | 0,656                          | 0,948              | 4,850              |

Wie bei den Probandengruppen (NHS\_TU, NHS\_TA) zeigen sich auch bei der geschlechtsabhängigen Analyse keine Unterschiede bei der Betrachtung der Gesamtlänge (Tabelle 16). Die Mediane der männlichen und weiblichen Neugeborenen sind annähernd gleich und auch die Größe der Boxen unterscheidet sich kaum. Der Interquartilbereich bei den Mädchen ist minimal größer als bei den Jungen. Die Maximal- und Minimalwerte der beiden Geschlechter zeigen auch wenig Differenzen. Beide Werte liegen bei den weiblichen Neugeborenen etwas höher als bei den männlichen Neugeborenen. Der Variationskoeffizient der männlichen Probanden (41 %) ist kleiner als der der weiblichen Probanden (48 %).

Der Shapiro-Wilk-Test weist keine Normalverteilung der Daten in beiden Geschlechtern auf (beide  $p < 0,001$ ). Auch ein signifikanter Geschlechtsunterschied bezüglich der Gesamtlänge ist nach Mann-Whitney nicht gegeben ( $p = 0,840$ ).

#### **3.2.3.4 Gesamtlänge der Einzelsignale differenziert nach dem Alter**

Als nächstes wurde der Einfluss des Alters auf die Gesamtlänge geprüft. Die 68 Probanden, deren Messwerte statistisch ausgewertet wurden, teilen sich wie folgend auf: 23 Probanden waren 2 Tage, 34 Probanden waren 3 Tage und 11 Probanden waren 4 Tage alt.

Abbildung 28 zeigt die Verteilung der Gesamtlänge der Einzelsignale auf diese drei Altersgruppen aufgeteilt.

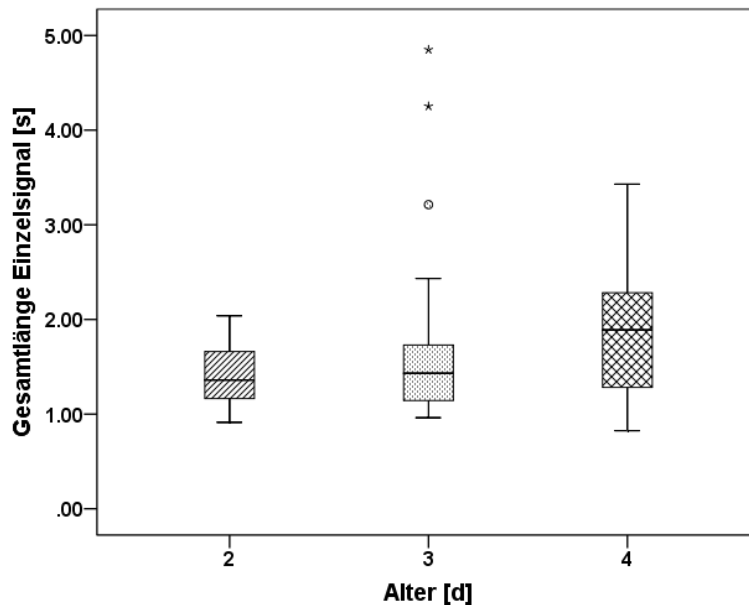


Abbildung 28: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter

Auch bei der Betrachtung der Gesamtlänge zeigt sich das gleiche Phänomen wie schon bei der Inspirations- und Expirationslänge: Mit dem Älterwerden der Probanden, nimmt die Untersuchungsvariable an Länge zu. Der Median lässt erkennen, dass vom 2. (1,359 s) zum 3. (1,432 s) Tag die Gesamtlänge leicht größer wird und vom 3. zum 4. Tag (1,890 s) der schon bekannte größere Sprung erfolgt. Nicht nur der Median, sondern auch die Größe der Box (Interquartilbereich: 0,544 s; 0,602 s; 1,088 s) sowie die Spannweite der Verteilung nehmen im Altersverlauf zu. Die Streuung bei den 3 Tage alten Probanden ist stärker als an den anderen beiden Tagen. Das spiegeln die Variationskoeffizienten von 24 % (2. Tag), 51 % (3. Tag) und 42 % (4. Tag) wieder. Bei Nichtbeachtung der beiden Extremwerte an Tag 3 verringert sich der Variationskoeffizient auf 31 %, ist also demnach größer als am zweiten Tag.

Der im Diagramm beobachtete Anstieg der Gesamtlänge mit dem Alter ist nach einer einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) nicht signifikant ( $p = 0,191$ ). Die für

die ANOVA geforderte Varianzhomogenität der Daten war nach dem Levene-Test vorhanden [ $F_{(2; 65)} = 2,158; p = 0,124$ ].

### 3.2.3.4.1 Gesamtlänge der Einzelsignale differenziert nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich

Das gesamte Probandenkollektiv wurde für die Altersanalyse nochmal in die beiden Probandengruppen aufgeteilt, um die spezifischen Charakteristika der beiden Gruppen im Altersverlauf zu untersuchen.

Im Boxplot-Diagramm (Abbildung 29) wird von beiden Probandengruppen der Altersverlauf bezüglich der Gesamtlänge der Einzelsignale dargestellt.

Tabelle 17 zeigt die Übersicht über den Median der Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich.

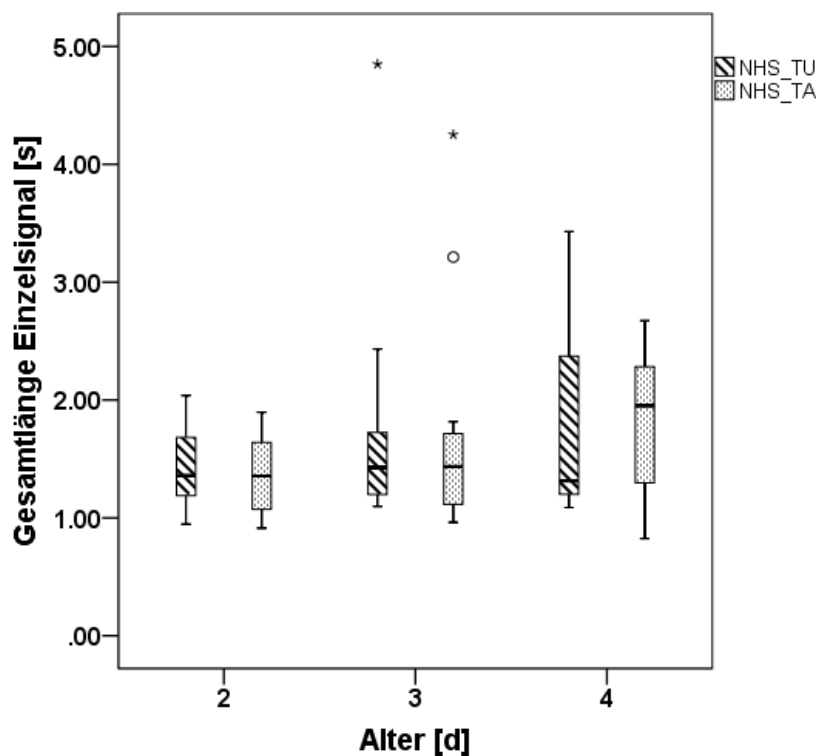


Abbildung 29: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich

**Tabelle 17: Übersicht über den Median der Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter im Probandengruppen-Vergleich**

| Probandengruppe | NHS_TU     | NHS_TA |
|-----------------|------------|--------|
| Alter [d]       | Median [s] |        |
| 2               | 1,359      | 1,356  |
| 3               | 1,428      | 1,435  |
| 4               | 1,314      | 1,952  |

Die beiden Faktoren Probandengruppe und das Alter zusammen wirken sich nicht signifikant auf die Gesamtlänge der Einzelsignale aus (zweifaktorielle ANOVA:  $p = 0,972$ ). Der Levene-Test zeigte eine Homoskedastizität der Daten [ $F_{(5; 62)} = 1,341$ ;  $p = 0,259$ ].

#### **3.2.3.4.2 Gesamtlänge differenziert nach dem Alter im Geschlechtsvergleich**

Als weiterer Untersuchungsfaktor wurde das Geschlecht in die Altersanalyse einbezogen.

Die Boxplots der Werte der männlichen und weiblichen Probanden in den verschiedenen Altersklassen sind in Abbildung 30 gegenübergestellt.

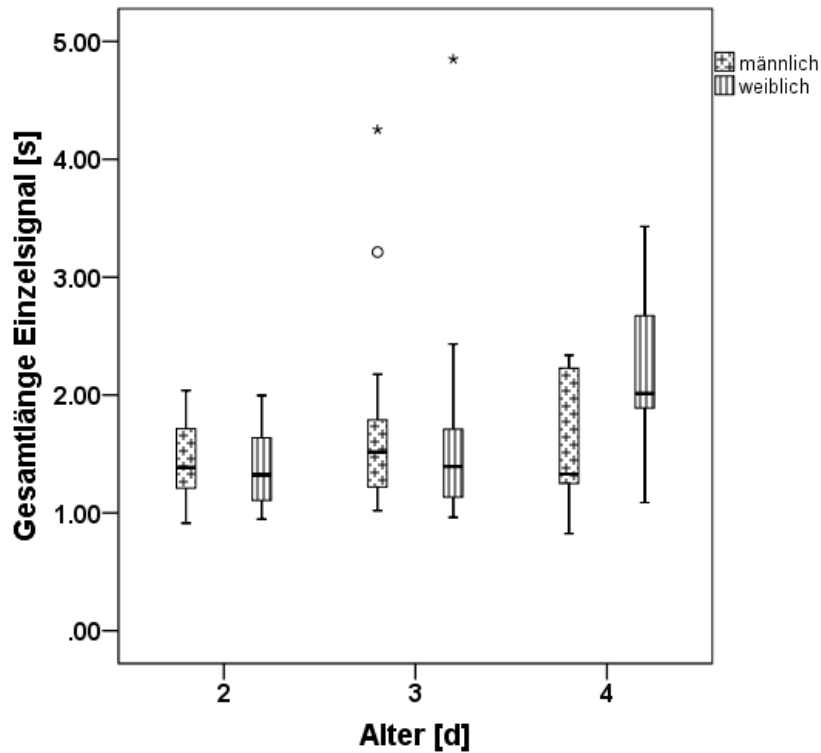


Abbildung 30: Boxplot: Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich

Tabelle 18: Übersicht über den Median der Verteilung der Gesamtlängen nach dem Alter im Geschlechtsvergleich

| Geschlecht | männlich   | weiblich |
|------------|------------|----------|
| Alter [d]  | Median [s] |          |
| 2          | 1,385      | 1,323    |
| 3          | 1,515      | 1,393    |
| 4          | 1,329      | 2,013    |

Die Gesamtlänge der Einzelsignale nimmt nur bei den Mädchen im Altersverlauf zu (Tabelle 18).

Anders als bei der Expirationslänge spielt die Interaktion zwischen Alter und Geschlecht keine signifikante Rolle für die Gesamtlänge der Einzelsignale (zweifaktorielle ANOVA:  $p = 0,302$ ). Die vorausgesetzte Homogenität der Varianzen war nach dem Levene-Test gegeben [ $F_{(5; 62)} = 0,808$ ;  $p = 0,548$ ].

### 3.2.3.5 Gesamtlänge differenziert nach dem Geburtszeitpunkt in Schwangerschaftswochen (vSSW)

Ein weiterer Bestandteil der Analysen war der potenzielle Einfluss des Gestationsalters auf die Gesamtlänge.

Das Streudiagramm in Abbildung 31 stellt diesen Zusammenhang dar.

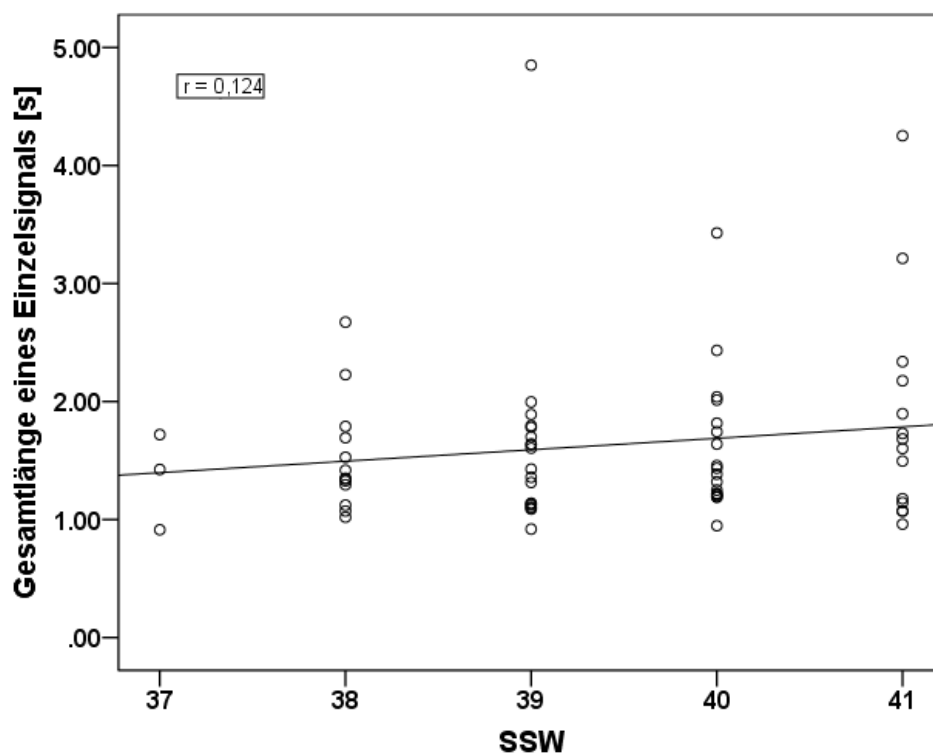


Abbildung 31: Streudiagramm: Korrelation zwischen Gesamtlänge der Einzelsignale und der Schwangerschaftswoche (SSW), in der die Neugeborenen geboren wurden

Im Diagramm wird eine leichte Zunahme der Gesamtlänge mit Anstieg der vSSW sichtbar. Der Test nach Spearman ergab keine signifikante Korrelation zwischen

der Gesamtlänge und der Geburts-Schwangerschaftswoche ( $r = 0,124$ ;  $p = 0,318$ ).

Ein Mittelwertunterschied in den verschiedenen vSSW besteht nach einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) auch nicht ( $p = 0,751$ ). Innerhalb der Datenmessung bestand nach dem Levene-Test keine signifikante Streuung [ $F_{(4; 62)} = 0,743$ ;  $p = 0,567$ ].

### 3.2.4 Analyse des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge

Um die Beziehung der Inspirationslänge zur Expirationslänge zu untersuchen, wurde das Verhältnis dieser beiden Größen berechnet. Für jedes Einzelsignal des Probandenkollektivs wurde der Quotient aus Inspirationslänge und Expirationslänge gebildet und anschließend für die kindbasierte Analyse ein Mittelwert pro Neugeborenes ermittelt. Da es sich bei dieser Untersuchungsvariable um ein Verhältnis handelt, wurde hier der geometrische Mittelwert ausgewählt.

#### 3.2.4.1 Deskriptive Analyse des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge

Für die deskriptive Statistik, wie in Tabelle 19 dargestellt, wurden der Mittelwert, der Median sowie das Minimum und Maximum der Verteilung angegeben.

**Tabelle 19:** Deskriptive Statistik des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E)

|     | Mittelwert<br>( $\pm$ SD) | Median | Minimum | Maximum |
|-----|---------------------------|--------|---------|---------|
| I/E | 0,201<br>( $\pm 0,072$ )  | 0,192  | 0,042   | 0,420   |

Im Mittel beträgt das Verhältnis der Inspirationslänge zur Expirationslänge 0,201. So ist im Durchschnitt die Expiration in ihrer Zeitdauer circa um das 5-Fache länger als die Inspiration. Der Median hat einen Wert von 0,192.

Das Histogramm in Abbildung 32 veranschaulicht die Verteilung dieses Quotienten. Der Medianwert ist durch die vertikale Bezugslinie zur x-Achse abgebildet. Eine hinreichende Normalverteilung war nach Shapiro-Wilk gegeben ( $p = 0,445$ ).

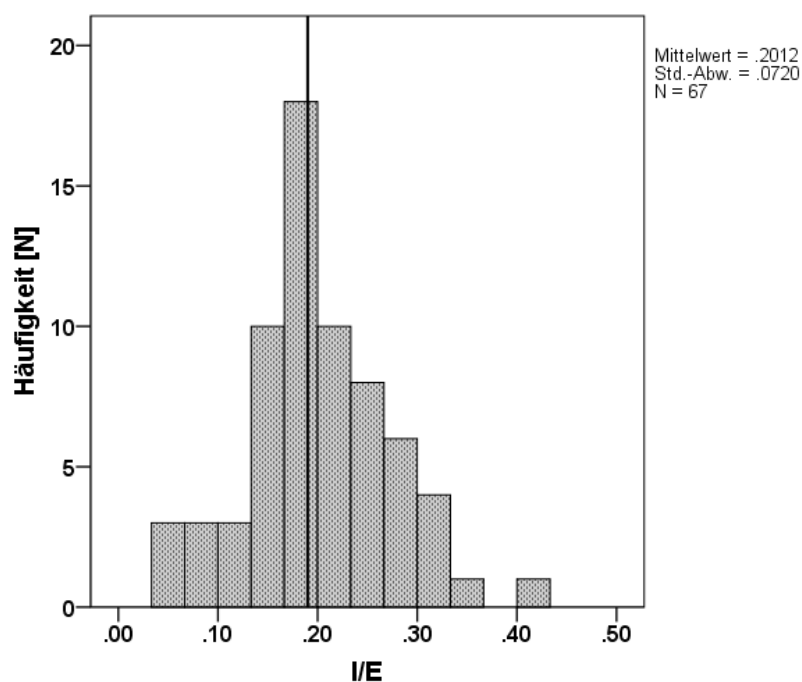


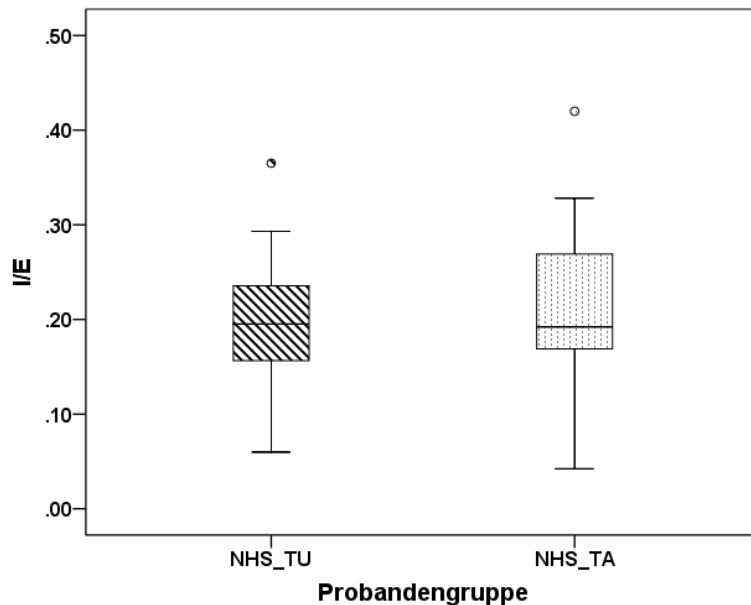
Abbildung 32: Histogramm: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zur Expirationslänge (I/E)

### 3.2.4.2 Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge differenziert nach den Probandengruppen

Es konnten für 35 Probanden der NHS\_TU-Gruppe und für 32 Probanden der NHS\_TA-Gruppe jeweils das Verhältnis aus der Inspirationslänge und der Expirationslänge berechnet werden. Wie in Kapitel 2.4 und 2.6 erklärt, wurden nur Messwerte für die Inspirations- und Expirationslänge verwendet, die den Bewertungskriterien der Kategorie 2 entsprachen.



Zum Vergleich der beiden Gruppen wurde ein Boxplot-Diagramm (Abbildung 33) erstellt.



**Abbildung 33:** Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) in den Probandengruppen

**Tabelle 20:** Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) in den Probandengruppen

| Probandengruppe | Median | Interquartilbereich | Minimum | Maximum |
|-----------------|--------|---------------------|---------|---------|
| NHS_TU          | 0,195  | 0,092               | 0,060   | 0,365   |
| NHS_TA          | 0,192  | 0,105               | 0,042   | 0,420   |

Die Streuung in den beiden Probandengruppen ist ähnlich: Variationskoeffizienten von 35 % (NHS\_TU) und 36 % (NHS\_TA).

Die Verteilungen beider Gruppen waren nach Shapiro-Wilk hinreichend normalverteilt (NHS\_TU:  $p = 0,746$ ; NHS\_TA:  $p = 0,451$ ). Wie die Gemeinsamkeiten der Boxplots beider Gruppen erwarten ließen, lieferte auch der

t-Test keine signifikanten Differenzen zwischen den Probandengruppen bei dem Verhältnis I/E.

### 3.2.4.3 Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge differenziert nach dem Geschlecht

Auch bei dieser Untersuchungsvariable wurde analysiert, ob ein Geschlechtsunterschied auftritt. Es waren Daten von 34 männlichen und 33 weiblichen Neugeborenen für die Auswertung vorhanden.

Für die Visualisierung der Verteilungen auf die Geschlechter wurde wieder ein Boxplot-Diagramm (Abbildung 34) angefertigt.

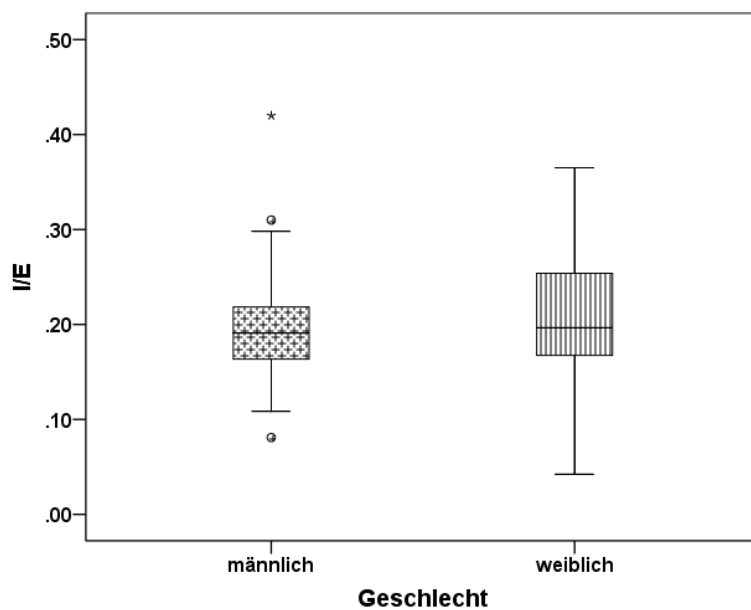


Abbildung 34: Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) nach dem Geschlecht

**Tabelle 21: Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) nach dem Geschlecht**

| <b>Geschlecht</b> | <b>Median</b> | <b>Interquartilbereich</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
|-------------------|---------------|----------------------------|----------------|----------------|
| <b>männlich</b>   | 0,191         | 0,063                      | 0,081          | 0,420          |
| <b>weiblich</b>   | 0,197         | 0,090                      | 0,042          | 0,365          |

Die Variationskoeffizienten sind mit Werten von 34 % bei den Jungen und 38 % bei den Mädchen ähnlich.

Da die Jungen keine Normalverteilung ihrer Daten nach Shapiro-Wilk zeigten ( $p = 0,041$ ) (Mädchen:  $p = 0,691$ ), wurde zur Signifikanzprüfung der Mann-Whitney-Test verwendet. Signifikante Geschlechtsunterschiede im Verhältnis I/E waren nicht festzustellen ( $p = 0,735$ ).

#### **3.2.4.4 Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge differenziert nach dem Alter**

Hier wird die Komponente Alter in die Analyse des Verhältnisses der Inspirationslänge zur Expirationslänge einbezogen. In die Auswertung flossen Daten von 23 Probanden im Alter von 2 Tagen, von 33 Probanden im Alter von 3 Tagen und von 11 Probanden im Alter von 4 Tagen ein.

Grafisch dargestellt wird die statistische Auswertung in Abbildung 35.

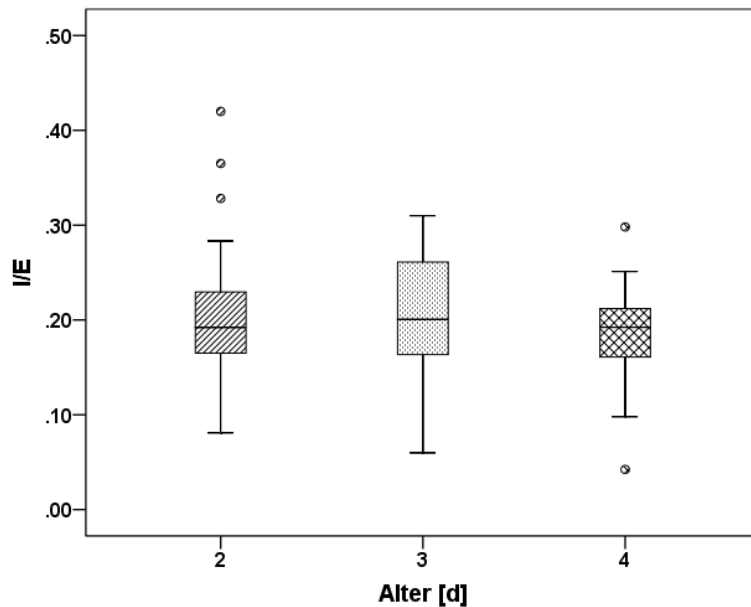


Abbildung 35: Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) nach dem Alter

Tabelle 22: Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (I/E) nach dem Alter

| Alter [d] | Median | Minimum | Maximum |
|-----------|--------|---------|---------|
| 2         | 0,192  | 0,081   | 0,420   |
| 3         | 0,201  | 0,060   | 0,310   |
| 4         | 0,192  | 0,042   | 0,298   |

Die Variation in der Verteilung ändert sich im Altersverlauf kaum. Die Variationskoeffizienten betragen 37 %, 35 % und 38 %.

Auch der Levene-Test lieferte eine Varianzhomogenität der Daten über alle 3 Altersklassen [ $F_{(2; 64)} = 0,106$ ;  $p = 0,899$ ]. Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) bestätigt die Erkenntnisse aus dem Boxplot-Diagramm und zeigte, dass das Verhältnis I/E eine stabile Größe im Altersverlauf bleibt ( $p = 0,582$ ).

### 3.2.4.5 Korrelation zwischen Inspirationslänge und Expirationslänge

Der Zusammenhang zwischen der Inspirationslänge und Expirationslänge wurde weiterhin untersucht, indem ein Korrelationstest nach Spearman durchgeführt wurde. Laut dieses Tests besteht eine signifikante Korrelation ( $r = 0,411$ ;  $p < 0,001$ ) zwischen diesen beiden Größen.

In Abbildung 36 ist die Korrelation zwischen Inspirationslänge und Expirationslänge in Form eines Streudiagramms dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass mit zunehmender Inspirationslänge auch die Expirationslänge zunimmt.

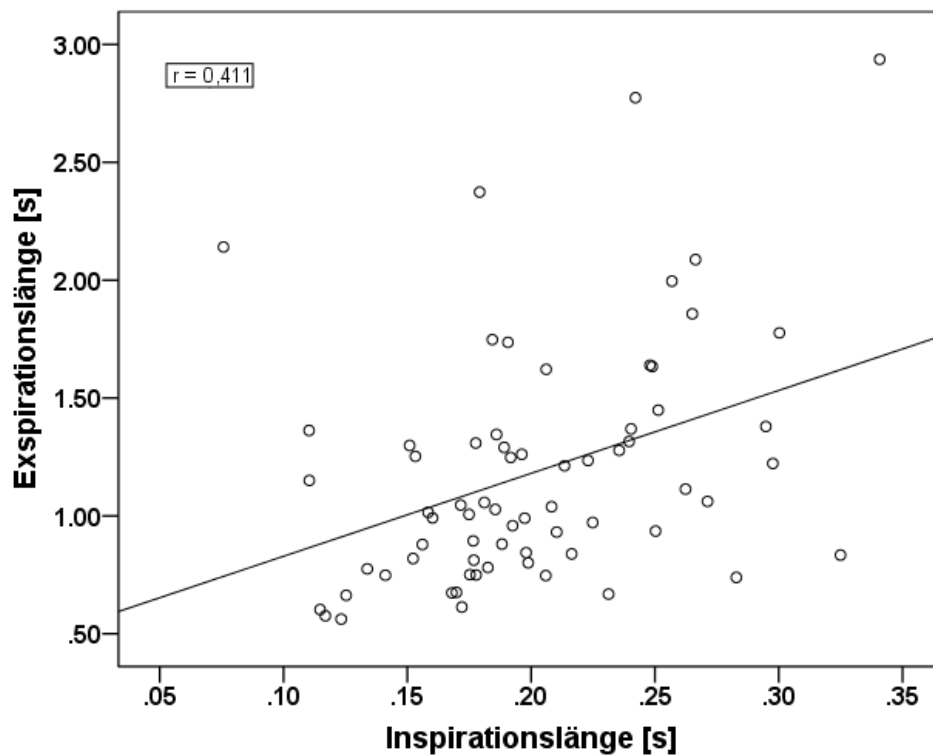


Abbildung 36: Streudiagramm: Korrelation zwischen Inspirations- und Expirationslänge

### 3.2.5 Analyse des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen

Wie schon in Kapitel 2.4 beschrieben, wurden neben der inspiratorischen und expiratorischen Phonation weitere zeitliche Intervalle vermessen. Diese Phasen des Atemzyklus sind lautfrei und treten zwischen Inspiration und Expiration bzw. Expiration und Inspiration auf. Nach der Inspirationsphase wurde die Übergangsphase IE definiert, die zwischen der Inspiration und dem expiratorischen Schrei liegt. Der Expiration schließt sich die Übergangsphase EI2 an, die somit zwischen dem Ende der expiratorischen Phonation und dem Beginn der nächsten Inspiration liegt. Die Längen dieser beiden Intervalle wurden jeweils der vorangehenden Phase zugeschrieben, d.h. es wurde die Summe aus Inspirationslänge und Länge der Übergangsphase IE gebildet sowie die Summe aus Expirationslänge und Länge der Übergangsphase EI2. Aus diesen beiden neu gewonnen Größen ( $I'$  und  $E'$ ) wurde das Verhältnis berechnet ( $I'/E'$ ) und es erfolgte die statistische Auswertung.

#### 3.2.5.1 Deskriptive Analyse des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen

Die wichtigsten statistischen Größen wurden in Tabelle 23 zusammengestellt.

Tabelle 23: Deskriptive Statistik des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen ( $I'/E'$ )

|         | Mittelwert<br>( $\pm$ SD) | Median | Minimum | Maximum |
|---------|---------------------------|--------|---------|---------|
| $I'/E'$ | 0,339<br>( $\pm$ 0,102)   | 0,337  | 0,089   | 0,566   |

Die Einbeziehung der Übergangsphasen (IE und EI2) in das Verhältnis von inspiratorischem zu expiratorischem Anteil wirkt sich zugunsten der Inspiration aus. Im Durchschnitt ist  $E'$  immer noch länger als  $I'$ , jedoch nur noch um das ca. 3-Fache. Ohne die Beachtung der Übergangsphasen, also allein bei

Berücksichtigung der lautierten Anteile, war die Expirationslänge noch um das ca. 5-Fache größer als die Inspirationslänge (Kapitel 3.2.4.1).

Die Verteilung der ermittelten Verhältnisse wird durch ein Histogramm in Abbildung 37 grafisch dargestellt. Die Verteilung ist nach Shapiro-Wilk-Test normalverteilt ( $p = 0,969$ ). Der Median ist durch eine Senkrechte zur x-Achse gekennzeichnet.

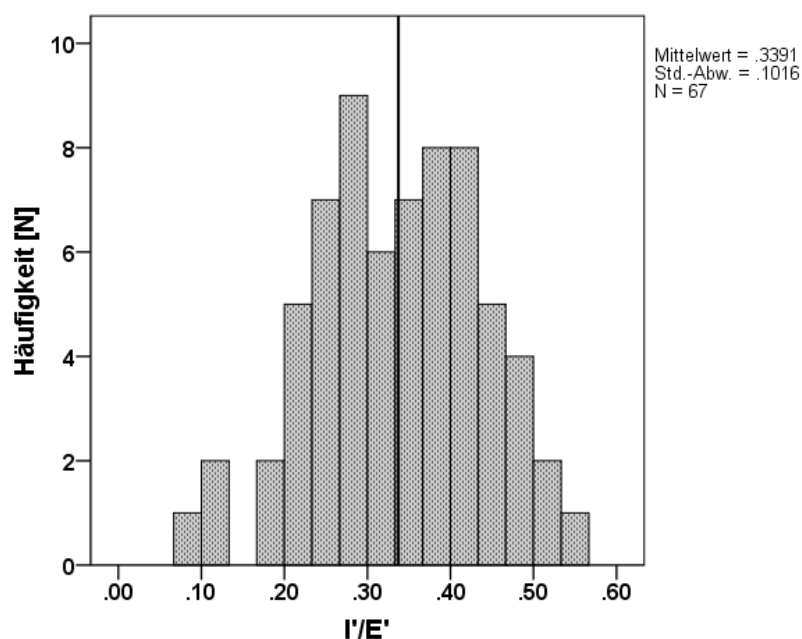
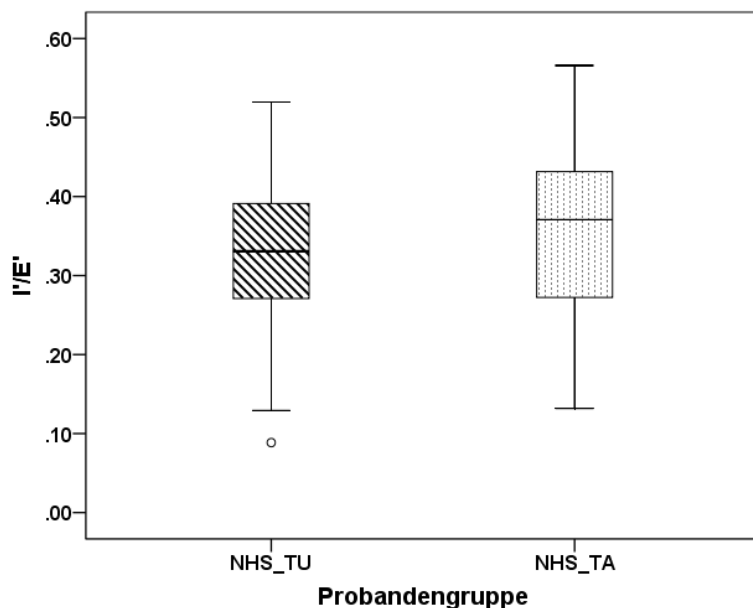


Abbildung 37: Histogramm: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen (I'/E')

### 3.2.5.2 Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen differenziert nach den Probandengruppen

Es konnten wieder 35 Probanden aus der NHS\_TU-Gruppe und 32 Probanden aus der NHS\_TA-Gruppe mit Messwerten der Kategorie 2 in den Gruppenvergleich einbezogen werden.

Abbildung 38 zeigt das Boxplot-Diagramm der beiden Gruppen.



**Abbildung 38:** Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen (I'/E') in den Probandengruppen

**Tabelle 24:** Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen (I'/E') in den Probandengruppen

| Probandengruppe | Median | Interquartilbereich | Minimum | Maximum |
|-----------------|--------|---------------------|---------|---------|
| NHS_TU          | 0,331  | 0,139               | 0,089   | 0,520   |
| NHS_TA          | 0,396  | 0,165               | 0,132   | 0,566   |

Beim Verhältnis I'/E' lässt sich ein minimaler Unterschied zwischen den beiden Probandengruppen erkennen, anders als bei der Betrachtung des Verhältnisses ohne die Übergangsphasen (Kapitel 3.2.4.2). Der Median von NHS\_TA ist im Vergleich zum Median von NHS\_TU erhöht. Ähnlich die anderen statistischen Größen sind in der NHS\_TA-Gruppe leicht größer als bei NHS\_TU (Tabelle 24). Der Variationskoeffizient bei NHS\_TA ist mit 29 % annähernd gleich dem bei NHS\_TU mit 31 %.

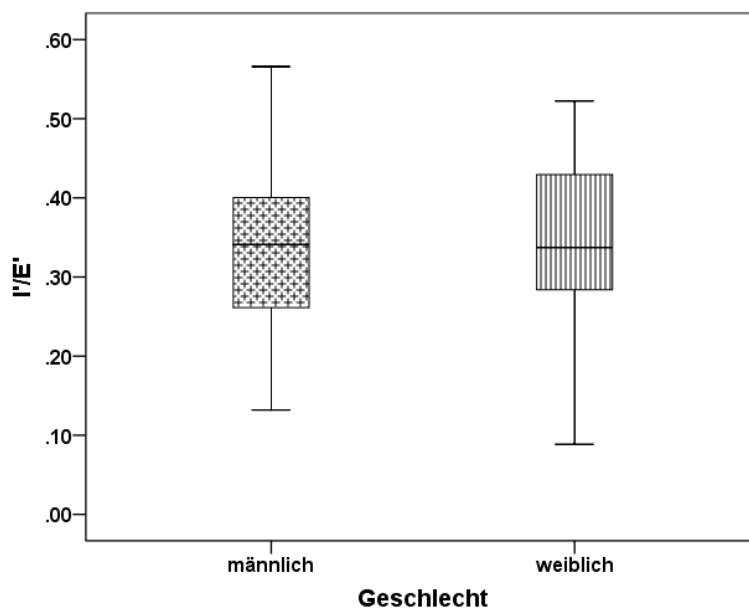


In beiden Gruppen ist eine Normalverteilung nach Shapiro-Wilk vorhanden (NHS\_TU:  $p = 0,918$ ; NHS\_TA:  $p = 0,778$ ). Der t-Test liefert keine signifikanten Probandengruppenunterschiede für das Verhältnis I'/E' ( $p = 0,226$ ).

### 3.2.5.3 Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen differenziert nach dem Geschlecht

In der geschlechtsspezifischen Auswertung des Verhältnisses I'/E' wurden 34 männliche sowie 33 weibliche Neugeborene herangezogen.

Das nachfolgende Boxplot-Diagramm (Abbildung 39) liefert die Ergebnisse grafisch abgebildet.



**Abbildung 39:** Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen (I'/E') nach dem Geschlecht

So wie bei der Geschlechtsanalyse des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge (Kapitel 3.2.4.3) ergibt auch die geschlechtsabhängige Auswertung dieser Größe mit Einbeziehung der Übergangsphasen keine großen Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden. Der Median der Jungen liegt mit einem Wert von 0,338 in der gleichen Größenordnung wie der

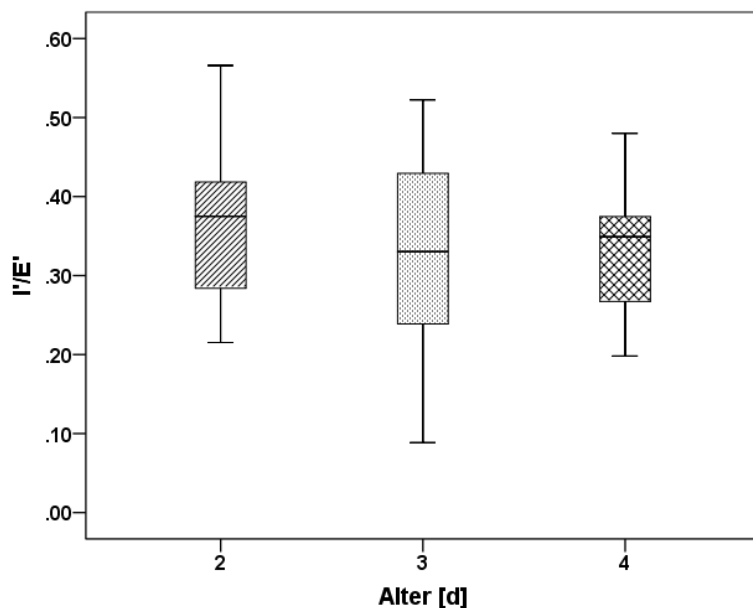
Median der Mädchen (0,337). Das Ausmaß der Boxen unterscheidet sich auch kaum. Der Interquartilbereich der Mädchen beträgt 0,156, der der Jungen beträgt 0,142. Das Maximum und Minimum bei der weiblichen Gruppe liegt jeweils etwas niedriger (0,522 und 0,089) als bei der männlichen Gruppe (0,566 und 0,132). Die Variationskoeffizienten als Streuungsmaß betragen 28 % bei den Jungen und 32 % bei den Mädchen.

Die Daten der männlichen und weiblichen Probanden zeigen nach Shapiro-Wilk eine hinreichende Normalverteilung (m:  $p = 0,894$ ; w:  $p = 0,604$ ). Wie es nach dem Boxplot-Diagramm zu erwarten war, liefert auch der t-Test keine signifikanten Geschlechtsunterschiede hinsichtlich des Verhältnisses I'/E' ( $p = 0,597$ ).

### **3.2.5.4 Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen differenziert nach dem Alter**

Das Alter der Probanden in Bezug zur Untersuchungsvariablen I'/E' wird im Folgenden analysiert. Es standen die gleiche Anzahl an Probanden in den verschiedenen Altersklassen wie bei der Analyse des Verhältnisses I/E ohne Übergangsphasen (Kapitel 3.2.4.4) zur Verfügung.

Abbildung 40 zeigt die Verteilung des Quotienten I'/E' aufgeteilt in die drei Altersgruppen.



**Abbildung 40:** Boxplot: Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich Übergangsphasen (I'/E') nach dem Alter

**Tabelle 25:** Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich Übergangsphasen (I'/E') nach dem Alter

| Alter [d] | Median | Minimum | Maximum |
|-----------|--------|---------|---------|
| 2         | 0,375  | 0,215   | 0,566   |
| 3         | 0,330  | 0,089   | 0,522   |
| 4         | 0,349  | 0,198   | 0,480   |

Das Verhältnis I'/E' verändert sich wie schon das Verhältnis I/E ohne die Übergangsphasen über die 3 Tage kaum. Beim Verhältnis I/E blieb der Median in den drei Altersgruppen ziemlich konstant auf einer Höhe. Der Unterschied hier, bei Einbezug der Übergangsphasen, liegt darin, dass zum Alter von 3 Tagen der Median von I'/E' niedriger ist als am 2. und 4. Tag (Tabelle 25). Die Variationskoeffizienten betragen 26 % am 2. Tag, 34 % am 3. Tag und 25 % am 4. Tag.

Anhand des Boxplot-Diagramms sowie einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) lässt sich feststellen, dass das Verhältnis aus Inspirationslänge und Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen ( $I'/E'$ ), wie auch das Verhältnis  $I/E$  ohne die Übergangsphasen, unabhängig vom Alter ist ( $p = 0,330$ ). Der Levene-Test bestätigt die Varianzhomogenität der Daten als Voraussetzung für die Verwendung der ANOVA [ $F_{(2; 64)} = 0,655$ ;  $p = 0,523$ ].

### **3.2.5.5 Korrelation zwischen Inspirationslänge und Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen**

Die Korrelation zwischen Inspirationslänge und Expirationslänge wurde schon in Kapitel 3.2.4.5 analysiert. Im Folgenden wird wie in den vorherigen Unterkapiteln von Kapitel 3.2.5 der Inspirationslänge die Länge der nachfolgenden Übergangsphase IE und der Expirationslänge die Länge der Übergangsphase EI2 dazu addiert, sodass die Korrelation zwischen der Summe aus Inspirationslänge und Länge der Übergangsphase IE ( $I'$ ) und Summe aus Expirationslänge und Länge der Übergangsphase EI2 ( $E'$ ) geprüft werden kann. Der Korrelationstest nach Spearman zeigt auch mit Einbeziehung der Übergangsphasen einen ähnlich positiven Zusammenhang zwischen Inspirationslänge und Expirationslänge wie er bereits für die lautierten Inspirations- und Expirationsphasen in Kapitel 3.2.4.5 beschrieben wurde ( $r = 0,483$ ;  $p < 0,001$ ).

Zur Veranschaulichung wurde auch hier ein Streudiagramm (Abbildung 41) der beiden Größen erstellt. Auch hier ist die positive Korrelation zwischen  $I'$  und  $E'$  zu erkennen und zeigt, dass die Einbeziehung der Übergangsphasen in das Verhältnis Inspirationslänge zu Expirationslänge den positiven Zusammenhang dieser beiden Größen stützt. Mit steigender Inspirationslänge + Länge der Übergangsphase IE (=  $I'$ ) steigt auch die Expirationslänge + Länge der Übergangsphase EI2 (=  $E'$ ).

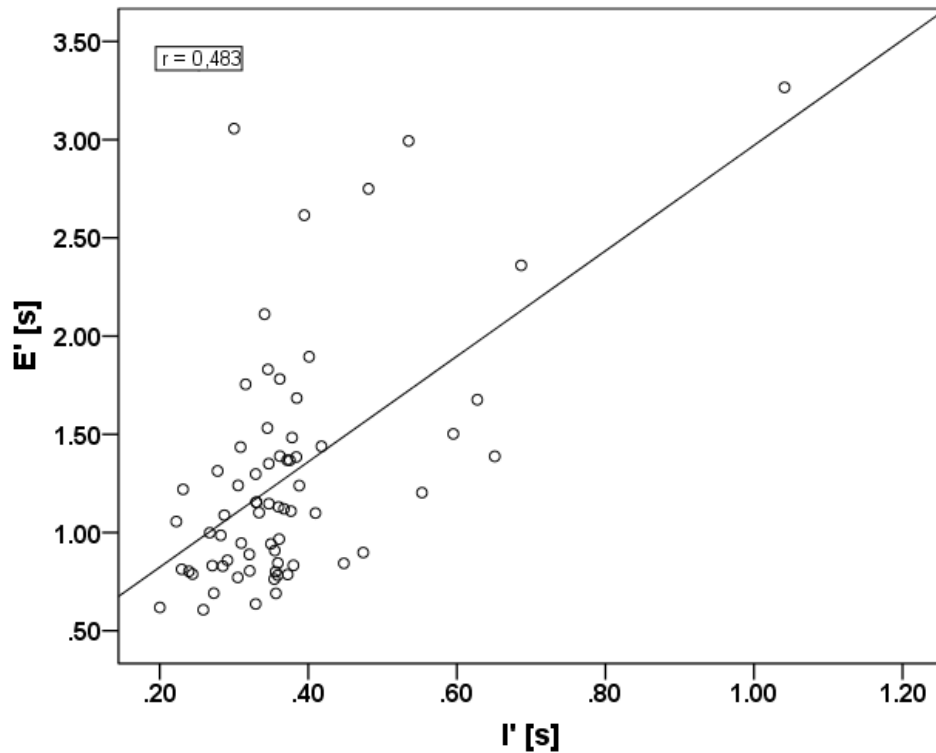


Abbildung 41: Streudiagramm: Korrelation zwischen Inspirationslänge + Übergangsphase IE ( $I'$ ) und Expirationslänge + Übergangsphase EI2 ( $E'$ )

### 3.2.6 Analyse des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/ $L_{ges}$

Da die Signallängen der zur Verfügung stehenden Aufnahmen unterschiedlich lang sind, wurde eine Normierung des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen ( $I'/E'$ ) vorgenommen, indem ein weiterer Quotient aus  $I'/E'$  zur Gesamtlänge eines Einzelsignals ( $L_{ges}$ ) gebildet wurde. Aus diesem Quotienten kann die potenzielle Abhängigkeit des Verhältnisses Inspirationslänge zu Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen von der Gesamtlänge eines Einzelsignals ermittelt werden.

### 3.2.6.1 Deskriptive Analyse des längennormierten Quotienten (I'/E')/Lges

Tabelle 26 bietet eine Übersicht der deskriptiven Statistik.

Tabelle 26: Deskriptive Statistik des längennormierten Quotienten (I'/E')/Lges

|              | Mittelwert<br>(±SD) [ $\frac{1}{s}$ ] | Median<br>[ $\frac{1}{s}$ ] | Minimum<br>[ $\frac{1}{s}$ ] | Maximum<br>[ $\frac{1}{s}$ ] |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| (I'/E')/Lges | 0,261<br>(± 0,131)                    | 0,237                       | 0,018                        | 0,566                        |

Im folgenden Histogramm (Abbildung 42) ist eine nach Shapiro-Wilk hinreichende normalverteilte Verteilung zu sehen ( $p = 0,114$ ). Die vertikale Linie zur x-Achse kennzeichnet den Median.

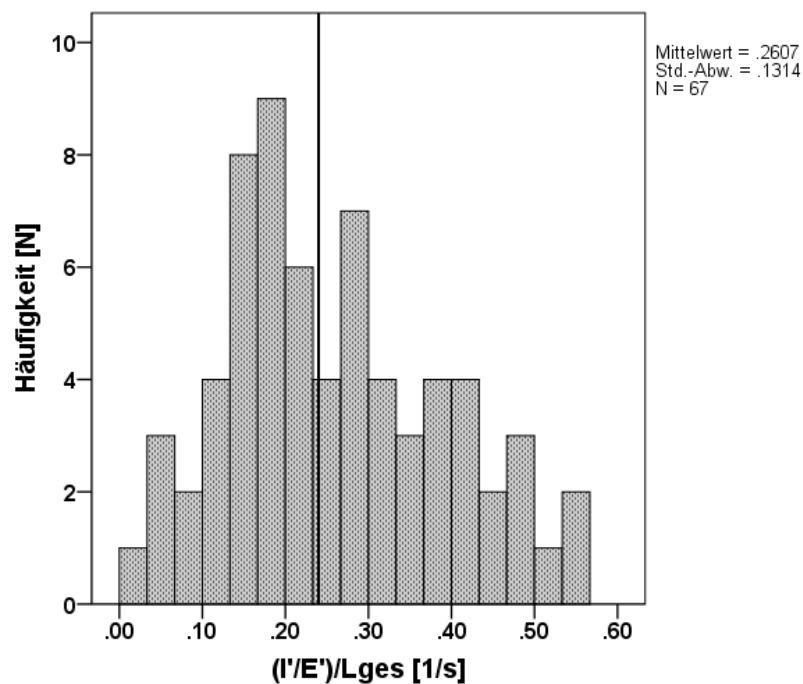


Abbildung 42: Histogramm: Verteilung des längennormierten Quotienten (I'/E')/Lges

### 3.2.6.2 Längennormierter Quotient ( $I'/E'$ )/Lges differenziert nach den Probandengruppen

Die Verteilung des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/Lges wurde in den beiden Probandengruppen untersucht und gegenübergestellt. Es standen wieder Daten der Bewertungskategorie 2 (Kapitel 2.4 und 2.6) von 35 Probanden der NHS\_TU - Gruppe und von 32 Probanden der NHS\_TA - Gruppe für die Analyse zur Verfügung.

Die Abbildung 43 zeigt die Verteilungseigenschaften der Untersuchungsvariablen ( $I'/E'$ )/Lges in den Probandengruppen als Boxplot-Diagramm dargestellt.

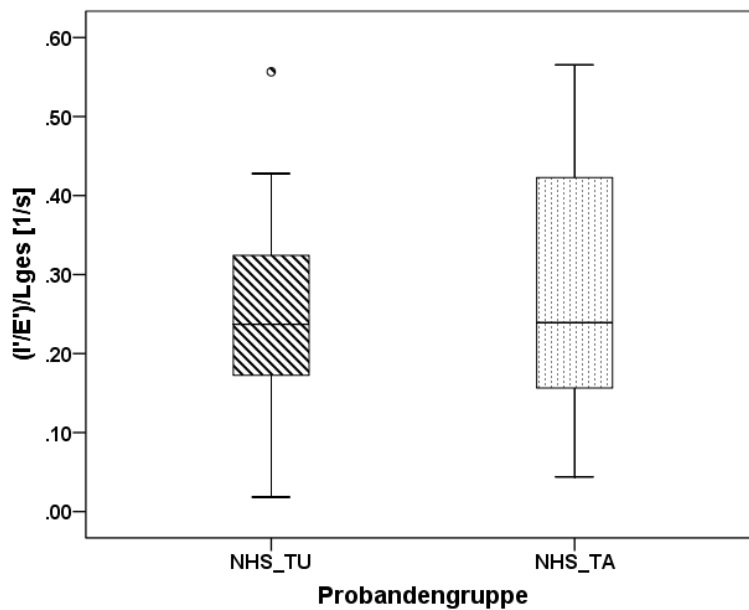


Abbildung 43: Boxplot: Verteilung des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/Lges in den Probandengruppen

**Tabelle 27: Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des längennormierten Quotienten  $(I'/E')/L_{ges}$  in den Probandengruppen**

| Probandengruppe | Median<br>$[\frac{1}{s}]$ | Interquartilbereich<br>$[\frac{1}{s}]$ | Minimum<br>$[\frac{1}{s}]$ | Maximum<br>$[\frac{1}{s}]$ |
|-----------------|---------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| NHS_TU          | 0,237                     | 0,155                                  | 0,018                      | 0,557                      |
| NHS_TA          | 0,239                     | 0,269                                  | 0,044                      | 0,566                      |

Anhand des Median in beiden Verteilungen erkennt man, dass sich der längennormierte Quotient in beiden Probandengruppen in der gleichen Größenordnung bewegt (Tabelle 27). Zu beobachten ist aber, dass die Größe der Box von NHS\_TA die von NHS\_TU deutlich übertrifft. Die Streuung ist in beiden Gruppen fast gleich. Als Streuungsmaß für eine dimensionslose Vergleichsgröße zur Variabilität zeigt der Variationskoeffizient für beide Gruppen diesen Zusammenhang. Der Variationskoeffizient bei NHS\_TA beträgt 52 %, bei NHS\_TU 49 %. Berücksichtigt man allerdings den Ausreißer  $(0,557 \frac{1}{s})$  bei NHS\_TU nicht, ist in NHS\_TA eine größere Streuung sichtbar.

Nach Shapiro-Wilk ist bei NHS\_TA keine hinreichend normalverteilte Datenverteilung festzustellen ( $p = 0,043$ ), bei NHS\_TU dagegen schon ( $p = 0,896$ ). Wie schon das Boxplot-Diagramm zu erwarten lässt, liefert der Mann-Whitney-Test keine signifikanten Unterschiede im längennormierten Quotienten  $(I'/E')/L_{ges}$  zwischen beiden Probandengruppen ( $p = 0,506$ ).

### 3.2.6.3 Längennormierter Quotient $(I'/E')/L_{ges}$ differenziert nach dem Geschlecht

Im Geschlechtsvergleich wurden 34 männliche und 33 weibliche Neugeborene bezüglich  $(I'/E')/L_{ges}$  untersucht.

Die Boxplots der beiden Geschlechter sind in Abbildung 44 gegenübergestellt.



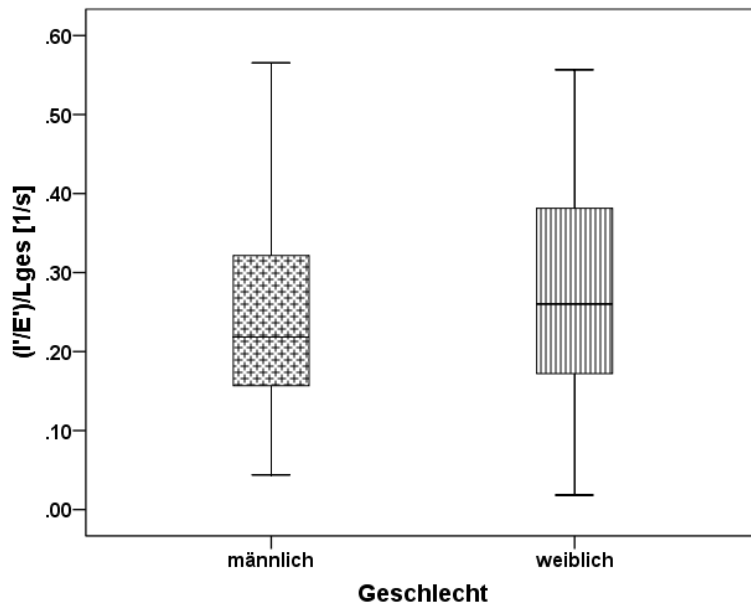


Abbildung 44: Boxplot: Verteilung des längennormierten Quotienten  $(I'/E')/L_{ges}$  nach dem Geschlecht

Tabelle 28: Übersicht über Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum der Verteilung des längennormierten Quotienten  $(I'/E')/L_{ges}$  nach dem Geschlecht

| Geschlecht | Median<br>$[\frac{1}{s}]$ | Interquartilbereich<br>$[\frac{1}{s}]$ | Minimum<br>$[\frac{1}{s}]$ | Maximum<br>$[\frac{1}{s}]$ |
|------------|---------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| männlich   | 0,218                     | 0,170                                  | 0,044                      | 0,566                      |
| weiblich   | 0,260                     | 0,217                                  | 0,018                      | 0,557                      |

Der Median, die 25. und 75. Perzentile liegen bei den Mädchen höher als bei den Jungen. Das Maximum und Minimum sind bei beiden annähernd gleich (Tabelle 28).

In beiden Geschlechtern besteht eine Normalverteilung der Daten nach Shapiro-Wilk (w:  $p = 0,885$ ; m:  $p = 0,071$ ). Der t-Test liefert eine Mittelwertgleichheit und stellt klar, dass es keine signifikanten Geschlechtsunterschiede im längennormierten Quotient  $(I'/E')/L_{ges}$  gibt ( $p = 0,618$ ).

### 3.2.6.4 Längennormierter Quotient ( $I'/E'$ )/Lges differenziert nach dem Alter

Es verteilen sich 23 Neugeborene auf den 2. Tag, 33 auf den 3. Tag und 11 auf den 4. Tag. Bei diesen Neugeborenen erfolgte die Analyse der Variable ( $I'/E'$ )/Lges.

Abbildung 45 stellt die Boxplots der drei Altersgruppen dar.

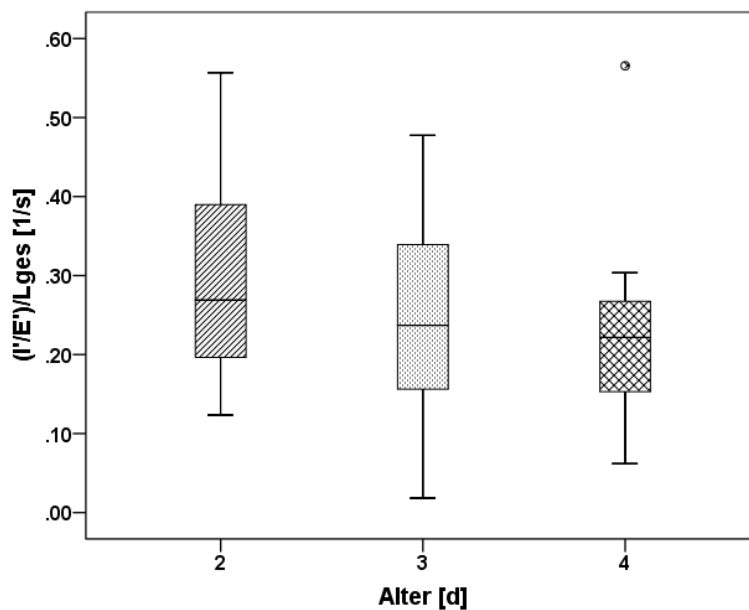


Abbildung 45: Boxplot: Verteilung des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/Lges nach dem Alter

Tabelle 29: Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung des längennormierten Quotienten ( $I'/E'$ )/Lges nach dem Alter

| Alter [d] | Median<br>[ $\frac{1}{s}$ ] | Minimum<br>[ $\frac{1}{s}$ ] | Maximum<br>[ $\frac{1}{s}$ ] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 2         | 0,269                       | 0,123                        | 0,557                        |
| 3         | 0,237                       | 0,018                        | 0,478                        |
| 4         | 0,222                       | 0,062                        | 0,566                        |

Auffällig im Boxplot-Diagramm ist der Trend, dass sich mit Alterszunahme der Quotient  $(l'/E')/L_{ges}$  verkleinert. Da das Verhältnis  $l'/E'$  (Kapitel 3.2.5.4) über das Alter ziemlich konstant bleibt und die Gesamtlänge der Einzelsignale ( $L_{ges}$ ) die Tendenz hatte mit dem Alter zu steigen (nicht signifikant) (Kapitel 3.2.3.4), lässt sich die Verkleinerung des Quotienten  $(l'/E')/L_{ges}$  nachvollziehen.

Diese Beobachtung ist nach einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) jedoch nicht signifikant ( $p = 0,313$ ). Der Levene-Test bestätigt die vorausgesetzte Varianzhomogenität der Daten in den verschiedenen Altersgruppen [ $F_{(2; 64)} = 0,460$ ;  $p = 0,633$ ].

### **3.2.6.5 Längennormierter Quotient $(l'/E')/L_{ges}$ differenziert nach dem Gestationsalter in Schwangerschaftswochen (vSSW)**

Im Folgenden wird die Größe  $(l'/E')/L_{ges}$  der Probanden unter Berücksichtigung des Gestationsalters untersucht.

In Abbildung 46 ist das Streudiagramm mit der Variablen  $(l'/E')/L_{ges}$  und dem Faktor Schwangerschaftswoche (vSSW) dargestellt.

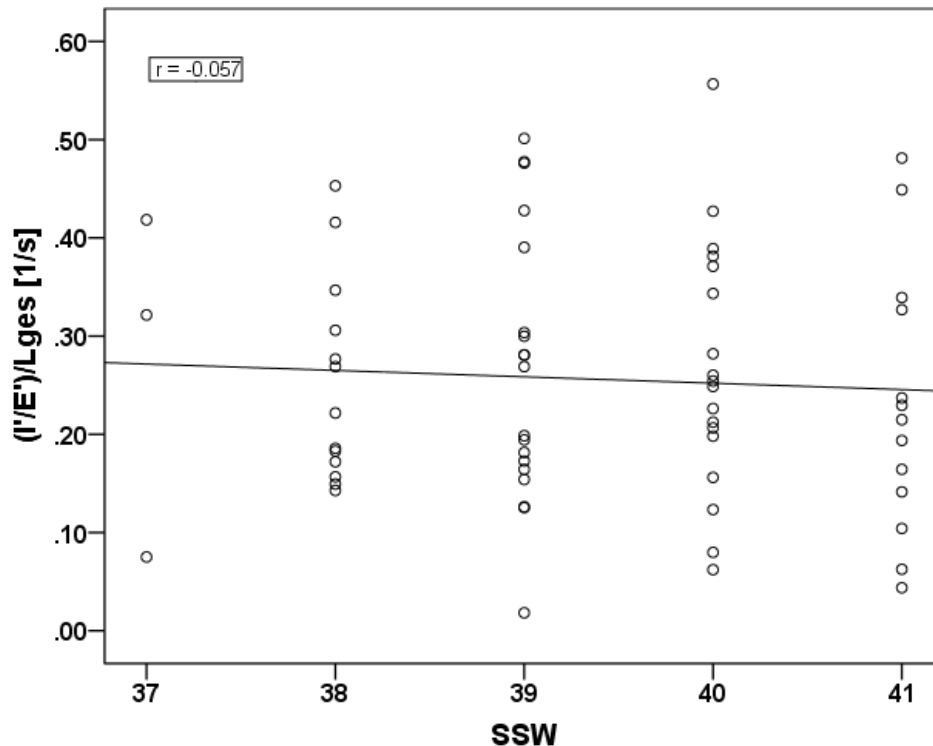


Abbildung 46: Streudiagramm: Korrelation zwischen dem längennormierten Quotienten  $(I'/E')/L_{ges}$  und der Schwangerschaftswoche (SSW), in der die Neugeborenen geboren wurden

$(I'/E')/L_{ges}$  verändert sich kaum. Der Spearman-Korrelationstest berichtet auch von keiner signifikanten Veränderung der Variablen  $(I'/E')/L_{ges}$  über die vSSW ( $r = -0,057$ ;  $p = 0,651$ ).

Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) zeigt auch, dass die vSSW keinen signifikanten Einfluss auf die Variable  $(I'/E')/L_{ges}$  hat ( $p = 0,757$ ). Eine Homoskedastizität der Daten ist nach dem Levene-Test vorhanden [ $F_{(4; 62)} = 2,162$ ;  $p = 0,084$ ].

### 3.2.6.6 Korrelation zwischen $I'/E'$ und der Gesamtlänge eines Einzelsignals ( $L_{ges}$ )

Damit die Abhängigkeit des Verhältnisses  $I'/E'$  von der Gesamtlänge eines Einzelsignals ( $L_{ges}$ ) untersucht werden konnte, wurde die Beziehung dieser beiden Größen anhand der Korrelation nach Spearman untersucht. Es resultierte eine signifikante Korrelation zwischen den beiden Größen ( $r = -0,588$ ;  $p < 0,001$ ).

Abbildung 47 spiegelt diesen Zusammenhang der beiden Größen in einem Streudiagramm. Je größer die Gesamtlänge eines Einzelsignals wird, umso kleiner wird der Quotient  $I'/E'$ .

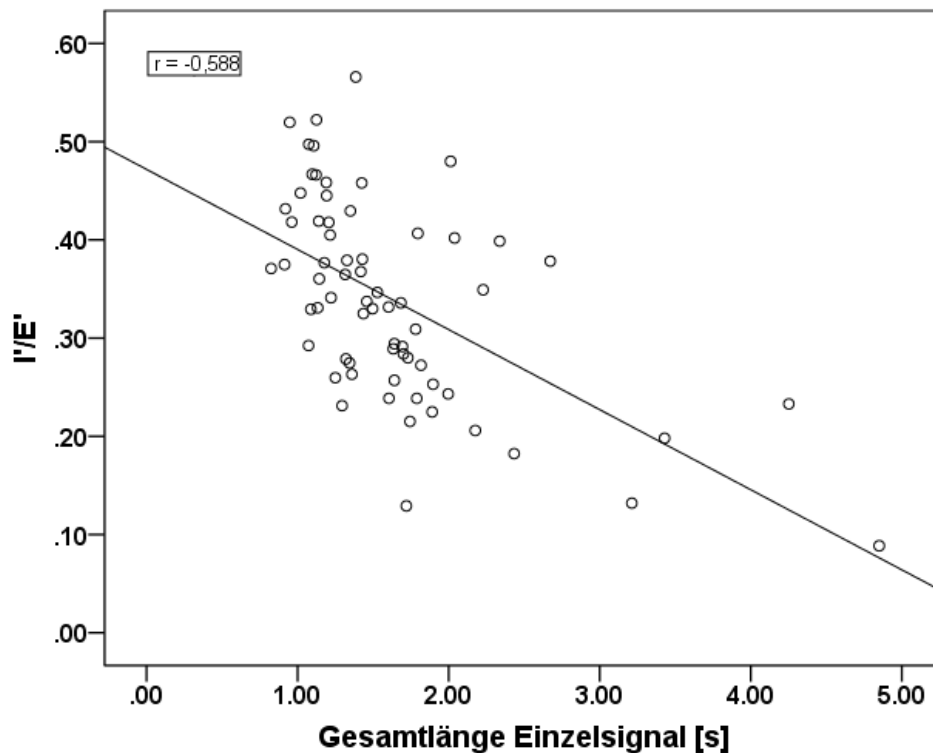


Abbildung 47: Streudiagramm: Korrelation zwischen  $I'/E'$  und Gesamtlänge eines Einzelsignals ( $L_{ges}$ )

Wird  $I'$  (Summe aus Inspirationslänge und Übergangsphasenlänge  $IE$ ) und  $E'$  (Summe aus Expirationslänge und Übergangsphasenlänge  $EI_2$ ) einzeln gegen die Gesamtlänge eines Einzelsignals ( $L_{ges}$ ) aufgestellt, wie in Abbildung 48 und Abbildung 49 veranschaulicht, erklärt sich weshalb sich das Verhältnis  $I'/E'$  mit zunehmender  $L_{ges}$  verkleinert.  $I'$  ( $r = 0,558$ ;  $p < 0,001$ ) sowie  $E'$  ( $r = 0,946$ ;  $p < 0,001$ ) erhöhen signifikant ihre Werte bei steigender  $L_{ges}$ . Jedoch, wie auch in den Streudiagrammen zu sehen ist, steigen die  $E'$ -Werte steiler (0,74) mit  $L_{ges}$  als die  $I'$ -Werte (0,11). Dadurch nimmt  $E'$  um einen höheren Faktor (ca. 6,7) zu als  $I'$  und resultiert in einer Erniedrigung des Verhältnisses  $I'/E'$  mit zunehmender  $L_{ges}$ .

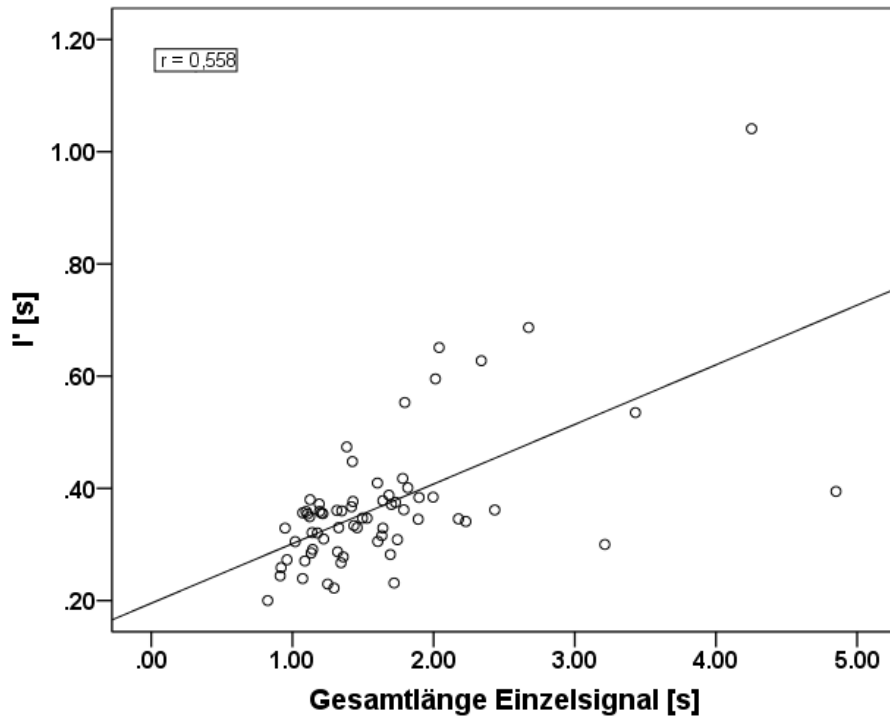


Abbildung 48: Streudiagramm: Korrelation zwischen Inspirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase IE (I') und Gesamtlänge eines Einzelsignals (Lges)

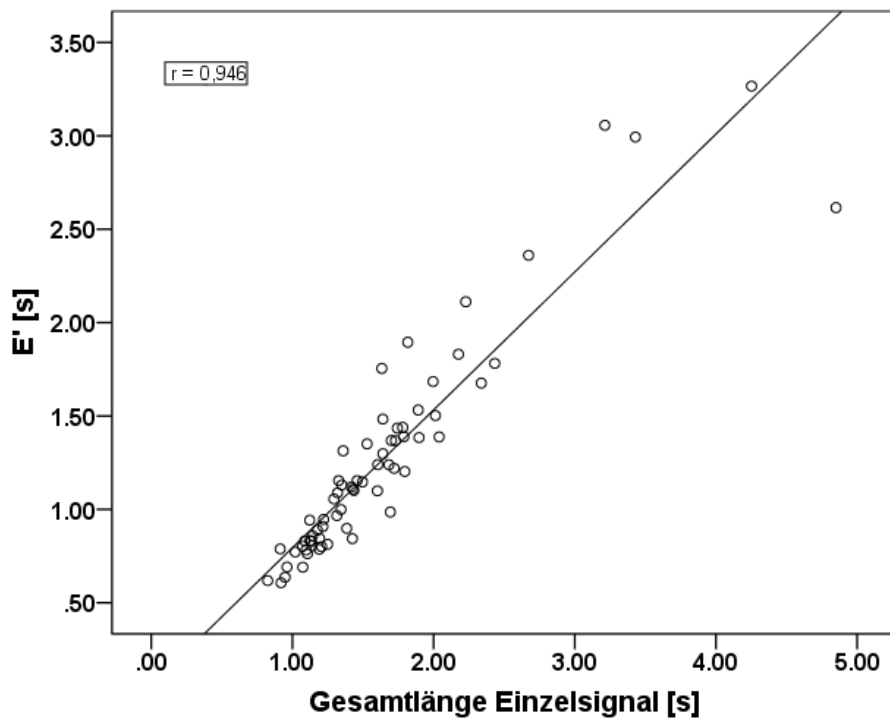


Abbildung 49: Streudiagramm: Korrelation zwischen Expirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase EI2 (E') und Gesamtlänge eines Einzelsignals (Lges)

### 3.2.7 Analyse des Verhältnisses der Übergangsphasen IE und EI2

Die Phasen zwischen Inspiration und nachfolgender Exspiration bzw. Exspiration und nachfolgender Inspiration (IE und EI2) wurden bisher in der vorliegenden Arbeit noch nicht separat analysiert. In den vorherigen Kapiteln wurden sie insofern berücksichtigt, als dass ihre Längen zum jeweils vorangehenden Teil der Atemphasen hinzugerechnet wurden.

Diese stillen Übergangsphasen sind von der zeitlichen Dauer beide kürzer als die lautierten Anteile der Inspiration und Exspiration. IE hat im Mittel eine Länge von 0,169 s, der Median beträgt 0,132 s. Die Phase nach der Exspiration EI2 ist nochmal um einiges kürzer und hat einen Mittelwert von 0,078 s sowie einen Median von 0,044 s.

Zur Prüfung der Beziehung der beiden Übergangsphasen zueinander wurde erneut für jeden Probanden jeweils ein Mittelwert für das Verhältnis IE zu EI2 ermittelt. Diese Mittelwerte standen somit den statistischen Berechnungen zur Verfügung.

#### 3.2.7.1 Deskriptive Analyse des Verhältnisses der Übergangsphasen (IE zu EI2)

Tabelle 30 liefert eine Übersicht über die deskriptive Statistik des Verhältnisses IE zu EI2.

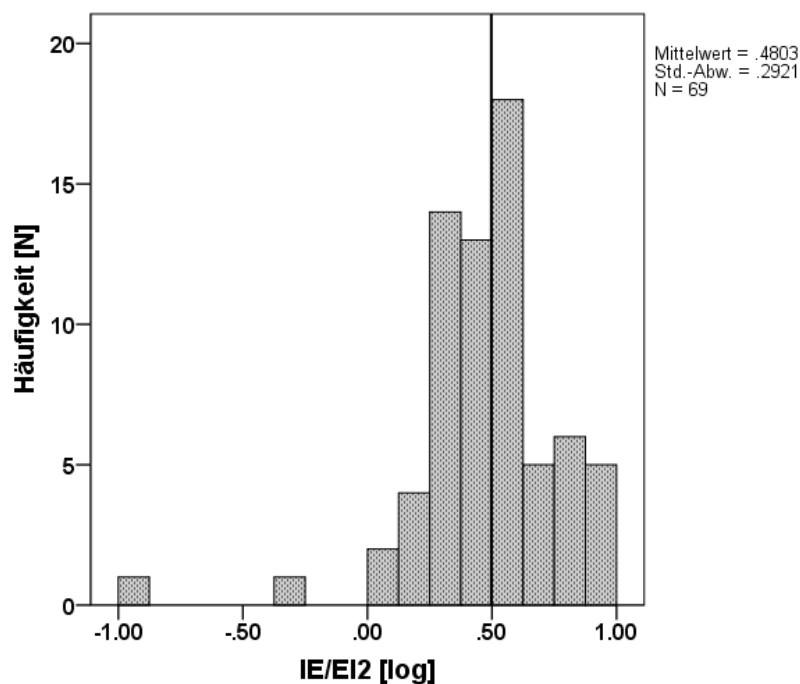
Tabelle 30: Deskriptive Statistik des Verhältnisses der Übergangsphasen (IE/EI2)

|        | Mittelwert<br>(±SD) | Median | Minimum | Maximum |
|--------|---------------------|--------|---------|---------|
| IE/EI2 | 3,614<br>(± 2,099)  | 3,146  | 0,133   | 9,772   |

Im Durchschnitt hat das Verhältnis einen Wert von 3,614 und zeigt, dass das Intervall IE im Mittel um das knapp 4-Fache länger ist als EI2. Zu beachten ist

auch die große Breite der Verteilung, die anhand der Differenz des Maximal- und Minimalwertes zu erfassen ist.

Das Histogramm in Abbildung 50 spiegelt die große Spannweite der Verteilung auch. Um eine symmetrische Form der Darstellung zu erhalten, wurde auch hier das Logarithmieren der Werte vorgenommen. Bei der Untersuchung auf Normalverteilung mittels des Shapiro-Wilk-Tests ergab sich bei den nicht-logarithmierten sowie logarithmierten Werte keine hinreichende Normalverteilung ( $p < 0,001$ ). Die vertikale Bezugslinie zur x-Achse repräsentiert wieder den Median der Verteilung.



**Abbildung 50:** Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte des Verhältnisses der Übergangsphasen (IE/EI2)



### 3.2.7.2 Verhältnis der Übergangsphasen (IE zu EI2) differenziert nach den Probandengruppen

Es wurden 35 Probanden der NHS\_TU - Gruppe und 34 Probanden der NHS\_TA - Gruppe in Bezug zum Verhältnis der Übergangsphasen gegenübergestellt.

In Abbildung 51 wurde die Gegenüberstellung der beiden Gruppen anhand von Boxplots dargestellt.

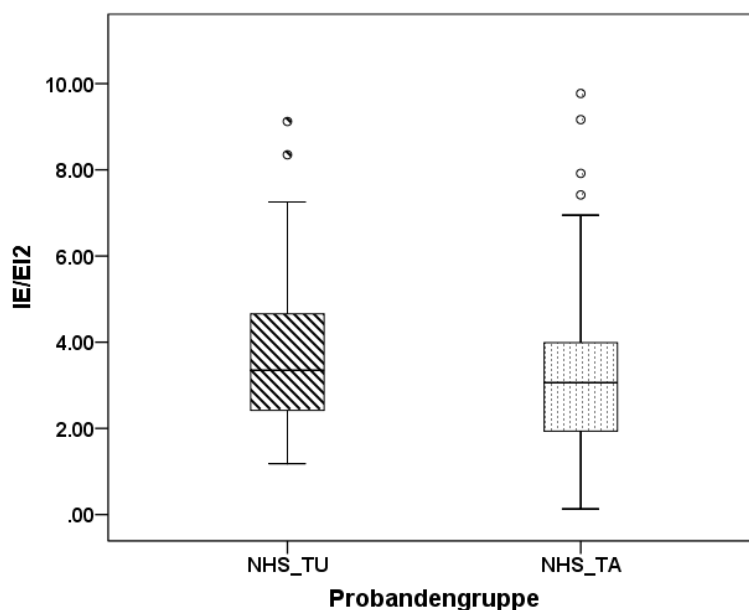


Abbildung 51: Boxplot: Verteilung des Verhältnisses der Übergangsphasen (IE/EI2) in den Probandengruppen

Wenn man die Mediane der beiden Boxen betrachtet, lässt sich ein geringer Unterschied zwischen den Probandengruppen erkennen. Der Median bei NHS\_TU hat einen Wert von 3,260 und liegt höher als der Median bei NHS\_TA mit einem Wert von 3,061. Außerdem liegen die Quartile bei NHS\_TU höher und das Ausmaß ihrer Box ist leicht größer als bei NHS\_TA. 50 % der Daten in der NHS\_TU - Gruppe liegen in einem Bereich zwischen 2,371 und 4,633. In der NHS\_TA - Gruppe sind 50 % der Daten Werte zwischen 1,919 und 3,996. Auch bei den Werten, die die Enden der Antennen repräsentieren, ist wieder zu beobachten, dass NHS\_TU die größeren Werte aufweist. NHS\_TU hat Werte von

7,252 und 1,181. NHS\_TA dagegen hat Werte von 6,948 und 0,133. Zudem sind noch einige Ausreißer zu sehen. Mit einem Variationskoeffizient von 50 % bei NHS\_TU zeigt sich, dass die Verteilung bei NHS\_TU weniger streut als bei NHS\_TA mit einem Variationskoeffizient von 67 %.

Die Verteilungen der Daten sind in beiden Gruppen nach Shapiro-Wilk nicht hinreichend normalverteilt (NHS\_TU:  $p = 0,001$ ; NHS\_TA:  $p = 0,001$ ). Der nichtparametrische Test nach Mann-Whitney liefert keine signifikanten Gruppenunterschiede für das Verhältnis IE/EI2.

### 3.2.7.3 Verhältnis der Übergangsphasen (IE zu EI2) differenziert nach dem Geschlecht

Beim Untersuchungsfaktor Geschlecht wurden 35 männliche und 34 weibliche Probanden einem Vergleich bezüglich des Verhältnisses der Übergangsphasen unterzogen.

Das nachfolgende Boxplot-Diagramm (Abbildung 52) bildet den Geschlechtsvergleich grafisch ab.

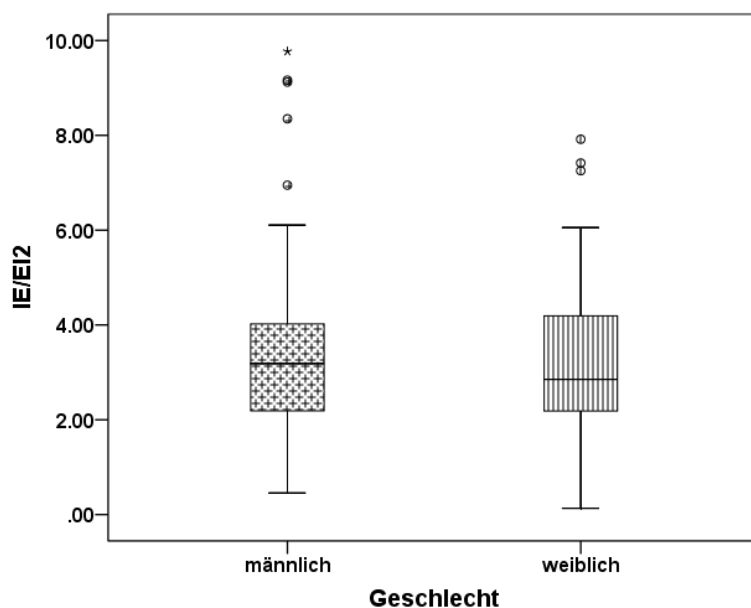


Abbildung 52: Boxplot: Verteilung des Verhältnisses der Übergangsphasen (IE/EI2) nach dem Geschlecht

Anhand der Größe und Lage der Boxen der beiden Geschlechter lassen sich keine großen Differenzen feststellen. Die 25. Perzentile beträgt bei den Jungen 2,117 und ist nahezu identisch mit der 25. Perzentile bei den Mädchen, die einen Wert von 2,184 hat. Die 75. Perzentile liegt bei den Jungen (4,023) etwas niedriger als bei den Mädchen (4,314). Dadurch stellt sich die Box der weiblichen Probanden minimal größer in ihrer Dimension dar als die der männlichen Probanden. Die Mediane der beiden Gruppen weisen demgegenüber einen etwas größeren Unterschied auf, indem der Wert der Jungen (3,185) höher liegt als der Wert der Mädchen (2,853). Mehrere Ausreißer nach oben lassen sich in beiden Gruppen erkennen. Außerdem ist ein Extremwert (9,772) bei den Jungen, der durch einen Stern gekennzeichnet ist, zu sehen. Der Variationskoeffizient der Jungen (63 %) zeigt eine größere Streuung der Verteilung als bei den Mädchen (53 %).

Die Daten beider Geschlechter zeigen nach Shapiro-Wilk keine Normalverteilung auf (m:  $p < 0,001$ ; w:  $p = 0,026$ ). Laut Mann-Whitney-Test sind keine signifikanten Unterschiede bei Jungen und Mädchen bezüglich des Verhältnisses IE/EI2 festzustellen.

### **3.2.7.4 Verhältnis der Übergangsphasen (IE zu EI2) differenziert nach dem Alter**

Für die Altersanalyse wurden Daten von 23 Neugeborenen im Alter von 2 Tagen, von 34 Neugeborenen im Alter von 3 Tagen und von 12 Neugeborenen im Alter von 4 Tagen verwendet.

Zur Veranschaulichung wurden die drei Altersgruppen in einem Boxplot-Diagramm (Abbildung 53) dargestellt.

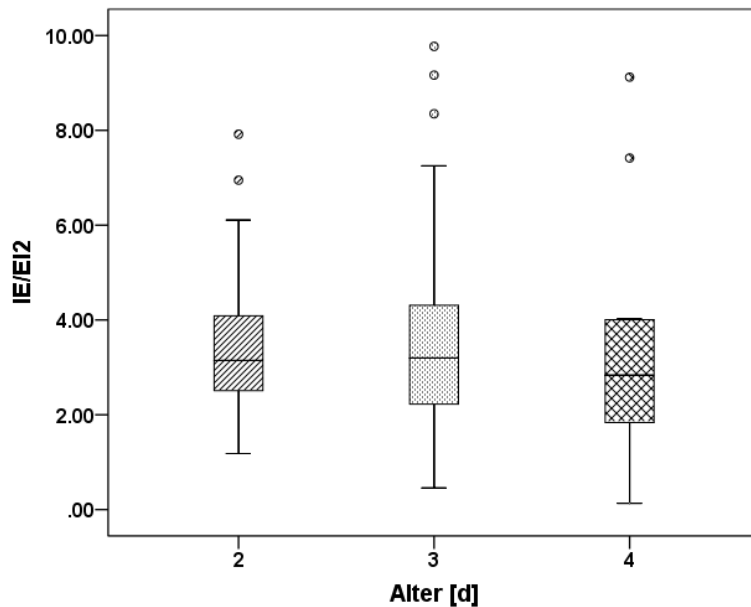


Abbildung 53: Boxplot: Verteilung des Verhältnisses der Übergangsphasen (IE/EI2) nach dem Alter

Tabelle 31: Übersicht über Median, Minimum und Maximum der Verteilung des Verhältnisses der Übergangsphasen (IE/EI2) nach dem Alter

| Alter [d] | Median | Minimum | Maximum |
|-----------|--------|---------|---------|
| 2         | 3,146  | 1,181   | 7,918   |
| 3         | 3,198  | 0,456   | 9,772   |
| 4         | 2,834  | 0,133   | 9,122   |

Orientiert man sich an den Medianen, stellt man fest, dass das Verhältnis der Übergangsphasen am 2. und 3. Tag fast gleich ist, dann vom 3. zum 4. Tag abnimmt. Besonders ist, dass am 4. Tag die 75. Perzentile mit dem Ende des oberen Whiskers zusammenfällt. Die 25. Perzentile und das Minimum nehmen im Altersverlauf stetig ab. Nach oben sind in allen drei Altersklassen einige Ausreißer zu erkennen. Die Berechnung der Variationskoeffizienten lieferte am 2. Tag einen Wert von 49 %, am 3. Tag einen Wert von 59 % und am 4. Tag

einen Wert von 75 %. Somit ist eine stärkere Variation in den verschiedenen Altersgruppen erkennbar.

Es bestehen laut der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) keine signifikanten Altersunterschiede im Verhältnis IE/EI2 ( $p = 0,915$ ). Der Levene-Test liefert die vorausgesetzte Varianzhomogenität der Daten [ $F_{(2; 66)} = 0,531$ ;  $p = 0,591$ ].

### 3.3 Auswertung auf Signalebene

Nachdem bei der Auswertung auf Kindebene (Kapitel 3.2) für jedes Neugeborene ein Mittelwert aus den Messdaten ermittelt wurde und in die Analyse eingegangen ist, wurde bei der Auswertung auf Signalebene jedes vermessene Einzelsignal gesondert und unabhängig vom Neugeborenen analysiert. Diese Perspektive erweitert die Erkenntnisse und charakterisiert den Variationsbereich der Messgrößen zusätzlich.

#### 3.3.1 Deskriptive Analyse der Inspirationslänge

Zunächst wurde die Länge der Inspiration der einzelnen Aufnahmen untersucht. Von den insgesamt 1545 Einzelsignalen lagen 991 Einzelsignale vor, die eine Inspirationsphase der Kategorie 2 aufwiesen und somit in die deskriptive Statistik eingegangen sind.

Tabelle 32 fasst die deskriptive Statistik der Inspirationslänge zusammen. Der Mittelwert und Median sind annähernd identisch mit dem Mittelwert und Median auf Kindebene. Der Unterschied zeigt sich in der Spannweite der Verteilung. Hier ist eine größere Spannweite auf Signalebene im Vergleich zur Kindebene zu erkennen.

**Tabelle 32: Deskriptive Statistik der Inspirationslänge**

|                          | <b>Mittelwert<br/>(<math>\pm</math>SD) [s]</b> | <b>Median [s]</b> | <b>Minimum<br/>[s]</b> | <b>Maximum<br/>[s]</b> |
|--------------------------|--|-------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Inspirationslänge</b> | 0,199<br>( $\pm$ 0,083)                        | 0,187             | 0,017                  | 0,690                  |

Zur Veranschaulichung der Verteilung wurde ein Histogramm erstellt (Abbildung 54). Da keine Normalverteilung nach Shapiro-Wilk ( $p < 0,001$ ) besteht, wurde eine Transformation durch Logarithmieren der Werte vorgenommen, was allerdings auch keine hinreichende Normalverteilung lieferte ( $p < 0,001$ ). Aufgrund der stärker symmetrischen Verteilung wurde aber das Histogramm mit den logarithmierten Werten ausgewählt. Zusätzlich wurde der Median mit einer vertikalen Linie zur x-Achse im Diagramm gekennzeichnet.

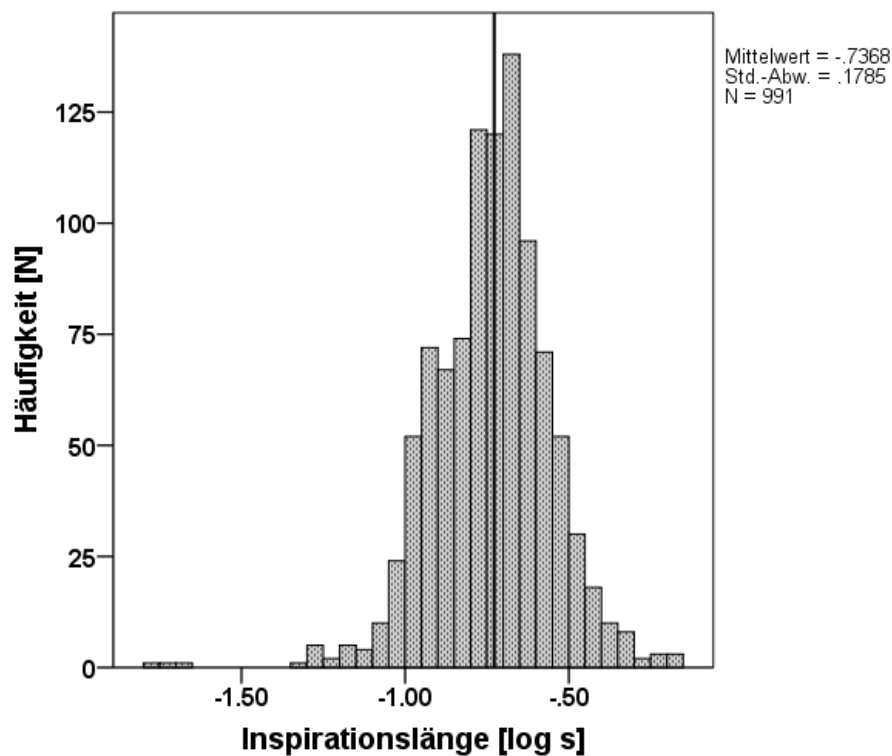


Abbildung 54: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Inspirationslänge

### 3.3.2 Deskriptive Analyse der Inspirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase IE

Im Folgenden wurde die Inspirationsphase mit der anschließenden kurzen Phase IE, die zwischen der Inspiration und Expiration vorkommt, zu einer Atmungsphase zusammengefasst. Es wurde somit die Summe aus der Inspirationslänge und Länge der Phase IE gebildet und die Verteilung der entstandenen Größe  $I'$  analysiert. In die Verteilung gingen 981 Einzelsignale ein. Die deskriptive Statistik ist in tabellarischer Form (Tabelle 33) nachfolgend dargestellt.

**Tabelle 33:** Deskriptive Statistik der Inspirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase IE (=  $I'$ )

|                        | <b>Mittelwert<br/>(<math>\pm</math>SD) [s]</b> | <b>Median [s]</b> | <b>Minimum<br/>[s]</b> | <b>Maximum<br/>[s]</b> |
|------------------------|--|-------------------|------------------------|------------------------|
| <b><math>I'</math></b> | 0,349<br>( $\pm$ 0,207)                        | 0,314             | 0,080                  | 4,557                  |

Da die Daten nach Shapiro-Wilk nicht hinreichend normalverteilt sind ( $p < 0,001$ ), wurden die Werte logarithmiert und ein Histogramm (Abbildung 55) aus diesen Werten angefertigt. Allerdings zeigt auch hier der Shapiro-Wilk-Test keine hinreichende Normalverteilung ( $p < 0,001$ ). Da die logarithmierte Darstellung einer Normalverteilung annähernd gleicht, wurde das Histogramm mit den logarithmierten Werten erstellt.

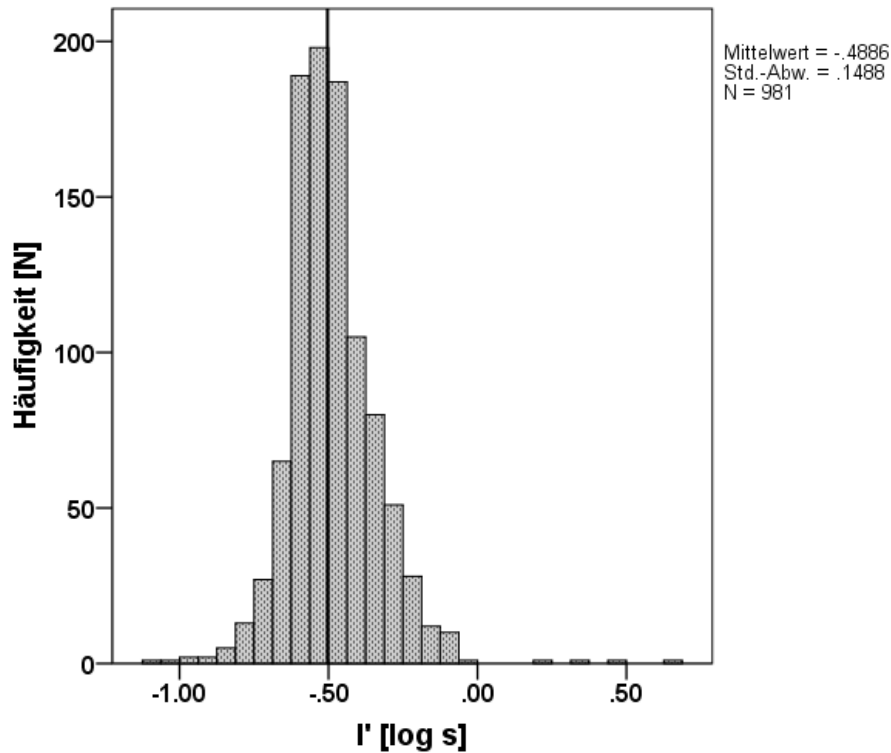


Abbildung 55: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Inspirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase IE (= I')

### 3.3.3 Deskriptive Analyse der Expirationslänge

Als weitere Größe wurde die Expirationslänge untersucht. Hier konnten 1381 Einzelsignale mit einer Expirationsphase der Kategorie 2 ausgewertet werden. Tabelle 34 zeigt die wichtigsten Größen der deskriptiven Statistik. Im Vergleich zur Kindebene sind der Mittelwert und Median auf Signalebene beide etwas kleiner. Wie bei der Inspirationslänge ist auch hier eine große Spannweite der Verteilung zur erkennen, die auf Kindebene deutlich geringer ausfiel.

Tabelle 34: Deskriptive Statistik der Expirationslänge

|                         | Mittelwert<br>(±SD) [s] | Median [s] | Minimum<br>[s] | Maximum<br>[s] |
|-------------------------|-------------------------|------------|----------------|----------------|
| <b>Expirationslänge</b> | 1,035<br>(± 0,678)      | 0,826      | 0,225          | 5,778          |



Auch hier wurden aufgrund der nicht normalverteilten Daten (Shapiro-Wilk:  $p < 0,001$ ) die logarithmierten Werte der Expirationslänge in einem Histogramm dargestellt (Abbildung 56). Eine symmetrische Verteilung ist gegeben, jedoch liefert auch hier der Normalverteilungstest nach Shapiro-Wilk keine hinreichende Normalverteilung ( $p < 0,001$ ).

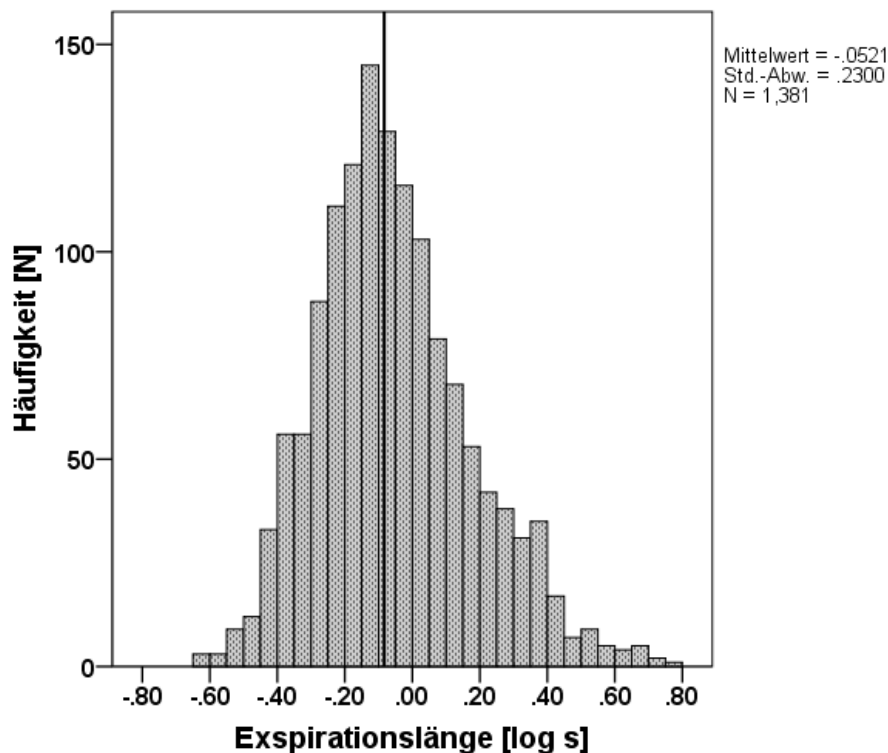


Abbildung 56: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Expirationslänge

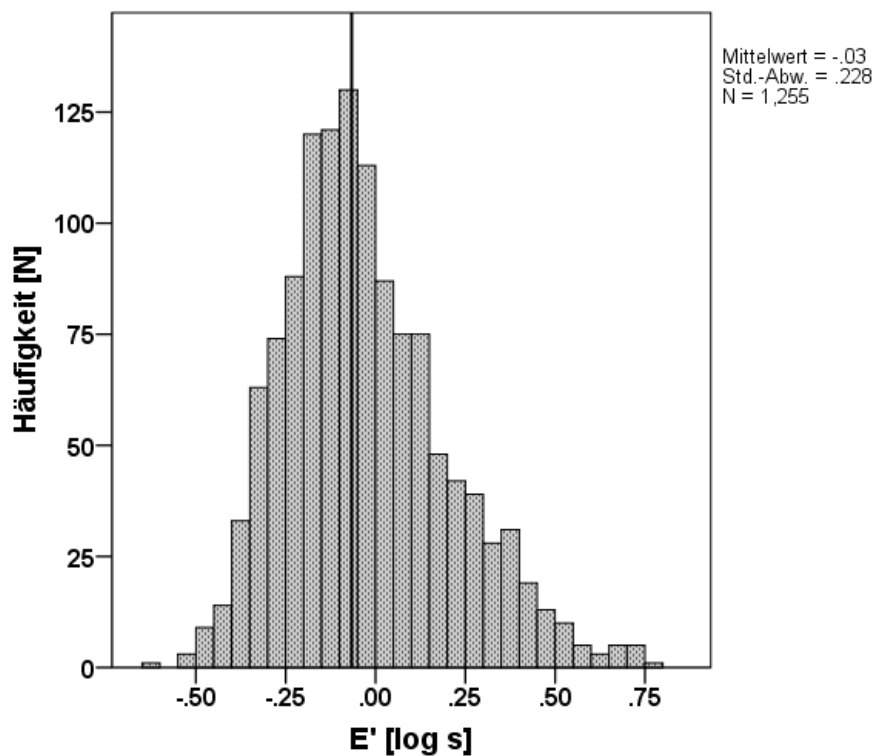
### 3.3.4 Deskriptive Analyse der Expirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase EI2

Hier wird der Expirationslänge die Länge der nachfolgenden Übergangsphase EI2 dazu addiert, um eine Zeitdauer für die komplette Expirationsphase einschließlich der kurzen Übergangsphase EI2 bis zur nächsten Inspiration zu erhalten. Die Phase aus Expiration und Übergangsphase EI2 zusammen wird, wie aus vorherigen Kapiteln bekannt, E' benannt. Dazu wurden 1255 Daten ausgewertet. Die deskriptive Statistik ist in Tabelle 35 wiedergegeben.

**Tabelle 35:** Deskriptive Statistik der Expirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase E12 (= E')

|           | Mittelwert<br>( $\pm$ SD) [s] | Median [s] | Minimum<br>[s] | Maximum<br>[s] |
|-----------|-------------------------------|------------|----------------|----------------|
| <b>E'</b> | 1,093<br>( $\pm$ 0,727)       | 0,858      | 0,247          | 5,790          |

Aufgrund der symmetrischeren Verteilung wurden in Abbildung 57 die logarithmierten Werte von E' in einem Histogramm dargestellt. Jedoch zeigen die logarithmierten Werte wie die ursprünglichen Werte keine Normalverteilung nach Shapiro-Wilk (beide  $p < 0,001$ ). Wie in den restlichen Histogrammen in der vorliegenden Arbeit wurde der Median als vertikale Linie zur x-Achse abgebildet.



**Abbildung 57:** Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Expirationslänge einschließlich der Länge der Übergangsphase E12 (= E')

### 3.3.5 Deskriptive Analyse der Gesamtlänge eines Einzelsignals

Für die Auswertung der Gesamtlänge eines Einzelsignals wurden 907 Aufnahmen analysiert. Wie in Tabelle 36 zu sehen, sind der Mittelwert und Median der Verteilung auf Signalebene kleiner als bei der kindbasierten Analyse. Die Breite der Verteilung ist dagegen wie auch schon bei den vorherigen Größen auf Signalebene deutlich höher.

**Tabelle 36: Deskriptive Statistik der Gesamtlänge eines Einzelsignals**

|                    | <b>Mittelwert<br/>(<math>\pm</math>SD) [s]</b> | <b>Median [s]</b> | <b>Minimum<br/>[s]</b> | <b>Maximum<br/>[s]</b> |
|--------------------|--|-------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Gesamtlänge</b> | 1,399<br>( $\pm$ 0,778)                        | 1,185             | 0,420                  | 10,170                 |

Im Histogramm der Verteilung (Abbildung 58) sind die logarithmierten Werte der Gesamtlänge dargestellt, die jedoch auch nicht normalverteilt sind (Shapiro-Wilk:  $p < 0,001$ ). Da nach dem Logarithmieren das Histogramm eine normalverteilungsfähigere Darstellung aufweist als die ursprünglichen Werte, wurde diese Abbildungsform gewählt.

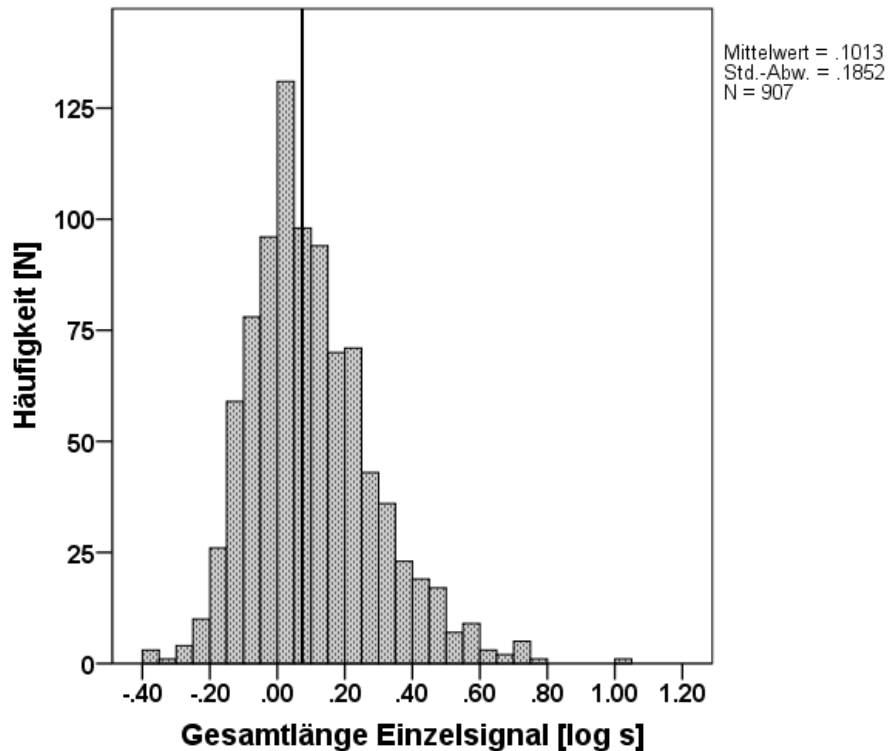


Abbildung 58: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Gesamtlänge eines Einzelsignals

### 3.3.6 Deskriptive Analyse des längennormierten Quotienten $(I'/E')/L_{ges}$

Als nächste Variable auf Signalebene wurde das längennormierte Verhältnis aus Inspirationslänge und Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen  $(I'/E')$  geprüft. Dazu wurden 906 Einzelsignale ausgewertet. Die deskriptive Statistik des Quotienten  $(I'/E')/L_{ges}$  ist in Tabelle 37 aufgeführt.

Tabelle 37: Deskriptive Statistik des Quotienten  $(I'/E')/L_{ges}$

|                   | Mittelwert<br>( $\pm$ SD) [ $\frac{1}{s}$ ] | Median<br>[ $\frac{1}{s}$ ] | Minimum<br>[ $\frac{1}{s}$ ] | Maximum<br>[ $\frac{1}{s}$ ] |
|-------------------|---|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| $(I'/E')/L_{ges}$ | 0,372<br>( $\pm$ 0,252)                     | 0,328                       | 0,007                        | 1,710                        |

Die nachfolgende Abbildung 59 zeigt das Histogramm der logarithmierten Werte des Quotienten  $(I'/E')/L_{ges}$  aufgrund einer symmetrischeren Darstellung. Wie bei den Ausgangswerten besteht auch nach dem Logarithmieren keine hinreichende Normalverteilung der Daten (Shapiro-Wilk:  $p < 0,001$ ).

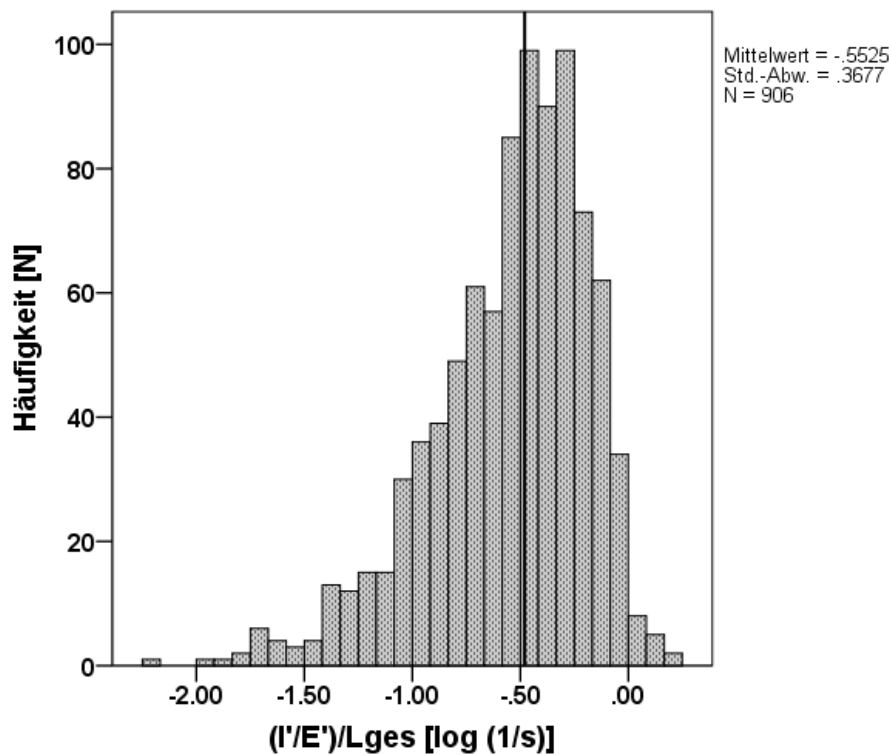


Abbildung 59: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte des Quotienten  $(I'/E')/L_{ges}$

### 3.3.7 Deskriptive Analyse der Länge der Übergangsphase IE

Für die Analyse der Übergangsphase IE, die sich zwischen Inspiration und Expiration befindet, wurden 1058 Aufnahmen der Kategorie 2 vermessen. Tabelle 38 fasst die deskriptive Statistik dieser Phase zusammen.

Tabelle 38: Deskriptive Statistik der Länge der Übergangsphase IE

|           | Mittelwert<br>( $\pm$ SD) [s] | Median [s] | Minimum<br>[s] | Maximum<br>[s] |
|-----------|-------------------------------|------------|----------------|----------------|
| <b>IE</b> | 0,139<br>( $\pm$ 0,103)       | 0,111      | 0,013          | 0,742          |

Da nach Shapiro-Wilk keine Normalverteilung der Daten vorliegt ( $p < 0,001$ ), wurden die Werte für IE logarithmiert. Eine Normalverteilung der logarithmierten Werte bestand auch nicht, jedoch zeigt das Histogramm der logarithmierten Werte (Abbildung 60) eine symmetrischere Darstellung.

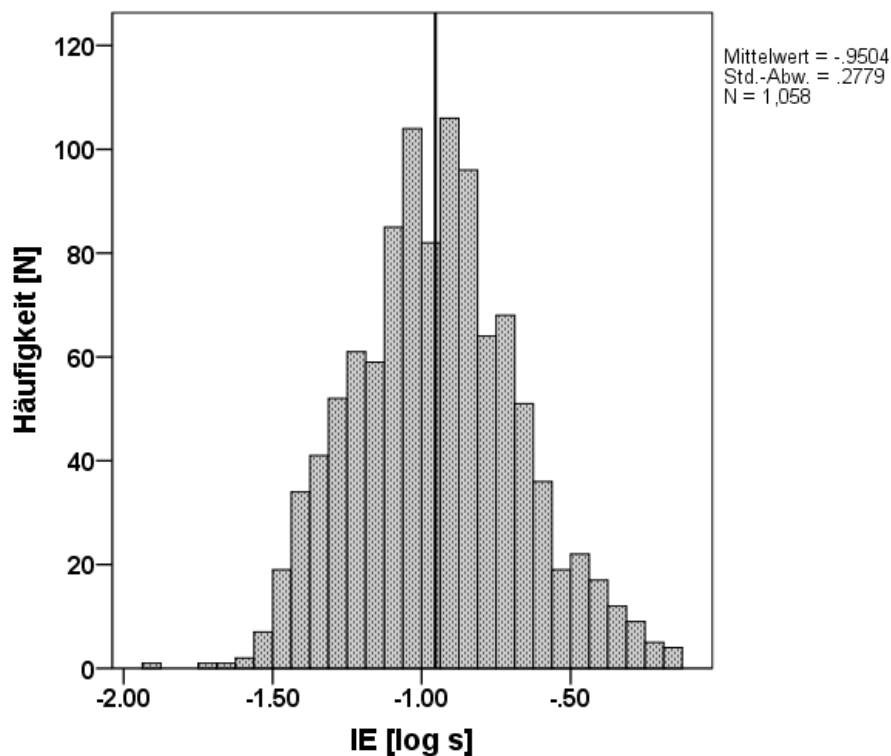


Abbildung 60: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Länge der Übergangsphase IE

### 3.3.8 Deskriptive Analyse der Länge der Übergangsphase EI2

Zum Schluss wird die deskriptive Statistik der Länge der Übergangsphase EI2, die der Expiration folgt, vorgestellt. 1258 Daten der Kategorie 2 standen hier zur Verfügung. Tabelle 39 bietet eine Übersicht der deskriptiven Statistik der Länge der Übergangsphase EI2.

Tabelle 39: Deskriptive Statistik der Länge der Übergangsphase EI2

|            | Mittelwert<br>( $\pm$ SD) [s] | Median [s] | Minimum<br>[s] | Maximum<br>[s] |
|------------|-------------------------------|------------|----------------|----------------|
| <b>EI2</b> | 0,052<br>( $\pm$ 0,080)       | 0,031      | 0,003          | 0,738          |

Auch hier sind aufgrund der symmetrischeren Darstellung die logarithmierten Werte von EI2 im Histogramm (Abbildung 61) gewählt worden. Diese Werte sind genauso wie die nicht-logarithmierten Werte nicht normalverteilt ( $p < 0,001$ ).

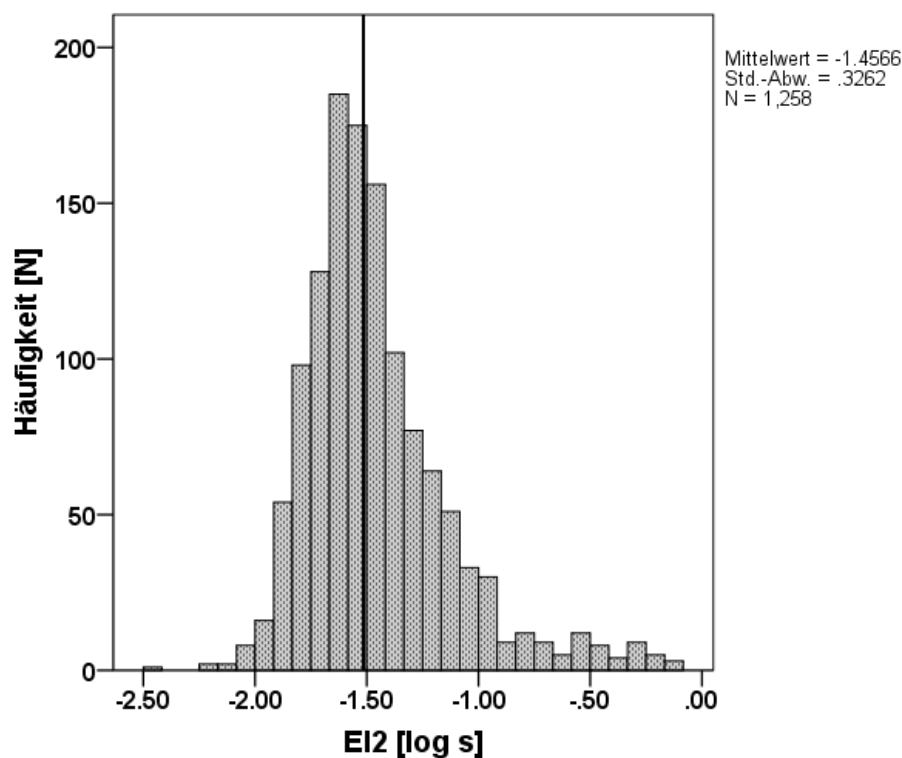


Abbildung 61: Histogramm: Verteilung der logarithmierten Werte der Länge der Übergangsphase EI2

## 4 Diskussion

### 4.1 Vergleich der Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten

Wie in Kapitel 3.1 erklärt wurde, sollte hier überprüft werden, wie repräsentativ die hier analysierten Einzelsignale sind, indem die Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten mit der von WERMKE et al. (2017) verglichen wird.

In der vorliegenden Arbeit lassen sich im Untersuchungszeitraum vom 2. – 4. Lebenstag ähnliche oder sogar höhere Werte für die Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten wie bei WERMKE et al. (2017) in der ersten Lebenswoche erkennen. Bei WERMKE et al. (2017) traten beim männlichen Geschlecht mit einem mittleren Prozentsatz von 41 ( $\pm$  36) % Inspirationslaute auf; beim weiblichen Geschlecht liegt die mittlere Auftrittshäufigkeit bei 52 ( $\pm$  26) %.

Hier zeigen in der NHS\_TU - Gruppe beide Geschlechter höhere Werte für die mittlere Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten. In der NHS\_TA - Gruppe liegt der Wert der männlichen Probanden wieder höher als bei WERMKE et al. (2017); die Mädchen dagegen weisen einen niedrigeren Wert auf, aber liegen noch im selben Größenordnungsbereich.

Wie die Auftrittshäufigkeit von Inspirationslauten bei WERMKE et al. (2017) zeigen auch die Werte der vorliegenden Arbeit, dass ingressive Laute regelmäßig im Phonationsrepertoire unauffälliger Neugeborener vorkommen und physiologischer Natur sind.

### 4.2 Dauer der Atemphasen und ihr Verhältnis zueinander

In der Fachliteratur sind vereinzelt Werte für die zeitliche Dauer von Inspiration und Expiration während der "Sprechatmung" von Säuglingen vorhanden, jedoch sind diese zum Teil nur als grobe Wertebereiche angegeben. BOLIEK et al. (1996)



beschreiben in ihrer Studie an 5 Wochen, 2,5 Monaten, 6,5 Monaten und 12 Monaten alten Säuglingen in vier verschiedenen Vokalisationstypen (Weinen, Wimmern, Grunzen und Silbenäußerungen), dass in 96 % ihrer untersuchten Fälle die Inspirationsdauer  $\leq 1,0$  s und die Expirationsdauer  $\leq 2,0$  s betrug. Bei AUCOUTURIER et al. (2011) wird von Inspirations- und Expirationsphasen bei Weinlauten von Säuglingen während der ersten 12 Lebensmonaten, die mehrere hundert Millisekunden, aber selten mehr als 1 s dauern, gesprochen. Zu beachten ist, dass in beiden Längsschnittstudien ein Untersuchungszeitraum von einem Jahr gewählt wurde.

Oft werden zur Messung des Atemverhaltens Techniken, wie die Respiratorische Induktive Plethysmographie, die Pneumotachographie und komplexe algorithmische Berechnungsverfahren verwendet, die vor allem Atemvolumina, Gasströmungsgeschwindigkeiten und Gasdrücke ermitteln. Die zeitliche Dauer der Atemphasen wird dabei meistens nur als Nebenbefund bestimmt. Vergleichbarere Daten zu der vorliegenden Studie liefern mit einem Durchschnitt von 129 ( $\pm 40$ ) ms für die Inspirationsphase von Neugeborenen in der ersten Lebenswoche eher WERMKE et al. (2017) oder die Messungen von GRAU et al. (1995) mit einer Inspirationsdauer von 0,146 s für zwei Tage alte Neugeborene. Allerdings wurden die Schreie der Neugeborenen bei GRAU et al. (1995) durch einen schmerzhaften Stimulus ausgelöst und waren keine Spontanlaute. Die Dauer einer Expiration bei Neugeborenen in der ersten Lebenswoche beträgt im Mittel 0,970 s laut WERMKE et al. (2016b). Die Standardabweichung betrug allerdings  $\pm 341$  ms, ein Umstand der die große Variationsbreite belegt. Zuletzt lieferte eine Studie, in der die spektralen und temporalen Charakteristika chinesischer Neugeborenenerschreie (Alter: 2.-5. Lebenstag) mit derselben Messmethodik (Praat) wie in der vorliegenden Arbeit untersucht wurden, die aktuellsten Messdaten für lautierete Inspirations- und Expirationsphasen. Die Inspiration zeigt eine Durchschnittslänge von 311 ( $\pm 67$ ) ms, die Expiration 1131 ( $\pm 424$ ) ms (RUAN, 2017). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liegen in der Größenordnung der genannten Vorarbeiten. Die Dauer der Inspirationsphase liegt mit einem Mittelwert von 0,199 s (Kind- und Signalebene) zwischen den

Werten von WERMKE et al. (2017) bzw. GRAU et al. (1995) und RUAN (2017). Die ermittelte Expirationslänge mit Werten von 1,185 s (Kindebene) und 1,035 s (Signalebene) korrespondiert auch mit den Daten von WERMKE et al. (2016b) und RUAN (2017). Die Abweichungen der Messwerte lassen sich möglicherweise methodisch erklären (verschiedene Messmethoden) und durch die Individualität der respiratorischen Kontrolle bei variierendem Erregungszustand. Die vergleichsweise hohe Variabilität, die auch hier in den großen Spannweiten der Verteilungen zu sehen war (Tabelle 6 und Tabelle 10), scheint in „[...] the nature of breathing control for vocalization during the first year of life“ (BOLIEK et al., 1996, S. 17) zu liegen. BOLIEK et al. (1996) haben durch die Untersuchung des Atemverhaltens bei verschiedenen Vokalisationstypen (Weinen, Wimmern, Grunzen und Silbenäußerungen) im 1. Lebensjahr die Variation der respiratorischen Kontrollfähigkeit und die höchst flexiblen und variablen Wege, wie Säuglinge sich das nötige Atemverhalten zum intendierten Vokalisationstyp aneignen, gezeigt. Mit der Entwicklung und Umstrukturierung des Atemapparats im Verlauf des 1. Lebensjahres befänden sie sich in einem Lernprozess um respiratorische Fähigkeiten und die Auswirkungen von Variationen auf die Vokalisation zu ergründen, betonen BOLIEK et al. (1996). Allerdings würde man in der 1. Lebenswoche eine deutlich geringere Variation erwarten, da die Mechanismen wohl vorrangig physiologische Ursachen haben.

Interessant ist die etwas größere Abweichung der hier ermittelten Inspirationslänge von der bei RUAN (2017). Hier ist auffällig, dass Ruans Werte für die Inspirationslänge eher den Werten für die Inspirationslänge einschließlich der Übergangsphase IE (Mittelwert: 0,349 s) der vorliegenden Arbeit gleichen (Tabelle 33). RUAN (2017) hat eine Analysemethode verwendet, bei der die lauterte + stille Phase von I nicht berücksichtigt wurde.

Bei der Definition der Atemphasen wird in der Literatur ausschließlich von Ein- und Ausatemphasen gesprochen und keine Erwähnung zu möglichen Übergangs- oder Zwischenphasen abgeliefert. So wird die Inspiration als Vorgang bezeichnet, bei dem sich ein Gasfluss Richtung Alveolen abspielt und bei der Expiration ein Gasfluss aus den Alveolen stattfindet. Ein direkter

Übergang dieser beiden Phasen ist physiologisch eher unwahrscheinlich und es sollte eine Latenz- oder Ruhephase zwischen In- und Expiration geben, in der kein Gasfluss zu beobachten ist. Ob die Übergangs- oder Zwischenphasen, wie sie in der vorliegenden Arbeit bezeichnet wurden, alleinstehende Phasen oder ein Teil der Ein- bzw. Ausatmung sind, kann auch hier nicht beantwortet werden, da es keine vergleichbaren Literaturangaben gibt aus denen man es aus den Messgrößen ableiten könnte. Die Grenzen der In- und Expiration liegen irgendwo in den hier gemessenen Zwischenphasen und es resultiert ein methodisch bedingter Spielraum für die exakte Lage der Grenzen bzw. der temporalen Eigenschaften der Phasen. Vor diesem Hintergrund zeigt ein Vergleich der hier ermittelten Werte mit den Literaturangaben eine sehr gute Übereinstimmung.

Für die weitere Charakterisierung des Atemrhythmus wurde in der vorliegenden Arbeit die Beziehung der Inspirationsphase zur Expirationsphase untersucht. Es wurde im Mittel ein Verhältnis von 1:5 zwischen der lautierten Inspirations- und Expirationslänge festgestellt. Schon TRUBY et al. (1965), STARK et al. (1975) und LANGLOIS et al. (1980) beschrieben in ihren Studien, dass die Expirationsphase 5 mal länger ist als die Inspirationsphase und bestätigen die vorliegenden Ergebnisse. Außerdem stehen die beiden Phasen in einem positiven Zusammenhang, da sich eine Zunahme der Inspirationslänge zeigte, sobald die Expiration auch an Länge dazugewinnt (Abbildung 36). Es scheint, dass bereits das Neugeborene durch die neurale Vernetzung des Atemzentrums mit den Gehirnarealen, die für Lautproduktion zuständig sind, „vorhersehen“ kann, wie viel Luft es für die nachfolgende phonierte Expirationsphase einatmen muss. Dies entspräche dem respiratorischen Verhalten, vor einem langen Satz mehr und vor einem kürzeren Satz weniger Luft einzuatmen (LIEBERMAN & LIEBERMAN, 1973; LIEBERMAN, 1984; WINKWORTH et al., 1995). Auch MACLARNON & HEWITT (2004) sprechen von „[...] evidence of forethought affecting the volume of air we breathe in“ (MACLARNON & HEWITT, 2004, S. 186). Bereits LIEBERMAN (1985) postulierte Ähnlichkeiten der Weinatmung von Neugeborenen mit der

Sprechatmung. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu nicht-humanen Primaten.

Werden wie in Kapitel 3.2.5 die Längen der sogenannten Übergangsphasen IE und EI2 zu der vorangehenden Inspirations- bzw. Expirationsphase dazugerechnet und die Übergangsphasen somit nicht als eigenständige Atemphasen behandelt, verschiebt sich das neu berechnete Verhältnis zwischen Inspiration und Expiration ( $I'/E'$ ) zugunsten einer längeren Inspirationsphase (1:3 vs. vorher 1:5). Ausschlaggebend dafür ist, dass das Intervall IE (Mittelwert: 0,169 s) deutlich länger ist als EI2 (Mittelwert: 0,078 s). Die kürzere EI2 Phase spiegelt eventuell die Latenz- (Umschaltzeit) wider. Wie lange I lautiert ist, ist variabel und unterliegt nicht laryngealer Kontrolle. Auch hier lässt sich wieder die positive Korrelation zwischen  $I'$  und  $E'$  beobachten (Abbildung 41); je größer  $E'$  wird umso größer wird auch  $I'$ .

Da jedoch die Zahlen von TRUBY et al. (1965), STARK et al. (1975) und LANGLOIS et al. (1980) auch wie oben beschrieben für ein Verhältnis von 1:5 zwischen Inspirations- und Expirationsphase sprechen, könnte dies darauf hinweisen die Übergangs- oder Zwischenphasen als isolierte Atemphasen zu sehen und würde die Theorie von kurzen Ruhephasen zwischen Ein- und Ausatmung befürworten.

Das Verhältnis zwischen Inspirations- und Expirationslänge zeigt insgesamt keine Abhängigkeiten vom Hörscreening-Ergebnis, dem Geschlecht oder dem Alter der Probanden und bleibt hinsichtlich dieser Faktoren eine stabile Größe. Einzig die Gesamtlänge eines Einzelsignals, die gleichzusetzen ist mit der Gesamtlänge eines Atemzyklus beeinflusst das Verhältnis zwischen Ein- und Ausatmung. Die Untersuchungen lieferten eine Verkleinerung des Verhältnisses bei Zunahme der Gesamtlänge eines Einzelsignals (Abbildung 47). Auch wenn bei den gewählten Untersuchungen das Verhältnis zwischen Inspirationslänge und Expirationslänge einschließlich der Übergangsphasen ( $I'/E'$ ) betrachtet wurde, stehen die Ergebnisse auch für das tatsächliche Verhältnis aus Inspiration und Expiration ( $I/E$ ), da die beiden Verhältnisse sich nur faktoriell unterscheiden und dies keine Unterschiede für die Beobachtungen im Zusammenhang mit der Gesamtlänge eines Einzelsignals macht. Durch die Analyse der

Einzelkomponenten des Verhältnisses,  $I'$  und  $E'$ , bezüglich der Gesamtlänge eines Einzelsignals (Abbildung 48 und Abbildung 49), lässt sich schließen, dass auch wenn die Inspirationsphase mit Zunahme der Expirationsdauer länger wird, dies nicht im gleichen Maße geschieht. Der flachere Anstieg (0,11) der Inspirationslänge bei Zunahme der Gesamtlänge eines Einzelsignals im Vergleich zum steileren Anstieg (0,74) der Expirationslänge könnte bedeuten, dass die Neugeborenen für länger phonierte Laute, die Inspiration nicht um den gleichen Faktor verlängern müssen. Denn die Expirationslänge nimmt ca. 6,7-Fach mehr mit der Gesamtlänge eines Einzelsignals zu als die Inspirationslänge.

Für die Ventilation des gleichen Volumens während der In- und Expiration müsste die Flussgeschwindigkeit der Atemluft wie beim Erwachsenen in der kürzeren Inspirationsphase höher sein als in der Expirationsphase. Der Erwachsene zeigt eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 0,34 l/sec bei der Inspiration und 0,26 l/sec bei der Expiration (KRESS et al., 2013). LIEBERMAN (1985) spricht in diesem Zusammenhang nur von einer Steigerung der Inspirationstiefe bei Erhöhung der Expirationslänge und somit längerer Vokalisation, aber definiert den Begriff Inspirationstiefe nicht eindeutig. Wie in der vorliegenden Arbeit festgestellt wurde, steigt die Inspirationslänge mit Zunahme der Expirationslänge, jedoch bleibt sie im Verhältnis deutlich kürzer als die Expirationslänge. Als Erklärung könnte die Kompensation der kürzeren Zeitdauer der Inspiration durch eine höhere Flussgeschwindigkeit der Atemluft während der Inspiration dienen.

Diese Zusammenhänge sollten in zukünftigen Studien verifiziert werden.

Die Fragestellung, ob regelhaft segmentierte Atemzyklen bei allen Neugeborenen vorhanden sind, lässt sich basierend auf den hier gemachten Beobachtungen eindeutig mit Ja beantworten. Jede untersuchte Aufnahme zeigte den spezifischen Atemrhythmus, der durch eine kurze Inspirationsphase mit nachfolgender längerer Expirationsphase und dazwischenliegenden Übergangsphasen charakterisiert war. Das Konzept des segmentierten Atemrhythmus, das durch LIEBERMAN (1985) oder MACLARNON & HEWITT (2004)

schon beschrieben wurde, wird somit durch die vorliegenden Studienergebnissen bestätigt. Ob die Übergangsphasen eigenständige Atemruhephasen bilden oder den vorangehenden Hauptatemphasen (Inspiration bzw. Expiration) zugehörig sind, konnte hier nicht eindeutig ermittelt werden und bedarf weiterer Studien, die sich mit dieser Fragestellung befassen.

### **4.3 Abhängigkeit vom Neugeborenen-Hörscreening-Test**

Es ist bekannt, dass der auditorische Input schon während der Schwangerschaft und in der Zeit vor dem 6. Lebensmonat, bevor die Säuglinge anfangen zu Babbeln, wichtig für eine normale Sprachentwicklung ist (SHEHATA-DIELER et al., 2013). Hörbehinderte Kinder sind in ihrer Sprech- bzw. Sprachentwicklung verzögert, da das komplette auditiv-vokale System einschließlich des respiratorischen Systems von Beeinträchtigungen betroffen sein kann (PRATT & TYE-MURRAY, 1997). Das respiratorische System betreffend berichtet z.B. HUDGINS (1934; 1937; 1946) in seinen Studien von kurzen, irregulären Atemrhythmen mit langen Atempausen bei hörbehinderten Kindern.

In der vorliegenden Arbeit lieferte dagegen der Vergleich der beiden Probandengruppen (im Neugeborenen-Hörscreening unauffällig & auffällig) bezüglich der temporalen Eigenschaften ihrer Phonationsleistungen während der Atemphasen keine signifikanten Unterschiede. Es ist zu beachten, dass das Neugeborenen-Hörscreening kein endgültiger Test ist, sondern auffällige Neugeborene in weiteren Untersuchungen zeitnah nochmals kontrolliert werden. So bedeutet ein auffälliges Hörscreening nicht automatisch, dass das Neugeborene eine sensorineurale Hörminderung hat. Oft befindet sich nach der Geburt noch Flüssigkeit im Mittelohr oder dem Gehörgang, was zu einem kontrollbedürftigen Testergebnis führen kann. So hat die Mehrzahl der im Neugeborenen-Hörscreening auffälligen Probanden keine sensorineurale Hörstörung, sondern nur eine Schalleitungsstörung. Da bei letzterer das Selbstproduzierte sogar noch besser zu hören ist, könnte dies der Grund dafür sein, dass keine Auswirkung auf den Atemrhythmus messbar war. Interessant

wäre in zukünftigen Studien den Atemrhythmus Neugeborener zu untersuchen, bei denen eine sensorineurale Schwerhörigkeit vorliegt (retrospektiver Ansatz). Diese Daten könnten mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, die dann als Referenzwerte dienen, verglichen werden. Da im ZVES keine Tonaufnahmen von Neugeborenen mit sensorineuraler Hörstörung im gleichen Alter wie die Probanden der vorliegenden Arbeit vorhanden sind, konnten diese nicht zum Vergleich herangezogen werden.

Die Frage, ob es Unterschiede in den temporalen Eigenschaften ingressiver und egressiver Phonationsleistungen zwischen im Neugeborenen-Hörscreening unauffälligen und auffälligen Neugeborenen gibt, kann bei der hier untersuchten Stichprobe mit Nein beantwortet werden.

### **4.4 Geschlechts- und altersspezifische Analysen**

Die geschlechtsspezifische Analyse lieferte für alle Messgrößen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jungen und Mädchen im Probandenkollektiv.

Da ein starker Geschlechtsverteilungsunterschied in den beiden Probandengruppen (NHS\_TU und NHS\_TA) vorliegt, wurde in einer Voruntersuchung die Inspirationslänge in beiden Geschlechtern nach den Probandengruppen aufgeteilt untersucht. Hierbei waren bei den weiblichen Probanden der NHS\_TA – Gruppe leicht höhere Werte für die Inspirationslänge im Vergleich zu den männlichen Probanden und den weiblichen Probanden der NHS\_TU – Gruppe zu beobachten. Jedoch zeigte auch dieser Unterschied keine statistische Signifikanz.

Auch die altersspezifische Untersuchung des gesamten Probandenkollektivs ließ keine signifikanten Veränderungen der temporalen Eigenschaften der Atemphasen im Untersuchungszeitraum von 2 – 4 Tagen feststellen. Erwähnt werden soll die beobachtete Tendenz, dass sich sowohl die Werte für die Inspirationslänge als auch für die Expirationslänge und für die Gesamtlänge

eines Einzelsignals mit Alterszunahme vergrößern (Abbildung 12, Abbildung 20 und Abbildung 28). Dieser Anstieg der Werte im Altersverlauf zeigte statistisch keine Signifikanz, aber ließ eine deutliche Tendenz erkennen und könnte auf einen Reifungsprozess der respiratorischen Kontrolle der Probanden im Verlauf der postnatalen Adaptation hinweisen. GERHARDT & BANCALARI (1981) beschreiben eine vergleichsweise kurze Inspirationsdauer bei Frühgeborenen, die mit einem hohen Vorkommen von Apnoepausen auffallen und als Zeichen für Unreife interpretiert werden. Auch spricht die hier beobachtete Tendenz der zunehmenden Verlängerung der Inspirationsdauer mit steigendem Gestationsalter möglicherweise für einen Entwicklungsprozess und eine größere Stabilität in der respiratorischen Kontrolle bei Reifgeborenen. KASSIM et al. (2015) berichten in ihren Untersuchungen an gesunden Neugeborenen, deren maximaler Inspirations- und Expirationsdruck während des Weins bei der Geburt und einmal 6 Wochen postnatal gemessen wurde, eine signifikante Zunahme der respiratorischen Muskelstärke während der ersten 6 Lebenswochen. Diese Zunahme der respiratorischen Muskelstärke während der ersten Lebenswochen könnte wiederum für eine ausgereifere Kontrolle der respiratorischen Fähigkeiten mit Alterszunahme sprechen.

Bei Kombination der Faktoren Geschlecht und Alter stellte sich in der vorliegenden Arbeit ein signifikantes Ergebnis heraus: Die zeitliche Dauer der Expiration verlängerte sich bei den weiblichen Probanden vom 2. bis zum 4. Lebenstag signifikant ( $p = 0,007$ ) und stellt einen signifikanten Unterschied zu den männlichen Probanden dar ( $p = 0,049$ ), bei denen im Gegensatz die Expirationsdauer mit dem Alter abnimmt (Abbildung 22). Diese Beobachtungen spiegeln sich (nicht signifikant) auch bei der Inspirationslänge und der Gesamtlänge eines Einzelsignals wider (Abbildung 14 und Abbildung 30).

Diese Ergebnisse könnten die in der Literatur beschriebene Theorie eines Geschlechtsdimorphismus im Atemverhalten von Säuglingen belegen (TORDAY et al., 1981; HANRAHAN et al., 1990; STOCKS et al., 1997; HOO et al., 1998; JONES et al., 2000; YOUNG et al., 2000; LUM et al., 2001; BEHAN & WENNINGER, 2008; WERMKE et al., 2017). Anatomisch-somatische und hormonelle Gegebenheiten



werden als mögliche Gründe für die geschlechtstypischen Unterschiede diskutiert. Jungen scheinen in ihren respiratorischen Fähigkeiten eingeschränkter zu sein als Mädchen (LUM et al., 2001), was sich im Säuglingsalter wie auch im Kindesalter zeigt und durch Studien unterstützt wird (HANRAHAN et al., 1990; RONA & CHINN, 1993; HIBBERT et al., 1995; STOCKS et al., 1997; HOO et al., 1998; JONES et al., 2000; YOUNG et al., 2000). Obwohl männliche Neugeborene im Durchschnitt mit höherem Körpergewicht und höheren Werten an Körpergröße und Kopfumfang weibliche Neugeborene übertreffen (KURTOGLU et al., 2012) und gleichzeitig größere Lungen haben (LATZIN, 2016), sind die Lungen der Mädchen nach histologischen Kriterien reifer als die der Jungen (NAEYE et al., 1974). NAEYE et al. (1974) führten ihre Untersuchungen bei Totgeborenen und Neugeborenen, deren Gestationsalter < 36 Wochen war und die länger als 6, aber weniger als 72 Stunden lebten, durch. Eine Erklärung für die reduzierten Atemfunktionen der männlichen Säuglinge könnte die Differenz in der Atemwegsstruktur sein. Jungen weisen im Säuglings- und Kindesalter kleinere Atemwege auf (LATZIN, 2016), deren Wände aus dickeren Schichten und mehr glatter Muskulatur zusammengesetzt sind (McKAY, 2000).

Vor allem aber hormonell bedingte Einflüsse auf die Regulation der Atmung sollen verantwortlich für die intergeschlechtliche Diskrepanz sein. Neurosteroiden, die aus Cholesterol, Steroidhormonvorstufen oder aus den Sexualhormonen, wie Testosteron und Progesteron, synthetisiert werden, binden unter anderem z.B. an GABA<sub>A</sub>-Rezeptoren in Nervenzellen des Atemzentrums und modulieren die Rhythmogenese der Atmung (BEHAN & WENNINGER, 2008). Laut TORDAY et al. (1981) gibt es durch ihre Untersuchungen an Föten zwischen der 28. und 40. Gestationswoche Hinweise auf einen hormonell stimulierten Lungenreifungsprozess im Zusammenhang mit Östrogenen, wodurch der Atemapparat der Mädchen sich schneller entwickelt und das respiratorische System der Jungen im Gegensatz dazu noch unreifer ist. Auch eine aktuelle Studie des ZVES beschreibt geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Auftrittshäufigkeit und den akustischen Eigenschaften, durchschnittliche Länge und Frequenz, ingressiver Laute, die durch hormonelle Gegebenheiten in den

ersten 10 Lebenswochen der Säuglinge erklärt werden können und ein weiteres Argument für hormonelle Einflüsse auf die Respirationskontrolle liefern (WERMKE et al., 2017). Zu beachten ist allerdings, dass die hormonellen Effekte besonders in Verbindung mit der sogenannten „Mini-Pubertät“ stehen, die sich in den ersten Monaten postnatal abspielt (BORYSIK et al., 2017). Da die Probanden der vorliegenden Arbeit erst in einem Alter von 2 bis 4 Tagen sind, ist es von Interesse in diesem Zusammenhang zukünftige Studien an einem Probandenkollektiv in einem Alter von 3 – 4 Monaten, den Spitzenzeiten der Minipubertät, vorzunehmen und nach geschlechtsspezifischen Unterschieden zu suchen. Um die hormonelle Beeinflussung der Atemregulation schon direkt nach der Geburt besser zu verstehen, könnte z.B. Nabelschnurblut verwendet werden.

Die signifikante Zunahme der Expirationsdauer der weiblichen Probanden vom 2. zum 4. Lebenstag wirft die Fragen nach möglichen geschlechts- und altersspezifischen Unterschieden auf, die aufgrund des fehlenden Längsschnittcharakters in der vorliegenden Arbeit nicht beantwortet werden können. Ein altersabhängiger Entwicklungsprozess bezüglich des Atemrhythmus ist bei den Mädchen im Gegensatz zu den Jungen der hier untersuchten Stichprobe zu beobachten. Es scheint, dass weibliche Neugeborene schneller als männliche Neugeborene Stabilität und Sicherheit in ihren respiratorischen Fähigkeiten erlangen. Dies könnte bei Reproduzierbarkeit ein Ergebnis von hoher Relevanz sein. Jungen sind anfälliger für Atemwegserkrankungen (MCKAY, 2000; GORTNER et al., 2013). Sie haben z.B. ein höheres Risiko für das Auftreten eines Atemnotsyndrom als Neugeborene (ANS) (MILLER & FUTRAKUL, 1968; GORTNER et al., 2013) und ihre Sterberate bei Vorliegen von ANS (IRDS) ist 1,7 mal höher als bei Mädchen (DRISCOLL & YEN, 1973).

## 4.5 Zusammenhang zwischen Geburtszeitpunkt sowie Geburtsmodus und dem Atemverhalten der Probanden

Es stellte sich nach Analyse der temporalen Eigenschaften der Laute der Probanden in Verknüpfung mit dem Gestationsalter der Neugeborenen heraus, dass eine signifikante Korrelation zwischen der Inspirationslänge und der Schwangerschaftswoche besteht ( $r = 0,301$ ;  $p = 0,012$ ). Probanden, die im Zeitraum zwischen der vollendeten 37. und 41. Schwangerschaftswoche zu einer späteren Schwangerschaftswoche geboren wurden, zeigen größere Werte in ihrer Inspirationslänge auf (Abbildung 15). Auch wenn es knapp keine signifikanten Mittelwertunterschiede nach einer einfaktoriellen Varianzanalyse gab ( $p = 0,055$ ), bestätigen andere Autoren in der Literatur die hier ermittelte positive Korrelation zwischen Gestationsalter und Inspirationslänge.

GERHARDT & BANCALARI (1981) berichten in ihrer Studie, in der 58 Neugeborene mit einem Gestationsalter zwischen 28. und 41. Schwangerschaftswoche untersucht wurden, ebenfalls über eine positive Korrelation zwischen Gestationsalter und Inspirationslänge. Diese Autoren fanden sogar einen noch stärkeren Effekt ( $r = 0,76$ ). Die Autoren hatten auch Frühgeborene in die Untersuchungen mit einbezogen und die Zeitspanne für das Gestationsalter war somit größer als in der vorliegenden Arbeit. Sie führen dieses Phänomen auf das unreife Atemsystem der Frühgeborenen zurück und sprechen von „[...] progressive increase [of inspiration, N.S.] in prolongation with gestational age [that, N.S.] reflects the maturation of the respiratory system [...]“ (GERHARDT & BANCALARI, 1981, S. 1282).

Auch THACH et al. (1978) stellten bei ihren Untersuchungen verkürzte Inspirationsphasen als ungewöhnliche Antwort auf eine Atemwegsenge bei Frühgeborenen fest. Erst 10 Tage postnatal waren bei den untersuchten Frühgeborenen ähnliche Inspirationslängen wie bei Reifgeborenen zu beobachten. Mechanismen, die die Inspiration regulieren, wie z.B. der Hering–Breuer–Reflex, scheinen sich erst postnatal komplett auszubilden und unterliegen weniger intrauteriner Reifung (THACH et al., 1978).

Der Anstieg der Inspirationsdauer mit Zunahme der Schwangerschaftswoche ist dennoch ein kontrovers diskutiertes Phänomen. Die Inspiration ist vor allem ein von Thoraxbewegungen und inspiratorischen Muskeln abhängiger Prozess; mit Voranschreiten der Schwangerschaftswochen hingegen reift eher das Lungengewebe. Ein Zusammenhang zwischen Inspirationsdauer und Schwangerschaftswoche lässt sich somit nur schwer erklären, vor allem in einem kurzen Zeitfenster wie in der vorliegenden Arbeit (37. – 41. vSSW).

Eine mögliche Erklärung könnte die Theorie von KNILL & BRYAN (1976) liefern. Hier wird ein von den Muskelspindeln der Interkostalmuskeln ausgehender „intercostal-phrenic inhibitory reflex“ (KNILL & BRYAN, 1976, S. 352) beschrieben, bei dem es durch paradoxe Distorsion des Brustkorbs zu einem vorzeitigen Ende der Inspiration kommt. Dieser Reflex könnte bei Frühgeborenen oder Neugeborenen mit niedrigem Gestationsalter öfter vorkommen und ein Zeichen für das sich noch in Entwicklung befindende Atemregulationssystem sein.

Neben dem Gestationsalter wurde der Geburtsmodus als eine mögliche, den Atemrhythmus beeinflussende Größe untersucht. Die Neugeborenen der vorliegenden Arbeit sind entweder durch eine normale Spontangeburt, eine primäre Sectio oder eine sekundäre Sectio zur Welt gekommen. Die Abhängigkeit des Geburtsmodus wurde nur bei den Hauptatemphasen, der Inspiration und Expiration als Co – Faktor analysiert.

Es ist bekannt, dass die Entbindung durch Kaiserschnitt ein erhöhtes Risiko für die Lunge des Neugeborenen darstellt (GORTNER et al., 2013; BUNDESZENTRALE FÜR GESUNDHEITLICHE AUFKLÄRUNG, 2017). Studien berichten, dass Kaiserschnitt-Babys öfter ein Neugeborenen-Atemnotsyndrom (ANS = IRDS) zeigen als durch Vaginalgeburt entbundene Neugeborene. Lungenflüssigkeit, die bei einer Sectio in der Lunge verbleibt, und nicht wie bei der Spontangeburt durch den Stress der Wehen resorbiert wird, führt zu Atemstörungen (WERNER et al., 2012; BUNDESZENTRALE FÜR GESUNDHEITLICHE AUFKLÄRUNG, 2017).

Auch HALES et al. (1993) erkannten durch ihre Forschungsergebnisse, dass die Häufigkeit von Atemwegserkrankungen Neugeborener von der Entbindungsart

abhängig ist. Die höchste Auftrittshäufigkeit von Atemwegserkrankungen lag bei primärer Sectio, gefolgt von der sekundären Sectio, vor.

In der vorliegenden Arbeit wurden keine signifikanten Unterschiede in der Inspirations- und Expirationslänge der Probanden mit verschiedenen Geburtsmodi festgestellt (Abbildung 16 und Abbildung 24). Das könnte auch mit den Einschlusskriterien für die Studie zusammenhängen (Kapitel 2.1). Es wurden nur gesunde Neugeborene als Probanden ausgewählt, die kein ANS zeigten. Vergleichbare Zeitwerte für die Atemphasen von Neugeborenen, die durch unterschiedliche Geburtsmodi geboren wurden, liegen in der Literatur nicht vor. Möglicherweise zeigt sich die Beeinflussung der Atmung durch den Geburtsmodus bei unauffälligen Neugeborenen nicht in den temporalen Eigenschaften der Atemphasen.

Mit der vorliegenden Arbeit kann das Postulat einer signifikanten Korrelation zwischen der Inspirationslänge und dem Gestationsalter (SSW) bejaht werden. Der Geburtsmodus hingegen scheint nach den vorliegenden Ergebnissen keinen Effekt auf den Atemrhythmus zu haben.

### **4.6 Einordnung der Ergebnisse und Ausblick**

Die analysierten Aufnahmen der Probanden in der vorliegenden Arbeit beinhalten alle, wie schon in Kapitel 2.2 beschrieben, neben dem typischen Schrei in der Expirationsphase einen ingressiven Laut, wodurch eine visuell-akustische Vermessung der Atemphasen möglich war. Diese im Phonationsrepertoire unauffälliger Neugeborener regelmäßig vorkommenden ingressiven Laute (WERMKE et al., 2017) scheinen also physiologischer Natur zu sein. Neben diesen physiologischen ingressiven Lauten gibt es aber auch pathologische Inspirationslaute, die als inspiratorischer Stridor bekannt sind (REITER, 2014). Der inspiratorischer Stridor ist ein krankhaftes Atemgeräusch beim Einatmen, das durch eine Verengung oder Verlegung der oberen Atemwege entsteht (REITER, 2014). Je nach Lokalisation der Verengung lassen sich verschiedene Stridortypen unterscheiden, die von einem Schniefen über ein Pfeifen bis zu

einem Brummen reichen (ANTWERPES, 2007; REITER, 2014). Mit einer Auftrittshäufigkeit von 60 – 70 % (DANIEL, 2006) ist die häufigste Ursache für einen inspiratorischen Stridor eine Laryngomalazie, bei der es durch eine krankhafte Erweichung des Kehlkopfes zu einem Kollaps der supraglottischen Strukturen während der Einatmung kommt. Neben dem inspiratorischen Stridor sind Neugeborene mit einer Laryngomalazie oft in ihrer Atmung eingeschränkt und von obstruktiver Schlafapnoe, Tachypnoe, Dyspnoe oder anderer Atemstörungen betroffen (THORNE & GARETZ, 2016). Um eine objektiv akustische Abgrenzung der in der vorliegenden Arbeit analysierten physiologischen Inspirationslauten zu inspiratorischen Stridorlauten vorzunehmen, wäre eine weiterführende Studie mit Neugeborenen, die an inspiratorischem Stridor leiden, geeignet. Als Hypothese würde ich formulieren, dass sich Stridorneugeborene in ihrem Atemrhythmus von gesunden Neugeborenen unterscheiden, insbesondere in den Messgrößen  $I$ ,  $I'$ ,  $L_{ges}$ ,  $I/E$ ,  $I'/E'$ ,  $(I'/E')/L_{ges}$ .

Durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wurde festgestellt, dass regelhaft segmentierte Atemzyklen schon bei den ersten Schreien Neugeborener vorhanden sind und somit die Voraussetzung zur Fähigkeit der Satz- bzw. Sprachbildung erfüllen. Der typische Atemzyklus zeigt hier zwischen den Hauptphasen (Inspirations- und Expirationsphase) kurze nicht-lautierte Übergangsphasen. Es scheint als habe die Natur diese Phasen als Latenz- oder Ruhephasen entwickelt, um einen Übergang aus der Inspirationsphase, in der ein Gasfluss Richtung Alveolen stattfindet, in die Expirationsphase, in der ein Gasfluss aus den Alveolen stattfindet, zu ermöglichen. Ein direkter Übergang der Inspirationsphase in die Expirationsphase ohne einen Gasflusstopp ist physiologisch eher unwahrscheinlich.

Die hier gefundenen geschlechts- und altersspezifischen Unterschiede bei der Analyse der Expirationsdauer vom 2. zum 4. Lebenstag lassen die Hypothese zu, dass Jungen im Vergleich zu Mädchen langsamer in der Entwicklung ihres Atemsystems sind und somit empfänglicher für Atemwegserkrankungen. Vor

allem lässt sich spekulieren, dass eine hormonelle Beeinflussung der Atemregulation schon direkt nach der Geburt besteht.

Auch die positive Korrelation zwischen der Inspirationslänge und dem Gestationsalter der Probanden als ein Ergebnis der vorliegenden Studie spricht für Reifungseffekte mit Zunahme des Gestationsalters und auch noch während der Postnatalphase. Es scheint als ob das Atemsystem der Neugeborenen noch Prozessen untersteht, die für eine komplette Entwicklung zuständig sind. Dadurch zeigen Frühgeborene öfter Zeichen von Unreife und Störungen des Atemapparats.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass in der vorliegenden Arbeit keine Differenzierung nach dem Vokalisationstyp erfolgte. Das heißt, dass keine Unterscheidung zwischen Weinauten unterschiedlicher Intensität vorgenommen wurde. Ein möglicher Einfluss dieses Faktors wird bei der weiteren Datenaufbereitung für eine nachfolgende Publikation in einem Fachjournal berücksichtigt.

## 5 Zusammenfassung

Die komplexen Zusammenhänge zwischen phonatorischen, respiratorischen und neurophysiologischen Mechanismen bei der vorsprachlichen Lautproduktion sind in der bisherigen Schreiforschung noch unzureichend untersucht. Oft sind nur Einzelelemente, wie Expirationsschreie + ingressive Laute untersucht, nicht aber ihr Zusammenhang.

In der vorliegenden Studie wurden temporale Eigenschaften zeitlich aufeinanderfolgender ingressiver Laute und egressiver Phonationsleistungen in spontanen Neugeborenenvokalisationen untersucht und objektiv charakterisiert.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Atemrhythmus Neugeborener während der Vokalisation (spontanes Weinen) objektiv zu analysieren und Referenzwerte für die einzelnen Segmente des Atemzyklus zu erarbeiten. Zur Berücksichtigung vermuteter relevanter Einflussfaktoren sollten geschlechts- und altersspezifische Unterschiede sowie Hörleistungen im Neugeborenen-Hörscreening (NHS) berücksichtigt werden.

Dazu wurden spontan geäußerte Lautproduktionen von 82 Neugeborenen (2. – 4. Lebenstag) analysiert. Um die Ergebnisse des NHS-Tests zu berücksichtigen, wurden die Probanden in 2 Untergruppen eingeteilt. Diese waren (1) Neugeborene mit unauffälligem Hörscreening-Test und (2) Neugeborene mit auffälligem Hörscreening-Test. Mit Hilfe der Sprachanalysesoftware Praat wurden 1545 Aufnahmen vermessen. Der Autor vorliegender Arbeit hat ein Praat – Textscript erstellt, um die Segmente des Atemzyklus manuell durch Cursor festzulegen und die Messgrößen automatisch zu berechnen und anschließend in das am ZVES vorliegende Routinesystem einzubetten.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie belegen das Postulat von LIEBERMAN (1985), dass ein regelhaft segmentierter Atemrhythmus mit längerem E statt I schon in den ersten Schreien Neugeborener zu erkennen ist. Alle analysierten Aufnahmen der vorliegenden Arbeit zeigen die typische Segmentierung in eine kurze Inspirationsphase mit nachfolgender längerer Expirationsphase, die den



Hauptanteil des ganzen Atemzyklus ausmacht. Zwischen diesen Hauptphasen sind kurze nicht-phonierte Intervalle zu beobachten, die auch Übergangsphasen, in denen kein Gasfluss stattfindet, einschließen.

Das Verhältnis zwischen Inspiration und Expiration lässt sich im Ergebnis der Arbeit als stabile Größe beschreiben und zeigte keine geschlechts- sowie altersspezifische Abhängigkeiten. Auch das Hörscreening-Ergebnis beeinflusste dieses Verhältnis nicht signifikant. Einzig die leichte Abnahme des Verhältnisses bei Zunahme der Gesamtlänge des Atemzyklus, ließ darauf schließen, dass sich Ein- und Ausatemphase nichtlinear verändern. Je länger der gesamte Atemzyklus wird, je geringer fiel die Zunahme der Einatemzeit aus. Ob diese kurze Inspirationszeit durch eine höhere Strömungsgeschwindigkeit der Atemluft während der Inspiration kompensiert wird, konnte nicht entschieden werden.

Geschlechts- und altersspezifische Unterschiede fanden sich bei der Analyse der Expirationsdauer vom 2. zum 4. Lebenstag bei den weiblichen Probanden, nicht aber bei den männlichen. Auch bei der Inspirationsdauer und der Gesamtlänge eines Einzelsignals bzw. Atemzyklus fanden sich geschlechtsspezifische Unterschiede, auch wenn diese nicht signifikant waren. Die hier gefundenen Ergebnisse könnten für eine schnellere Adaptation (Reifung) des Atemsystems bei weiblichen Neugeborenen sprechen und damit für eine reduzierte respiratorische Kontrollfähigkeit bei Jungen. Ursächlich dafür könnten anatomisch-somatische Differenzen sowie nachwirkende intrauterine hormonelle Einflüsse sein. Wichtig ist es diese Erkenntnisse weiterführend zu untersuchen, da sie zu einer Erklärung für die höhere Anfälligkeit für Atemwegserkrankungen bei Jungen beitragen könnten.

Übereinstimmend mit der Fachliteratur zeigte sich in der vorliegenden Arbeit eine signifikant positive Korrelation zwischen der Inspirationslänge und dem Gestationsalter der Probanden. Je höher das Gestationsalter der Probanden war, desto längere Inspirationszeiten wiesen sie auf. Zurückzuführen lässt sich das möglicherweise auf Reifungsprozesse des Atemapparats, die mit dem Gestationsalter voranschreiten. Besonders Frühgeborene fielen in mehreren

vorhergehenden Studien anderer Autoren durch verkürzte Inspirationslängen auf.

Weitere Faktoren wie der Geburtsmodus oder das Ergebnis des Neugeborenen-Hörscreening-Tests wirkten sich hier nicht auf die temporalen Eigenschaften inspiratorischer und expiratorischer Laute der Neugeborenen aus. Dies könnte teilweise mit den strengen Einschlusskriterien für diese Studie (nur unauffällige Neugeborene) zusammenhängen.

Insgesamt konnte die vorliegende Arbeit erstmalig temporale Eigenschaften ingressiver Laute und spontaner egressiver Phonationsleistungen Neugeborener im Alter von 2 bis 4 Lebenstagen objektiv analysieren und entsprechende Referenzwerte für gesunde Neugeborene liefern. Diese können in zukünftigen Studien mit größerer Probandenanzahl und einem längerem Untersuchungszeitraum (Einschluss der Minipubertät) als Vergleichswerte dienen. Ein Beleg für den angeborenen respiratorischen Mechanismus für die Sprech- und Sprachentwicklung konnte mit der vorliegenden Arbeit ebenfalls geliefert werden. Die Arbeit betont aus respiratorischer Perspektive die Bedeutung der frühen vorsprachlichen Entwicklung für den Spracherwerbsprozess.

## 6 Literaturverzeichnis

- Antwerpes, F. (2007): Stridor, URL: <http://flexikon.doccheck.com/de/Stridor> [Stand: 20.05.2018].
- Aucouturier, J. J.; Nonaka, Y.; Katahira, K.; Okanoya, K. (2011): Segmentation of expiratory and inspiratory sounds in baby cry audio recordings using hidden Markov models. *J Acoust Soc Am*, 130, 2969-2977.
- Behan, M.; Wenninger, J. M. (2008): Sex steroidal hormones and respiratory control. *Respir Physiol Neurobiol*, 164, 213-221.
- Birus, T.; Dreesmann, D.; Drossé, I.; Dzieyk, M.; Eisenbeis, G.; Larbolette, O.; Lüthi, T.; Wichard, W. (2001): Atemzentrum, URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/atemzentrum/1023> [Stand: 27.06.2017].
- Boersma, P.; Weenink, D. (2014): Praat, Universität von Amsterdam: Institute of Phonetic Sciences.
- Boliek, C. A.; Hixon, T. J.; Watson, P. J.; Morgan, W. J. (1996): Vocalization and breathing during the first year of life. *J Voice*, 10, 1-22.
- Boone, D. R. (1966): Modification of the voices of deaf children. *The Volta Review*, 68, 686-694.
- Boothroyd, A.; Nickerson, R.; Stevens, K. (1974): Temporal patterns in the speech of the deaf - a study in remedial training, Northampton, Massachusetts, Clarke School for the Deaf.
- Borysiak, A.; Hesse, V.; Wermke, P.; Hain, J.; Robb, M.; Wermke, K. (2017): Fundamental Frequency of Crying in Two-month-old Boys and Girls: Do Sex Hormones During Mini-puberty Mediate Differences? *J Voice*, 31, 128.e21-128.e28.
- Bosma, J. F. (1975): Anatomic and physiologic development of the speech apparatus, In: Towers, D. B. (Hrsg.). *Human communication and its disorders*, New York: Raven Press, 469-481.
- Bouchon, C.; Floccia, C.; Fux, T.; Adda-Decker, M.; Nazzi, T. (2015): Call me Alix, not Elix: vowels are more important than consonants in own-name recognition at 5 months. *Dev Sci*, 18, 587-598.
- Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (2017): Risiken und Auswirkungen des Kaiserschnitts, URL: <https://www.familienplanung.de/schwangerschaft/geburt/kaiserschnitt/risiken-und-auswirkungen/> - c14831 [Stand: 01.09.2017].

- Catford, J. C. (1977): *Fundamental problems in phonetics* / J. C. Catford, Edinburgh, Edinburgh University Press.
- Catford, J. C. (1988): *A practical introduction to phonetics* / J.C. Catford, Oxford [England] : New York, Clarendon Press ; Oxford University Press.
- Daniel, S. J. (2006): The upper airway: congenital malformations. *Paediatr Respir Rev*, 7 Suppl 1, 260-263.
- Darnall, R. A.; Ariagno, R. L.; Kinney, H. C. (2006): The Late Preterm Infant and the Control of Breathing, Sleep, and Brainstem Development: A Review. *Clinics in Perinatology*, 33, 883-914.
- Driscoll, S.; Yen, S. (1973): Neonatal pulmonary hyaline membrane disease: some pathologic and epidemiologic aspects, In: Villee, C.; Villee, D.; Zuckerman, J. (Hrsg.). *Respiratory Distress Syndrome*, New York: Academic Press, 161-180.
- Fletcher, S. G. (1973): Maturation of the speech mechanism. *Folia Phoniatri (Basel)*, 25, 161-172.
- Gardosik, T.; Ross, P.; Singh, S. (1980): Acoustic characteristics of the first cries of infants, In: Murry, T.; Murry, J. (Hrsg.). *Infant communication: Cry and early speech*, Houston: College-Hill Press, 106-122.
- Gaultier, C. (1995): Respiratory muscle function in infants. *Eur Respir J*, 8, 150-153.
- George, S. L. (1978): A longitudinal and cross-sectional analysis of the growth of the post-natal cranial base angle. *American Journal of Physical Anthropology*, 49, 171-178.
- Gerhardt, T.; Bancalari, E. (1981): Maturational changes of reflexes influencing inspiratory timing in newborns. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 50, 1282-1285.
- Glück, U. (1992): Die Phylogenese des menschlichen Kehlkopfes. *Schweiz Med Wochenschr*, 122, 281-287.
- Gortner, L.; Shen, J.; Tutdibi, E. (2013): Sexual Dimorphism of Neonatal Lung Development, *Klinische Pädiatrie*, Stuttgart, New York: Thieme, 225: 64-69.
- Grau, S. M.; Robb, M. P.; Cacace, A. T. (1995): Acoustic correlates of inspiratory phonation during infant cry. *J Speech Hear Res*, 38, 373-381.
- Hales, K. A.; Morgan, M. A.; Thurnau, G. R. (1993): Influence of labor and route of delivery on the frequency of respiratory morbidity in term neonates. *Int J Gynaecol Obstet*, 43, 35-40.

- Hanrahan, J. P.; Tager, I. B.; Castile, R. G.; Segal, M. R.; Weiss, S. T.; Speizer, F. E. (1990): Pulmonary function measures in healthy infants. Variability and size correction. *Am Rev Respir Dis*, 141, 1127-1135.
- Haschemi, A. A. (2017): Untersuchung von Auftritt und Eigenschaften ingressiver Laute im Vokalisationsrepertoire junger Säuglinge. Dissertationsschrift, Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES), Zentrum für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit, Poliklinik für Kieferorthopädie, Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Heidinger, V. A. (1972): An exploratory study of procedures for improving temporal features in the speech of deaf children, Teachers College, Columbia University.
- Hibbert, M.; Lannigan, A.; Raven, J.; Landau, L.; Phelan, P. (1995): Gender differences in lung growth. *Pediatr Pulmonol*, 19, 129-134.
- Hoo, A. F.; Henschen, M.; Dezateux, C.; Costeloe, K.; Stocks, J. (1998): Respiratory function among preterm infants whose mothers smoked during pregnancy. *Am J Respir Crit Care Med*, 158, 700-705.
- Hood, R. B. (1966): Some physical concomitants of the perception of speech rhythm of the deaf, Stanford University.
- Hudgins, C. V. (1934): A comparative study of the speech coordinations of deaf and normal-hearing subjects. *Journal of Genetic Psychology*, 44, 3-48.
- Hudgins, C. V. (1937): Voice production and breath control in the speech of the deaf. *American Annals of the Deaf*, 82, 338-363.
- Hudgins, C. V. (1946): Speech breathing and speech intelligibility. *The Volta Review*, 48, 642-644.
- John, J. E.; Howarth, J. N. (1965): The effect of time distortions on the intelligibility of deaf children's speech. *Language and Speech*, 8, 127-134.
- Jones, M.; Castile, R.; Davis, S.; Kisling, J.; Filbrun, D.; Flucke, R.; Goldstein, A.; Emsley, C.; Ambrosius, W.; Tepper, R. S. (2000): Forced expiratory flows and volumes in infants. Normative data and lung growth. *Am J Respir Crit Care Med*, 161, 353-359.
- Kassim, Z.; Moxham, J.; Davenport, M.; Nicolaidis, K.; Greenough, A.; Rafferty, G. F. (2015): Respiratory muscle strength in healthy infants and those with surgically correctable anomalies. *Pediatr Pulmonol*, 50, 71-78.
- Keens, T. G.; Bryan, A. C.; Levison, H.; Ianuzzo, C. D. (1978): Developmental pattern of muscle fiber types in human ventilatory muscles. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 44, 909-913.

- Knill, R.; Bryan, A. C. (1976): An intercostal-phrenic inhibitory reflex in human newborn infants. *J Appl Physiol*, 40, 352-356.
- Kress, H.; Müller, F.; Seifert, O. (2013): Taschenbuch der medizinisch-klinischen Diagnostik, Springer Verlag Berlin Heidelberg, ursprünglich J.F. Bergmann-Verlag München.
- Kuhl, P. K. (2004): Early language acquisition: cracking the speech code. *Nat Rev Neurosci*, 5, 831-843.
- Kurtoglu, S.; Hatipoglu, N.; Mazicioglu, M. M.; Akin, M. A.; Coban, D.; Gokoglu, S.; Bastug, O. (2012): Body weight, length and head circumference at birth in a cohort of Turkish newborns. *J Clin Res Pediatr Endocrinol*, 4, 132-139.
- Laitman, J. T.; Heimbuch, R. C.; Crelin, E. S. (1978): Developmental change in a basicranial line and its relationship to the upper respiratory system in living primates. *Am J Anat*, 152, 467-482.
- Langlois, A.; Baken, R. J.; Wilder, C. N. (1980): Pre-speech respiratory behavior during the first year of life, In: Murry, T.; Murry, J. (Hrsg.). *Infant communication: Cry and early speech*, Houston: College Hill Press, 56-84.
- Latzin, P. (2016): Lungenentwicklung im Kindesalter, URL: [http://www.sattelduene.de/html/img/pool/Entwicklung\\_der\\_kindl.\\_Lunge\\_Latzin.pdf](http://www.sattelduene.de/html/img/pool/Entwicklung_der_kindl._Lunge_Latzin.pdf) [Stand: 10.08.2017].
- Lieberman, M. R.; Lieberman, P. (1973): Olson's „projective verse“ and the use of breath control as a structural element. *Language and Style*, 5, 287-298.
- Lieberman, P. (1984): *The biology and evolution of language*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Lieberman, P. (1985): The Physiology of Cry and Speech in Relation to Linguistic Behavior, In: Lester, B. M.; Zachariah Boukydis, C. F. (Hrsg.). *Infant Crying: Theoretical and Research Perspectives*, Boston, MA: Springer US, 29-57.
- Lieberman, P. (1993): *Uniquely human : the evolution of speech, thought, and selfless behavior*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Lieberman, P.; Crelin, E. S. (1971): On the Speech of Neanderthal Man. *Linguistic Inquiry*, 2, 203-222.
- Lieberman, P.; Crelin, E. S.; Klatt, D. H. (1972): Phonetic Ability and Related Anatomy of the Newborn and Adult Human, Neanderthal Man, and the Chimpanzee. *American Anthropologist*, 74, 287-307.

- Lum, S.; Hoo, A.-F.; Dezateux, C.; Goetz, I.; Wade, A.; DeRooy, L.; Costeloe, K.; Stocks, J. (2001): The Association between Birthweight, Sex, and Airway Function in Infants of Nonsmoking Mothers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 164, 2078-2084.
- MacLarnon, A.; Hewitt, G. (2004): Increased breathing control: Another factor in the evolution of human language. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 13, 181-197.
- MacLarnon, A. M.; Hewitt, G. P. (1999): The evolution of human speech: the role of enhanced breathing control. *Am J Phys Anthropol*, 109, 341-363.
- Mampe, B.; Friederici, A. D.; Christophe, A.; Wermke, K. (2009): Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Curr Biol*, 19, 1994-1997.
- Mantilla, C. B.; Sieck, G. C. (2008): Key aspects of phrenic motoneuron and diaphragm muscle development during the perinatal period. *J Appl Physiol* (1985), 104, 1818-1827.
- Mayer, J. (2016a): Die Praatpfanne, URL: <http://praatpfanne.lingphon.net/> [Stand: 02.08.2016].
- Mayer, J. (2016b): Phonetische Analysen mit Praat: Ein Handbuch für Ein- und Umsteiger, <http://praatpfanne.lingphon.net/das-praat-handbuch>.
- McKay, K. (2000): Gender differences in airway wall structure in infant lungs. *Am J Respir Crit Care Med*, 161, A111.
- Miller, H. C.; Futrakul, P. (1968): Birth weight, gestational age, and sex as determining factors in the incidence of respiratory distress syndrome of prematurely born infants. *J Pediatr*, 72, 628-635.
- Naeye, R. L.; Freeman, R. K.; Blanc, W. A. (1974): Nutrition, sex, and fetal lung maturation. *Pediatr Res*, 8, 200-204.
- Nearey, T. (1978): Phonetic features for vowels, Bloomington, Indiana University Linguistics Club.
- Nishibayashi, L. L.; Nazzi, T. (2016): Vowels, then consonants: Early bias switch in recognizing segmented word forms. *Cognition*, 155, 188-203.
- Oczenski, W. (2012): *Atmen - Atemhilfen: Atemphysiologie und Beatmungstechnik*, 9. Aufl., Georg Thieme Verlag Stuttgart.
- Openshaw, P.; Edwards, S.; Helms, P. (1984): Changes in rib cage geometry during childhood. *Thorax*, 39, 624-627.

- Ploog, D. (1985): Stimme und Sprechen unter der Kontrolle des Gehirns, In: Karlson, P.; Bettendorf, G.; Marko, H.; Sachsenmaier, W.; Schneider, D.; Staab, H.; Gibian, H. (Hrsg.). Information und Kommunikation, naturwissenschaftliche, medizinische und technische Aspekte, Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 113-137.
- Ploog, D. (1989): Neuroethologische Grundlagen des Sprechens und der Sprache, In: Schönplflug, W. (Hrsg.). Bericht über den 36. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Berlin 1988, 110-119.
- Pratt, S. R. (2005): Aural Habilitation Update: The Role of Speech Production Skills of Infants and Children With Hearing Loss: The ASHA Leader, URL: <http://leader.pubs.asha.org/article.aspx?articleid=2278275> [Stand: 28.06.2017].
- Pratt, S. R.; Tye-Murray, N. A. (1997): Speech impairment secondary to hearing impairment, In: McNeil, M. (Hrsg.). Clinical management of sensorimotor speech disorders, New York: Thieme Medical Publishers, Inc., 345-388.
- Reiter, K. (2014): Stridor, In: Rosenecker, J. (Hrsg.). Pädiatrische Differenzialdiagnostik: Springer Berlin Heidelberg, 63-66.
- Rona, R. J.; Chinn, S. (1993): Lung function, respiratory illness, and passive smoking in British primary school children. Thorax, 48, 21-25.
- Ruan, Y. (2017): Melody and Rhythm: The spectral and temporal characteristics of chinese newborn' s crying, Masterthesis, Beijing Normal University, unveröffentlicht.
- Sandner, G. W. (1981): Communication with a three-month-old baby, Proceedings of the Thirteenth Annual Child Language Research Forum, Stanford University,
- Schmidt, R. F.; Lang, F.; Heckmann, M. (2011): Physiologie des Menschen: Mit Pathophysiologie, 31. Aufl., Springer Berlin Heidelberg.
- Shehata-Dieler, W.; Ehrmann-Mueller, D.; Wermke, P.; Voit, V.; Cebulla, M.; Wermke, K. (2013): Pre-speech diagnosis in hearing-impaired infants: How auditory experience affects early vocal development. Speech, Language and Hearing, 16(2), 99-106.
- Shojaei, E.; Jafari, Z.; Gholami, M. (2016): Effect of Early Intervention on Language Development in Hearing-Impaired Children. Iran J Otorhinolaryngol, 28, 13-21.
- Sieck, G.; Fournier, M. (1991): Developmental aspects of diaphragm muscle cells, structural and functional organization, In: Haddad, G.; Farber, J. (Hrsg.). Developmental Neurobiology of Breathing, New York: Marcel Dekker, 375-428.



- Sieck, G. C.; Fournier, M.; Blanco, C. E. (1991): Diaphragm muscle fatigue resistance during postnatal development. *J Appl Physiol* (1985), 71, 458-464.
- Silbernagl, S.; Despopoulos, A. (2001): Taschenatlas Physiologie, 5. Aufl., Stuttgart, New York, Thieme.
- Stark, R. E.; Rose, S. N.; McLagen, M. (1975): Features of infant sounds: The first eight weeks of life. *Journal of Child Language*, 2, 202-221.
- Stevens, K. N.; Nickerson, R. S.; Rollins, A. M. (1978): On describing the suprasegmental properties of the speech of deaf children, In: McPherson, D.; Davids, M. (Hrsg.). *Advances in prosthetic devices for the deaf: A technical workshop*, Rochester, New York: National Technical Institute for the Deaf, 134-155.
- Stocks, J.; Henschen, M.; Hoo, A. F.; Costeloe, K.; Dezateux, C. (1997): Influence of ethnicity and gender on airway function in preterm infants. *Am J Respir Crit Care Med*, 156, 1855-1862.
- Stoel-Gammon, C.; Otomo, K. (1986): Babbling development of hearing-impaired and normally hearing subjects. *J Speech Hear Disord*, 51, 33-41.
- Thach, B. T.; Frantz, I. D.; Adler, S. M.; Taeusch, H. W. (1978): Maturation of reflexes influencing inspiratory duration in human infants. *Journal of Applied Physiology*, 45, 203-211.
- Thorne, M. C.; Garetz, S. L. (2016): Laryngomalacia: Review and Summary of Current Clinical Practice in 2015. *Paediatr Respir Rev*, 17, 3-8.
- Torday, J. S.; Nielsen, H. C.; Fencl, M. D. M.; Avery, M. E. (1981): Sex Differences in Fetal Lung Maturation. *American Review of Respiratory Disease*, 123, 205-208.
- Truby, H. M.; Bosma, J. F.; Lind, J. (1965): *Newborn infant cry*, Upsala, Almquist and Wiksell.
- Von Holzen, K.; Nishibayashi, L.-L.; Nazzi, T. (2018): Consonant and Vowel Processing in Word Form Segmentation: An Infant ERP Study. *Brain Sciences*, 8, 24.
- Wermke, K.; Haschemi, A. A.; Hesse, V.; Robb, M. P. (2017): Inspiratory Phonation in Baby Voice. *J Voice*.
- Wermke, K.; Ruan, Y.; Feng, Y.; Dobnig, D.; Stephan, S.; Wermke, P.; Ma, L.; Chang, H.; Liu, Y.; Hesse, V.; Shu, H. (2016a): Fundamental Frequency Variation in Crying of Mandarin and German Neonates. *Journal of Voice*, 31, 255.e25-255.e30.

- Wermke, K.; Teiser, J.; Yovsi, E.; Kohlenberg, P. J.; Wermke, P.; Robb, M.; Keller, H.; Lamm, B. (2016b): Fundamental frequency variation within neonatal crying: Does ambient language matter? *Speech, Language and Hearing*, 19, 211-217.
- Werner, E. F.; Savitz, D. A.; Janevic, T. M.; Ehsanipoor, R. M.; Thung, S. F.; Funai, E. F.; Lipkind, H. S. (2012): Mode of delivery and neonatal outcomes in preterm, small-for-gestational-age newborns. *Obstet Gynecol*, 120, 560-564.
- Winkworth, A. L.; Davis, P. J.; Adams, R. D.; Ellis, E. (1995): Breathing patterns during spontaneous speech. *J Speech Hear Res*, 38, 124-144.
- Young, S.; Sherrill, D. L.; Arnott, J.; Diepeveen, D.; LeSouef, P. N.; Landau, L. I. (2000): Parental factors affecting respiratory function during the first year of life. *Pediatr Pulmonol*, 29, 331-340.
- Zec, N.; Kinney, H. C. (2001): Anatomic relationships of the human nucleus paragigantocellularis lateralis: a Dil labeling study. *Auton Neurosci*, 89, 110-124.
- Zec, N.; Kinney, H. C. (2003): Anatomic relationships of the human nucleus of the solitary tract in the medulla oblongata: a Dil labeling study. *Auton Neurosci*, 105, 131-144.

## Danksagung

Zunächst möchte ich mich ganz herzlich bei Frau Prof. Dr. Angelika Stellzig-Eisenhauer, Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg, und Frau Prof. Dr. Kathleen Wermke, Leiterin des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) an der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg, für die Überlassung dieses Promotionsthemas bedanken.

Ganz besonderer Dank gebührt dabei Frau Prof. Dr. Kathleen Wermke für ihre wissenschaftliche Betreuung, ihre enorme Hilfsbereitschaft und ihr persönliches Engagement bei der Erstellung dieser Promotion. Herzlichen Dank für die vielen Stunden der gemeinsamen, wissenschaftlichen Arbeit. Es war mir eine große Ehre mit Ihnen als Wissenschaftlerin zusammenzuarbeiten und Sie als geschätzten Menschen kennenzulernen.

Herrn Prof. Dr. Johannes Wirbelauer danke ich herzlich für die Zeit und sehr hilfreiche Beratung bezüglich meines Promotionsthemas und der Dateninterpretation sowie für die Übernahme der Zweitkorrektur.

Von ganzem Herzen danke ich Herrn Peter Wermke für die kompetente und stets engagierte Hilfe bei allen computertechnischen Fragen und vorbereitenden Analyse der Daten am ZVES.

Weiterhin gilt mein Dank allen früheren und jetzigen Mitarbeitenden des ZVES in Würzburg für die Erstellung der schon vorhandenen Datenbanken und für die tolle Zusammenarbeit während der Erstellung meiner Promotion. Insbesondere bedanke ich mich bei Veronique Ross und Vivien Kallen, die die hier analysierten Aufnahmen an der Kinderklinik (Direktor: Prof. Dr. C. P. Speer) aufgezeichnet haben.

## Danksagung

---

Meinen Eltern und meiner Schwester, die mir stets zur Seite stehen, mich jederzeit unterstützen und mir überhaupt erst diesen Weg ermöglicht haben, danke ich ebenfalls herzlich.