

A photograph of a swimmer in a pool, captured in the middle of a stroke. The swimmer is wearing a dark swimsuit and a watch on their left wrist. The water is a vibrant blue, and the swimmer's arms are extended forward, creating a splash. Lane lines are visible in the background.

Einfluss der weiblichen Zyklusphasen auf die körperliche Leistungsfähigkeit

Eine quantitative Analyse mit Hilfe von Schwimmzeitmessungen
bei jugendlichen Leistungssportlerinnen

Maturitätsarbeit von Nina Schaffner (Jg. 2006)

Kantonsschule Uster

Betreuerin: Helle Schwyzer

Expertin: Sara Hertner

8. Januar 2025

Abbildung 1: Titelbild, lizenzfrei von Pixabay (<https://pixabay.com/photos/swimming-pool-water-blue-athlete-924895/>), abgerufen am 9. November 2024)

Inhaltsverzeichnis

Abstract	1
1 Einführung	2
1.1 Ausgangslage.....	2
1.2 Theoretische Grundlagen des weiblichen Fortpflanzungszyklus.....	2
1.2.1 Die Phasen des weiblichen Fortpflanzungszyklus.....	2
1.2.2 Ablauf des weiblichen Fortpflanzungszyklus	3
1.2.3 Einfluss von Östrogen auf die Leistungsfähigkeit	5
1.2.4 Einfluss von Progesteron auf die Leistungsfähigkeit	6
1.2.5 Einfluss von Testosteron auf die Leistungsfähigkeit.....	6
1.3 Fragestellungen und Hypothesen	7
2 Material und Methoden	9
2.1 Schwimmzeitmessungen.....	9
2.2 Menstruationskalender	10
2.3 Definieren der Zyklusphasen.....	10
2.4 Statistische Auswertung.....	11
3 Resultate	14
3.1 Resultate der Schwimmzeitmessungen aller Probandinnen	14
3.2 Resultate der Schwimmzeitmessungen einzelner Probandinnen	14
3.2.1 Probandin C.....	14
3.2.2 Probandin A, B, D und E	15
3.3 Relevanz der Smiley-Skala	16
3.4 Verlauf der Temperatur während des Zyklus.....	17
4 Diskussion	18
4.1 Aussagekraft der Resultate	18
4.2 Diskussion der Resultate der Schwimmzeiten aller Probandinnen	19
4.3 Diskussion der Resultate der Schwimmzeiten einzelner Probandinnen	23
4.3.1 Probandin C.....	23
4.3.2 Probandin A, B, D und E	24
4.4 Diskussion des Temperaturverlaufes während des Zyklus.....	24
4.5 Fazit.....	25

5	Literaturverzeichnis	27
6	Bildquellen.....	29
7	Abbildungsverzeichnis	30
8	Tabellenverzeichnis	32
9	Eigenständigkeitserklärung	33
10	Danksagung	34
11	Anhang	35

Abstract

In dieser Maturitätsarbeit wurde der Einfluss der weiblichen Zyklusphasen auf die körperliche Leistungsfähigkeit von jugendlichen Leistungssportlerinnen im Alter von 16 bis 20 Jahren untersucht. Dabei wurde der weibliche Fortpflanzungszyklus in fünf Phasen (abgekürzt mit Ph1-5) unterteilt. Die frühe Follikelphase (Ph1), die späte Follikelphase (Ph2), die Ovulationsphase (Ph3), die frühe/mittlere Lutealphase (Ph4) und die späte Lutealphase (Ph5). Um die Ovulationsphase bestimmen zu können, wurde ein LH-Test durchgeführt. Zusätzlich wurde die Basaltemperatur gemessen.

Die Leistungsfähigkeit wurde in Form eines 100-Meter-Sprints im Schwimmen, also einer anaeroben Leistung, zweimal in der Woche über acht Wochen gemessen. Teilgenommen haben fünf Schwimmerinnen mit einem Trainingsaufwand von sechs bis acht Einheiten pro Woche.

Der Einfluss der Zyklusphasen bei Betrachtung aller Schwimmzeiten aller Probandinnen war nicht statistisch signifikant ($p = 0,085$). Wurden die Phasen jedoch einzeln miteinander verglichen, so waren die Zeiten in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) signifikant schneller als die Zeiten in der späten Lutealphase (Ph5) ($p = 0,042$).

Wurden die Schwimmzeiten jeder Probandin einzeln ausgewertet, so hatten die Zyklusphasen nur bei Probandin C einen signifikanten Einfluss auf die Schwimmzeiten ($p = 0,0105$). Dabei war die späte Lutealphase (Ph5) signifikant langsamer als die frühe Follikelphase (Ph1) ($p = 0,026$), die Ovulationsphase (Ph3) ($p = 0,012$) und die frühe/mittlere Lutealphase (Ph4) ($p = 0,028$).

Diese Maturitätsarbeit ergab, dass die Zyklusphasen bei Betrachtung aller Probandinnen keinen signifikanten Einfluss auf die Leistung haben. Dennoch ist die Leistungsfähigkeit in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) signifikant höher als in der späten Lutealphase (Ph5). Diese Arbeit zeigt auch, dass der weibliche Fortpflanzungszyklus einen individuellen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit hat und deshalb individuell betrachtet werden sollte.

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

Die Menstruation erlangt in der Sportpraxis noch immer zu wenig Aufmerksamkeit und galt in der Forschung lange als ein Tabuthema. Aufgrund dessen sind nicht viele Studien über das Thema des Einflusses der Zyklusphasen auf die körperliche Leistungsfähigkeit vorhanden. Die Studien, welche vorhanden sind, betrachten meist nur Erwachsene im Alter über 18 Jahren und beziehen sich oft nicht spezifisch auf Leistungssportlerinnen. Doch genau für Leistungssportlerinnen kann der kleinste Leistungsunterschied zwischen den verschiedenen Zyklusphasen entscheidend sein. Ebenfalls gibt es keine der Verfasserin bekannte Studie, welche den Einfluss der Zyklusphasen mit Hilfe von Schwimmzeitmessungen durchgeführt hat.

1.2 Theoretische Grundlagen des weiblichen Fortpflanzungszyklus

1.2.1 Die Phasen des weiblichen Fortpflanzungszyklus

Der weibliche Fortpflanzungszyklus dauert im Durchschnitt 28 Tage, kann aber zwischen 20 und 40 Tagen variieren. Der Zyklus basiert auf zwei Vorgängen, dem Uteruszyklus und dem Ovarialzyklus. Der Uteruszyklus beschreibt die Vorgänge im Uterus, was der medizinische Fachbegriff für die Gebärmutter ist. Der Uteruszyklus wird auch Menstruationszyklus genannt. Der parallel dazu verlaufende Ovarialzyklus beschreibt die Vorgänge in den Eierstöcken, was in Fachsprache die Ovarien sind. Beide Zyklen werden durch Hormone gesteuert.

Der Ovarialzyklus kann grob in zwei Phasen unterteilt werden: die Follikelphase und die Lutealphase, auch Gelbkörperphase genannt. Getrennt werden die beiden Phasen durch den im Durchschnitt am 14. Tag eintretenden Eisprung. Der Eisprung wird in der Fachsprache als Ovulation bezeichnet. Die Follikelphase wird weiter in die frühe Follikelphase und die späte Follikelphase eingeteilt. Die Lutealphase wird eingeteilt in die frühe, mittlere und späte Lutealphase (Tabelle 1).

Parallel zur frühen und mittleren Lutealphase verläuft als Teil des Uteruszyklus die Sekretionsphase. Die späte Lutealphase kann gleichgesetzt werden mit der Ischämiephase des Uteruszyklus. Parallel zur frühen Follikelphase findet die Menstruationsphase und parallel zur späten Follikelphase die Proliferationsphase statt (Tabelle 1).

Ovarialzyklus	Frühe Follikelphase	Späte Follikelphase	Ovulation	Frühe/Mittlere Lutealphase	Späte Lutealphase
	Menstruati- onsphase	Proliferati- onsphase		Sekretions- phase	Ischämie- phase
Uteruszyklus					

Tabelle 1: Die Phasen des Ovarial- und Uteruszyklus (selbst erstellt).

1.2.2 Ablauf des weiblichen Fortpflanzungszyklus

Der weibliche Fortpflanzungszyklus beginnt mit dem ersten Tag der Menstruation. Die Menstruationsphase dauert in der Regel zwischen drei bis sieben Tage. Unter der Menstruation wird die Abstossung der Funktionalis, der obersten Schicht der Gebärmutter-schleimhaut (Endometrium), vermischt mit 50 – 100 mL Blut verstanden.

Am ersten Tag des Zyklus gibt der Hypothalamus das Gonadotropin-Releasing-Hormon, kurz GnRH ab. Damit beginnt die Follikelphase. GnRH ist ein Steuerungshormon, welches im Zwischenhirn gebildet und abgegeben wird, um zu bewirken, dass andere Hormone freigesetzt werden. Das GnRH stimuliert die Hypophyse und bewirkt, dass im Hypophysenvorderlappen, auch Adenohypophyse genannt, das follikelstimulierende Hormon, kurz FSH, und das luteinisierende Hormon, kurz LH, abgegeben werden. Das FSH bewirkt das Heranwachsen von Follikeln in den Ovarien (Abbildung 3). Ovarien sind die Eierstöcke und Follikel sind Hilfszellen, in denen Eizellen heranwachsen. Während der Reifung des Follikels schütten die Follikel Östrogen aus. Am Anfang der Follikelphase ist dies nur eine geringe Menge von Östrogen. Die kleine Menge von Östrogen hemmt die Freisetzung des GnRH und somit des FSH- und LH-Hormons (Abbildung 3). Durch die Hemmung der FSH-Freisetzung wird sichergestellt, dass nur ein Follikel vollständig reifen kann, jener welcher schon am weitesten entwickelt ist. Die Freisetzung von Östrogen bewirkt auch, dass die Gebärmutter-schleimhaut (Endometrium) dicker wird und sich so auf die allfällige Einnistung eines Embryos vorbereitet. Das Endometrium verdickt sich aufgrund des erhöhten Östrogengehalts. Dieser Aufbau des Endometriums wird als Proliferationsphase bezeichnet und ist Teil des Uteruszyklus.

Gegen Ende der Follikelphase steigt der Östrogenspiegel stark an (Abbildung 2). Ein sehr hoher Östrogenspiegel hat die gegenteilige Wirkung eines niedrigen. Er bewirkt, dass auch der FSH- und vor allem der LH-Spiegel deutlich ansteigen. Dies wird auch als positive Rückkoppelung bezeichnet (Abbildung 3). Der LH-Spiegel steigt dabei deutlicher an als

der FSH-Spiegel, da das Östrogen die Zellen in der Hypophyse, welche LH freisetzen, empfindlicher macht gegenüber dem GnRH.

Der rasche Anstieg von LH löst in den nächsten 24 bis 48 Stunden die Ovulation aus. Der Follikel hat kurz vor der Ovulation einen Durchmesser von zwei bis drei Zentimetern. Die Fransen des Eileiters berühren die Ovarien dort, wo sich der reife Follikel, nun auch Graaf-scher Follikel genannt, befindet. Die Ovulation bedeutet, dass der reife Follikel platzt, also die Schutzhülle um die Eizelle reißt. Die Eizelle geht dann in den Eileiter über, was als Sprung bezeichnet wird. Der geplatzte Follikel bleibt im Ovar und fällt in sich zusammen. Somit produziert der Follikel kein Östrogen mehr, weshalb der Östrogenspiegel abfällt. Dadurch fällt der LH-Gehalt ebenfalls stark ab (Abbildung 2). Durch den starken Abfall wird sichergestellt, dass nur eine Eizelle springt.

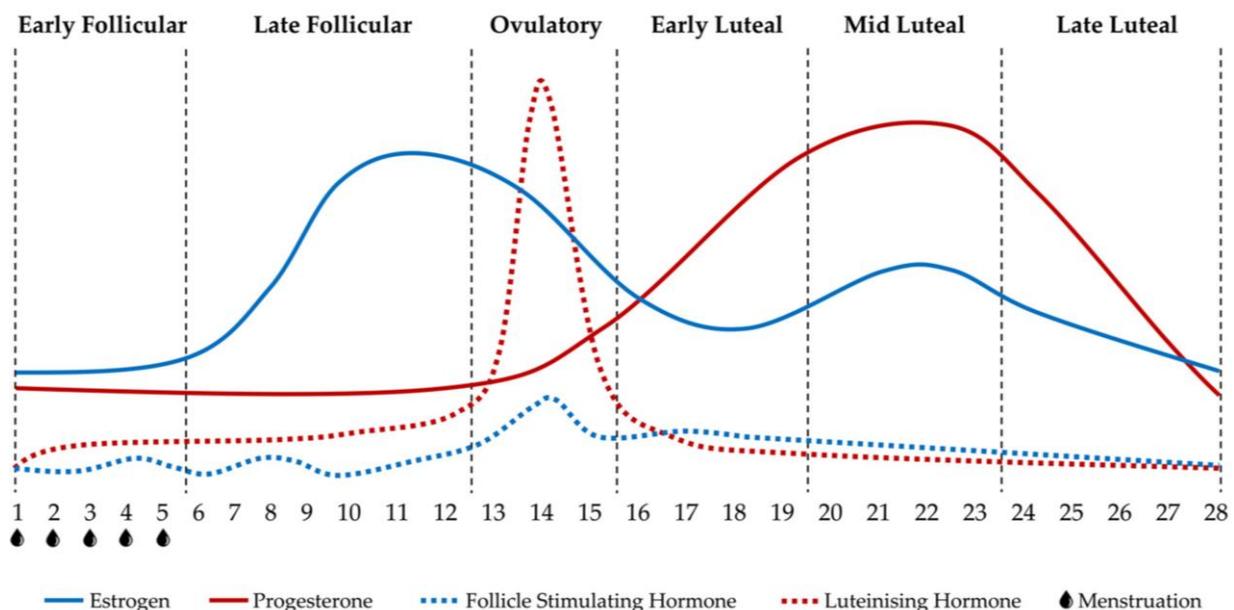


Abbildung 2: Die Zyklusphasen und die Konzentration der Hormone in den jeweiligen Phasen (Carmichael et al., 2021).

Nach der Ovulation beginnt die zweite Hälfte des Zyklus. Charakteristisch für diese ist der Anstieg der Basaltemperatur kurz nach der Ovulation um circa 0,2 bis 0,5 Grad. Im Ovarialzyklus beginnt dann die Lutealphase, auch Gelbkörperphase genannt. Der geplatzte Follikel entwickelt sich unter Einfluss des noch erhöhten LH-Gehalts im Eierstock (Ovar) zu einem endokrinen Gewebe, dem sogenannten Gelbkörper (lat: corpus luteum). Der Gelbkörper gibt eine geringe Menge von Östrogen ab und eine grosse Menge von Progesteron (Abbildung 3). Das Progesteron bewirkt, dass sich die Gebärmutter weiter aufbaut und Nährstoffe zur Versorgung eines Embryos eingelagert werden. Diese Verdickung der Ge-

bärmutterschleimhaut (Endometrium) ist Teil des Uteruszyklus und wird als Sekretionsphase bezeichnet. Der Anstieg des Progesterons und des Östrogens hat einen negativen Einfluss auf die Abgabe des GnRH durch den Hypothalamus. Es findet eine negative Rückkoppelung statt (Abbildung 3). Aufgrund der fehlenden Ausschüttung von GnRH sinkt die LH- und FSH-Konzentration auf ein sehr tiefes Niveau. Der Gelbkörper degeneriert nach circa 14 Tagen aufgrund des tiefen Gonadotropinspiegels. Die Degeneration des Gelbkörpers bewirkt, dass kein Östrogen und Progesteron mehr gebildet und ausgeschüttet werden, was zu einem Abfall der Konzentrationen im Blut führt. Der Abfall des Progesterons bewirkt, dass sich die Arterien im Endometrium zusammenziehen und es zu einer Minderdurchblutung kommt. Aufgrund der Minderdurchblutung stirbt die Funktionalis ab, was im Uteruszyklus als Ischämiephase bezeichnet wird.

Wenn die Progesteron- und die Östrogenkonzentration auf einem sehr tiefen Niveau angekommen sind, ist die negative Rückkoppelung auf den Hypothalamus aufgehoben und das GnRH wird wieder ausgeschüttet, was den Start des nächsten Zyklus auslöst.

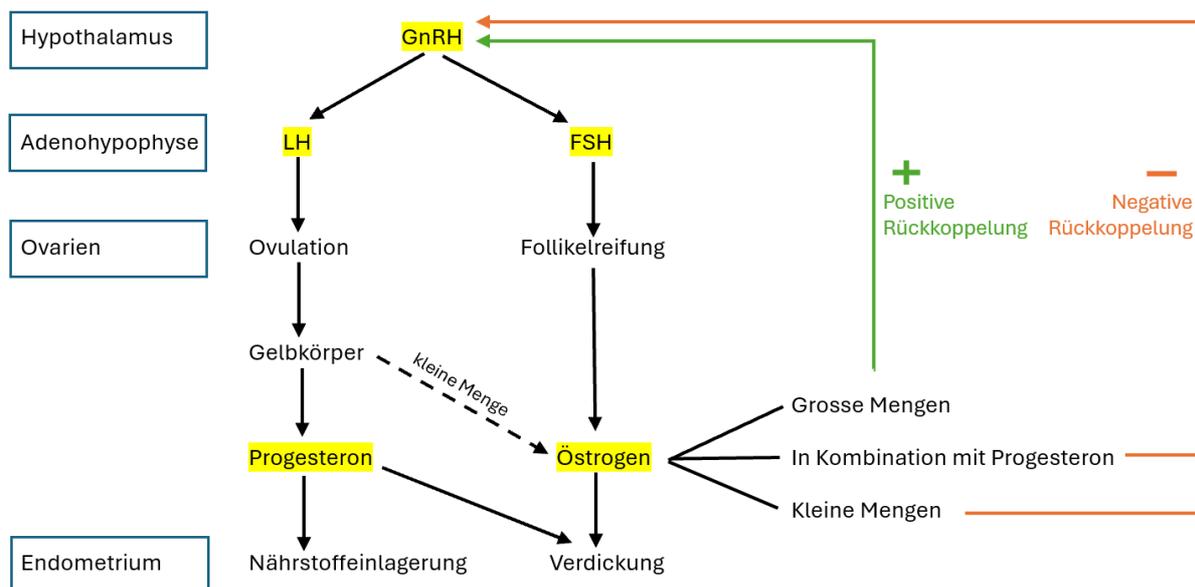


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Hormonsituation während des weiblichen Fortpflanzungszyklus mit den Hormonen gelb markiert (selbst erstellt).

1.2.3 Einfluss von Östrogen auf die Leistungsfähigkeit

Östrogen ist ein anaboles Hormon, hat also eine anabole, muskelaufbauende Wirkung. Ebenfalls fördert es die Speicherung von Energie. Ein erhöhter Östrogenspiegel kann die Erholung beschleunigen, da er den Muskelaufbau anregt und die Regeneration der Muskeln verbessert. Aufgrund des hohen Östrogengehalts in der späten Follikelphase ist eine höhere Leistungsfähigkeit zu erwarten (Gault & Smith, 2023).

Östrogen beeinflusst ebenfalls den Stoffwechsel, indem es die Verwendung von Fetten als Energiequelle während einer sportlichen Aktivität erhöht. Dies kann sich auf eine bessere Leistungsfähigkeit bei Ausdauersportarten auswirken, da Fette mehr Energie liefern als Kohlenhydrate. So fand eine Studie, welche Teil einer Metastudie war, heraus, dass die Verwendung von Fetten als Energiequelle höher ist in der mittleren bis späten Lutealphase als in der frühen Follikelphase bei hohen Intensitäten (90 % der Laktatschwelle) (Carmichael et al., 2021).

1.2.4 Einfluss von Progesteron auf die Leistungsfähigkeit

Progesteron bewirkt den Temperaturanstieg in der zweiten Zyklushälfte und eine erhöhte Herzfrequenz. Die erhöhte Herzfrequenz hat zur Folge, dass die kardiovaskuläre Belastung steigt (Ross et al., 2017).

Die erhöhte Temperatur kann eine verbesserte Leistung bei kurzen Anstrengungen zur Folge haben, hingegen eine schlechtere Leistung bei längeren Anstrengungen. Wie auch Östrogen hat Progesteron einen Einfluss auf den Stoffwechsel. Progesteron hemmt, im Gegenteil zum Östrogen, die Fettverbrennung, weshalb vermehrt Kohlenhydrate zur Energiegewinnung genutzt werden, wenn der Progesteronspiegel erhöht ist (Carmichael et al., 2021).

Das Progesteron hemmt die Wirkung des Östrogens, weshalb vermutet wird, dass in der Lutealphase keine Leistungssteigerung festgestellt werden kann. Dies liegt daran, dass obwohl viel Östrogen vorhanden ist, gleichzeitig auch viel Progesteron vorhanden ist (McNulty et al., 2020).

1.2.5 Einfluss von Testosteron auf die Leistungsfähigkeit

In einer Studie, welche den Einfluss der Zyklusphasen auf Testosteron und Aggressivität untersuchte, wurde herausgefunden, dass das im Plasma vorhandene Testosteron am höchsten ist rund um die Ovulation (Dougherty et al., 1997). Die Metastudie von Carmichael et al. (2021) sagt ausserdem, dass das Speichel- und freie Testosteron, das Testosteron, welches nicht an Bindeproteine gebunden ist, nach dem Training in der Ovulationsphase und in der mittleren Lutealphase erhöht ist. Der erhöhte Testosteronspiegel rund um die Ovulation und in der mittleren Lutealphase könnte einen positiven Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben. Die neuronale Aktivierung ist grösser, je mehr Testosteron vorhanden ist, dadurch können die motorischen Nervenzellen schneller aktiviert

werden, und mehr Muskelfasern können gleichzeitig kontrahieren. Es konnte aber noch nicht nachgewiesen werden, ob auch das bioverfügbare Testosteron, das Testosteron, welches frei oder schwach an Albumin gebunden vorliegt und somit direkt vom Körper verwendet werden kann, während der Zyklusphasen variiert (Carmichael et al., 2021).

1.3 Fragestellungen und Hypothesen

Aufgrund der im Kapitel 1.1 genannten Ausgangslage wurde folgende Fragestellung formuliert:

Haben die Phasen des weiblichen Zyklus einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von jugendlichen Leistungssportlerinnen?

Werden bereits vorhandene Studien und die genannten Vorgänge und hormonellen Einflüsse während des Zyklus in Betracht gezogen, so können daraus drei Hypothesen geschlossen werden.

H0: Die Zyklusphasen haben keine Auswirkung auf die körperliche Leistungsfähigkeit.

H1: Die Leistungsfähigkeit ist geringer in der späten Lutealphase und in der frühen Follikelphase (Menstruation) und höher in der Zeit rund um die Ovulation sowie in der späten Follikelphase.

H2: Die Einflüsse des weiblichen Zyklus sind bei jeder Person individuell.

Die Hypothese H0 basiert auf folgenden Studien. Eine Metastudie, welche viele andere Studien zusammenfasste, ergab, dass 20 von 35 untersuchten Studien keinen signifikanten Einfluss der Zyklusphasen auf die Leistungsfähigkeit feststellten. Untersucht wurden Studien, welche den Einfluss der Zyklusphasen bei diversen Athletinnen untersuchten und dabei einen Leistungsnachweis in Form eines Tests, wie einem Sprungtest oder Ausdauerstest, oder die subjektive Wahrnehmung der Athletinnen untersuchten (Carmichael et al., 2021). Auch Ross et al. (2017) fanden in ihrer Studie mit Fußballspielerinnen heraus, dass es keinen signifikanten Einfluss der Zyklusphasen auf die Sprint- und Sprungleistungen der Spielerinnen gibt bei Betrachtung der frühen Follikelphase und der mittleren Lutealphase.

Die Herleitung der Hypothese H1 resultiert aus den folgenden Studien. Die Metastudie von Carmichael et al. (2021) stellte fest, dass sieben von den 35 untersuchten Studien zeigten, dass die Leistungsfähigkeit in der späten Lutealphase oder in der frühen Follikelphase am schlechtesten ist. Eine andere Studie erwähnte, dass eine geringere sportliche

Leistung erwartet werden kann in der frühen Follikelphase aufgrund des Blutverlustes und des daraus resultierenden Eisenmangels (Statham, 2020). Die Hypothese, dass höhere Leistungen erbracht werden können in der späten Follikelphase, basiert auf dem Einfluss von Östrogen auf die Leistungsfähigkeit. In der späten Follikelphase ist das Östrogen erhöht, ohne dass auch das Progesteron erhöht ist, was eine Leistungssteigerung zur Folge haben könnte (Gault & Smith, 2023). Das allenfalls erhöhte Testosteron in der Ovulationsphase könnte zu einer Leistungssteigerung um die Ovulation führen (Dougherty et al., 1997; Carmichael et al., 2021).

Aufgrund einer Studie mit aktiven Athletinnen diverser Sportarten von Schweden und Norwegen ergibt sich die Hypothese H2. Ekenros et al. (2022) zeigten, dass die Athletinnen, welche nicht-hormonelle Verhütungsmethoden verwendeten, eine Leistungssteigerung in der Ovulationsphase verspürten. Die Studie ergab auch, dass viele Athletinnen, welche eine Leistungsverschlechterung in der frühen Follikelphase oder in der späten Lutealphase verspürten, Menstruationsbeschwerden oder prämenstruelle Beschwerden haben. Dies weist darauf hin, dass die Einflüsse des Menstruationszyklus abhängig von den jeweiligen Beschwerden der Probandinnen sind und dadurch individuell betrachtet werden müssen.

Insgesamt lässt sich aus den genannten Studien schliessen, dass die Phasen des weiblichen Fortpflanzungszyklus keinen, einen individuellen oder den folgenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben: Die Leistungsfähigkeit könnte am besten in der Ovulationsphase oder der späten Follikelphase sein. Schlechtere Leistungen können erwartet werden in der späten Lutealphase oder der frühen Follikelphase.

2 Material und Methoden

2.1 Schwimmzeitmessungen

Um den Einfluss der Menstruation auf die körperliche Leistungsfähigkeit zu untersuchen, wurde ein Versuch über acht Wochen durchgeführt. Während dieser acht Wochen wurde zweimal in der Woche eine Schwimmzeitmessung über 100 Meter auf der 50-Meter-Bahn durchgeführt. Die 100 Meter wurden so schnell wie möglich in Freistil absolviert. Die Distanz über 100 Meter wurde deshalb ausgewählt, weil es nicht ein klassischer Sprint ist wie die 50 Meter, also auch eine Ausdauerkomponente miteinbezieht. Ein 50-Meter-Sprint kann eher auch einmal schnell geschwommen werden, wenn man sich nicht so leistungsfähig fühlt. Bei 100 Metern gibt es grössere Differenzen, je nachdem wie fit man sich fühlt. Dies ist sinnvoll, da die Ergebnisse des Versuches so auch für die Trainings ausschlaggebend sind und nicht nur für die Wettkämpfe. In den Trainings, welche eineinhalb bis zwei Stunden dauern, ist die Ausdauer von grösserer Bedeutung als die Sprint-Kraft. Ausserdem ist der Versuch über die 100 Meter gut durchführbar in den Trainings einer Leistungssportgruppe, wogegen längere Distanzen aufgrund des erhöhten Zeitaufwandes schwieriger gewesen wären.

Teilgenommen am Versuch haben fünf Probandinnen im Alter von 16 bis 20 Jahren. Alle Probandinnen trainieren sechs- bis achtmal in der Woche, haben also einen vergleichbaren Trainingsaufwand. Vor der Durchführung des Versuches wurden jeweils zuerst ein bis anderthalb Kilometer eingeschwommen, was eine optimale Vorbereitung für Höchstleistungen ergab. Die geschwommenen Zeiten wurden auf ein Datenblatt in Sekunden notiert und anschliessend in eine Exceltabelle eingetragen. Gemessen wurde bis zwei Komastellen. Die Messungen führte der Schwimmtrainer mit einer Stoppuhr durch. So wurde gewährleistet, dass die Reaktionszeiten beim Durchführen der Messungen möglichst konstant waren, was den Störfaktor minimierte.

Es wurde bei jeder Probandin individuell sichergestellt, dass in allen Phasen mindestens eine Messung vorliegt. Insgesamt wurden von Probandin A und E 16, von Probandin C 17, von Probandin D 15 und von Probandin B 12 Messungen durchgeführt. Von Probandin B und D wurden weniger als 16 Messungen durchgeführt aufgrund von Krankheitsausfällen und Ferien. Die Messung vom 3.9.2024 der Probandin C wurde von der statistischen Auswertung ausgeschlossen. Die Probandin notierte in ihrem Menstruationskalender, dass

sie krank war. Da trotz Krankheit eine Messung durchgeführt wurde, wurde diese Messung nicht zur Datenauswertung benutzt.

2.2 Menstruationskalender

Neben den Schwimmzeitmessungen wurde von den Probandinnen auch ein Menstruationskalender ausgefüllt. In diesem Kalender mussten die Probandinnen jeden Tag ankreuzen, wie leistungsfähig sie sich im Training fühlten. Ausgewählt werden konnte zwischen schlecht, mittel und gut in Form von Smileys. Durch diese Smiley-Skala konnte rückgeschlossen werden auf Störfaktoren des alltäglichen Lebens, wie Müdigkeit oder Abgeschlagenheit. Im Menstruationskalender notierten die Probandinnen ebenfalls täglich die Basaltemperatur und markierten die Menstruation mit einem Kreuz.

Die Basaltemperatur wurde täglich im Mund gemessen. Gemessen wurde immer direkt nach dem Aufwachen in liegender Position. Im Verlaufe des Versuches wurde festgestellt, dass die Basaltemperatur aufgrund der Aufstehzeit schwanken kann, weshalb diese ab Ende August notiert wurde. Die Basaltemperatur diente dazu, den Temperaturanstieg nach der Ovulation festzustellen und zu sehen, ob die Temperatur wirklich bei allen in der zweiten Zyklushälfte höher ist, damit dies auch zur Argumentation der ausgewerteten Daten benutzt werden konnte. Begonnen wurde mit der Temperaturmessung beim Zyklusbeginn des ersten für die Schwimmzeitmessungen relevanten Zyklus.

Zur Bestimmung der Ovulation wurde die Basaltemperatur gemessen und ein LH-Test, auch Ovulationstest genannt, durchgeführt. Der LH-Test zeigt den Anstieg des eisprungaushlösenden Hormons (LH) an und wurde je nach Zykluslänge an unterschiedlichen Tagen gestartet. Der Richtwert für den Start der Durchführung des LH-Tests war die Zykluslänge minus 17 Tage aufgrund der Beratung einer Gynäkologin (L. Hefermehl, persönliche Mitteilung, 13. Juni 2024). Der Test wurde durchgeführt, bis ein positives Ergebnis angezeigt wurde. Mit Hilfe des LH-Tests konnten die Zyklusphasen definiert werden. Der LH-Test wurde in den Sommerferien in Form eines Vorversuches durchgeführt, um sicherzustellen, dass er bei allen Probandinnen funktioniert.

2.3 Definieren der Zyklusphasen

Der Zyklus wurde in fünf Phasen unterteilt: die frühe Follikelphase (Menstruation), die späte Follikelphase, die Ovulationsphase, die frühe/mittlere Lutealphase (als eine Phase betrachtet) und die späte Lutealphase.

Die Zeit rund um die Ovulation wurde dabei als eine dreitägige Phase betrachtet, mit dem positiven LH-Testergebnis als Tag eins (Tabelle 2). Dies wurde so definiert aufgrund der Packungsbeilage des LH-Tests, welche besagt, dass die Ovulation 24 bis 48 Stunden nach einem positiven Ergebnis ist. Ebenfalls basiert die Entscheidung auf einer Studie, welche die Ovulationsphase auch als eine dreitägige Phase definierte (Ekenros et al., 2022). Eine weitere Studie bestätigt, dass die Ovulation bis zu 36 Stunden nach dem LH-Peak stattfinden kann (Meignié et al., 2021).

Die späte Lutealphase wurde als fünf Tage vor der Menstruation bis zum Beginn der nächsten Menstruation und somit des nächsten Zyklus definiert (Tabelle 2), dies auf Grundlage einer Studie, welche die späte Lutealphase vom 24. bis 28. Zyklustag festlegte (McNulty et al., 2020).

Mit der Annahme eines 28-tägigen Zyklus mit positivem LH-Test am Tag 14 und 5-tägiger Menstruation, würden die Phasen wie in Tabelle 2 eingeteilt werden. In der folgenden Arbeit werden die Phasen immer wie folgt benannt: Fachbegriff der Phase (Ph1-5).

Phase (1-5)	Phase (Fachbegriff)	Zyklustage
1	Frühe Follikelphase	1 bis 5
2	Späte Follikelphase	6 bis 13
3	Ovulationsphase	14 bis 16
4	Frühe/Mittlere Lutealphase	17 bis 23
5	Späte Lutealphase	24 bis 28

Tabelle 2: Definition der Zyklusphasen angewandt auf einen 28-tägigen Zyklus mit positivem LH-Test am Tag 14 und 5-tägiger Menstruation (selbst erstellt).

2.4 Statistische Auswertung

Die Resultate der Schwimmzeitmessungen wurden den jeweiligen Phasen zugeordnet. Anschliessend wurden die Daten mit dem Statistikprogramm R auf Normalverteilung mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests geprüft. Geprüft wurde die Normalverteilung aller Schwimmzeiten, der Schwimmzeiten in jeder Phase und jeder Probandin. Nachfolgend wurde ein Linear Mixed Model fit by REML, kurz LMM, durchgeführt (Abbildung 4). Anschliessend wurde eine Anova (Varianzanalyse) auf das LMM angewendet, um festzustellen, ob die Zyklusphasen einen signifikanten Einfluss auf die Schwimmzeiten haben. Ist

der p-Wert bei der Anova unter 0,05, besagt dies, dass sich die Schwimmzeiten mindestens zweier Phasen signifikant unterscheiden. Um jeweils zwei Phasen vergleichen zu können, wurde der Post-hoc-Test mit emmeans durchgeführt (Abbildung 4). Die Nullhypothese gilt dann als widerlegt, wenn der p-Wert unter 0,05 liegt. Ein solcher p-Wert besagt, dass sich zwei Phasen signifikant unterscheiden.

Das LMM und der Post-hoc-Test mit emmeans wurden ausgewählt als statistische Methode aufgrund der Beratung eines Mathematikers (Jakob Steiner, mündliche Mitteilung) und der Eigenschaften der Daten. Das LMM berücksichtigt, dass nicht alle Probandinnen im Schnitt gleich schnell schwimmen. Es vergleicht alle Phasen mit der Referenzphase, hier automatisch Phase 1. Um allgemein zu wissen, ob es irgendeinen signifikanten Unterschied zwischen den Phasen gibt ohne den Bezug auf eine Referenzphase, wurde die Anova auf das LMM angewendet. Die Überlegung, dass eine Anova auf das LMM angewendet werden könnte, wurde mit Hilfe von Perplexity AI überprüft.

```
#Haben die Phasen einen signifikanten Einfluss auf die Schwimmzeiten?  
Auswertung_A11$Phase <- as.factor(Auswertung_A11$Phase)  
model <- lmer(SwimmingTime ~ Phase + (1|Prob), data = Auswertung_A11)  
summary(model)  
anova(model)  
  
#Gibt es signifikante Unterschiede der Schwimmzeiten beim Vergleich zweier Phasen, post-hoc-Test  
pairwise <- emmeans(model, pairwise ~ Phase)  
summary(pairwise)
```

Abbildung 4: Befehl zur Durchführung des LMM und anschliessender Anova und Post-hoc-Test in R (Screenshot). Prob steht für Probandin, SwimmingTime für die Schwimmzeiten, Phase für die Phasen 1-5.

Ebenfalls wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (Anova) von jeder Probandin einzeln durchgeführt. Wurde bei einer Probandin ein p-Wert unter 0,05 berechnet, so wurde der Post-hoc-Test Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) durchgeführt (Abbildung 5) Mit Hilfe des HSD konnte festgestellt werden, welche Schwimmzeiten sich signifikant von Schwimmzeiten einer anderen Phase unterscheiden. Auch diese Auswertung wurde aufgrund der Beratung eines Mathematikers durchgeführt (Jakob Steiner, mündliche Mitteilung).

```
#Haben die Phasen einen signifikanten Einfluss auf die Schwimmzeiten bei jeder Probandin einzeln?  
Auswertung_E$Phase <- as.factor(Auswertung_E$Phase)  
anova_result <- aov(Auswertung_E$SwimmingTime ~ Auswertung_E$Phase)  
summary(anova_result)  
  
#Gibt es signifikante Unterschiede der Schwimmzeiten einer Probandin beim Vergleich zweier Phasen, post-hoc-Test  
TukeyHSD(anova_result)
```

Abbildung 5: Befehl zur Durchführung der einfaktoriellen Varianzanalyse (Anova) und anschliessendem Post-hoc-Test (HSD) jeder Probandin einzeln (Screenshot, hier für Probandin E).

Graphisch dargestellt wurden die Daten mit Hilfe eines BoxPlot-Diagramms. Zur Erstellung mussten die Abweichungen der geschwommenen Schwimmzeitmessungen zum Mittelwert berechnet werden. Es wurde mit allen Zeiten einer Probandin ein Mittelwert berechnet. Anschliessend wurde von jeder geschwommenen Zeit der Mittelwert der entsprechenden Probandin abgezogen. So konnten die Daten verschiedener Probandinnen, welche ein leicht unterschiedliches Durchschnittstempo haben, verglichen werden. Das BoxPlot-Diagramm wurde zudem noch von jeder Probandin einzeln erstellt.

Zusätzlich zu den BoxPlot-Diagrammen wurden die Schwimmzeiten und die Temperaturmessungen mit Hilfe eines Graphen dargestellt.

3 Resultate

3.1 Resultate der Schwimmzeitmessungen aller Probandinnen

Die Anova, angewandt auf das LMM (Linear Mixed Model), gibt an, dass sich die Schwimmzeiten der fünf Zyklusphasen nicht signifikant unterscheiden ($p = 0,085$). Wird jedoch ein Post-hoc-Test durchgeführt, ergibt sich, dass sich die Schwimmzeiten in der späten Lutealphase (Ph5) verglichen mit der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) signifikant unterscheiden ($p = 0,042$). Die absoluten Schwimmzeiten in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) waren dabei im Schnitt 0,82 Sekunden schneller als die Zeiten in der späten Lutealphase (Ph5), wobei der 100-Meter-Sprint in 64 bis 73 Sekunden absolviert wurde.

Wird das BoxPlot-Diagramm (Abbildung 6) betrachtet, so ist der Mittelwert der Abweichungen der individuellen durchschnittlich geschwommenen Zeit in der späten Lutealphase (Ph5) am höchsten und in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) am niedrigsten.

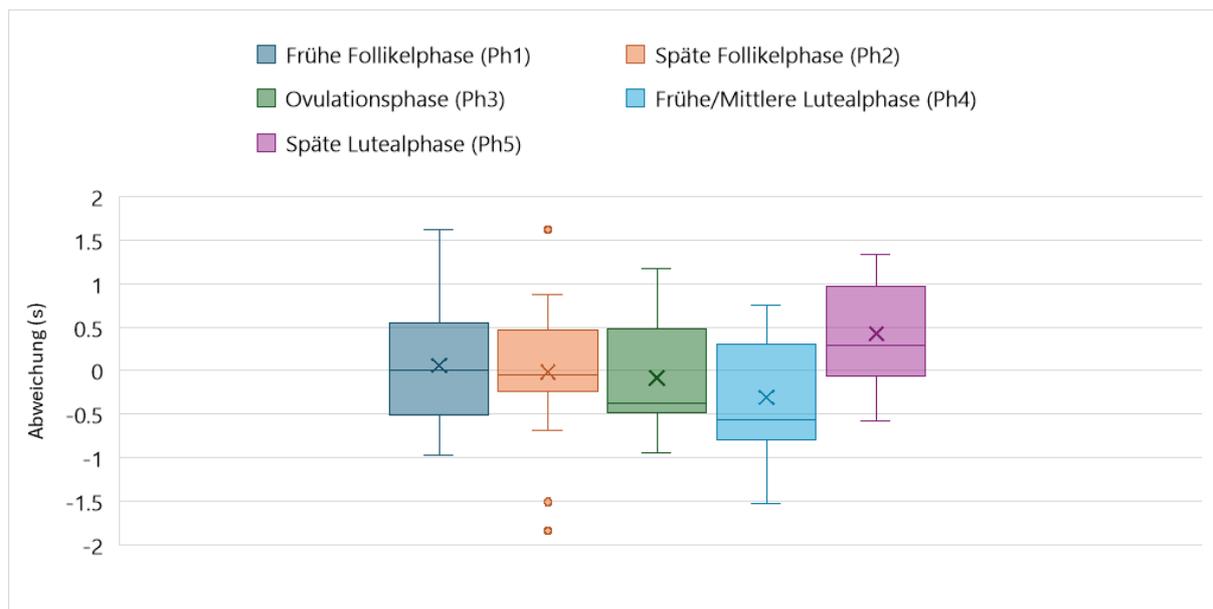


Abbildung 6: BoxPlot-Diagramm der Abweichungen der Schwimmzeiten jeder Probandin zu ihrer eigenen durchschnittlichen Schwimmzeit (erstellt mit Excel). X = Mittelwert.

3.2 Resultate der Schwimmzeitmessungen einzelner Probandinnen

3.2.1 Probandin C

Der Einfluss der Zyklusphasen auf die Schwimmzeiten war bei Probandin C signifikant mit $p = 0,0105$. Mit anschließendem Post-hoc-Test wurde festgestellt, dass die Schwimm-

zeiten in der späten Lutealphase (Ph5) signifikant langsamer waren als in der frühen Follikelphase (Ph1) ($p = 0,026$), der Ovulationsphase (Ph3) ($p = 0,012$) und der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) ($p = 0,028$).

Bei Betrachtung des BoxPlot-Diagramms (Abbildung 7) wird ersichtlich, dass die Schwimmzeiten in der späten Lutealphase (Ph5) im Durchschnitt am langsamsten waren und in der Ovulationsphase (Ph3) am schnellsten.

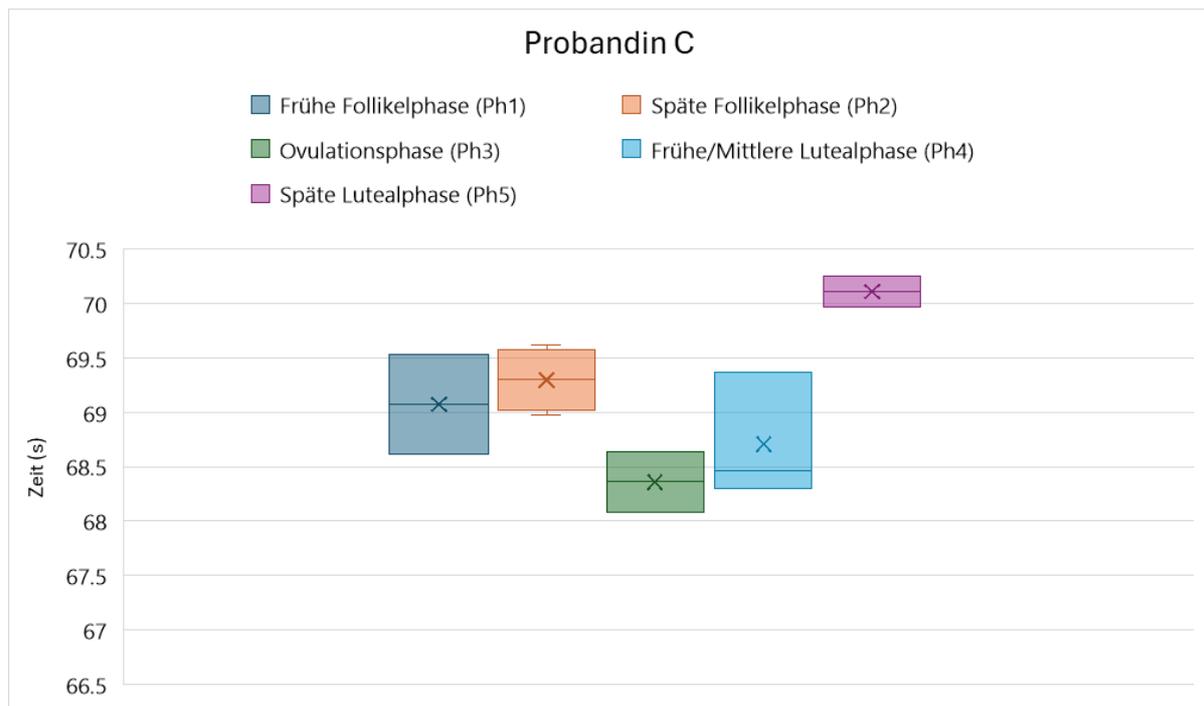


Abbildung 7: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin C (erstellt mit Excel).

3.2.2 Probandin A, B, D und E

Bei den Probandinnen A, B, D und E war der Einfluss der Zyklusphasen auf die Schwimmzeiten nicht statistisch signifikant. Die detaillierten Resultate jeder Probandin befinden sich im Anhang. Im Folgenden wird nur auf spezielle Auffälligkeiten eingegangen.

Bei Probandin B und D wurden Zyklusschwankungen festgestellt. Bei Probandin B setzte die Menstruation in ihrem ersten Zyklus verzögert ein. Nach dem positiven LH-Test-Ergebnis vergingen im ersten Zyklus 27 Tage und im zweiten Zyklus 13 Tage bis zur nächsten Menstruation. Bei Probandin D setzte die Menstruation im ersten Zyklus zu früh ein. Es vergingen nach dem positiven LH-Test-Ergebnis im ersten Zyklus 8 Tage und im zweiten Zyklus 14 Tage.

Bei Probandin E wurde erkannt, dass die Schwimmzeiten tendenziell immer schneller wurden (Abbildung 8).

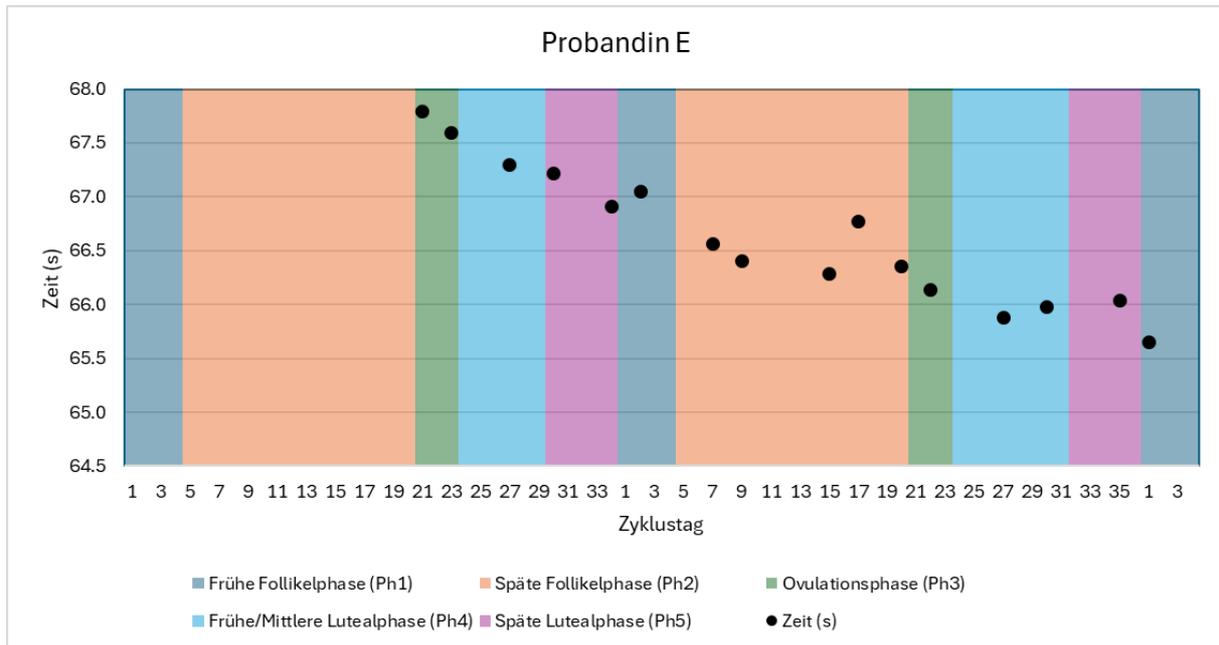


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf der Schwimmzeiten der Probandin E, gleiche Abbildung anderer Probandinnen sind im Anhang zu finden (erstellt mit Excel).

3.3 Relevanz der Smiley-Skala

Die im Kapitel 2.2 erwähnte Smiley-Skala wurde in der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt, da kein statistisches Verfahren dazu gefunden wurde. Bei Betrachtung der Smiley-Skala fiel jedoch auf, dass die subjektive Wahrnehmung der Leistungsfähigkeit oft auch mit der gemessenen Zeit übereinstimmte. Wurde in einer Phase erkannt, dass beispielsweise vermehrt ein mittlerer Smiley angekreuzt wurde, so korrelierte dies mit tendenziell schlechteren Schwimmzeiten in dieser Phase.

3.4 Verlauf der Temperatur während des Zyklus

Nicht bei allen Probandinnen stieg die mittlere Temperatur in der Lutealphase (Ph4 und Ph5) verglichen zur Follikelphase (Ph1 und Ph2) um mehr als 0,2°C an. Bei Probandin A und B sowie Probandin C (Abbildung 9), stieg die Temperatur in mindestens einem Zyklus um mehr als 0,2°C an. Bei Probandin D und E wurde in beiden Zyklen kein Temperaturanstieg oder nur ein Temperaturanstieg von unter 0,2°C festgestellt. Wie in der Theorie erwähnt, ist ein relevanter Temperaturanstieg zwischen 0,2 und 0,5°C. Die Aufstehzeit hatte nicht immer den gleichen Einfluss auf die Temperatur. Eine spätere Aufstehzeit hatte beispielsweise teils eine höhere und teils eine tiefere Temperatur zur Folge.

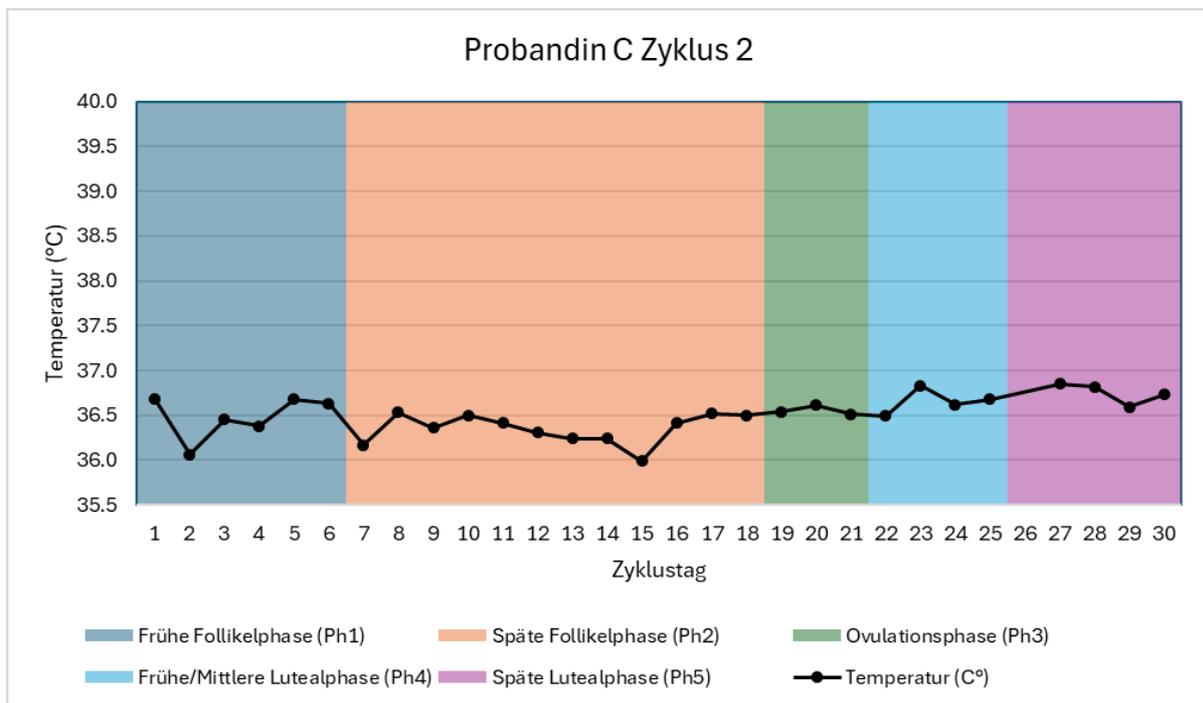


Abbildung 9: Temperaturverlauf des Zyklus 2 von Probandin C (erstellt mit Excel). (Weitere Abbildungen, in welchen der Temperaturverlauf ersichtlich ist, sind im Anhang zu finden.)

4 Diskussion

4.1 Aussagekraft der Resultate

Es muss die geringe Anzahl an Datenpunkten beachtet werden. Insgesamt wurden 76 Schwimmzeiten gemessen, aber nur 75 wurden zur Auswertung benutzt. Dabei wurde darauf geachtet, dass bei jeder Probandin mindestens eine Messung in jeder Phase vorhanden ist. Bei Probandin B konnte nur eine Messung in der Ovulations- (Ph3) sowie in der späten Lutealphase (Ph5) durchgeführt werden. Ebenso konnte bei Probandin D in der frühen Follikelphase (Ph1) nur eine Messung durchgeführt werden. Um in jeder Phase mehrere Messungen zu erhalten und so die Aussagekraft zu erhöhen, könnten die Abstände zwischen den Messungen verringert werden.

Ebenfalls prägen Faktoren wie Stress in der Schule oder wenig Schlaf die jeweilige Tagesform und sind mögliche Fehlerquellen.

Eine weitere Beeinflussung der Datenpunkte liegt darin, dass der Versuch über zwei Monate stattfand. So kann es sein, dass die Probandinnen durch das konstante Training automatisch schneller wurden, unabhängig von den Zyklusphasen, wie klar ersichtlich bei Probandin E.

Bei der Temperaturmessung fiel auf, dass es auch Unterschiede gab innerhalb der Follikelphase (Ph1 und Ph2) sowie der Lutealphase (Ph4 und Ph5). Faktoren wie die Länge des Schlafes oder Stress könnten die Temperatur tangieren und so auch einen allfälligen Temperaturanstieg überlagern (Baker et al., 2020; Vinkers et al., 2013). Die Aufstehzeit zeigte in dieser Arbeit jedoch keinen einheitlichen Einfluss auf die Temperatur.

Auch vereinzelte Krankheitsausfälle beeinträchtigten die Schwimmzeitmessungen. Obwohl anschliessend Messungen durchgeführt wurden, kann es sein, dass ohne Krankheitsausfall kurz vor der Messung, die Probandin schneller geschwommen wäre. Das Gleiche gilt für ferienbedingte Ausfälle.

Die Zyklusschwankungen von Probandin B und D beeinflussen ebenfalls die Aussagekraft der Messungen. Aufgrund der Verschiebung des Zyklus kann nicht mehr davon ausgegangen werden, dass sich die Hormone so verhalten, wie in der Theorie beschrieben. Die Phasen wurden aber trotzdem wie in einem regelmässigen Zyklus eingeteilt. Weiterführende Studien sollten daher die Hormone vor den Messungen bestimmen, um so die Phasen spezifischer einteilen zu können.

4.2 Diskussion der Resultate der Schwimmzeiten aller Probandinnen

Diese Maturitätsarbeit untersuchte den Einfluss der Zyklusphasen mit Hilfe einer anaeroben Leistung. 100-Meter-Schwimmen ist eine eher intensive, aber kurze Belastung, weshalb es zu den anaeroben Leistungen gezählt wird. Die 100 Meter absolviert man so, dass der Körper nicht die ganze Zeit genügend Sauerstoff zur Verfügung hat und so der Zucker nicht in den Mitochondrien verbrannt werden kann, da dies Sauerstoff benötigt. Alternativ wird der Zucker nur unvollständig ausserhalb der Mitochondrien abgebaut, was weniger Energie liefert und zur Laktatbildung führt. Dieser Vorgang wird anaerober Stoffwechsel genannt und steht im Gegensatz zum aeroben Stoffwechsel, bei welchem genügend Sauerstoff zur Verbrennung des Zuckers in den Mitochondrien zur Verfügung steht (Abel, 2016).

Mit dem statistisch nicht signifikanten Resultat der Anova ($p = 0.085$) kann die Nullhypothese H_0 : Die Zyklusphasen haben keine Auswirkung auf die körperliche Leistungsfähigkeit, nicht widerlegt werden.

Dies stimmt mit dem grössten Teil der 35 untersuchten Studien in der Metastudie von Carmichael et al. (2021) überein. In diesen 35 Studien wurde entweder die subjektive Einschätzung diverser Athletinnen untersucht oder eine objektive Leistungsmessung durchgeführt. Diese Messungen fanden während den verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus statt. 20 der 35 Studien stellten fest, dass die Phasen keinen Einfluss auf die Leistungen der Athletinnen haben. 13 dieser 20 Studien untersuchten dabei eine anaerobe Leistung. Nur drei weitere Studien, welche auch eine anaerobe Leistung untersuchten, fanden einen Einfluss des Menstruationszyklus auf die gemessene Leistung.

Eine Studie von Ross et al. (2017) mit Fussballspielerinnen ergab zwar eine Leistungsverschlechterung bei der Ausdauer in der mittleren Lutealphase (Ph4), aber es wurde kein Einfluss beim Sprinttest, in Form eines 3 x 30-Meter-Sprints mit zweiminütigen Pausen festgestellt. Der Sprinttest kann dabei am ehesten gleichgesetzt werden mit dem 100-Meter-Sprint im Schwimmen, beide beruhen auf einer anaeroben Aktivität.

Eine weitere Studie, welche Teil der Metastudie von Carmichael et al. (2021) ist, sagt, dass Leistungen unter drei Minuten nicht vom Menstruationszyklus tangiert werden (Eston & Burke, 1984). Die Metastudie nimmt aufgrund ihrer Ergebnisse an, dass Sprints über kurze Distanzen meist nicht von den Zyklusphasen beeinflusst werden (Carmichael et al., 2021).

Weiter fand dieselbe Studie heraus, dass aerobe Leistungen mit Unterbrechungen eher vom weiblichen Zyklus geprägt werden als kontinuierliche aerobe Leistungen oder anaerobe Leistungen (Carmichael et al., 2021). Es kann also diskutiert werden, ob das alltägliche Schwimmtraining eher vom Menstruationszyklus beeinflusst wird als ein einzelner Sprint. Dies liegt daran, dass in einem Schwimmtraining oft auch wiederholt längere Distanzen geschwommen werden mit kurzen Pausen dazwischen.

Die Hypothese H1: Die Leistungsfähigkeit ist geringer in der späten Lutealphase (Ph5) und in der frühen Follikelphase (Ph1) und höher in der Zeit um die Ovulation (Ph3) sowie in der späten Follikelphase (Ph2), kann zum Teil widerlegt werden. Die Schwimmzeiten sind am langsamsten in der späten Lutealphase (Ph5). Sie sind aber am schnellsten in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4). Es konnte nicht gezeigt werden, dass die Schwimmzeiten langsamer wurden und somit die Leistungsfähigkeit in der frühen Follikelphase (Ph1) geringer war. Ebenfalls konnte nicht nachgewiesen werden, dass die Schwimmzeiten in der Ovulationsphase (Ph3) oder in der späten Follikelphase (Ph2) am schnellsten waren.

Eine Studie, welche auch in der Metastudie von Carmichael et al. (2021) erwähnt wurde, fand heraus, dass 100- und 200-Meter-Sprints in der Leichtathletik schneller sind in der mittleren Lutealphase (Ph4) (in der Studie definiert als Tag 19 bis 23) als in der späten Follikelphase (Ph2) (in der Studie definiert als Tag 6 bis 10). Ebenfalls sei der Testosteronspiegel im Serum erhöht und der Laktatspiegel niedriger in der mittleren Lutealphase (Ph4) (Guo et al., 2005). Der niedrigere Laktatspiegel in der mittleren Lutealphase (Ph4) bestätigt auch eine andere Studie mit Fußballspielerinnen, welche die frühe Follikelphase (Ph1) mit der mittleren Lutealphase (Ph4) verglich. Diese Studie bestimmte aber das Laktat nach einem Yo-Yo-Test, was eine deutlich längere Aktivität ist als ein 100- oder 200-Meter-Sprint. Beim Yo-Yo-Test mussten die Athletinnen so lange wie möglich einen 2 x 20-Meter-Lauf absolvieren mit einer 180° Drehung und einer Pause von fünf Sekunden. Der 2 x 20-Meter-Lauf musste in einer immer schneller werdenden Zeit absolviert werden (Ross et al., 2017). Im Gegensatz zur Leistungsverbesserung der Leichtathletinnen wurde die Yo-Yo-Leistung in der Studie von Ross et al. (2017) geringer, obwohl die Laktatwerte sanken. Weiter fand die Studie keinen signifikanten Unterschied der Sprintleistungen in Form eines 3 x 30-Meter-Sprints in der mittleren Lutealphase (Ph4) verglichen zur frühen Follikelphase (Ph1). Angemerkt muss aber werden, dass in der Studie die Laktatwerte nach dem Sprinttest nicht gemessen wurden, es also nicht mit Sicherheit

auch einen Unterschied zwischen den Laktatspiegeln nach den Sprints gab. Ebenfalls wurden in den beiden genannten Studien (Guo et al., 2005; Ross et al., 2017) nicht die frühe/mittlere Lutealphase (Ph4) mit der späten Lutealphase (Ph5) verglichen, wie in dieser Arbeit. Diese Arbeit zeigt, dass der höhere Testosteron- und Laktatgehalt in der mittleren Lutealphase (Ph4) verglichen zur frühen Follikelphase (Ph1) und der späten Follikelphase (Ph2) die Schwimmzeiten nicht beeinflussten, da kein signifikanter Unterschied der Schwimmzeiten der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) verglichen zur späten Follikelphase (Ph2) oder frühen Follikelphase (Ph1) festgestellt wurde ($p = 0.646$ und $p = 0.572$). Zur eindeutigen Aussage müsste die frühe/mittlere Lutealphase (Ph4) in weiterführenden Studien aber noch unterteilt werden. Ebenfalls sollte auch der Unterschied des Testosterons- und Laktatgehalts in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) zur späten Lutealphase (Ph5) untersucht werden. Dabei sollte der Laktatgehalt nach einem Sprint gemessen werden, wie bei Guo et al. (2005). Zusätzlich sollten die Leistungstests durch die Bestimmung von Östrogen und Progesteron ergänzt werden. So könnten auch diese Hormone präziser in die Argumentation miteinbezogen werden.

In der späten Lutealphase (Ph5) geht die Hormonkonzentration sowohl von Östrogen als auch Progesteron zurück. Der Rückgang von Östrogen könnte die Leistungsverschlechterung erklären. Dies erklärt aber nicht, wieso keine Leistungssteigerung in der späten Follikelphase (Ph2) gemessen wurde, da in dieser Phase das Östrogen noch deutlich höher ist und ohne den Einfluss von Progesteron. Die muskelaufbauende, anabole Wirkung des Östrogens kann einen positiven Einfluss auf die Regeneration nach strengen Trainings haben (Gault & Smith, 2023). So könnte Östrogen indirekt die Leistung bei einem 100-Meter-Sprint erhöhen. Östrogen fördert aber auch die Verbrennung von Fetten, was vor allem bei Ausdauersportarten von Vorteil ist (Carmichael et al., 2021). Bei einer Messung über 100 Meter werden vor allem Kohlenhydrate zur Energiegewinnung genutzt, da dies schneller Energie liefert als die Fettverbrennung (Abel, 2016). Dies erklärt aber nicht, weshalb bei Ross et al. (2017) die Ausdauer schlechter war in der mittleren Lutealphase (Ph4), obwohl gezeigt wurde, dass das Östrogen signifikant höher ist in der mittleren Lutealphase (Ph4) als in der frühen Follikelphase (Ph1). In der mittleren Lutealphase (Ph4) ist aber zusätzlich auch das Progesteron erhöht, was die Fettverbrennung hemmt (Carmichael et al., 2021). Die Kombination von sowohl erhöhtem Progesteron als auch Östrogen in der mittleren Lutealphase (Ph4) könnte den genannten Widerspruch erklären.

Die Temperaturerhöhung aufgrund des Progesterons in der Lutealphase (Ph4 und Ph5) kann die Leistungsfähigkeit bei kurzen Anstrengungen erhöhen (Carmichael et al., 2021). Obwohl am Anfang des Versuches die 100 Meter anstelle der 50 Meter gewählt wurden, um nicht eine sehr kurze Anstrengung zu testen, ist ein 100-Meter-Sprint dennoch eine Anstrengung von nur 60 bis 70 Sekunden. Die Temperaturerhöhung könnte erklären, weshalb die Schwimmzeiten in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) am schnellsten waren. Es erklärt aber nicht den Unterschied der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) zur späten Lutealphase (Ph5). Ebenfalls konnten die Temperaturanstiege nicht bei allen Probandinnen nachgewiesen werden.

Da keine Leistungsverbesserung in der Ovulationsphase (Ph3) festgestellt werden konnte, hat das Testosteron vermutlich keinen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit oder das bioverfügbare Testosteron ist nicht oder nicht genug erhöht während der Ovulationsphase (Ph3). Dougherty et al. (1997) fanden zwar heraus, dass das im Plasma verfügbare Testosteron erhöht ist, es muss aber noch weiter erforscht werden, ob auch das bioverfügbare Testosteron, welches direkt vom Körper genutzt werden kann, erhöht ist. Guo et al. (2005) stellten fest, dass das Testosteron im Serum in der mittleren Lutealphase (Ph4) verglichen mit der späten Follikelphase (Ph2) höher ist. Doch auch in dieser Studie wird nicht klar, ob auch das bioverfügbare Testosteron erhöht ist. Dies bleibt auch ungeklärt in der Metastudie von Carmichael et al. (2021), welche entdeckte, dass das Speicheltestosteron und das freie Testosteron in der mittleren Lutealphase (Ph4) nach dem Training erhöht ist. In zukünftigen Studien sollte also weiter erforscht werden, ob auch das bioverfügbare Testosteron während der Ovulationsphase (Ph3) oder der mittleren Lutealphase (Ph4) erhöht ist und inwiefern sich dies auf die Leistung auswirkt.

Die Hypothese H2, der Einfluss ist bei jeder Person individuell, kann aus den unterschiedlichen Resultaten der Probandinnen gestützt werden. Dies zeigte auch eine qualitative Studie, welche neun Wassersportlerinnen interviewte (drei Wettkampfschwimmerinnen, drei Water Polo Athletinnen und drei Open Water Schwimmerinnen). Eine Wettkampfschwimmerin sagte: *„With menstruation, performance improves. Sometimes, when I menstruate during a competition, I sometimes do better than when I'm not“* (Caballero-Guzmán & Lafaurie-Villamil, 2020). Während die Water Polo Sportlerin sagte: *„In sports it is the most complex issue. We prepare and then the period comes. We feel tired, slower, heavier, with a lot of discomfort“* (Caballero-Guzmán & Lafaurie-Villamil, 2020). Diese Studie zeigt, dass die Athletinnen den Einfluss ihrer Menstruation sehr unterschiedlich wahrnehmen.

4.3 Diskussion der Resultate der Schwimmzeiten einzelner Probandinnen

4.3.1 Probandin C

Der Einfluss der Zyklusphasen war bei Probandin C signifikant. Dabei waren die Schwimmzeiten in der späten Lutealphase (Ph5) signifikant langsamer als die Schwimmzeiten in der frühen Follikelphase (Ph1), der Ovulationsphase (Ph3) und der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4).

Probandin C hat bei beiden Zyklen, in denen Messungen durchgeführt wurden, in der späten Lutealphase (Ph5) nie einen grünen Smiley angekreuzt. Daraus kann geschlossen werden, dass die Probandin aufgrund von PMS (prämenstruelles Syndrom) eine Leistungsverschlechterung verspürt. Ebenfalls hat sie beim ersten Zyklus notiert, dass sie sich übersäuert fühlte in der späten Lutealphase (Ph5). Ekenros et al. (2022) fanden heraus, dass diejenigen Athletinnen, welche eine Leistungsverschlechterung in der späten Lutealphase (Ph5) verspürten, alle an PMS leiden. Symptome wie Müdigkeit, Erschöpfung und Emotionalität gehören zu den Symptomen von PMS. Laut mündlicher Aussage fühlt sich die Probandin vor ihrer Menstruation oft erschöpft und ist auch emotionaler.

Probandin C ist die einzige Probandin, bei welcher ein Temperaturanstieg in beiden Zyklen beobachtet werden konnte. Dies könnte der Grund dafür sein, weshalb bei ihr der Mittelwert der Zeiten in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) niedriger ist als in der Follikelphase (Ph1 und Ph2). Die erhöhte Temperatur aufgrund des Progesterons kann eine Leistungsverbesserung zur Folge haben bei kurzen und intensiven Anstrengungen (Carmichael et al., 2021). Dies erklärt aber nicht, wieso die Leistung abfällt in der späten Lutealphase (Ph5), da die Temperatur auch in dieser noch in einem höheren Bereich liegt. Die Leistungsverschlechterung von der frühen Follikelphase (Ph1) zur späten Lutealphase (Ph5) stellten auch Carmichael et al. (2021) bei Betrachtung von Studien über anaerobe Leistungen fest.

Die schlechteren Leistungen in der späten Lutealphase (Ph5) im Vergleich zur Ovulationsphase (Ph3) und frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) könnten damit verbunden sein, dass in der Ovulationsphase (Ph3) und in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) die Östrogen-Konzentration höher ist als in der späten Lutealphase (Ph5). Dies erklärt aber nicht, wieso die späte Lutealphase (Ph5) nicht auch signifikant langsamer ist im Vergleich zur späten Follikelphase (Ph2).

Das Erzielen von Bestleistungen in der Ovulationsphase (Ph3) könnte mit der erhöhten Motivation um die Ovulationsphase (Ph3) zusammenhängen. Die erhöhte Motivation um die Ovulation wurde in einer Metastudie von Meignié et al. (2021), welche sieben andere Studien untersuchte, festgestellt. Zusätzlich könnte die Leistungsverbesserung die Erkenntnis von Dougherty et al. (1997), dass ein erhöhter Testosteronwert im Plasma um die Ovulation vorliegt, unterstützen. Dies kann eine Leistungssteigerung verursachen, sofern auch das bioverfügbare Testosteron erhöht wäre, was in der Studie jedoch nicht gezeigt wurde.

4.3.2 Probandin A, B, D und E

Da bei Probandin A, B, D und E kein statistisch signifikanter Einfluss der Zyklusphasen festgestellt wurde (Resultate siehe Anhang), wird im Folgenden nur auf die in Kapitel 3.2.2 erwähnten Zyklusschwankungen der Probandin B und D eingegangen, da diese eventuell in Zusammenhang mit dem nicht signifikanten Einfluss der Zyklusphasen stehen.

Bei Probandin D setzte die Menstruation im ersten Zyklus zu früh ein. Laut eigener Aussage hatte die Probandin viel Stress während des ersten Zyklus. Stress kann ein Auslöser für Zyklusschwankungen sein (Yamamoto et al., 2009). Zusatzinformationen dazu befinden sich im Anhang.

Probandin B empfand keinen Stress. Das verspätete Einsetzen ihrer Menstruation im ersten Zyklus kann also nicht auf Stress zurückgeführt werden. Die Probandin startete nach den Sommerferien wieder mit deutlich intensiverem Training als zuvor, da sie lange verletzt war. Zyklusschwankungen werden bei sporttreibenden Frauen oft beobachtet. Dabei werden die Schwankungen des Menstruationszyklus auf ein chronisches Energiedefizit zurückgeführt. Um Energie zu sparen, setzt die Menstruation aus, damit die Energie in andere körperliche Vorgänge investiert werden kann (De Souza et al., 2010).

4.4 Diskussion des Temperaturverlaufes während des Zyklus

Da die Temperatur nicht bei jeder Probandin in der zweiten Zyklushälfte anstieg, kann diese, ausser bei Probandin C, nicht zur schlüssigen Auswertung der Daten benutzt werden. Weitere Studien sollten die Temperaturmessung immer um die gleiche Uhrzeit durchführen. Die Verwendung von LH-Tests zur Bestimmung des Eisprungs ist zu emp-

fehlen, da der Temperaturanstieg bei diesem Versuch nicht ausgereicht hätte, um den Eisprung bestimmen zu können. Dies liegt daran, dass die Temperatur von zu vielen anderen Faktoren abhängt, wie der Uhrzeit, zu welcher man ins Bett geht, wie viel und wie gut man geschlafen hat, Stress oder ob man krank ist (Baker et al., 2020; Vinkers et al., 2013). Diese Faktoren sind möglicherweise die Gründe für die Unterschiede der Temperatur innerhalb der Lutealphase (Ph4 und Ph5) sowie der Follikelphase (Ph1 und Ph2). Die Aufstehzeit beeinflusste die Temperatur nicht immer gleich, ist also nicht der Auslöser für die Temperaturunterschiede.

4.5 Fazit

Weitere Studien sollten nicht nur einen Leistungstest durchführen, sondern auch eine Analyse in Kombination mit Bluttests, um die Hormonkonzentrationen bestimmen zu können. So könnte mit Hilfe der Hormone besser rückgeschlossen und argumentiert werden in Bezug auf eine allfällige Leistungsveränderung.

Die Leistungsfähigkeit ist in der späten Lutealphase (Ph5) im Vergleich zur frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) reduziert. Mögliche Ursachen sind der Rückgang der Hormone Östrogen und Progesteron. Die frühe/mittlere Lutealphase (Ph4) ist die leistungsfähigste Phase, was auf einen allenfalls erhöhten Testosteronwert oder auf die erhöhte Temperatur zurückgeführt werden kann. Wie und ob auch das bioverfügbare Testosteron schwankt, sollte aber noch genauer untersucht werden. Die genauen Ursachen der Leistungsveränderungen sind im Ganzen schwer zu benennen, da es immer wieder Widersprüche gibt. So ist in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) das Östrogen, welches die Leistung aufgrund seiner muskelaufbauenden Wirkung steigern könnte, höher als in der späten Lutealphase (Ph5). Mit dieser Argumentation sollte aber auch eine Leistungssteigerung in der späten Follikelphase (Ph2) erkannt werden, da auch in dieser Phase der Östrogenspiegel erhöht ist. Vermutet wird, dass das Östrogen nur einen positiven Einfluss auf längere, aerobe Aktivitäten hat, da bei diesen die erhöhte Fettverbrennung von Vorteil ist. Zu besseren Leistungen in der frühen/mittleren Lutealphase (Ph4) könnte auch ein tieferer Laktat Spiegel führen, was aber weitere Untersuchungen benötigt.

Insgesamt haben die Zyklusphasen aber keinen statistisch signifikanten Einfluss. Dies stimmt überein mit dem grössten Teil der untersuchten Studien in der Metastudie von Carmichael et al. (2021).

Werden die Probandinnen einzeln ausgewertet, so sticht die Probandin C heraus, bei welcher als einzige ein statistisch signifikantes Ergebnis gefunden wurde. Bei ihr waren die Schwimmzeiten in der späten Lutealphase (Ph5) die langsamsten im Vergleich zu allen anderen Phasen, ausser der späten Follikelphase (Ph2). Die schnellsten Zeiten waren in der Ovulationsphase (Ph3).

Zusammenfassend zeigt sich anhand der unterschiedlichen Resultate der Probandinnen, dass der Einfluss der Zyklusphasen individuell betrachtet werden sollte.

5 Literaturverzeichnis

- Abel, T. (2016). Kraftwerk Zelle: Der Muskelstoffwechsel und Mechanismen der Bereitstellung von Energie. *Aktuelle Ernährungsmedizin*, 41(S 01), S2-S5.
<https://doi.org/10.1055/s-0042-102716>
- Baker, F. C., Sibozza, F., & Fuller, A. (2020). Temperature regulation in women: Effects of the menstrual cycle. *Temperature*, 7(3), 226-262.
<https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1735927>
- Baron, D., Braun, J., Hector, U., Hielen-Knabe, W., Hildebrand-Hofmann, P., Joußen, H., . . . Westendorf-Bröring, E. (2012). *Biologie Heute III Erweiterte Ausgabe*. Schroedel. pp. 274 - 283
- Caballero-Guzmán, A., & Lafaurie-Villamil, M. M. (2020). Swimming and menstruation: a qualitative study in elite. *Revista de la Facultad de Medicina*, 68(3), 356-362.
<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v68n3.76135>
- Carmichael, M. A., Thomson, R. L., Moran, L. J., & Wycherley, T. P. (2021). The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review . *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1667.
<https://doi.org/doi.org/10.3390/ijerph18041667>
- De Souza, M. J., Toombs, R. J., Scheid, J. L., O'Donnell, E., West, S. L., & Williams, N. I. (2010). High prevalence of subtle and severe menstrual disturbances in exercising women: confirmation using daily hormone measures. *Human Reproduction*, 25(2), 491-503. <https://doi.org/10.1093/humrep/dep411>
- Dougherty, D. M., Bjork, J. M., Moeller, F. G., & Swann, A. C. (1997). The Influence of Menstrual-Cycle Phase on the Relationship Between Testosterone and Aggression. *Physiology & Behavior*, 62(2), 431-435.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(97\)88991-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(97)88991-3)
- Ekenros, L., von Rosen, P., Strøm Solli, G., Sandbakk, Ø., Holmberg, H.-C., Hirschberg, A. L., & Fridén, C. (2022). Perceived impact of the menstrual cycle and hormonal contraceptives on physical exercise and performance in 1,086 athletes from 57 sports. *Frontiers in Physiology*, 13, 954760.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2022.954760>

- Eston, R. G., & Burke, E. J. (1984). Effects of the menstrual cycle on selected responses to short constant-load exercise. *Journal of Sports Sciences*, 2(2), 145-153.
<https://doi.org/10.1080/02640418408729710>
- Gault, M., & Smith, K. (2023). The Menstrual Cycle: A Look Back on the Understanding and Its Impact on Athletic Performance. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 27(5), 6-10. <https://doi.org/10.1249/FIT.0000000000000897>
- Guo, H., Dong, X., & Zhang, J. (2005). Hormone levels at different menstrual cycle phases and changes of athletic performance in female athletes. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*(53), 188-190.
- McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., . . . Hicks, K. M. (2020). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 50(10), 1813-1827. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>
- Meignié, A., Duclos, M., Carling, C., Orhant, E., Provost, P., Toussaint, J.-F., & Antero, J. (2021). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Elite Athlete Performance: A Critical and Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 12, 654585.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654585>
- Ross, J., Hecksteden, A., Hugh, H. F., & Meyer, T. (2017). The effects of menstrual cycle phase on physical performance in female soccer players. *PLOS ONE*, 12(3), e0173951. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173951>
- Statham, G. (2020). Understanding the effects of the menstrual cycle on training and performance in elite athletes: A preliminary study. *Progress in brain research*, 253, 25-58. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2020.05.028>
- Vinkers, C. H., Penning, R., Hellhammer, J., Verster, J. C., Klaessens, J. H., Olivier, B., & Kalkman, C. J. (2013). The effect of stress on core and peripheral body temperature in humans. *Stress*, 16(5), 520-530.
<https://doi.org/10.3109/10253890.2013.807243>
- Yamamoto, K., Okazaki, A., Sakamoto, Y., & Funatsu, M. (2009). The Relationship between Premenstrual Symptoms, Menstrual Pain, Irregular Menstrual Cycles, and Psychosocial Stress among Japanese College Students. *Physiological Anthropology*, 28(3), 129-136. <https://doi.org/10.2114/jpa2.28.129>

Verwendete KI-Tools

Perplexity AI, <https://www.perplexity.ai/> (3. November 2024)

Prompts :

(1) „ Kann ich eine statistische Auswertung in R wie folgt durchführen: Ich benutze ein LMM mit den random effects: Probandinnen und den fixed effects: Phasen. Kann ich anschliessend eine Anova auf das LMM anwenden, um allgemein herauszufinden, ob die Phasen einen Einfluss auf die Zeiten haben? Benutze ich nur das LMM würde ich ja einen linearen Trend untersuchen oder mich immer auf eine Referenzphase beziehen. Nach der Anova würde ich noch den post-hoc-Test mit emmeans durchführen. Meine Daten sind wie folgt: Fünf Probandinnen, welche alle in fünf verschiedenen Phasen Schwimmzeiten geschwommen sind.“

Screenshots der Antwort im Anhang einsehbar.

6 Bildquellen

Carmichael, M. A., Thomson, R. L., Moran, L. J., & Wycherley, T. P. (2021). The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review . *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1667. <https://doi.org/doi.org/10.3390/ijerph18041667>

Fruchtpaar GmbH. (2024). *Bedienungsanleitungen*. Abgerufen am 19. Juni 2024 von <https://www.fruchtpaar.ch/bedienungsanleitung/?srsltid=AfmBOoo7m-9jP24ZfW2iHuOfNuaUyM0ZNRxcyOW4G1hr8dvmSUgaQedh#elementor-tab-title-2431>

StockSnap. (5. September 2015). *Pixabay*. Abgerufen am 9. November 2024 von <https://pixabay.com/photos/swimming-pool-water-blue-athlete-924895/>

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Titelbild, lizenzfrei von Pixabay (https://pixabay.com/photos/swimming-pool-water-blue-athlete-924895/ , abgerufen am 9. November 2024).....	
Abbildung 2: Die Zyklusphasen und die Konzentration der Hormone in den jeweiligen Phasen (Carmichael et al., 2021).....	4
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Hormonsituation während des weiblichen Fortpflanzungszyklus mit den Hormonen gelb markiert (selbst erstellt).....	5
Abbildung 4: Befehl zur Durchführung des LMM und anschliessender Anova und Post-hoc-Test in R (Screen-shot). Prob steht für Probandin, SwimmingTime für die Schwimmzeiten, Phase für die Phasen 1-5.....	12
Abbildung 5: Befehl zur Durchführung der einfaktoriellen Varianzanalyse (Anova) und anschliessendem Post-hoc-Test (HSD) jeder Probandin einzeln (Screenshot, hier für Probandin E).....	12
Abbildung 6: BoxPlot-Diagramm der Abweichungen der Schwimmzeiten jeder Probandin zu ihrer eigenen durchschnittlichen Schwimmzeit (erstellt mit Excel). X = Mittelwert...	14
Abbildung 7: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin C (erstellt mit Excel).	15
Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf der Schwimmzeiten der Probandin E, gleiche Abbildung anderer Probandinnen sind im Anhang zu finden (erstellt mit Excel).....	16
Abbildung 9: Temperaturverlauf des Zyklus 2 von Probandin C (erstellt mit Excel). (Weitere Abbildungen, in welchen der Temperaturverlauf ersichtlich ist, sind im Anhang zu finden.).....	17
Abbildung 10: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin A (erstellt mit Excel).....	37
Abbildung 11: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin B (erstellt mit Excel).....	37
Abbildung 12: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin D (erstellt mit Excel).....	38
Abbildung 13: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin E (erstellt mit Excel).....	38
Abbildung 14: Bildliche Darstellung der Testdurchführung und der Testinterpretation (https://www.fruchtpaar.ch/bedienungsanleitung/?srsId=AfmBOoo7m-	

9jP24ZfW2iHuOfNuaUyM0ZNRxcyOW4G1hr8dvmSUGaQedh#elementor-tab-title-2431, abgerufen am 19. Juni 2024)).....	40
Abbildung 15: Verwendete Materialien. Benötigt wurde eine Stoppuhr, um die Schwimmzeiten zu messen. Jeder Probandin wurden insgesamt 28 LH-Tests mit einer Sensitivität von 25 mIU/ml (inkl. eines Urinbechers und einem QR-Code für ein Erklärvideo) und ein Basalthermometer abgegeben. Bei Bedarf wurden LH-Tests mit einer Sensitivität von 10 mIU/ml nachgeliefert. Jede Probandin erhielt einen Menstruationskalender und eine Einverständniserklärung. Die Menstruationskalender sind im Weiteren anonymisiert zu finden, die Einverständniserklärungen aus Datenschutzgründen nicht, liegen der Verfasserin aber vor.....	41
Abbildung 16: Packungsbeilage des verwendeten LH-Tests (https://www.fruchtpaar.ch/bedienungsanleitung/?srsltid=AfmBOoo7m-9jP24ZfW2iHuOfNuaUyM0ZNRxcyOW4G1hr8dvmSUGaQedh#elementor-tab-title-2431 , abgerufen am 19. Juni 2024).....	42
Abbildung 17: Menstruationskalender Probandin A September 2024.....	43
Abbildung 18: Menstruationskalender Probandin A Oktober 2024.....	43
Abbildung 19: Menstruationskalender Probandin B August 2024.....	44
Abbildung 20: Menstruationskalender Probandin B September 2024.....	44
Abbildung 21: Menstruationskalender Probandin B Oktober 2024.....	45
Abbildung 22: Menstruationskalender Probandin B November 2024.....	45
Abbildung 23: Menstruationskalender Probandin C August 2024.....	46
Abbildung 24: Menstruationskalender Probandin C September 2024.....	46
Abbildung 25: Menstruationskalender Probandin C Oktober 2024.....	47
Abbildung 26: Menstruationskalender Probandin D August 2024.....	47
Abbildung 27: Menstruationskalender Probandin D September 2024.....	48
Abbildung 28: Menstruationskalender Probandin D Oktober 2024.....	48
Abbildung 29: Menstruationskalender Probandin E August 2024.....	49
Abbildung 30: Menstruationskalender Probandin E September 2024.....	49
Abbildung 31: Menstruationskalender Probandin E Oktober 2024.....	50
Abbildung 32: Exceltabelle der Schwimmzeitmessungen Teil 1 (Screenshot).....	51
Abbildung 33: Exceltabelle der Schwimmzeitmessungen Teil 2 (Screenshot).....	52
Abbildung 34: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin A im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel).....	52

Abbildung 35: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin B im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel)..... 53

Abbildung 36: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin C im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel)..... 53

Abbildung 37: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin D im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel)..... 54

Abbildung 38: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin E im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel)..... 54

Abbildung 39: Durchführung des Shapiro-Wilk-Test für alle Schwimmzeiten, für jede Phase und für jede Probandin (Screenshot). 55

Abbildung 40: Auswertung der Schwimmzeiten aller Probandinnen in R (Screenshot). 56

Abbildung 41: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin A in R (Screenshot). 57

Abbildung 42: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin B in R (Screenshot). 57

Abbildung 43: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin C in R (Screenshot). 57

Abbildung 44: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin D in R (Screenshot). 57

Abbildung 45: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin E in R (Screenshot). 58

Abbildung 46: Antwort von Perplexity AI Teil 1 (Screenshot)..... 58

Abbildung 47: Antwort von Perplexity AI Teil 2 (Screenshot)..... 59

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Phasen des Ovarial- und Uteruszyklus (selbst erstellt).....3

Tabelle 2: Definition der Zyklusphasen angewandt auf einen 28-tägigen Zyklus mit positivem LH-Test am Tag 14 und 5-tägiger Menstruation (selbst erstellt).....11

Tabelle 3: Resultate der Probandinnen A, B, D und E. Aufgelistet wurden der höchste und niedrigste Mittelwert der geschwommenen Zeiten der jeweiligen Probandin (siehe auch Abbildungen 10-13). Ebenfalls wurden der p-Wert der einfaktoriellen Varianzanalyse (Anova) und spezielle Auffälligkeiten notiert (selbst erstellt).....36

9 Eigenständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und KI/LLM-Tools verfasst habe. Die Mitwirkung von anderen Personen hat sich nur auf die Beratung und die Korrekturlesung beschränkt. Alle verwendeten Unterlagen und Gewährspersonen sind vollständig aufgeführt.

Ort, Datum

Unterschrift

Nina Schaffner

10 Danksagung

Ich möchte mich bei meiner Betreuerin Helle Schwyzer für die wertvolle Unterstützung und die Feedbacks bedanken. Ebenfalls bedanke ich mich bei meinen Probandinnen für die Teilnahme an meinem Versuch. Ein weiterer Dank geht an meine Familie für die Korrekturlesung der Arbeit, an Jakob Steiner für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung und an die Firma Fruchtpaar für das Sponsoring der LH-Tests.

11 Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Resultate der Probandinnen A, B, D und E	36
Anhang 2: Zusatzinformationen zu Stress als Auslöser von Zyklusschwankungen.....	39
Anhang 3: Versuchsanleitung für die Probandinnen	40
Anhang 4: Verwendete Materialien.....	41
Anhang 5: Packungsbeilage des verwendeten LH-Tests	42
Anhang 6: Menstruationskalender zweier Zyklen jeder Probandin.....	43
Anhang 6.1: Probandin A.....	43
Anhang 6.2: Probandin B.....	44
Anhang 6.3: Probandin C.....	46
Anhang 6.4: Probandin D.....	47
Anhang 6.5: Probandin E	49
Anhang 7: Exceltabelle der Schwimmzeitmessungen.....	51
Anhang 8: Weitere Abbildungen	52
Anhang 9: Auswertung in R.....	55
Anhang 9.1: Prüfung auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test).....	55
Anhang 9.2: Auswertung der Schwimmzeiten aller Probandinnen	56
Anhang 9.3: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin A.....	57
Anhang 9.4: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin B	57
Anhang 9.5: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin C.....	57
Anhang 9.6: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin D.....	57
Anhang 9.7: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin E	58
Anhang 10: Antwort von Perplexity AI.....	58

Anhang 1: Resultate der Probandinnen A, B, D und E

Probandin	Höchster Mittelwert	Niedrigster Mittelwert	p – Wert (Anova)	Bemerkung
A	Späte Lutealphase (Ph5)	Späte Follikelphase (Ph2)	0,758	Keine speziellen Auffälligkeiten
B	Frühe Follikelphase (Ph1)	Frühe/Mittlere Lutealphase (Ph4)	0,121	Verzögertes Einsetzen der Menstruation im ersten Zyklus
D	Späte Follikelphase (Ph2)	Frühe/Mittlere Lutealphase (Ph4)	0,665	Zu frühes Einsetzen der Menstruation im ersten Zyklus
E	Ovulationsphase (Ph3)	Frühe Follikelphase (Ph1)	0,554	Leistungssteigerung während der Messphase

Tabelle 3: Resultate der Probandinnen A, B, D und E. Aufgelistet wurden der höchste und niedrigste Mittelwert der geschwommenen Zeiten der jeweiligen Probandin (siehe auch Abbildungen 10-13). Ebenfalls wurden der p-Wert der einfaktoriellen Varianzanalyse (Anova) und spezielle Auffälligkeiten notiert (selbst erstellt).

Der Einfluss der Zyklusphasen auf die Schwimmzeiten von Probandin A, B, D und E war nicht statistisch signifikant (Tabelle 3). Die unterschiedlichen höchsten sowie niedrigsten Mittelwerte zeigen, dass der Einfluss der Zyklusphasen individuell ist. Gemeinsam haben die Probandin A, B, D und E, dass der Mittelwert der Schwimmzeiten in der späten Lutealphase (Ph5) mindestens der zweithöchste Wert war (Abbildung 10, 11, 12 und 13).

Bei den Resultaten der Probandin B und D muss jedoch berücksichtigt werden, dass die statistischen Resultate möglicherweise auch durch die Zyklusschwankungen beeinflusst wurden. Dies liegt daran, dass aufgrund der Zyklusschwankungen nicht mehr davon ausgegangen werden kann, dass die Phasen richtig eingeteilt wurden.

Bei Probandin E hat vermutlich die Leistungssteigerung während der Messphase das statistisch nicht signifikante Resultat beeinflusst.

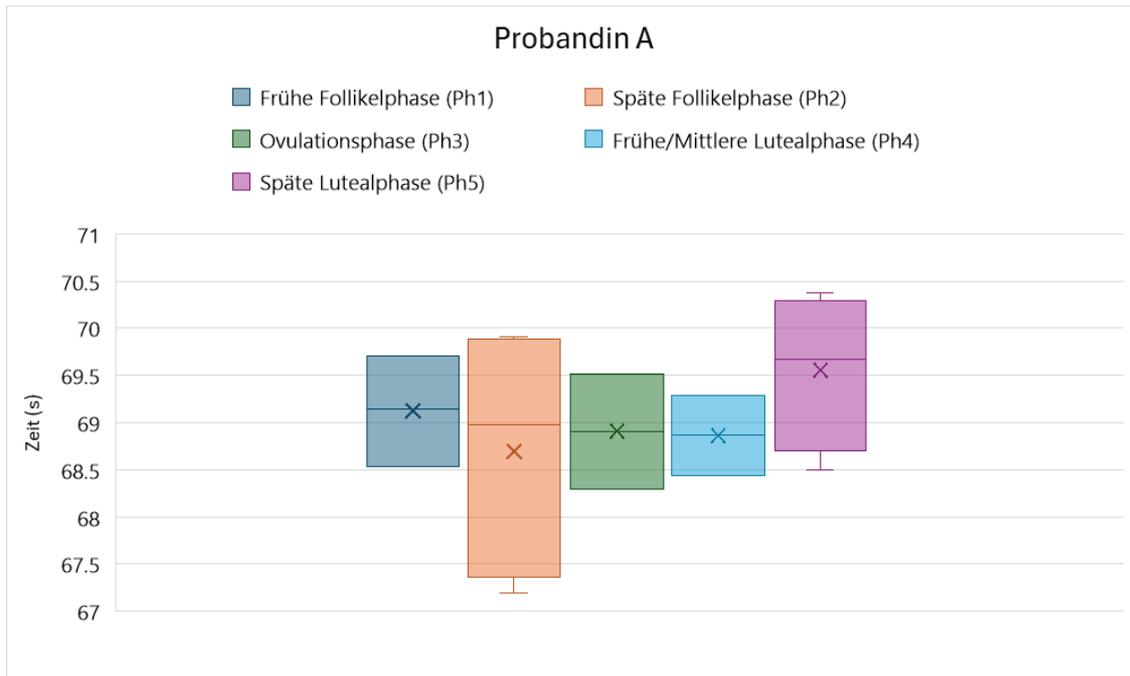


Abbildung 10: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin A (erstellt mit Excel).

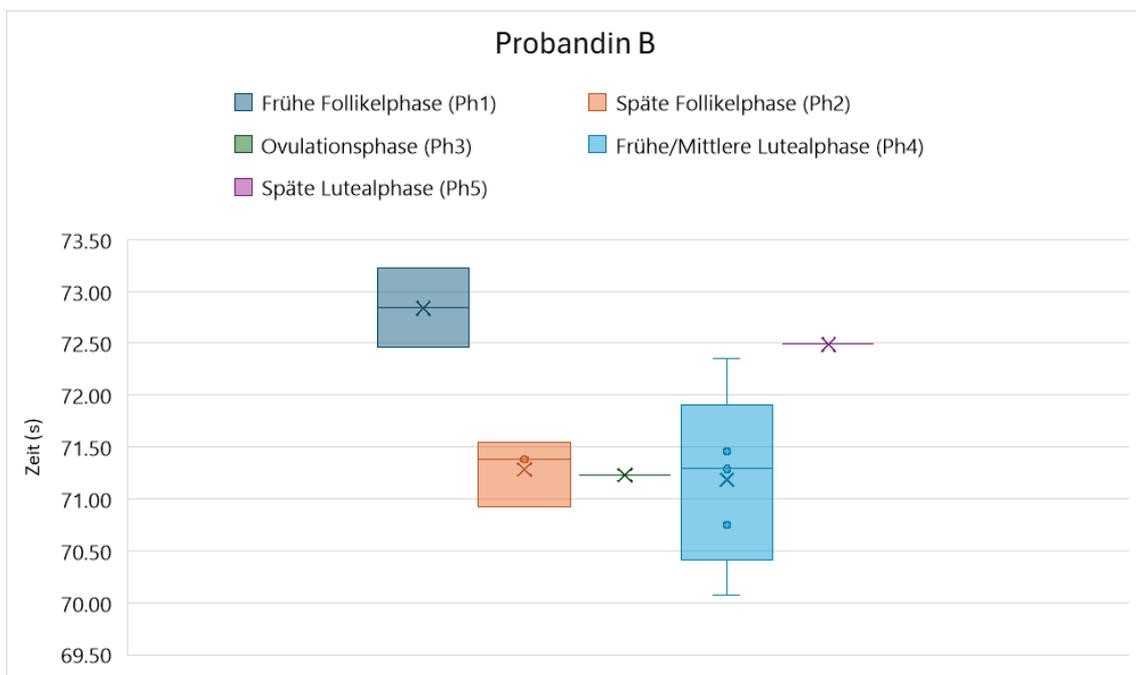


Abbildung 11: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin B (erstellt mit Excel).

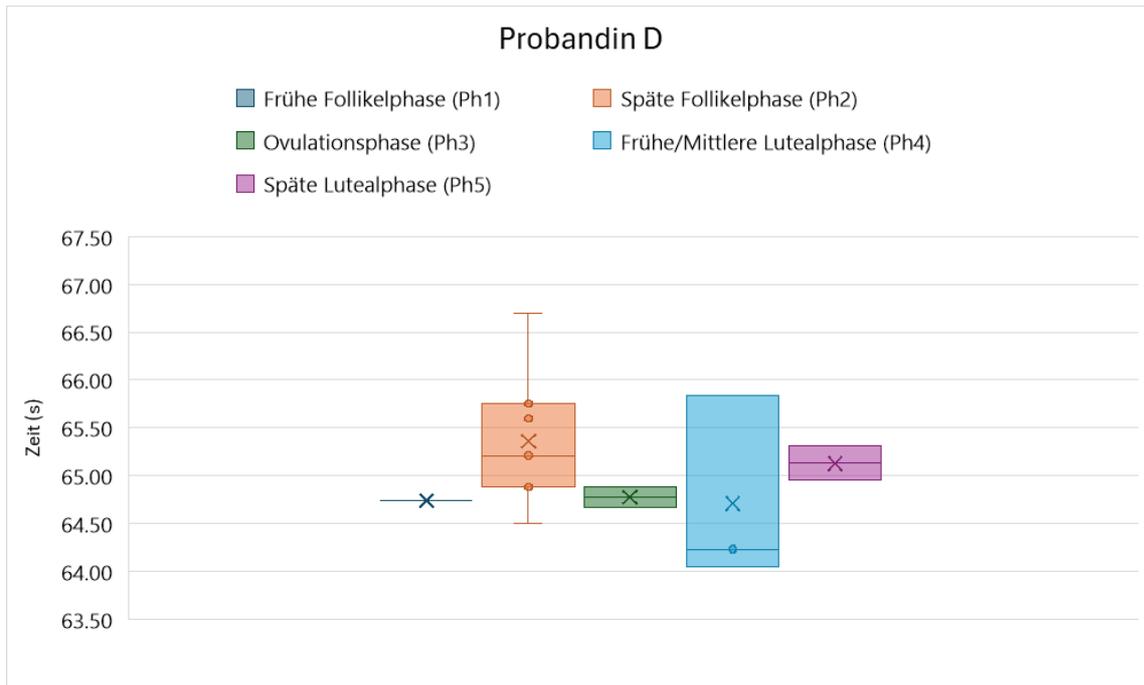


Abbildung 12: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin D (erstellt mit Excel).

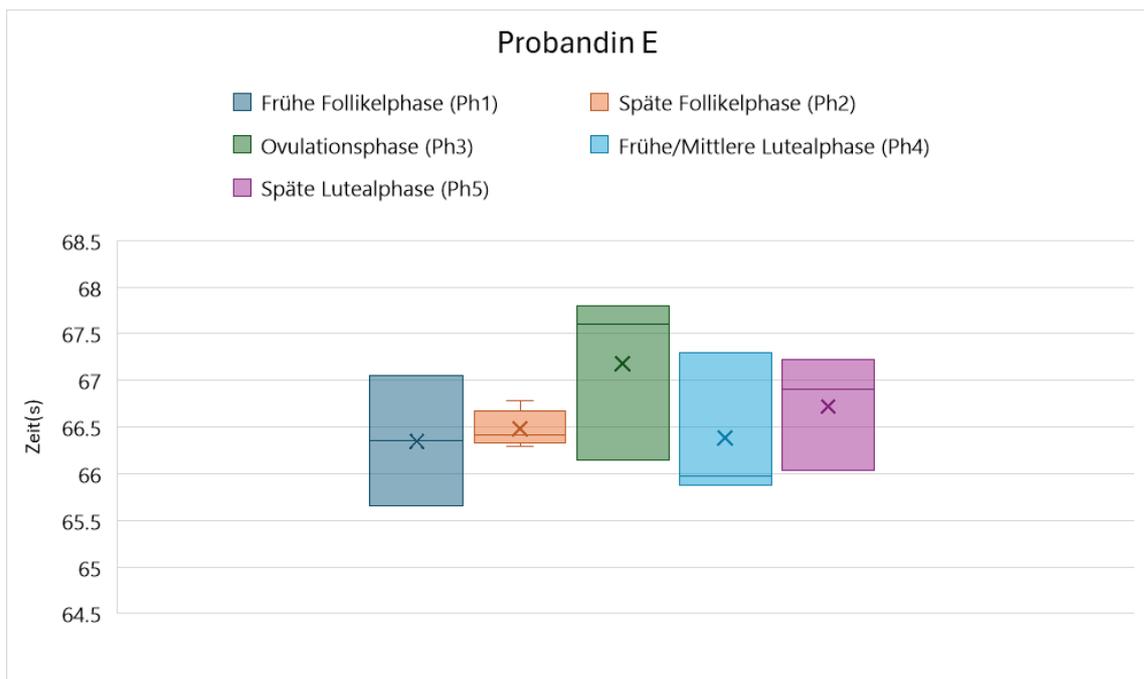


Abbildung 13: BoxPlot-Diagramm der Schwimmzeiten von Probandin E (erstellt mit Excel).

Anhang 2: Zusatzinformationen zu Stress als Auslöser von Zyklusschwankungen

Alltäglicher Stress kann das Hormonsystem des Körpers beeinflussen. Eine Studie untersuchte mit Hilfe einer Umfrage über den Lebensstil und die menstruale Gesundheit von japanischen Studentinnen den Zusammenhang zwischen unregelmässigen Menstruationszyklen und Gesundheitsproblemen wie dem prämenstruellen Syndrom und Stress. Die Studie zeigte, dass diejenigen japanischen Studentinnen, welche unregelmässige Zyklen vorwiesen, ein höheres Stresslevel hatten (Yamamoto et al., 2009).

Die Reaktion des Körpers auf Stress, die sogenannte Stressreaktion, kann in zwei Formen auftreten. Die kurzzeitige Einwirkung von Stressfaktoren bewirkt eine sofortige Stressreaktion mit Hilfe des Nervensystems und der Ausscheidung von Adrenalin und Noradrenalin. Die Einwirkung von Stressfaktoren über eine längere Zeit bewirkt eine langsamere, aber länger anhaltende Reaktion mit Hilfe von Releasing- und stimulierenden Hormonen. Bei dieser Stressreaktion wird im Hypothalamus das Corticotropin-Releasing-Hormon, kurz CRH, produziert. Der Hypothalamus ist die Steuerzentrale des autonomen Nervensystems. Dort wird entschieden, wie und ob gewisse Signale weitergeleitet werden anhand der Ausschüttung von Releasing-Hormonen. Der Hypothalamus bezieht dabei den momentanen Gesundheitszustand des Menschen und Stressfaktoren mit ein (Baron et al., 2012). So kann die Menstruation aufgrund von einwirkenden Stressfaktoren zu früh oder zu spät eintreten (Yamamoto et al., 2009).

Anhang 3: Versuchsanleitung für die Probandinnen

Beginn mit den LH-Tests:

- Beim nächsten Zyklus beginnen. Beginn der Periode = Zyklustag 1. (Wenn ihr jetzt gerade eure Tage hattet, könnt ihr eventuell auch noch im jetzigen Zyklus)
 - Das ist der Vorversuch, wenn ihr nachher nochmals einen Zyklus zwischen dem Start der Temperaturmessungen habt, müsst ihr die LH-Tests in diesem Zyklus nicht machen.
- Wenn die Temperaturmessung beginnt, auch (wieder) mit den LH-Test beginnen
- An diesen Zyklustagen beginnt ihr mit dem LH-Test, ihr macht den Test, bis er positiv anzeigt. Ihr tragt das Ergebnis (ob positiv oder negativ) in eurem Menstruationskalender ein.
 - Probandin A: LH-Test: Tag 9 (wurde nach dem Vorversuch verschoben zu Tag 11)
 - Probandin B: LH-Test: Tag 10 (wurde nach dem ersten Zyklus in der Testphase verschoben zu Tag 15)
 - Probandin C: LH-Test: Tag 13
 - Probandin D: LH-Test: Tag 8 (wurde nach dem Vorversuch verschoben zu Tag 15)
 - Probandin E: LH-Test: Tag 10 (wurde nach dem Vorversuch verschoben zu Tag 12)
- **Gebt mir Bescheid, wenn eure Menstruation eintritt. So kann ich euch sagen, an welchem Datum ihr mit dem LH-Test anfangen solltet und werde euch dann auch am Abend vorher daran erinnern!**
- Schaut euch das Video der Firma Fruchtpaar an. (QR Code befindet sich in dem ausgehändigten Sack)
- Macht den LH-Test, falls möglich, am besten zwischen 10-20 Uhr und trinkt davor nicht zu viel.
 - Immer um ca. die gleiche Zeit
 - Falls möglich keinen Morgenurin

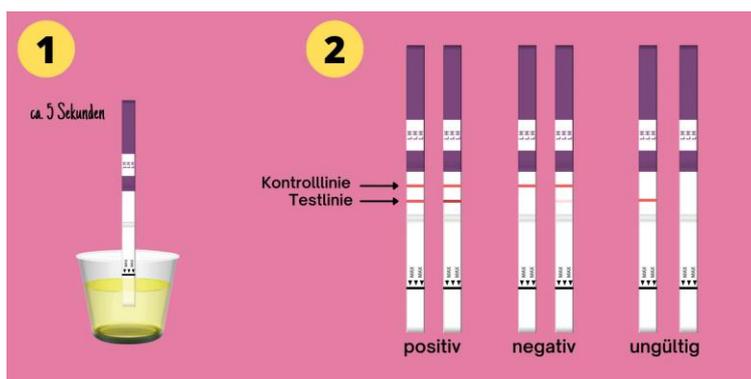


Abbildung 14: Bildliche Darstellung der Testdurchführung und der Testinterpretation (<https://www.fruchtpaar.ch/bedienungsanleitung/?srsltid=AfmBOoo7m-9jP24ZfW2iHuOfNu-aUyM0ZNRxcyOW4G1hr8dvmSUgaQedh#elementor-tab-title-2431>, abgerufen am 19. Juni 2024)

Beginn mit der Temperaturmessungen:

- Wenn man das letzte Mal vor dem 3. September seine Tage hat. Ab diesem Tag wo die Tage beginnen = Zyklus Tag 1, **Jeden Tag messen!** Immer **morgens im Liegen!** Immer am **gleichen** Ort messen (Mund, vaginal, oder rektal).
- Die Temperatur tragt ihr in euren Menstruationskalender ein (mit den Kommastellen!)

Beginn Schwimmzeit-Messungen: am Di 3. September. Kalenderwoche 36, Jeweils 100m MAX nach dem Einschwimmen

Ende Schwimmzeit-Messungen: am Do 24. Oktober, Kalenderwoche 43

Ende der LH-Test Messungen: Am Ende des Zyklus, in dem ihr euch am 24 Oktober befindet.

Ende der Temperaturmessungen: Am Ende des Zyklus in dem ihr euch am 24. Oktober befindet.

Menskalender: Ab sofort: Smiley-Skala, Periode (Kreuze), Bemerkungen (z.B. krank)

Anhang 4: Verwendete Materialien

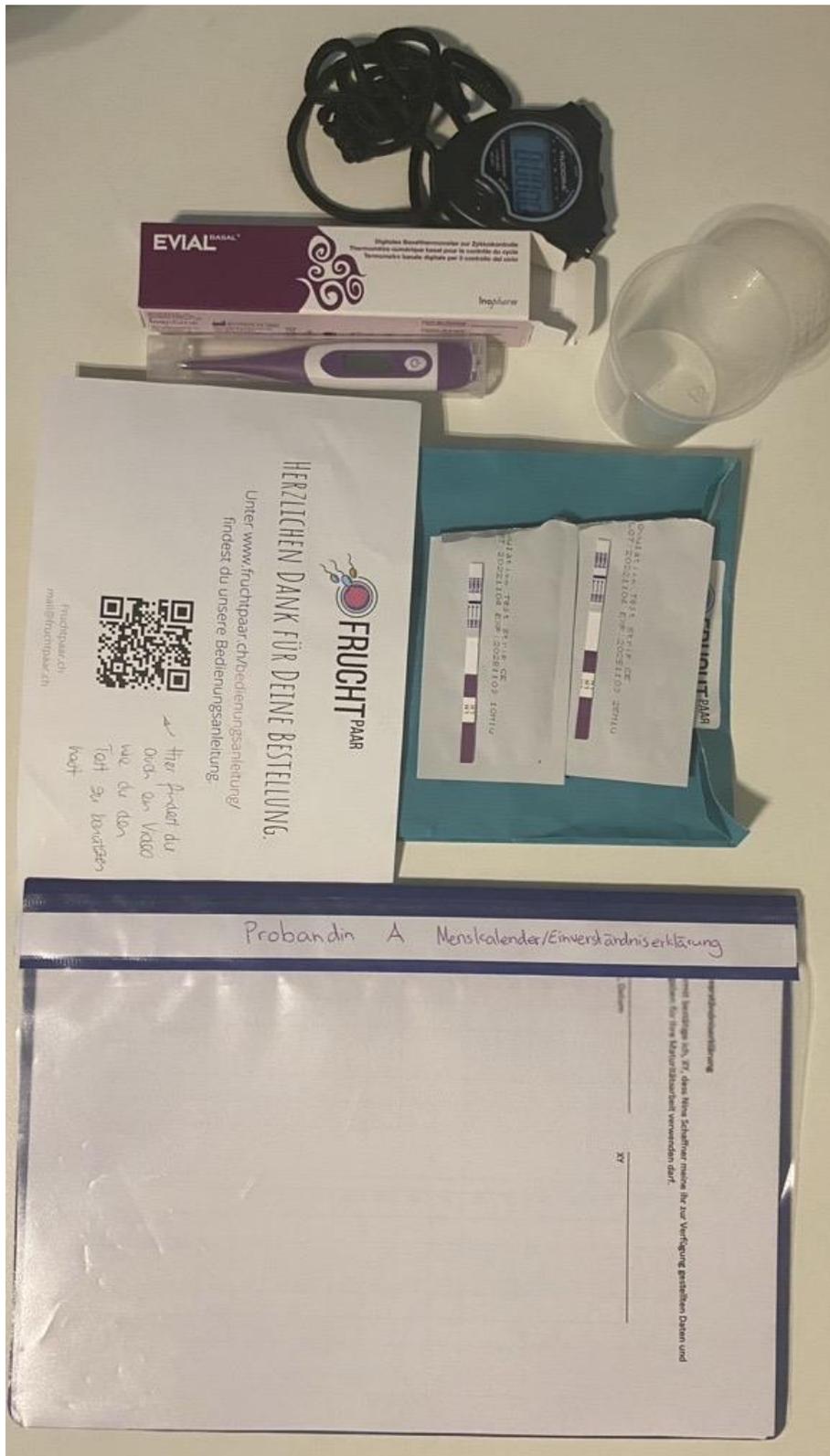


Abbildung 15: Verwendete Materialien. Benötigt wurde eine Stoppuhr, um die Schwimmzeiten zu messen. Jeder Probandin wurden insgesamt 28 LH-Tests mit einer Sensitivität von 25 mIU/ml (inkl. eines Urinbechers und einem QR-Code für ein Erklärvideo) und ein Basalthermometer abgegeben. Bei Bedarf wurden LH-Tests mit einer Sensitivität von 10 mIU/ml nachgeliefert. Jede Probandin erhielt einen Menstruationskalender und eine Einverständniserklärung. Die Menstruationskalender sind im Weiteren anonymisiert zu finden, die Einverständniserklärungen aus Datenschutzgründen nicht, liegen der Verfasserin aber vor.

Anhang 5: Packungsbeilage des verwendeten LH-Tests

One Step LH Urin Teststreifen

Der Test One Step LH Urin-Ovulationstest ist schnell und einfach zu bedienen. Es handelt sich um einen qualitativen Test, der vorhersagen kann, wann ein LH-Anstieg (luteinisierendes Hormon) eintritt und wann Sie wahrscheinlich einen Eisprung haben werden.

TESTBEGINN

Zunächst müssen Sie die Länge Ihres Menstruationszyklus bestimmen. Das ist die Anzahl der Tage zwischen dem ersten Tag Ihrer Menstruationsblutung und dem Tag, bevor Ihre nächste Blutung wieder einsetzt. Bitte entnehmen Sie der Tabelle, wann Sie mit dem Test beginnen sollten. Wenn Ihr Zyklus kürzer als 21 Tage oder länger als 38 Tage ist. Wenden Sie sich an Ihren Arzt. Wenn Sie Ihre Zykluslänge nicht kennen, können Sie den Test 11 Tage nach Ihrer ersten Periode beginnen, da die durchschnittliche Zykluslänge 28 Tage beträgt. Führen Sie über einen Zeitraum von 5 Tagen oder bis zum Auftreten des LH-Anstiegs jeden Tag einen Test durch.

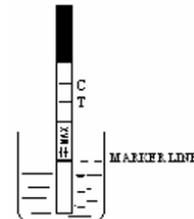
URINPROBE

1. Verwenden Sie keinen Morgenurin, da LH in Ihrem Körper früh am Morgen synthetisiert wird. Es wird erst später am Tag in Ihrem Urin sichtbar.
2. Die beste Zeit für die Urinprobe ist zwischen 10 und 20 Uhr.
3. Sammeln Sie den Urin jeden Tag etwa zur gleichen Zeit.
4. Reduzieren Sie die Flüssigkeitsaufnahme etwa 2 Stunden vor der Urinsammlung, da eine verdünnte Urinprobe verhindern kann, dass der Test den LH-Anstieg erkennt.

TESTVORGANG

1. Stellen Sie sicher, dass der Test, sowie die Urinprobe Raumtemperatur (18-30°C) entsprechen.
2. Den versiegelten Beutel an der Kerbe entlang öffnen. Entfernen Sie den Test aus dem Beutel...
3. Tauchen Sie den Streifen so in den Urin ein, dass die Pfeilspitze zum Urin zeigt. Tauchen Sie nicht über die MAX(MAXIMUM)-Linie hinaus ein. Nehmen Sie den Streifen nach 5 Sekunden heraus und legen Sie ihn flach auf eine saubere, trockene, nicht saugende Oberfläche (z. B. die Öffnung des Urinbehälters). Positive Ergebnisse können bereits nach 40 Sekunden festgestellt werden. Um negative Ergebnisse zu bestätigen, ist jedoch die gesamte Reaktionszeit (10 Minuten) erforderlich. Nach 15 Minuten dürfen keine Ergebnisse mehr abgelesen werden.

IHRE ZYKLUS-LÄNGE	BEGINNEN ZU TESTEN AM
21 Tage	Tag 6
22 Tage	Tag 6
23 Tage	Tag 7
24 Tage	Tag 7
25 Tage	Tag 8
26 Tage	Tag 9
27 Tage	Tag 10
28 Tage	Tag 11
29 Tage	Tag 12
30 Tage	Tag 13
31 Tage	Tag 14
32 Tage	Tag 15
33 Tage	Tag 16
34 Tage	Tag 17
35 Tage	Tag 18
36 Tage	Tag 19
37 Tage	Tag 20
38 Tage	Tag 21

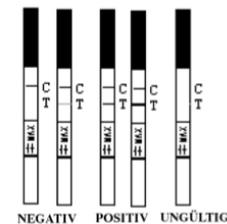


INTEPRETATION DES ERGEBNIS

Kein LH-Anstieg: Es erscheint nur eine Linie in der Kontrollregion oder der Teststreifen ist heller als die Kontrolllinie - es gibt keinen LH-Anstieg.

LH-Anstieg: Wenn zwei Linien sichtbar sind und die Testlinie gleich oder dunkler ist als die Kontrolllinie, wird wahrscheinlich in den nächsten 24 bis 48 Stunden ein Eisprung stattfinden. Wenn man schwanger werden möchte, ist der beste Zeitpunkt für den Geschlechtsverkehr nach 24, aber vor 48 Stunden.

Ungültig: Kein einziges sichtbares Band. Wiederholen Sie den Test mit einem neuen Testkit.



LAGERUNG UND STABILITÄT

Gelagert bei normaler Raumtemperatur (4-30°C) bis zum Verfallsdatum. Der Mittelstrahltest sollte vor direktem Sonnenlicht, Feuchtigkeit und Hitze geschützt werden. Nicht einfrieren. Die Lagerfähigkeit beträgt 18 Monate.

Abbildung 16: Packungsbeilage des verwendeten LH-Tests (<https://www.fruchtpaar.ch/bedienungsanleitung/?srsId=AfmBOoo7m-9jP24ZfW2iHuOfNuaUyMOZnrxcyOW4G1hr8dvmSUGaQedh#elementor-tab-title-2431>, abgerufen am 19. Juni 2024)

Anhang 6: Menstruationskalender zweier Zyklen jeder Probandin

Anhang 6.1: Probandin A

Monat: September 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)			X	X	X											
Wie leistungsfähig fühle ich mich	☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☺️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☺️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️							
Temperatur			36.53°C 07:08	36.60°C 06:24	36.52°C 06:48	36.57°C 07:03	36.47°C 07:00	36.40°C 07:00	36.42°C 07:45	36.39°C 07:01	36.44°C 07:11	36.54°C 07:12	36.57°C 07:03	36.49°C 05:52	36.39°C 06:57	36.21°C 03:37
LH-Test													negativ	negativ	negativ	negativ
Bemerkungen																negativ, positiv, positiv, positiv

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)													X	X	
Wie leistungsfähig fühle ich mich	☺️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☺️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️						
Temperatur	36.45°C 05:36	36.07°C 05:40	36.58°C 06:28	36.39°C 06:00	36.45°C 06:58	36.54°C 07:23	36.85°C 05:33	36.39°C 05:58	36.48°C 06:38	36.49°C 07:20	36.62°C 06:40	36.56°C 06:25	36.50°C 07:49	36.11°C 05:40	
LH-Test	negativ														
Bemerkungen															

Abbildung 17: Menstruationskalender Probandin A September 2024.

Monat: Oktober 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)	X															
Wie leistungsfähig fühle ich mich	☺️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️														
Temperatur	36.34°C 05:43	36.12°C 05:39	36.46°C 07:07	36.39°C 07:03	36.15°C 07:55	36.58°C 08:20	36.17°C 05:41	36.19°C 05:43	36.27°C 07:22	35.98°C 07:40	36.55°C 07:04	36.39°C 06:12	36.54°C 08:47	36.40°C 05:36	36.62°C 05:38	36.83°C 05:36
LH-Test									negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	negativ		
Bemerkungen																

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)									X						
Wie leistungsfähig fühle ich mich	☹️ ☹️ ☹️	☺️ ☹️ ☹️	☺️ ☹️ ☹️	☺️ ☹️ ☹️	☺️ ☹️ ☹️	☺️ ☹️ ☹️	☺️ ☹️ ☹️								
Temperatur	36.54°C 07:37	37.02°C 06:55	36.50°C 06:08	36.11°C 07:48	36.64°C 05:38	36.55°C 05:39	36.63°C 05:37	36.72°C 07:21	36.52°C 07:02						
LH-Test															
Bemerkungen															

Abbildung 18: Menstruationskalender Probandin A Oktober 2024.

Anhang 6.2: Probandin B

Monat: August																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich	😊 😊 😞															
Temperatur																
LH-Test																
Bemerkungen																

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)		X	X	X	X	X	X	X							
Wie leistungsfähig fühle ich mich	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞
Temperatur						35.35°C 5:34 Uhr	35.89°C 5:34 Uhr	36.08°C 8:03 Uhr	36.27°C 9:08 Uhr	36.34°C 8:45 Uhr	35.57°C 6:56 Uhr	35.94°C 5:32 Uhr	36.10°C 6:39 Uhr	36.42°C 9:17 Uhr	36.38°C 9:10 Uhr
LH-Test N = negativ P = positiv												N	N	N	N
Bemerkungen												Ab 18:00 Uhr krank Magen-Darm	Krank	Krank	

Abbildung 19: Menstruationskalender Probandin B August 2024.

Monat: September																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich	😊 😊 😞															
Temperatur	35.36°C 9:33 Uhr	35.91°C 6:57 Uhr	35.52°C 5:45 Uhr	36.11°C 6:28 Uhr	36.17°C 5:28 Uhr	36.02°C 6:02 Uhr	35.87°C 8:56 Uhr	36.22°C 7:30 Uhr	36.18°C 6:29 Uhr	36.37°C 6:09 Uhr	35.76°C 6:59 Uhr	35.55°C 5:29 Uhr	35.82°C 6:11 Uhr	35.66°C 6:59 Uhr	36.60°C 1:19 Uhr	35.78°C 6:21 Uhr
LH-Test	N	N	N	N	N	N	N/P	N/P	N							
Bemerkungen																

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)															
Wie leistungsfähig fühle ich mich	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞	😊 😊 😞
Temperatur	36.36°C 6:40 Uhr	36.25°C 6:52 Uhr	36.10°C 5:24 Uhr	35.91°C 6:01 Uhr	/	/	36.77°C 6:00 Uhr	35.85°C 7:00 Uhr	35.88°C 5:30 Uhr	35.83°C 5:40 Uhr	36.16°C 6:20 Uhr	36.25°C 6:40 Uhr	36.32°C 5:00 Uhr	35.96°C 6:33 Uhr	36.14°C 6:05 Uhr
LH-Test															
Bemerkungen			Krank	Krank	Krank	Temperatur Messung vergessen!									

Abbildung 20: Menstruationskalender Probandin B September 2024.

Anhang

Monat: Oktober																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)					X	X	X	X	X	X						
Wie leistungsfähig fühle ich mich																
Temperatur Uhrzeit	36.14°C 6:35	36.29°C 7:00	35.98°C 6:00	35.71°C 6:30	35.82°C 10:00	36.27°C 9:30	36.05°C 5:50	36.19°C 6:30	36.11°C 7:00	35.93°C 6:00	35.90°C 7:00	35.66°C 4:00	36.07°C 7:50	36.20°C 8:10	36.18°C 8:40	36.33°C 8:30
LH-Test																N
Bemerkungen																

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)															
Wie leistungsfähig fühle ich mich															
Temperatur Uhrzeit	36.53°C 9:30	37.92°C 7:30	35.89°C 6:40	35.97°C 5:30	35.62°C 7:30	35.80°C 7:10	36.39°C 7:10	35.18°C 7:50	35.83°C 8:00	35.96°C 7:40	35.74°C 8:00	36.02°C 5:20	36.38°C 7:00	36.34°C 6:40	36.72°C 5:30
LH-Test	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P Zahn Sensar	P Stich neg	Stich neg
Bemerkungen															

Abbildung 21: Menstruationskalender Probandin B Oktober 2024.

Monat: November																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)												X	X	X	X	X
Wie leistungsfähig fühle ich mich																
Temperatur	36.50°C 6:10 Uhr	36.62°C 10:10 Uhr	36.57°C 10:30 Uhr	36.32°C 5:50 Uhr	36.35°C 7:10 Uhr	36.39°C 6:30 Uhr	36.48°C 8:40 Uhr	36.06°C 6:00 Uhr	36.18°C 8:10 Uhr	35.87°C 5:00 Uhr	36.18°C 6:00 Uhr	36.01°C 6:52 Uhr	35.34°C 6:30 Uhr	36.05°C 5:30 Uhr	36.11°C 7:10 Uhr	36.02°C 6:40 Uhr
LH-Test																
Bemerkungen																

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)	X	X													
Wie leistungsfähig fühle ich mich															
Temperatur	35.96°C 7:10 Uhr	35.93°C 7:30 Uhr	35.87°C 6:40 Uhr												
LH-Test															
Bemerkungen															

Abbildung 22: Menstruationskalender Probandin B November 2024.

Anhang 6.3: Probandin C

Monat: August 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich	😊 😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	☹️	😊 ☹️	☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	☹️	😊 ☹️	😊 ☹️
Temperatur																
LH-Test				—	—	—	—	— +	—							
Bemerkungen				Mit 25 und 10				zweiter feiner Strich bei 10 & 25 / fast gleich dunkel	fast rein 2. Strich							
Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Menstruation (X)					X	X	X	X	X	X						
Wie leistungsfähig fühle ich mich	☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	
Temperatur						36.80	36.63	36.56	36.38	36.18	36.5	36.68	36.15	36.16	36.59	
LH-Test																
Bemerkungen					Am Abend beläust			Vor-natur				7:30	6:30	6:50	8:00	

Abbildung 23: Menstruationskalender Probandin C August 2024.

Monat: September 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️
Temperatur	36.39	36.31	36.27	36.50	36.27	36.19	36.16	36.29	36.57	36.50	36.28	36.80 36.16	36.77	36.81	36.80	36.90
LH-Test		—	—	—	—	—	+	—	—							
Bemerkungen	7:30	6:45	7:50 angenehm liegen (krank)	7:35 angenehm liegen	7:00	7:15	8:10 feiner Strich	7:15 Strich feiner als alle	7:10 Strich weg	6:20	7:10	6:20	7:15	8:00	7:35	7:05 absäuernt
Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Menstruation (X)				X	X	X	X	X	X							
Wie leistungsfähig fühle ich mich	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	😊 ☹️	
Temperatur	36.67	36.88	36.80	36.68	36.06	36.45	36.38	36.68	36.63	36.1	36.53	36.36	36.50	36.41		
LH-Test																
Bemerkungen	6:15 überaus er schlecht	6:40 überaus	6:20 überaus	7:05	7:25	6:45	6:15	6:15	7:00	6:20	7:10	6:30	7:15	7:10		

Abbildung 24: Menstruationskalender Probandin C September 2024.

Anhang

Monat: Oktober 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich																
Temperatur	36.31	36.24	36.24	35.89	36.41	36.52	36.50	36.54	36.61	36.51	36.49	36.83	36.62	36.68	-	36.85
LH-Test		-	-	-	-	-	-/+	+	-	-						
Bemerkungen	6:30	7:30	7:05	5:15	7:50	7:15	8:00 Strich kein	6:45 klar positiv	7:45 Strich Pos neg (sehr schw. fein)	6:45	7:55	8:00	8:15	7:30	Temp. vergessen	7:20

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)				X	X	X	X	X							
Wie leistungsfähig fühle ich mich															
Temperatur	36.82	36.59	36.73	36.69	36.42	36.69	36.52	36.11							
LH-Test															
Bemerkungen	7:10	6:45	7:45	8:00 Krämpfe	8:15	8:30	7:35	6:20							

Abbildung 25: Menstruationskalender Probandin C Oktober 2024.

Anhang 6.4: Probandin D

Monat: August 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich																
Temperatur																
LH-Test							⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Bemerkungen												müde				

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)													X	X	X
Wie leistungsfähig fühle ich mich															
Temperatur													36.68°C	36.45°C	36.61°C
LH-Test	⊖	⊕	⊕												
Bemerkungen															

Abbildung 26: Menstruationskalender Probandin D August 2024.

Anhang

Monat: September 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich																
Temperatur	36,48°C	36,41°C	36,55°C	36,51°C	36,49°C	36,56°C	36,72°C	36,42°C	36,49°C	36,53°C	36,63°C	36,37°C	36,52°C	36,61°C	36,59°C	
LH-Test																
Bemerkungen																

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)										X	X	X			
Wie leistungsfähig fühle ich mich															
Temperatur	36,57	36,38	36,41	36,82	36,76	36,69	36,63	36,71	36,37	36,56	36,41	36,59	36,48	36,59	
LH-Test	+														
Bemerkungen															

Abbildung 27: Menstruationskalender Probandin D September 2024.

Monat: Oktober 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich																
Temperatur	36,51	36,42	36,38	36,48	36,55	36,58	36,42	36,32	36,29	36,58	36,52	36,88	36,79	36,66	36,61	36,70
LH-Test										⊖	⊖	⊖	⊕			
Bemerkungen																

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)	♀											X	X	X	X
Wie leistungsfähig fühle ich mich															
Temperatur	36,71	36,59	36,58	36,51	36,50	36,33	36,43	36,58	36,64	36,71	36,67	36,79	36,70	36,41	36,39
LH-Test															
Bemerkungen															

Abbildung 28: Menstruationskalender Probandin D Oktober 2024.

Anhang 6.5: Probandin E

Monat: August 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)															X	X
Wie leistungsfähig fühle ich mich																
Temperatur																
LH-Test		X														
Bemerkungen																

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)	X	X													
Wie leistungsfähig fühle ich mich															
Temperatur		36,6	35,67	36,94			36,4	35,96	36,62	36,37 06:10	36,44 09:10	36,04 07:10		35,99 07:25	36,46 07:30
LH-Test															
Bemerkungen															

Abbildung 29: Menstruationskalender Probandin E August 2024.

Monat: September 2024																
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich																
Temperatur	36,52 10:00	36,26 06:10	36,17 06:20		36,59 06:20		36,34 07:30		36,39 06:10	36,24 06:20	36,38 06:10	36,47 06:20	36,64 06:10	36,28 07:30	35,93 10:00	36,26 06:10
LH-Test				X												
Bemerkungen																

Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)		X	X	X	X										
Wie leistungsfähig fühle ich mich															
Temperatur	36,15 06:20	36,34 06:10	36,17 06:20	36,25 06:10	36,11 07:30	35,76 11:30	36,85 06:10	36,24 06:20	36,44 06:00	36,19 06:20					
LH-Test															
Bemerkungen															

Abbildung 30: Menstruationskalender Probandin E September 2024.

Anhang

Monat: Oktober 2024																
	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Menstruation (X)																
Wie leistungsfähig fühle ich mich	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞						
Temperatur	36,63 06:20	36,78 06:00	36,71 06:20	36,42 06:10	36,51 07:30	36,11 11:00	36,45 06:10	X	36,82 09:00	36,73 08:30	36,21 09:15	36,16 09:00	X	36,50 09:00	36,38 08:30	36,67 09:00
LH-Test								X								
Bemerkungen	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do
Datum	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Menstruation (X)								X	X	X	X				
Wie leistungsfähig fühle ich mich	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞	😊 ☹️ 😞
Temperatur	35,39 08:30	36,02 11:00	36,34 07:30	35,79 11:00	X	36,18 06:20	36,42 06:00	35,86 06:20	36,15 06:10	36,21 08:40	35,36 09:00	X	36,82 07:20	36,74 06:10	
LH-Test															
Bemerkungen	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Abbildung 31: Menstruationskalender Probandin E Oktober 2024.

Anhang 7: Exceltabelle der Schwimmzeitmessungen

	A	B	C	D
1	Prob	SwimmingTime (s)	Phase	Datum
2	A	69.71	1	03.09.2024
3	A	68.53	1	05.09.2024
4	A	67.20	2	10.09.2024
5	A	69.86	2	14.09.2024
6	A	69.52	3	17.09.2024
7	A	69.29	4	19.09.2024
8	A	70.03	5	24.09.2024
9	A	70.38	5	26.09.2024
10	A	69.14	1	01.10.2024
11	A	67.53	2	03.10.2024
12	A	68.98	2	08.10.2024
13	A	69.91	2	10.10.2024
14	A	68.30	3	14.10.2024
15	A	68.44	4	17.10.2024
16	A	69.31	5	22.10.2024
17	A	68.50	5	24.10.2024
18	B	71.55	2	03.09.2024
19	B	70.92	2	05.09.2024
20	B	70.75	4	12.09.2024
21	B	71.29	4	14.09.2024
22	B	72.35	4	24.09.2024
23	B	70.07	4	26.09.2024
24	B	72.49	5	04.10.2024
25	B	73.22	1	06.10.2024
26	B	72.46	1	09.10.2024
27	B	71.38	2	11.10.2024
28	B	71.23	3	31.10.2024
29	B	71.46	4	02.11.2024
30	C	70.02	2	03.09.2024
31	C	68.97	2	05.09.2024
32	C	68.30	4	10.09.2024
33	C	69.37	4	12.09.2024
34	C	69.96	5	17.09.2024
35	C	70.25	5	19.09.2024
36	C	68.61	1	21.09.2024
37	C	69.53	1	24.09.2024
38	C	69.15	2	26.09.2024
39	C	69.45	2	01.10.2024
40	C	69.62	2	03.10.2024
41	C	68.08	3	08.10.2024
42	C	68.64	3	10.10.2024
43	C	68.46	4	12.10.2024
44	C	68.41	1	20.10.2024
45	C	69.03	1	22.10.2024
46	C	68.50	1	24.10.2024
47	D	66.70	2	04.09.2024
48	D	65.60	2	06.09.2024
49	D	64.50	2	10.09.2024
50	D	65.75	2	12.09.2024
51	D	64.88	3	17.09.2024
52	D	65.84	4	20.09.2024

Abbildung 32: Exceltabelle der Schwimmzeitmessungen Teil 1 (Screenshot).

Anhang

	A	B	C	D
53	D	65.31	5	24.09.2024
54	D	64.74	1	26.09.2024
55	D	64.88	2	01.10.2024
56	D	65.21	2	07.10.2024
57	D	64.89	2	09.10.2024
58	D	64.67	3	14.10.2024
59	D	64.23	4	17.10.2024
60	D	64.05	4	22.10.2024
61	D	64.95	5	24.10.2024
62	E	67.80	3	04.09.2024
63	E	67.60	3	06.09.2024
64	E	67.30	4	10.09.2024
65	E	67.22	5	13.09.2024
66	E	66.91	5	17.09.2024
67	E	67.05	1	19.09.2024
68	E	66.57	2	24.09.2024
69	E	66.41	2	26.09.2024
70	E	66.29	2	02.10.2024
71	E	66.78	2	04.10.2024
72	E	66.36	2	07.10.2024
73	E	66.14	3	09.10.2024
74	E	65.88	4	14.10.2024
75	E	65.98	4	17.10.2024
76	E	66.04	5	22.10.2024
77	E	65.65	1	24.10.2024

Abbildung 33: Exceltable der Schwimmzeitmessungen Teil 2 (Screenshot).

Anhang 8: Weitere Abbildungen

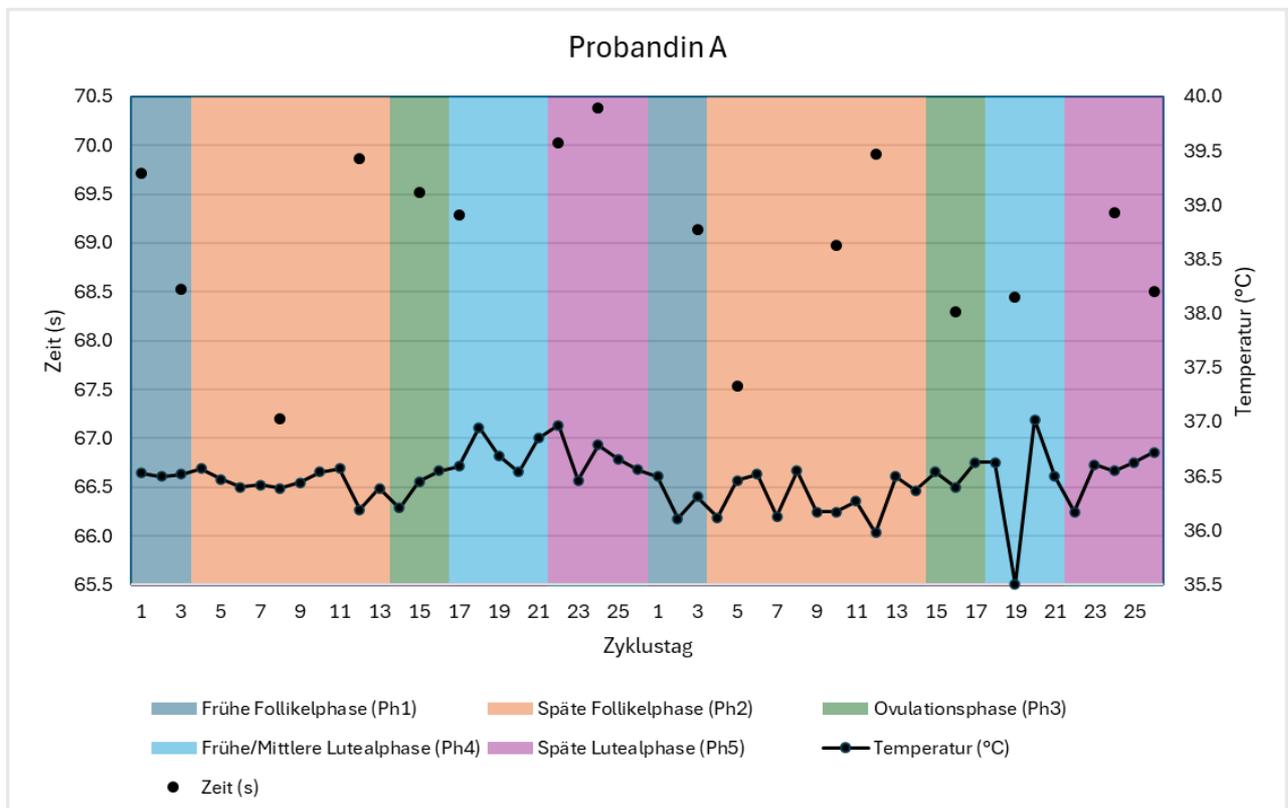


Abbildung 34: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin A im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel).

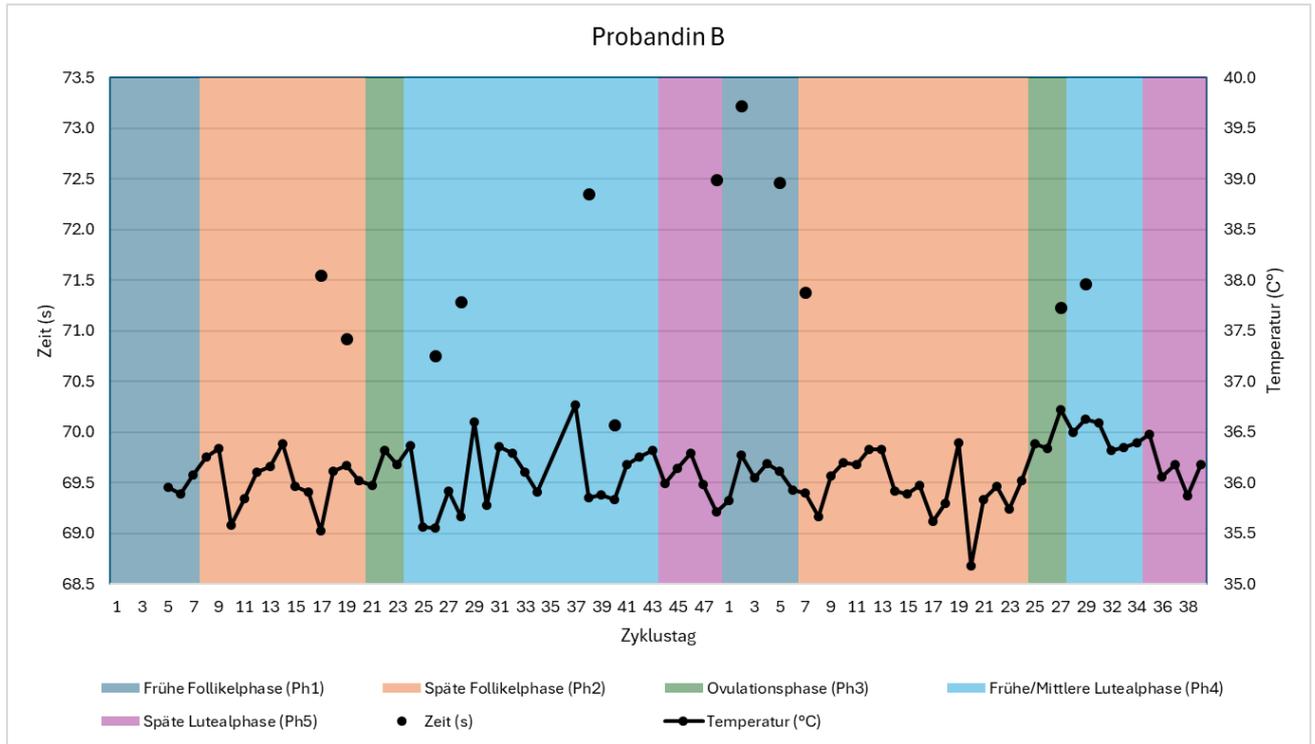


Abbildung 35: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin B im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel).

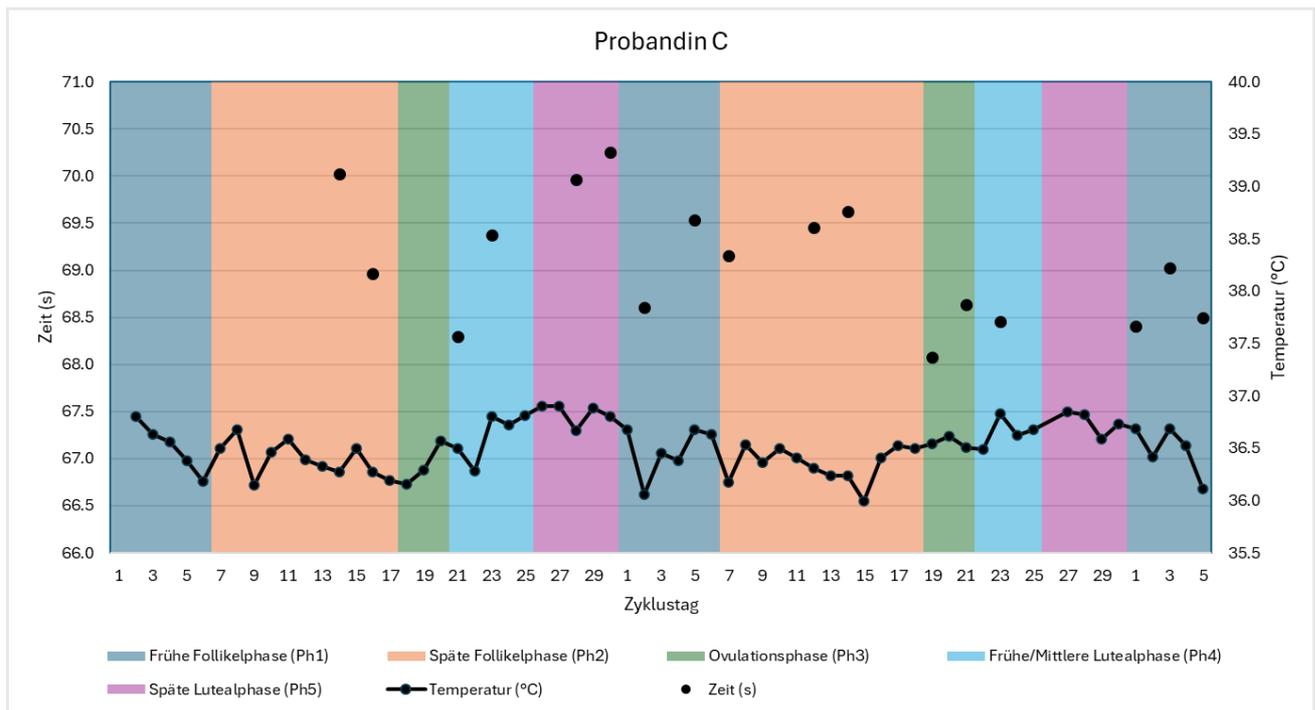


Abbildung 36: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin C im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel).

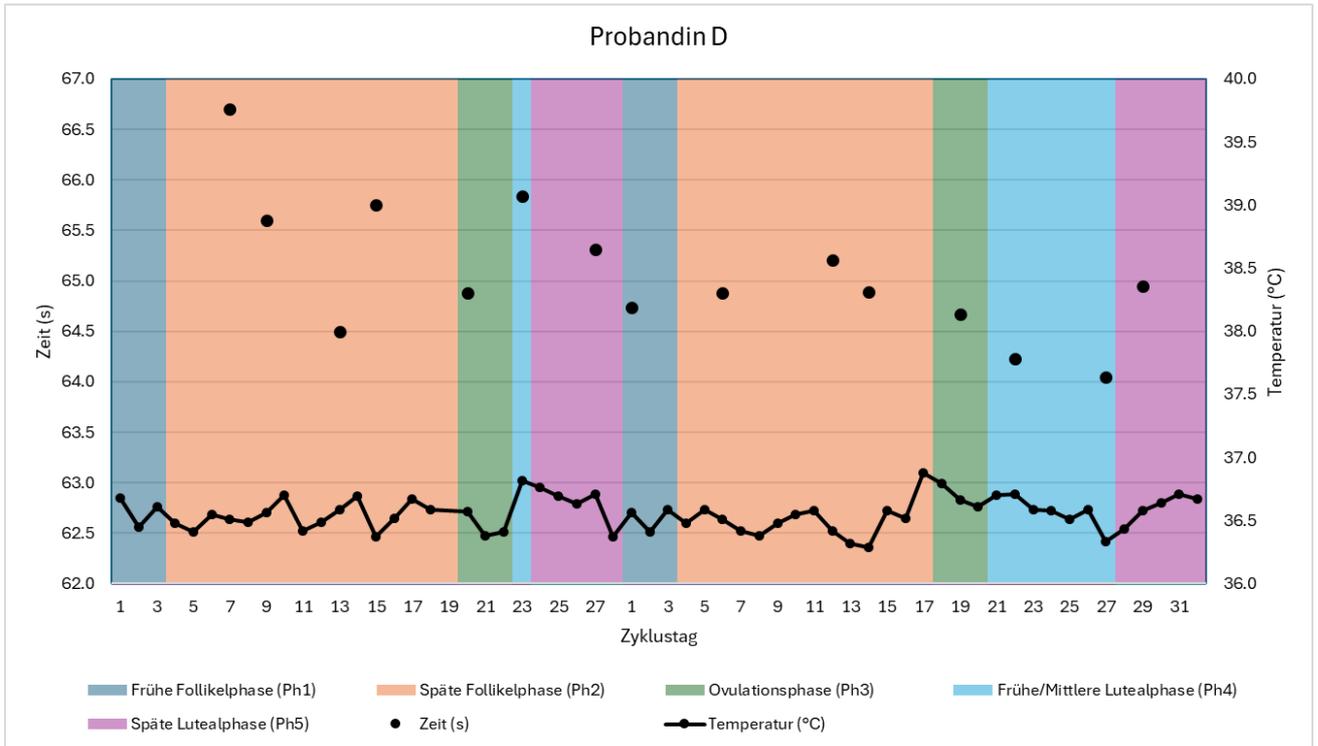


Abbildung 37: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin D im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel).

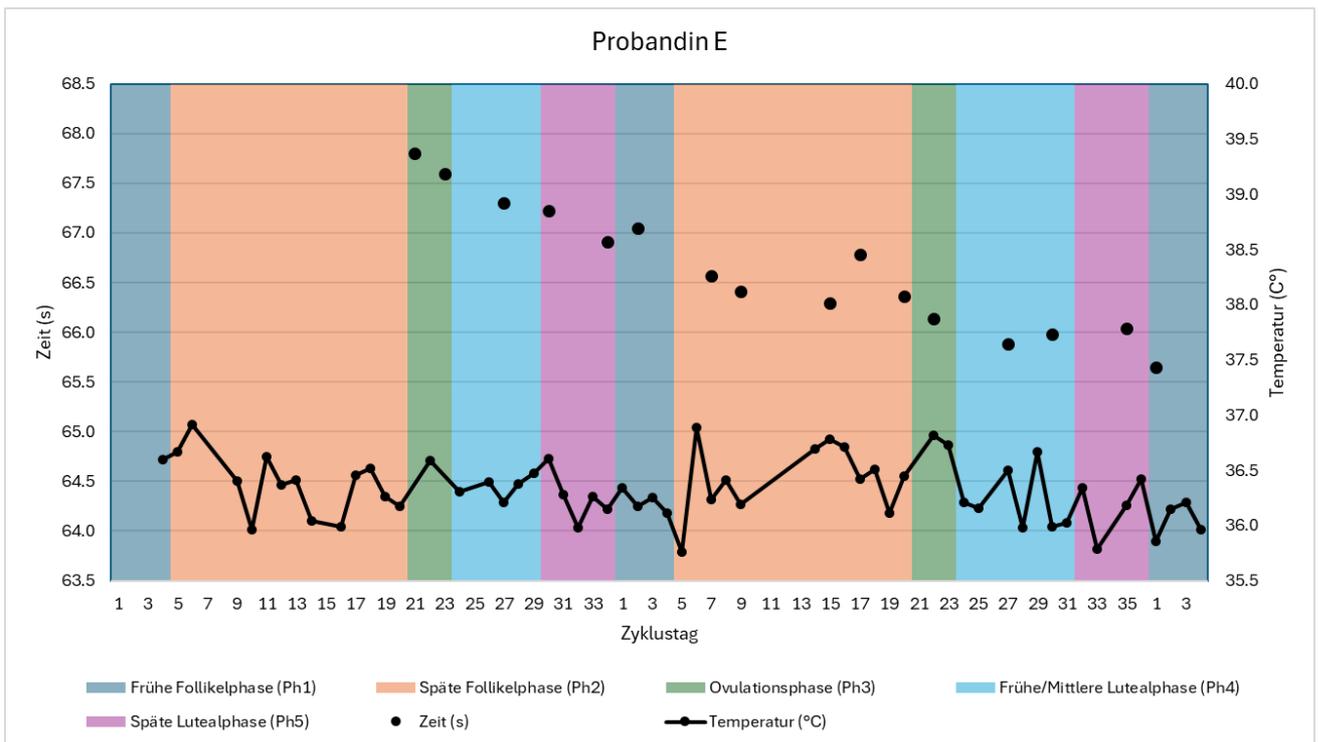


Abbildung 38: Schwimmzeiten und Temperaturen der Probandin E im zeitlichen Verlauf (erstellt mit Excel).

Anhang 9: Auswertung in R

Anhang 9.1: Prüfung auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test)

```
> shapiro.test(Auswertung_All$SwimmingTime)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Auswertung_All$SwimmingTime
W = 0.97485, p-value = 0.1409

> for(i in unique(Auswertung_All$Prob)) {
+   subset_data <- subset(Auswertung_All, Prob == i)$SwimmingTime
+   shapiro_test <- shapiro.test(subset_data)
+   print(paste("Prob", i, "- p-value:", shapiro_test$p.value))
+ }
[1] "Prob A - p-value: 0.587389557956477"
[1] "Prob B - p-value: 0.822048899995556"
[1] "Prob C - p-value: 0.639954941359258"
[1] "Prob D - p-value: 0.555142652377234"
[1] "Prob E - p-value: 0.738872439431676"
> for(i in unique(Auswertung_All$Phase)) {
+   subset_data <- subset(Auswertung_All, Phase == i)$SwimmingTime
+   shapiro_test <- shapiro.test(subset_data)
+   print(paste("Phase", i, "- p-value:", shapiro_test$p.value))
+ }
[1] "Phase 1 - p-value: 0.35806323958348"
[1] "Phase 2 - p-value: 0.112710464648742"
[1] "Phase 3 - p-value: 0.724411944282873"
[1] "Phase 4 - p-value: 0.581616408593213"
[1] "Phase 5 - p-value: 0.589161505310239"
```

Abbildung 39: Durchführung des Shapiro-Wilk-Test für alle Schwimmzeiten, für jede Phase und für jede Probandin (Screenshot).

Anhang 9.2: Auswertung der Schwimmzeiten aller Probandinnen

```

> #Haben die Phasen einen signifikanten Einfluss auf die Schwimmzeiten?
> Auswertung_All$Phase <- as.factor(Auswertung_All$Phase)
> model <- lmer(SwimmingTime ~ Phase + (1|Prob), data = Auswertung_All)
> summary(model)
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']
Formula: SwimmingTime ~ Phase + (1 | Prob)
Data: Auswertung_All

REML criterion at convergence: 187.9

Scaled residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.4052 -0.5799 -0.1755  0.7506  2.1997

Random effects:
Groups Name          Variance Std.Dev.
Prob   (Intercept)  6.3634   2.5226
Residual                    0.5279   0.7266
Number of obs: 75, groups: Prob, 5

Fixed effects:
              Estimate Std. Error    df t value Pr(>|t|)
(Intercept)  68.34807    1.14684  4.21751  59.597 2.48e-07 ***
Phase2       -0.08487    0.25713  66.03501  -0.330  0.742
Phase3       -0.15636    0.30989  66.01561  -0.505  0.616
Phase4       -0.41392    0.27744  66.03043  -1.492  0.140
Phase5        0.40514    0.29572  66.01955   1.370  0.175
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Correlation of Fixed Effects:
      (Intr) Phase2 Phase3 Phase4
Phase2 -0.146
Phase3 -0.120  0.544
Phase4 -0.135  0.601  0.491
Phase5 -0.125  0.568  0.469  0.508
> anova(model)
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
      Sum Sq Mean Sq NumDF  DenDF F value  Pr(>F)
Phase 4.5248  1.1312     4 66.021  2.1429 0.08523 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> #Gibt es signifikante Unterschiede der Schwimmzeiten beim Vergleich zweier Phasen, post-hoc-Test
> pairwise <- emmeans(model, pairwise ~ Phase)
> summary(pairwise)
$emmeans
Phase emmean SE df lower.CL upper.CL
1      68.3 1.15 4.22  65.2    71.5
2      68.3 1.14 4.10  65.1    71.4
3      68.2 1.15 4.29  65.1    71.3
4      67.9 1.14 4.17  64.8    71.1
5      68.8 1.15 4.24  65.6    71.9

Degrees-of-freedom method: kenward-roger
Confidence level used: 0.95

$constrasts
contrast estimate SE df t.ratio p.value
Phase1 - Phase2  0.0849 0.257 66  0.330 0.9974
Phase1 - Phase3  0.1564 0.310 66  0.505 0.9866
Phase1 - Phase4  0.4139 0.277 66  1.492 0.5715
Phase1 - Phase5 -0.4051 0.296 66 -1.370 0.6488
Phase2 - Phase3  0.0715 0.275 66  0.260 0.9990
Phase2 - Phase4  0.3291 0.239 66  1.375 0.6459
Phase2 - Phase5 -0.4900 0.259 66 -1.890 0.3329
Phase3 - Phase4  0.2576 0.298 66  0.866 0.9084
Phase3 - Phase5 -0.5615 0.312 66 -1.798 0.3836
Phase4 - Phase5 -0.8191 0.285 66 -2.876 0.0417

Degrees-of-freedom method: kenward-roger
P value adjustment: tukey method for comparing a family of 5 estimates

```

Abbildung 40: Auswertung der Schwimmzeiten aller Probandinnen in R (Screenshot).

Anhang 9.3: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin A

```
> #Haben die Phasen einen signifikanten Einfluss auf die Schwimmzeiten bei jeder Probandin einzeln?
> Auswertung_A$Phase <- as.factor(Auswertung_A$Phase)
> anova_result <- aov(Auswertung_A$SwimmingTime ~ Auswertung_A$Phase)
> summary(anova_result)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Auswertung_A$Phase  4   1.77   0.4425   0.469  0.758
Residuals          11  10.39   0.9444
```

Abbildung 41: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin A in R (Screenshot).

Anhang 9.4: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin B

```
> #Haben die Phasen einen signifikanten Einfluss auf die Schwimmzeiten bei jeder Probandin einzeln?
> Auswertung_B$Phase <- as.factor(Auswertung_B$Phase)
> anova_result <- aov(Auswertung_B$SwimmingTime ~ Auswertung_B$Phase)
> summary(anova_result)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Auswertung_B$Phase  4   5.170   1.2926   2.679  0.121
Residuals           7   3.378   0.4825
```

Abbildung 42: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin B in R (Screenshot).

Anhang 9.5: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin C

```
> #Haben die Phasen einen signifikanten Einfluss auf die Schwimmzeiten bei jeder Probandin einzeln?
> Auswertung_C$Phase <- as.factor(Auswertung_C$Phase)
> anova_result <- aov(Auswertung_C$SwimmingTime ~ Auswertung_C$Phase)
> summary(anova_result)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Auswertung_C$Phase  4   4.030   1.0075   5.586 0.0105 *
Residuals          11   1.984   0.1804
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> #Gibt es signifikante Unterschiede der Schwimzeiten einer Probandin beim Vergleich zweier Phasen, post-hoc-Test
> TukeyHSD(anova_result)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Auswertung_C$SwimmingTime ~ Auswertung_C$Phase)

$`Auswertung_C$Phase`
      diff      lwr      upr      p adj
2-1  0.4815 -0.4398582  1.4028582  0.4770943
3-1 -0.4560 -1.6051356  0.6931356  0.7060566
4-1 -0.1060 -1.1090477  0.8970477  0.9966058
5-1  1.2890  0.1398644  2.4381356  0.0262593
3-2 -0.9375 -2.1269683  0.2519683  0.1486699
4-2 -0.5875 -1.6365124  0.4615124  0.4143167
5-2  0.8075 -0.3819683  1.9969683  0.2501582
4-3  0.3500 -0.9038097  1.6038097  0.8899971
5-3  1.7450  0.3715203  3.1184797  0.0119920
5-4  1.3950  0.1411903  2.6488097  0.0275564
```

Abbildung 43: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin C in R (Screenshot).

Anhang 9.6: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin D

```
> Auswertung_D$Phase <- as.factor(Auswertung_D$Phase)
> anova_result <- aov(Auswertung_D$SwimmingTime ~ Auswertung_D$Phase)
> summary(anova_result)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Auswertung_D$Phase  4   1.279   0.3198   0.609  0.665
Residuals          10   5.248   0.5248
```

Abbildung 44: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin D in R (Screenshot).

Anhang 9.7: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin E

```
> #Haben die Phasen einen signifikanten Einfluss auf die Schwimmzeiten bei jeder Probandin einzeln?  
> Auswertung_E$Phase <- as.factor(Auswertung_E$Phase)  
> anova_result <- aov(Auswertung_E$SwimmingTime ~ Auswertung_E$Phase)  
> summary(anova_result)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Auswertung_E\$Phase	4	1.377	0.3442	0.792	0.554
Residuals	11	4.781	0.4346		

Abbildung 45: Auswertung der Schwimmzeiten von Probandin E in R (Screenshot).

Anhang 10: Antwort von Perplexity AI

✂ Antwort

Ja, Sie können diese statistische Auswertung in R durchführen. Ihre Vorgehensweise ist methodisch korrekt und gut geeignet für Ihre Datenstruktur mit wiederholten Messungen bei mehreren Probandinnen über verschiedene Phasen.

Hier ist der empfohlene Ablauf:

1. Erstellen Sie ein lineares gemischtes Modell (LMM) mit `lmer()` aus dem `lme4`-Paket:

```
r  
library(lme4)  
model <- lmer(Schwimmzeit ~ Phase + (1|Probandin), data = Ihre_Daten)
```

2. Führen Sie eine ANOVA auf das LMM durch, um den allgemeinen Einfluss der Phasen zu testen:

```
r  
library(lmerTest)  
anova(model)
```

Die `lmerTest`-Bibliothek ermöglicht die Durchführung einer ANOVA auf LMMs und liefert p-Werte für die festen Effekte ¹.

Abbildung 46: Antwort von Perplexity AI Teil 1 (Screenshot).

3. Führen Sie Post-hoc-Tests mit `emmeans` durch:

```
r  
library(emmeans)  
emm <- emmeans(model, "Phase")  
pairs(emm, adjust = "tukey")
```

Diese Methode ermöglicht es Ihnen, spezifische Unterschiede zwischen den Phasen zu identifizieren ⁶.

Vorteile dieses Ansatzes:

- Das LMM berücksichtigt die hierarchische Struktur Ihrer Daten (Messwiederholungen innerhalb von Probandinnen) ⁹.
- Die ANOVA auf dem LMM testet allgemeine Unterschiede zwischen den Phasen, ohne sich auf lineare Trends oder eine spezifische Referenzphase zu beschränken ¹.
- Post-hoc-Tests mit `emmeans` ermöglichen detaillierte Vergleiche zwischen den Phasen ⁶.

Beachten Sie folgende Punkte:

- Überprüfen Sie die Voraussetzungen des Modells, insbesondere die Normalverteilung der Residuen und Homoskedastizität ⁵.
- Bei Messwiederholungsdesigns ist die Überprüfung der Sphärizität wichtig. Falls diese verletzt ist, können Korrekturen wie Greenhouse-Geisser angewendet werden ⁵.

Diese Methode ermöglicht eine umfassende Analyse Ihrer Daten, indem sie sowohl die individuellen Unterschiede zwischen den Probandinnen als auch die allgemeinen Effekte der Phasen auf die Schwimmzeiten berücksichtigt.

↪ Teilen ↻ Umschreiben



Abbildung 47: Antwort von Perplexity AI Teil 2 (Screenshot).