

Kollegium Spiritus Sanctus Brig

Maturaarbeit 2023/24

Diabetes - Hyperglykämie

Kurzzeitauswirkungen einer Hyperglykämie auf Diabetes Typ 1

Von:

Hildbrand Robin, 5E

Eingereicht im Fachbereich Biologie

Betreut durch:

Schwestermann Carmen

Brig, den 27.11.2023

Nummer 2023/21

Inhaltsverzeichnis

1. VORWORT.....	3
2. ZUSAMMENFASSUNG.....	4
3. EINLEITUNG.....	5
3.1 HYPERGLYKÄMIE.....	5
3.1.1 Ketonkörper aufgrund einer Hyperglykämie.....	5
3.1.2 Kognitiv-motorische Leistungen während einer Hyperglykämie	6
3.1.3 Sehstörungen aufgrund einer Hyperglykämie	7
3.2 HYPOTHESEN	7
4. MATERIAL UND METHODEN	8
4.1 GESUNDHEITLICHE METHODEN	8
4.1.1 Ketonkörper.....	8
4.1.2 Sehschärfe	8
4.1.3 Herzfrequenz und Blutdruck.....	9
4.1.4 Reaktionszeit und Konzentration.....	9
4.2 VERSUCHSAUFBAU	10
4.2.1 Versetzung in die Hyperglykämie	10
4.2.2 Während des Versuchs	10
4.2.3 Nach dem Versuch.....	10
4.2.4 Bei Komplikationen	10
4.3 PROBANDEN.....	11
4.3.1 Voraussetzungen.....	11
5. RESULTATE	12
5.1 BLUTZUCKER-WERTE	12
5.2 KETON-WERTE	13
5.3 SEHSCHÄRFE	14
5.4 HERZFREQUENZ	15
5.5 BLUTDRUCK.....	16
5.6 KOGNITIVE FÄHIGKEITEN	17
5.6.1 Reaktionszeit.....	17
5.6.2 Konzentration	19
6. DISKUSSION	23
6.1 ÜBERBLICK DER EINZELNEN TESTS.....	23
6.1.1 Blutzucker.....	23
6.1.2 Ketonkörper.....	23
6.1.3 Sehschärfe	24
6.1.4 Herzfrequenz	24
6.1.5 Blutdruck.....	24
6.1.6 Kognitive Fähigkeiten	24
6.2 HYPOTHESEN	25
6.3 MÖGLICHE FEHLERQUELLEN	26
7. NACHWORT.....	27
7.1 DANKSAGUNG.....	27
8. LITERATURVERZEICHNIS.....	28
9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	31
10. TABELLENVERZEICHNIS.....	32
11. ANHANG	33
12. AUTHENTIZITÄTSERKLÄRUNG	57

1. Vorwort

Im Sommer 2016 befand ich mich in Mallorca mit meiner Familie in den Ferien, als mich plötzlich ein starker Durst überkam. Ich trank unzählige Süssgetränke, konnte keine Nahrung bei mir behalten und verlor schliesslich mehrere Kilos in nur wenigen Tagen. Der darauffolgende Arztbesuch erklärte dann alles: Ich bin an Diabetes Mellitus Typ 1 erkrankt. Eine Welt brach für mich zusammen. Jedoch zeigte sich bald, dass es möglich ist gut und vor allem normal mit Diabetes zu leben. Der Zeitpunkt war da, sich schliesslich mit der Zuckerkrankheit auseinanderzusetzen.

Mit dieser Arbeit möchte ich ein Teil der Krankheit Diabetes genauer kennenlernen. Deshalb entschloss ich mich mithilfe meines ehemaligen Diabetesfacharztes, Dr. Jean-Marc Vuissoz, die Kurzzeitauswirkungen einer Hyperglykämie auf den Körper Diabetes Typ 1 Patienten zu untersuchen und diese mit einem praktischen Versuch zu prüfen.

Mit der Hyperglykämie und ihren Auswirkungen habe ich mich bisher noch nicht vertieft auseinandergesetzt. Insbesondere waren mir die Kurzzeitauswirkungen einer Überzuckerung noch nicht bewusst. Des Weiteren sind die Forschungen in diesem Bereich noch nicht sehr fortgeschritten. Deshalb habe ich mir die Aufgabe gesetzt, dieses Gebiet besser zu untersuchen und so für mich und für andere etwas Neues herauszufinden.

Der Kontakt mit meinem ehemaligen Diabetesarztes und meiner aktuellen Diabetesärztin, Dr. Caroline Christen Bühler, Ärztin für innere Medizin, erlaubte mir eine professionelle Arbeit zu schreiben, welche die Sicherheit der Patienten gewährleisten konnte.

Dabei bot mir die Fachschaft Biologie die passende Möglichkeit, mich mit anderen Diabetikern auszutauschen um anschliessend theoretisches und praktisches Wissen zu kombinieren.

Der Einfachheit halber werden in der ganzen Arbeit nicht beide geschlechtliche Sprachformen verwendet, jedoch gelten die Bezeichnungen für beide Geschlechter männlich sowie weiblich.

2. Zusammenfassung

Hyperglykämien können bei Diabetes Typ 1 Patienten immer wieder auftreten. Zum Beispiel durch eine zu niedrige Insulindosis, falsches Essen oder Stress. Bislang wurde davon ausgegangen, dass vor allem die Hypoglykämie sich rasch auf den Körper auswirkt. Deshalb wird oft versucht, dies durch eine erhöhte Glucoseaufnahme zu vermeiden, was anschliessend zu einer Hyperglykämie führen kann.

In dieser Arbeit wurde untersucht, inwiefern sich eine Hyperglykämie, während zwei Stunden auf den Körper eines Diabetes Mellitus Typ 1 Patienten auswirkt. Dies wurde mittels eines praktischen Versuchs an sechs Patienten mit Diabetes Typ 1 und zusätzlich an zwei Nicht-Diabetiker nachgewiesen. Die Probanden wurden in eine Hyperglykämie versetzt und es wurden in regelmässigen Abständen Blutzucker, Blutdruck, Herzfrequenz, Ketonkörper und kognitive Fähigkeiten wie Reaktionszeit und Konzentration getestet. Die Resultate wurden anschliessend ausgewertet und bilden die Grundlage dieser Arbeit.

Die Hyperglykämie wirkte sich während den zwei Stunden deutlich auf die Sehschärfe aus. Die Sehschärfe verschlechterte sich bei 80% der Patienten. Hingegen bei der Herzfrequenz, Ketonkörper und Blutdruck waren keine deutlichen Veränderungen nachzuweisen. Die Reaktionszeit der Probanden wurde von der Hyperglykämie bei den kognitiven Versuchen nicht beeinflusst. Jedoch waren bei 66.6% der Patienten vermehrt Fehler bei mindestens einem der beiden Konzentrationstests nachzuweisen. Die Auswirkungen auf die Herzfrequenz und den Blutdruck fielen grösstenteils ähnlich aus bei den Probanden. Hingegen bei der Bildung von Ketonkörper, der Veränderung der Sehschärfe und die Auswirkungen auf die kognitiven Fähigkeiten waren die Resultate individuell unterschiedlich.

Genaue Resultate sowie die Diskussion befinden sich in den Kapitel 5 und 6. Des Weiteren wurden alle zusätzlichen Bilder, Dokumente, Resultate sowie Tabellen im Anhang abgelegt.

3. Einleitung

Diabetes mellitus Typ 1 ist eine von vier Arten, die bei Diabetes mellitus auftreten können. Es ist auf eine autoimmune¹ β -Zell-Destruktion² in den Langerhans'schen Inseln³ des Pankreas zurückzuführen. Diese Zerstörung der β -Zellen entwickelt sich entweder rasch innerhalb weniger Monate oder in einem chronischen Prozess über mehrere Jahre zum absoluten Insulinmangel (Deutsche Diabetes Gesellschaft e.V. (DDG), 2018).

3.1 Hyperglykämie

Die Hyperglykämie (Überzuckerung) ist das Gegenteil einer Hypoglykämie (Unterzuckerung). Wie der Name schon sagt, hat man zu viel Zucker im Blut. Durch das Fehlen von Insulin, das sich an die Insulinrezeptoren in den Körperzellen bindet, kann Glucose nicht transportiert werden. Folglich erhöht sich die Blutzuckerkonzentration im Blut. Von einer Hyperglykämie wird gesprochen, sobald der Blutzucker den Wert von 13.9 mmol/l (Millimol pro Liter) überschreitet. Der Normalbereich des Blutzuckers befindet sich zwischen 5.6 und 7.8 mmol/l (MSc, 2017).

Durch den erhöhten Blutzucker liegt im Blut ein Zuckerüberschuss vor. Die Niere wird dadurch aktiviert und versucht mithilfe von gespeichertem Wasser im Blut die Glucose auszuschwemmen. Dadurch verliert der Körper enorm viel Wasser, welches durch den Urin ausgeschieden wird (Bachmann, 2019).

Die Dehydration⁴ lässt das Blutvolumen senken und folglich den Blutdruck. Die Herzfrequenz wird erhöht, um trotzdem genug Blut zu den Organen transportieren zu können (Austin, 2023). Eine persistierende⁵ Hyperglykämie führt nach eins bis drei Tagen zur diabetischen Ketoazidose (Kapitel 3.2), was bis zum diabetischen Koma⁶ führen kann (Deutsche Diabetes Gesellschaft e.V. (DDG), 2018).

3.1.1 Ketonkörper aufgrund einer Hyperglykämie

Der Begriff Ketonkörper beschreibt verschiedene chemische Substanzen, die beim Abbau von Fettsäuren entstehen wie zum Beispiel Aceton (Umschau-Apotheken, 2017). Die Ketonkörper sind die eigentlichen Auslöser der Ketoazidose. Aufgrund eines absoluten Insulinmangels gefolgt von einem hohen Blutzuckerspiegel ($>13.9\text{mmol/l}$) wird dem Körper ein Kohlenhydratmangel vorgetäuscht. Dies kann aufgrund der gestörten Glucoseaufnahme des Gewebes (Muskulatur und Fettgewebe) zurückgeführt werden. Der Skelettmuskel beginnt Muskelproteine abzubauen, da seine Glucoseaufnahme insulinabhängig ist und darum keine Energie erhält. Dadurch entstehen Aminosäuren, die mit dem Blut in die Leber gelangen. Das Fettgewebe baut gespeicherte Triacylglycerine zu freien Fettsäuren und Glycerin ab, da dieses sowie die Skelettmuskeln keine Glucose mehr aufnehmen kann. Ein Energiemangel wird durch die erhöhte Konzentration von Aminosäuren und freien Fettsäuren in der Leber signalisiert. Durch die Gluconeogenese⁷ von Glycerin und Aminosäuren wird vermehrt Glucose ins Blut abgegeben. Der erhöhte Glykogenabbau in der Leber trägt zusätzlich zum erhöhten Blutzucker bei. All dies kann zu Symptomen wie übermäßigem Durst und eine vermehrte Ausscheidung von Glucose über den Harn und die Nieren führen. Durch den Abbau von Aminosäuren und

¹Das Abwehrsystem des Körpers hält eigene Zellen für Eindringlinge und attackiert diese (AOK, 2023)

²Zerstörung der Insulin produzierenden Zellen der Bauchspeicheldrüse (Ballwieser, 2023)

³Bereiche der Bauchspeicheldrüse (Pankreas), die das Hormon Insulin produzieren (Apotheken-Umschau, 2016)

⁴Austrocknung, Flüssigkeitsdefizit (Schäffler, 2019)

⁵Fortbestehend (Befunddolmetscher, 2016)

⁶Lebensgefährliche Stoffwechselentgleisung, man kann das Bewusstsein verlieren (Rothberg, 2023)

⁷Neubildung von Glucose (Stanley Oiseth, 2023)

eine verstärkte β -Oxidation⁸ von Fettsäuren wird Acetyl-CoA gebildet. Dieser Stoff wird anschliessend vermehrt zur Bildung von Ketonkörpern genutzt, welche folglich ins Blut gelangen. Schliesslich werden sie zu den Geweben transportiert, wo sie als Energieträger für die Zellen dienen. Der Blut-pH-Wert sinkt unter den Normwert von 7,4 mol/l (Püschel, 2022). Das Blut ist anschliessend durch die vermehrte Bildung von Ketonen übersäuert. Dieser Prozess wird Ketoazidose genannt (Brutsaert, MSD Manual, 2023).

3.1.2 Kognitiv-motorische Leistungen während einer Hyperglykämie

Die Forschung schlägt mehrere Mechanismen vor, wie die Hyperglykämie die Gehirnfunktion beeinflussen soll, da im Gegensatz zur Hypoglykämie noch kein klarer physiologischer Mechanismus bekannt ist. Störungen in der Blut-Hirn-Schranke⁹ oder eine veränderte Insulinverfügbarkeit für das Gehirn, sowie komplexe Auswirkungen auf Peptid-Neurotransmitter¹⁰ können Grund sein für kognitiv-motorische Dysfunktionen (Daniel J. Cox, et al., 2005).

Durch ein MRT-Scan¹¹ wurde nachgewiesen, dass die Reaktionsfähigkeiten im parietalen Kortex¹² deutlich eingeschränkt sind während einer akuten Hyperglykämie, welche mit strukturellen Veränderungen in dieser Hirnregion nachweisbar sind. Grund dafür sind zum einen der Anstieg der Interleukine-6-Werte¹³, was auf eine Entzündungsreaktion aufgrund der hohen Glukosewerte zurückzuführen ist (Thiel, 2019).

Ein Mechanismus allein reicht möglicherweise nicht aus für eine Störung. Jedoch können sich diese Mechanismen kombinieren und addieren. Ausserdem haben Versuche an Probanden, die nicht an Diabetes erkrankt sind, gezeigt, dass sich nach einer Konsumation von Glucose die Reaktionszeiten der Probanden verbesserte. Es wird angenommen, dass höhere Blutzuckerspiegel die Geschwindigkeit, Informationen zu verarbeiten, steigert. Der erhöhte Glucosegehalt könnte Grund dafür sein, dass die Synthese von Acetylcholin gesteigert wird (D S Owens, 1994). Des Weiteren wird die Bildung von Neurobotenstoffe wie Acetylcholin oder Glutamat im Gehirn durch Insulin stimuliert. Ein Insulinmangel während der Hyperglykämie wirkt diesem entgegen. Acetylcholin ist ein wichtiger Botenstoff für das Gedächtnis und Glutamat dient der Aktivität und der Kommunikation im Gehirn (FETeV Redaktion, 2022).

⁸ Prozess des Fettsäurenabbaus (Stanley Oiseth, 2023)

⁹ Barriere zwischen dem zentralen Nervensystem und dem Blutgefässsystem, Regulation des Stoffaustausches im Gehirn (Apotheken-Umschau, 2019)

¹⁰ Biochemische Botenstoffe, die sich in den Synapsen befinden (Studyflix, 2021)

¹¹ Magnetresonanztomographen, mit Magnetfeldern werden Bilder vom Körper erstellt (Stiftung Gesundheitswissen, 2023)

¹² Scheitellappen des Gehirns, hauptsächlich für die somatosensorische Wahrnehmung verantwortlich (Leyh, 2011)

¹³ Entzündungsparameter, wird von weissen Blutkörperchen am entzündlichen Ort freigesetzt (Redaktion Gesundheitsportal, 2020)

3.1.3 Sehstörungen aufgrund einer Hyperglykämie

Vor allem bei akutem Anstieg des Blutzuckers können vorübergehende Sehstörungen auftreten. Durch starke Schwankungen kann es zu einer Quellung oder Entwässerung der Augenlinse führen, wobei die Brechkraft¹⁴ zu- oder abnimmt (Bürki, 2008).

Wenn die Linse anschwillt, kann Flüssigkeit aus und ins Auge fließen. Dies hat Auswirkungen auf die Form der Linse und auf die Sehschärfe. Die Linse ist verantwortlich, dass Licht auf die Netzhaut¹⁵ fokussiert wird. Diese liegt im hinteren Teil des Auges (Lazarus, 2020). Dies ist jedoch nur vorübergehend und sollte, nachdem sich der Blutzucker wieder stabilisiert hat und im Normalbereich liegt, verschwinden (Debrowski, 2020).

3.2 Hypothesen

Es wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

- Die Hyperglykämie wirkt sich schon nach zwei Stunden auf gesundheitliche Werte aus wie Puls, Blutdruck, Sehschärfe und die Bildung von Ketonkörper.
- Die Hyperglykämie hat Einfluss auf kognitive Fähigkeiten, genauer ausgedrückt auf die Konzentration und die Reaktionszeit während zwei Stunden.
- Die Kurzezeitwirkungen einer Hyperglykämie während zwei Stunden sind individuell verschieden bezüglich des Pulses, des Blutdrucks, der Sehschärfe und der Bildung von Ketonkörper

¹⁴ Deutet an, wie stark das Auge das Licht bricht (Betterview, 2022)

¹⁵ Die Zellen der Netzhaut leiten Informationen über den Sehnerv weiter an das Gehirn (Visusvital, 2023)

4. Material und Methoden

Der Aufbau und Verlauf des Versuchs wurden vorgängig mit Dr. Christen Bühler, Ärztin der inneren Medizin, abgesprochen. Betreffend der Zeit, welche die Probanden in der Hyperglykämie verbringen, bestätigte Frau Dr. Christen Bühler mittels eines ärztlichen Schreibens, dass keine erhebliche Gefahr für die Probanden besteht und erklärte sich bereit, bei den Versuchszeiten auf Abruf zu sein, falls Komplikationen auftreten sollten (Anhang 6 und 7).

4.1 Gesundheitliche Methoden

Um die Kurzzeitauswirkungen einer Hyperglykämie zu testen, wurden vor allem die bereits bekannten Langzeitauswirkungen einer Überzuckerung zur Hilfe genommen und selektiert, welche Aspekte für die Kurzzeitauswirkungen in Frage kommen. Durch den Austausch mit den Fachärzten Dr. Jean-Marc Vuissoz und Dr. Caroline Christen Bühler wurden die Parameter Puls, Blutdruck, Sehschärfe und kognitive Fähigkeiten für den Versuch ausgewählt (Anhang 1). Alle benötigten Materialien wurden im Anhang 10 aufgelistet.

4.1.1 Ketonkörper

Zur Messung der Ketonkörper wurde das, in Abbildung 1 gezeigte, «FreeStyle Libre» Messgerät benutzt. Es wird hauptsächlich in Kombination mit einem Sensor für die Blutzuckermessung genutzt. Es bietet zusätzlich die Option an, Blutketone mit Hilfe von «Abbott Freestyle Precision β -Ketoneteststreifen» zu messen, wie in Abbildung 2 zu sehen ist.



Abbildung 1: FreeStyle Libre Messgerät



Abbildung 2: Abbot FreeStyle Precision β -Ketoneteststreifen

4.1.2 Sehschärfe

Zur Messung der Sehschärfe wurde der «Snellen-Index» verwendet. Der Snellen-Index benutzt Sehzeichen, sogenannte Optotypen wie Buchstaben und Zahlen, die immer kleiner werden und anschliessend im Abstand von drei Meter gelesen werden müssen (Anhang 2). Diese Sehzeichen wurden im 19. Jahrhundert vom Niederländer Hermann Snellen erfunden und werden heute vermehrt genutzt (Augenheilkunde, Lasik Care, 2016). Jeder Reihe ist ein Visus, Sehkraft, zwischen 0.1 und 1.5 zugeordnet. Sobald der Proband zwei Buchstaben falsch gelesen hat, wurde als Resultat die Sehschärfe der vorherigen Reihe eingetragen.

4.1.3 Herzfrequenz und Blutdruck

Herzfrequenz und Blutdruck wurden mittels eines digitalen Blutdruckmessgerät, welches am Handgelenk getragen wird, gemessen. Hierbei wurde von «Medisana», das in Abbildung 3 gezeigte «Blood Pressure Monitor HGH» Blutdruckmessgerät verwendet. Der systolische sowie der diastolische Blutdruck werden in mmHg (Millimeter-Quecksilbersäule) angegeben und die Herzfrequenz in Schlägen pro Minute (bpm).



Abbildung 3: Medisana, Blood Pressure Monitor HGH

4.1.4 Reaktionszeit und Konzentration

Die kognitiven Tests wurden mithilfe der App «Psych Lab 101» auf einem digitalen Gerät durchgeführt. «Psych Lab 101» ist eine Sammlung von 35 verschiedenen kognitiven und klinischen psychologischen Experimenten. Es wurden zwei von diesen 35 Experimenten verwendet und diese jeweils bei jedem Testdurchgang durchgeführt. Es wurden folgende Experimente verwendet:

Choice Reaction Time

Bei diesem Test wird primär die Aufmerksamkeit und die Wahrnehmung mittels der durchschnittlichen Reaktionszeit getestet, was auf Englisch «average reaction time (avg RT)» bedeutet. Bei diesem Experiment gibt es zwei Szenarien: Im ersten Szenario erscheint eine blaue Box, wobei der Proband so schnell wie möglich die rechte Seite des Bildschirms drücken muss. Im zweiten Szenario erscheint eine rote Box und der Proband muss so schnell wie möglich die linke Hälfte des Bildschirms berühren. Die Reaktionszeit, die Zeit zwischen der Erscheinung des Stimulus und des Drückens auf den Bildschirm vom Probanden, wird in Millisekunden (ms) angegeben. Zusätzlich wird in einer Dezimalzahl gezeigt, wie hoch die «Accuracy», auf Deutsch «Genauigkeit», liegt. Die Dezimalzahl kann dabei in Prozent gedeutet werden (z.B. 0.9 entspricht 90%).

Match to Sample

«Match to Sample» ist ein Experiment, um das sogenannte «Arbeitsgedächtnis» zu testen. Das Arbeitsgedächtnis erlaubt kurzfristig, Informationen zu speichern und zu verarbeiten. Lesen, lernen, sowie logisches Denken sind alles kognitive komplexe Aufgaben, für welche das Arbeitsgedächtnis gebraucht wird (Breitenbach, 2020).

Den Teilnehmenden erscheint eine Box mit einem Muster (Stimulus). Anschliessend verschwindet dieser Stimulus und nach einer kurzen Verzögerung (delay) erscheinen zwei Boxen mit zwei verschiedenen Mustern. Der Proband muss nun möglichst schnell die Box mit dem originalen Muster anklicken. Die Verzögerung kann variieren zwischen 1000 und 5000 Millisekunden. Auch hier wird die durchschnittliche Reaktionszeit (Avg RT) in Millisekunden angegeben und die «Accuracy» in einer Dezimalzahl.

Die Bedeutung der Titel der kognitiven Tests wird anhand eines Beispiels erklärt. So wird mit dem Titel «Match to Sample Avg RT ms 5000 delay» die durchschnittliche Reaktionszeit des Probanden nach einer Verzögerung von 5000 Millisekunden ausgedrückt (Neurobehavioral Systems, Inc., 2015).

In Anhang 3 wurde der Ablauf der Konzentrationsversuche mit Bildern veranschaulicht.

4.2 Versuchsaufbau

4.2.1 Versetzung in die Hyperglykämie

Um den Zustand der Hyperglykämie zu erreichen, muss die Insulinpumpe vom Patienten abgeschlossen sein oder falls der Patient keine Pumpe hat, wird ab dem Zeitpunkt des Versuchsstart kein Insulin verabreicht. Anschliessend konsumiert der Proband zuerst 500 ml Orangensaft von Coop («Sunny Orange Arancia») oder 500ml Coca-Cola (100 ml Orangensaft $\approx$ 100 ml Coca-Cola). Nach zehn Minuten wird der Blutzucker gemessen und falls dieser noch nicht bei 14 mmol/l liegt, nimmt der Proband nochmals 100 ml Orangensaft oder 100 ml Coca-Cola zu sich. Dies geschieht so lange, bis der Proband einen Blutzucker von ≥ 14 mmol/l erreicht hat. Anschliessend muss der Blutzucker des Probanden für die vorgegebene Zeitspanne des Versuches über 14 mmol/l bleiben. Falls der Proband die Schwelle von 14 mmol/l unterschreiten sollte, kann ihm 50 ml Orangensaft oder 50 ml Coca-Cola zugeführt werden. Eine Überschreitung des Blutzuckerwert von 18 mmol/l wird geduldet. Dem Proband wird in diesem Fall keine weitere Glucose zugeführt.

4.2.2 Während des Versuchs

Die Zeitspanne, in welcher der Proband in der Hyperglykämie ist, beträgt zwei Stunden.

Die Tests werden ein erstes Mal durchgeführt, bevor die Probanden in die Hyperglykämie versetzt werden, um die Normalwerte der jeweiligen Probanden festzustellen. Diese werden anschliessend mit den Werten, die während der Hyperglykämie gemessen werden, verglichen. Sobald der Proband ein Blutzuckerspiegel von ≥ 14 mmol/l erreicht hat, werden die Tests in Abständen von 20 Minuten wiederholt. Eine Ausnahme liegt bei den Ketonkörpertests vor. Da sich diese nicht schnell bilden, werden diese nur stündlich gemessen.

4.2.3 Nach dem Versuch

Nachdem der Versuch abgeschlossen ist, werden alle Einstellungen der Insulinpumpe in den ursprünglichen Zustand zurückgesetzt. Anschliessend gibt der Proband, falls dies die Pumpe nicht automatisch macht, eine Bolus Korrektur ab. Die Dosis wird anhand eines persönlichen Korrekturfaktors berechnet. Danach sollte Blutzuckerspiegel senken. Alternativ zur Pumpe kann das Insulin auch mittels einer Spritze verabreicht werden. Einen solchen Korrekturfaktor sollte jeder Proband kennen und mit seinem Arzt besprochen haben, da dieser auf die individuellen Bedürfnisse angepasst ist. Idealerweise sollte der Proband keine Glucose bzw. Kohlenhydrate konsumieren, solange er nicht wieder im Normalbereich liegt. Falls der Blutzucker nach zwei bis drei Stunden immer noch nicht unter 10 mmol/l liegt, sollte der Proband eine weitere Bolus Korrektur anhand seines Korrekturfaktors tätigen.

4.2.4 Bei Komplikationen

Falls dem Probanden während des Versuches plötzlich übel wird oder er starke Symptome entwickelt, wird der Versuch unverzüglich abgebrochen. Der Proband kann jederzeit den Versuch abbrechen (Kapitel 4.2.3).

4.3 Probanden

Gesamthaft haben sechs Probanden, vier Männer und zwei Frauen zwischen 16 und 21 Jahre alt, am Versuch teilgenommen. Sie sind seit 13.25 ± 6.25 Jahren an Diabetes erkrankt und haben einen HbA1c^{16} von $8 \pm 3\%$. Sie wurden über den Versuchsaufbau im Voraus informiert (Anhang 9). Jedem wurde eine eindeutige ID-Nummer zugeteilt, um den bürgerlichen Namen der Probanden aus Datenschutzgründen zu schützen. Die Probanden füllten im Voraus eine Umfrage aus, in der sie Fragen über ihre Therapie, sonstige Krankheiten und spezifische Fragen zu persönlichen Erfahrungen hinsichtlich der Hyperglykämie beantworten mussten (Anhang 4). Zudem mussten die Probanden die Einverständniserklärung unterzeichnen und gewisse persönliche Daten angeben, bevor der Versuch starten konnte (Anhang 5).

Neben den sechs Probanden haben zusätzlich zwei Nicht-Diabetiker am Versuch teilgenommen.

Die Versuche der Probanden 1, 2 und 4 fanden im Kollegium in Brig statt. Alle anderen fanden bei den jeweiligen Probanden zu Hause statt. Bis auf Proband 6 wurden die Probanden stets durch den Schreibenden betreut. Proband 6 hat deshalb nur die Konzentrationstests gemacht. Aus Sicherheitsgründen war bei Proband 6 während des ganzen Versuchs eine zweite Person anwesend.

4.3.1 Voraussetzungen

Zu der erfolgreichen Durchführung des Versuches sind folgende Kriterien vorgegeben:

- Der Proband kommt vollkommen gesund zum Versuch, d.h. keine Erkältung, Grippe, erhöhtes Fieber oder gesundheitlichen Beschwerden.
- Der Proband bleibt während zwei Stunden ununterbrochen in der Hyperglykämie.
- Die Tests werden in regelmässigen Abständen von 20 Minuten in derselben Reihenfolge durchgeführt.
- Während diesen zwei Stunden muss der Blutzucker jeweils höher als 14 mmol/l liegen.
- Der Blutzucker des Probanden liegt zu Beginn des Versuchs im Normalbereich zwischen 4 und 10 mmol/l.

¹⁶ Wichtiger Laborwert, zeigt den durchschnittlichen Blutzuckerspiegel in den letzten 8 bis 12 Wochen (Apotheken-Umschau, 2017)

5. Resultate

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der einzelnen Tests, die die Probanden in der Hyperglykämie durchgeführt haben, aufgezeigt. Bei den Punkt-Strich-Diagrammen ist die jeweilige X-Achse die Zeitachse und gibt an, wie lange sich der Proband schon in der Hyperglykämie befindet und die Y-Achse ist die jeweilige Skala zu den einzelnen Tests. Die gestrichelten Linien sind jeweils die Graphen der Nicht-Diabetiker und die durchgezogenen Linien repräsentieren die Probanden. Im Anschluss werden, wenn von Probanden gesprochen wird, die an Diabetes erkrankten Personen bezeichnet und die Nicht-Diabetiker werden direkt als solche beschrieben.

Die zu den Diagrammen korrespondierenden Tabellen befinden sich im Anhang 8.

5.1 Blutzucker-Werte

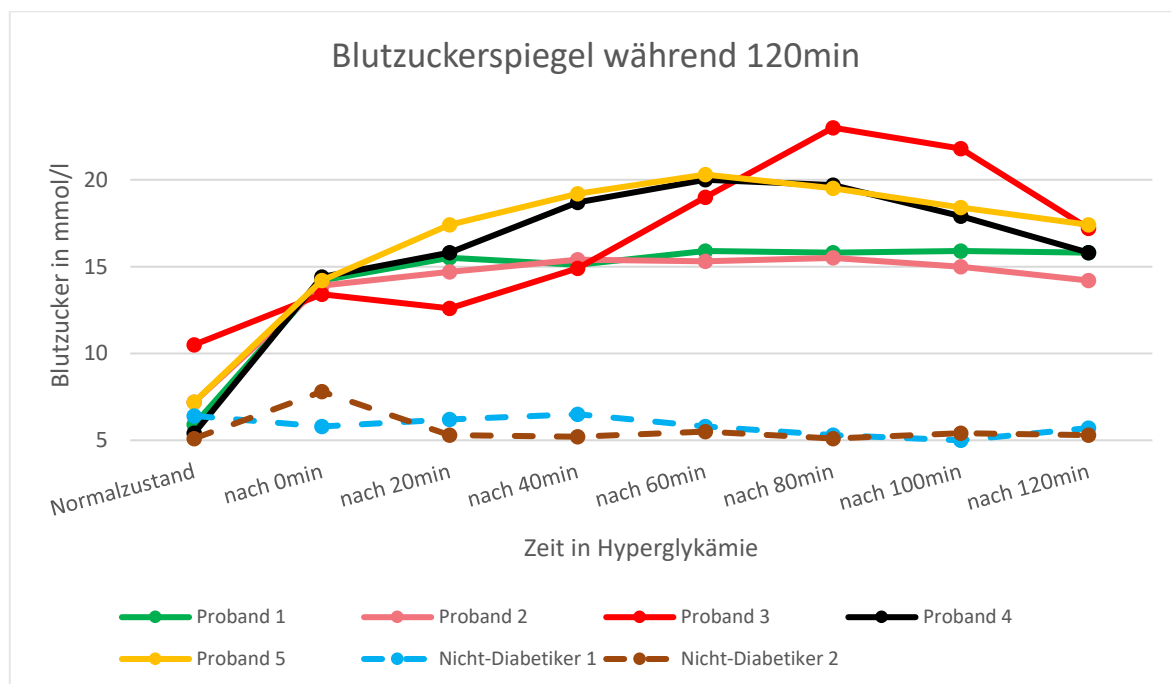


Abbildung 4: Resultat Blutzuckerspiegel

Im Normalzustand befindet sich der Blutzucker bei allen Probanden zwischen 5.9 und 7.2 mmol/l. Nur Proband 3 startet mit einem Blutzucker von 10.5 mmol/l in den Versuch. Wie auf Abbildung 4 erkennbar ist, steigt der Blutzucker anschliessend bei allen Probanden zu Beginn stetig, ausser bei Proband 3. Bei diesem Probanden steigt der Blutzuckerspiegel nicht stark genug an, so dass dieser die 14 mmol/l nicht erreicht. Der Blutzucker sinkt nach 20 Minuten hinab auf 12.6 mmol/l, steigt aber nach Einnahme von Zucker während 80 Minuten wieder stetig auf 24 mmol/l an. Bei den restlichen Probanden sehen die Graphen in Abbildung 4 sehr ähnlich aus. Bei den Probanden 1 und 2 sind im Vergleich zu den anderen Probanden kleinere Steigungen zu erkennen. Proband 1 steigt lediglich von 14.2 mmol/l auf 15.9 mmol/l und Proband 2 steigt von 13.9 mmol/l auf 15.5 mmol/l. Bei den Probanden 4 und 5 ist hingegen ein leicht stärkerer Anstieg zu erkennen. Proband 4 zeigt während den ersten 60 Minuten einen Anstieg von 5.6 mmol/l auf 20.5 mmol/l. Proband 5 zeigt während den ersten 60 Minuten einen Anstieg von 6.1 mmol/l auf 20.5 mmol/l. Nach 60 Minuten bleibt der Blutzucker bei den Probanden 1 und 2 stabil, wie auf der Abbildung 4 erkennbar wird. Bei den Probanden 3, 4 und 5 konnte festgestellt werden, dass der Blutzucker stärker sank. Bis zum Versuchsende ist eine Differenz bis zu 5 mmol/l zu beobachten. Jedoch fiel der Blutzucker der Probanden während des Versuchs nie unter 14

mmol/l, ausser bei Proband 3. Grundsätzlich steigt bei Allen, ausschliesslich Proband 3, der Blutzucker anfangs konstant, flacht anschliessend ab und sinkt gegen Ende leicht. Bei den beiden Nicht-Diabetikern liegt der Blutzuckerspiegel während des gesamten Versuchs im Normalbereich zwischen 4 und 8 mmol/l. Sie zeigen eine flache Kurve auf und lediglich bei Nicht-Diabetiker 2 ist anfangs eine leichte Erhöhung von 5.1 auf 7.8 mmol/l zu sehen.

5.2 Keton-Werte

Aus übersichtlichen Gründen gibt die X-Achse der Abbildung 5 die Probanden der jeweiligen Säulen an und ist somit nicht die Zeitachse. Der Zeitpunkt des jeweiligen Messwertes wurde in der Legende anhand der Farben erklärt.

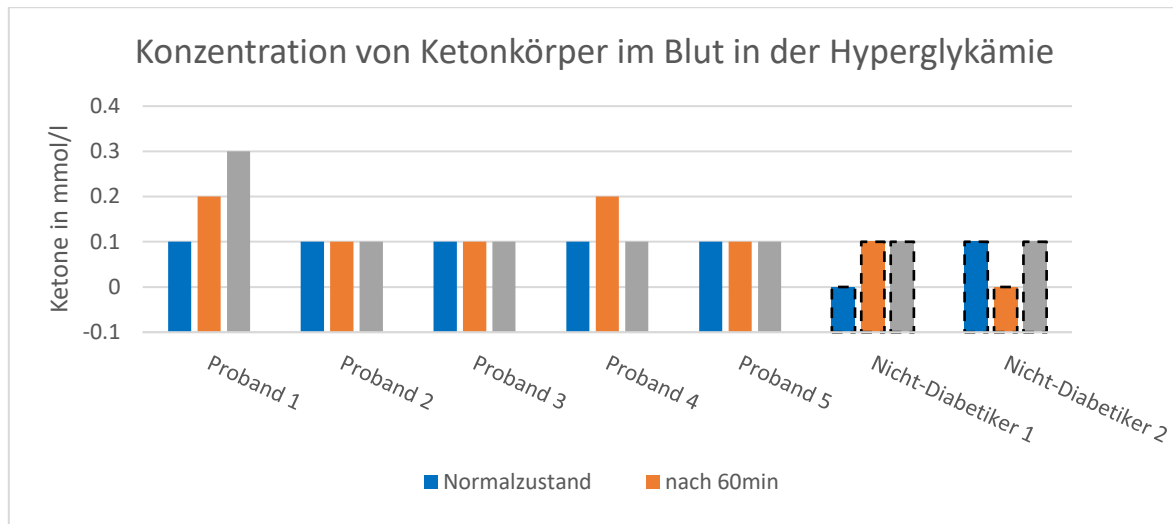


Abbildung 5: Resultat Ketonkörper

Die Ketone im Blut wurden jeweils im Normalzustand, nach 60 Minuten und am Ende nach 120 Minuten getestet. Auf der Abbildung 5 ist festzustellen, dass sich der Normalwert bei allen Probanden vor dem Versuch bei 0.1 mmol/l befindet. Folglich starteten alle Patienten mit den gleichen Bedingungen und die Anfangsketone sollten keinen Einfluss auf den Versuch nehmen. Auch Nicht-Diabetiker 2 startet mit 0.1 mmol/l Ketonkörper, wobei Nicht-Diabetiker 1 mit 0.0 mmol/l startet.

Bei drei von fünf Probanden sieht man während 120 Minuten keine Veränderung des Ketonegehalts im Blut. Beim ersten Probanden steigt die Ketonkörperkonzentration stündlich um jeweils 0.1 mmol/l und liegt am Ende nach 120 Minuten bei 0.3 mmol/l. Proband 4 weist zuerst einen Anstieg auf 0.2 mmol/l auf, wobei der Ketonegehalt nach 120min wieder auf den Normalwert von 0.1 mmol/l sinkt. Die Resultate der Nicht-Diabetiker liegen zwischen 0.0 mmol/l und 0.1 mmol/l, wie auf Abbildung 5 ersichtlich ist.

5.3 Sehschärfe

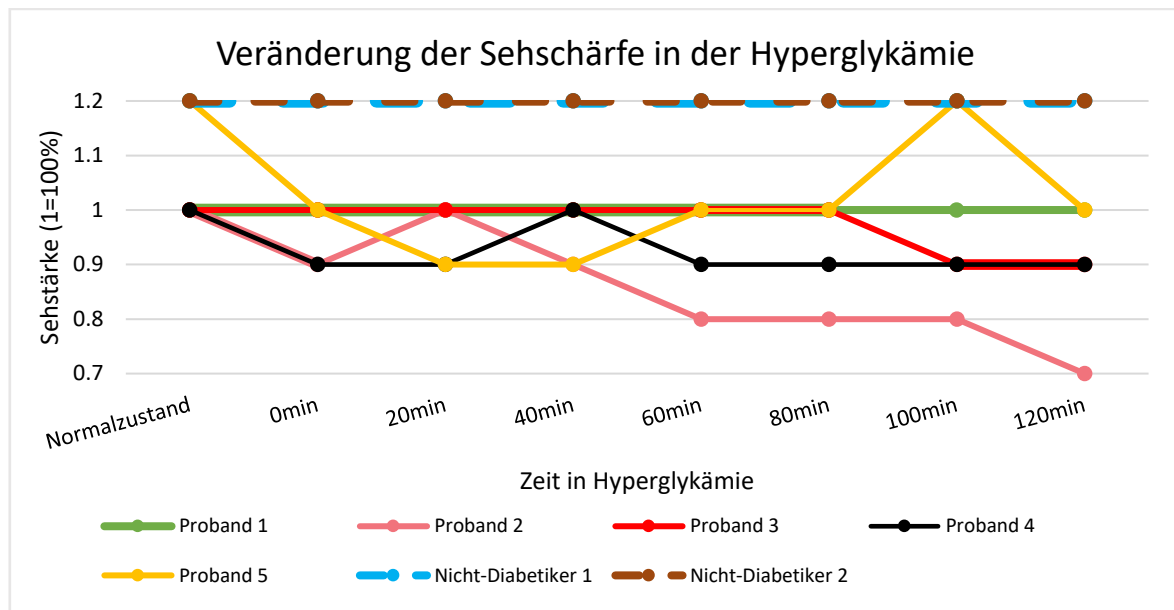


Abbildung 6: Resultat Sehschärfe

Die Abbildung 6 zeigt, dass alle Probanden, ausser Proband 5, eine Anfangssehstärke von 1 aufweisen. Es wird festgestellt, dass sich die Sehstärken der Probanden während des Versuchs unterschiedlich verändern. Beim Proband 1 ändert sich nichts. Dieser bleibt während den 120 Minuten bei einer Sehstärke von 1. Hingegen ist beim Proband 2 eine starke Verschlechterung zu erkennen. Von einer anfänglichen Sehstärke von 1 verschlechtert sich die Sehstärke bis zum Ende auf eine Vision von 0.7. Die Sehstärke des Probanden 2 steigt zwar nach 20 Minuten zwischenzeitlich auf 100%, jedoch sinkt diese anschliessend wieder auf 70%. Obwohl der Proband ein Brillenträger ist, hat er beim Versuch die Brille nicht getragen. Bei Proband 3 sieht der Graph bis nach 80 Minuten konstant aus. Nach 100 Minuten verschlechtert sich die Sehstärke leicht auf 0.9 und bleibt so bis zum Ende. Bei Proband 4 sinkt die Sehstärke nach 0 Minuten von anfänglich 1 auf 0.9 ab. Bei 40 Minuten steigt die Sehstärke wieder auf 1, sinkt jedoch wieder und bleibt bis zum Ende bei 90%. Proband 5 beginnt mit einer Sehstärke von 1.2, welche dann kontinuierlich bis auf 0.9 sinkt. Grundsätzlich können bei den meisten Probanden gewisse Schwankungen während des Versuchs festgestellt werden, wobei eine Tendenz zu einer Verschlechterung vorliegt. Bei den Nicht-Diabetikern hingegen bleibt die Sehstärke konstant bei 1.2.

5.4 Herzfrequenz

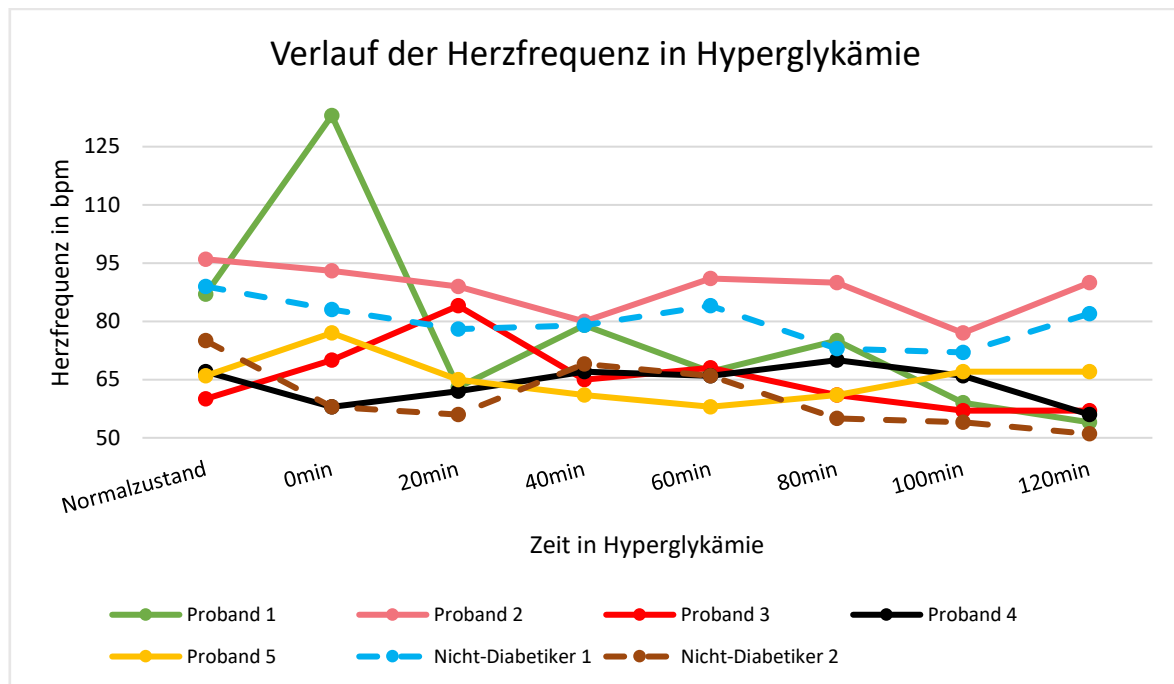


Abbildung 7: Resultat Herzfrequenz

Die Herzfrequenzen verhalten sich laut Abbildung 7 kontinuierlich und zeigen keine grossen Veränderungen auf. Eine Ausnahme bildet der Ausreisser von Proband 1, der zu Beginn der Hyperglykämie eine Herzfrequenz von 133 bpm aufzeigte. Proband 1 zeigt nach dem anfänglichen Ausreisser einen konstanten Graph mit einer Herzfrequenz von 69 ± 18 bpm. Proband 2 zeigt einen höheren Durchschnittswert mit 88 bpm an, dabei liegen die Abweichungen bei ± 11 Schlägen. Bei den Probanden 3 und 5 sieht es sehr ähnlich aus. Beide haben einen Durchschnittspuls von 65 bpm, wobei Proband 3 mit ± 19 Schlägen und Proband 5 mit ± 12 Schlägen während den 120 Minuten vom Mittelwert unterschiedlich abweichen. Proband 4 hat mit 64 ± 8 bpm den tiefsten Durchschnittspuls mit den kleinsten Abweichungen. Nicht-Diabetiker 1 hat eine höhere Herzfrequenz mit einem Durchschnittspuls von 80 bpm. Nicht-Diabetiker 2 hingegen zeigt einen tiefen Mittelwert von 61 bpm an. Der erste Blutdruckwert ist bei beiden höher als die restlichen Werte und liegt bei ± 8 Schlägen vom Mittelwert.

5.5 Blutdruck

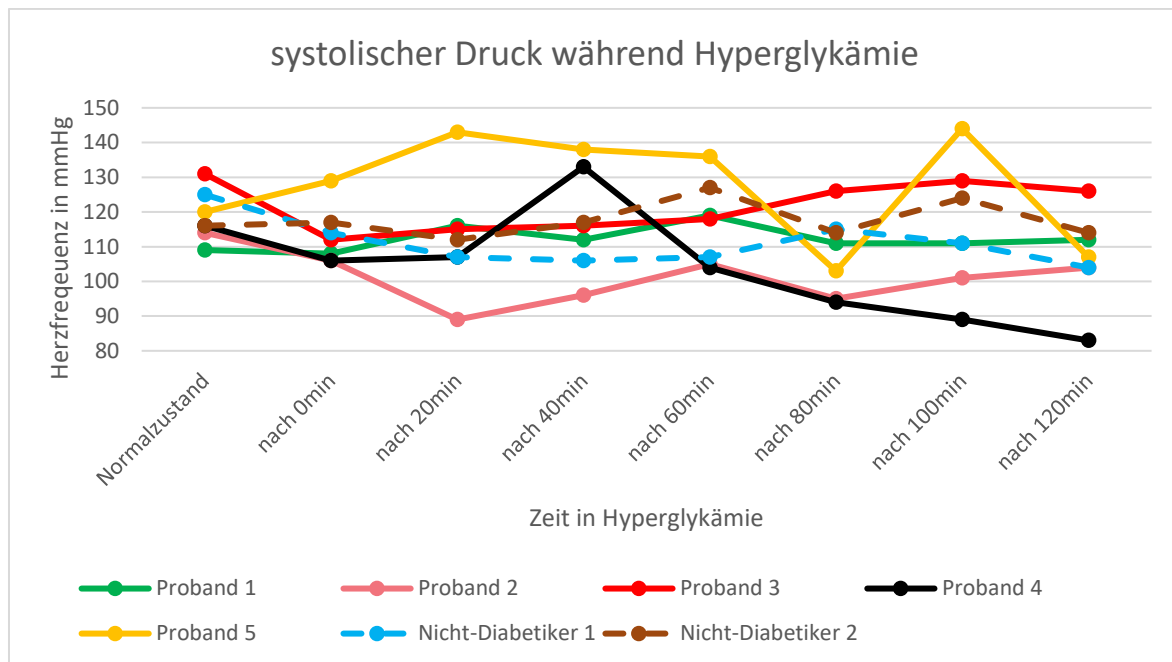


Abbildung 8: Resultat systolischer Blutdruck

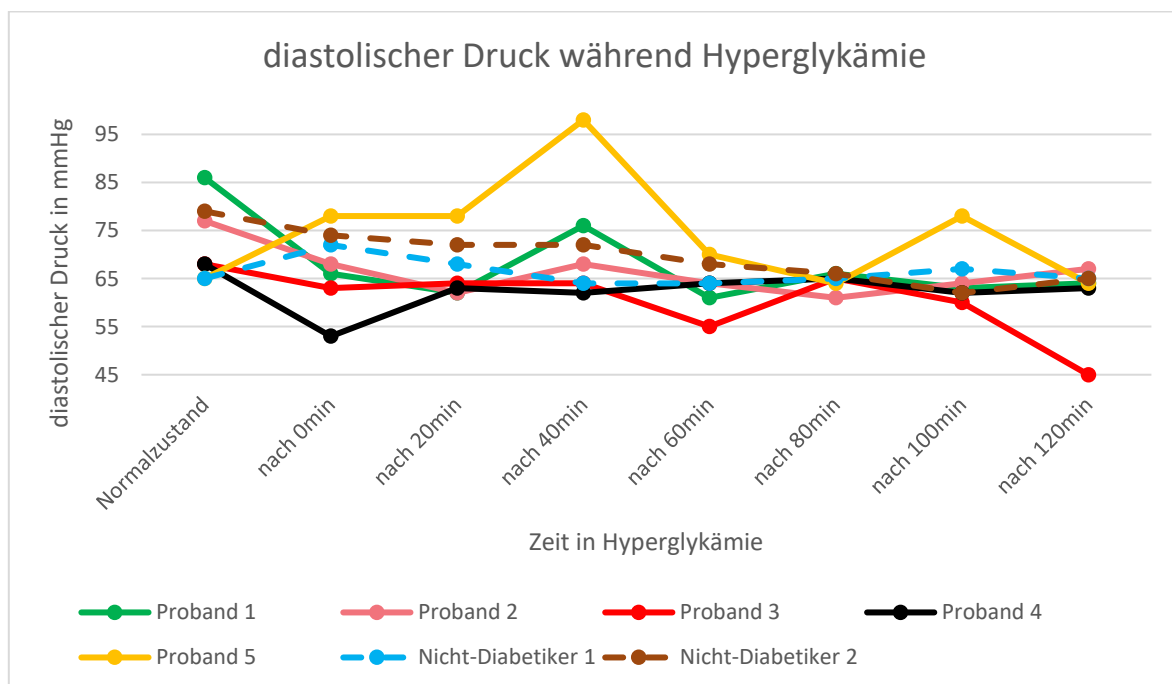


Abbildung 9: Resultat diastolischer Blutdruck

Auf den Abbildungen 8 und 9 ist ersichtlich, dass der Blutdruck mehr schwankt als die Herzfrequenz, jedoch sind keine klaren Tendenzen erkennbar. Auffallend ist Proband 5, der vermehrt höhere Werte aufweist. Bis auf drei Messwerte im Normalzustand, nach 80 und 120 Minuten, ist sein systolischer Druck immer höher als 128 mmHg und sein diastolischer Druck höher als 70 mmHg. Bei den anderen Probanden liegt der systolische Druck bei 92% unter 120 mmHg und der diastolische Blutdruck liegt 95% unter 70 mmHg. Dies wurde mithilfe der Tabelle im Anhang 8 berechnet. Proband 3 zeigt einen leichten Anstieg an. Er steigt von einem Blutdruck von 118/55 mmHg nach 60 Minuten bis auf 129/60 mmHg nach 100 Minuten. Nach

120 Minuten hingegen ist bei ihm mit 126/45 mmHg ein tiefer diastolischer Druck zu vermerken. Auffallend bei Proband 2 sind drei systolische Werte, die jeweils unter 100mmHg liegen, nämlich nach 20, 40 und 80 Minuten. Auch die letzten drei systolischen Messwerte von Proband 4 sind leicht tiefere Werte mit 94, 89 und 83 mmHg. Die Mittelwerte des systolischen Druckes liegen bei allen zwischen 101 und 128 mmHg mit einer durchschnittlichen Abweichung von ± 15 mmHg. Beim diastolischen Druck befinden sich die Durchschnittsblutdrucke zwischen 61 und 74 mmHg mit einer durchschnittlichen Abweichung von ± 13 mmHg. Die Nicht-Diabetiker zeigen keine Auffälligkeiten auf.

5.6 Kognitive Fähigkeiten

5.6.1 Reaktionszeit

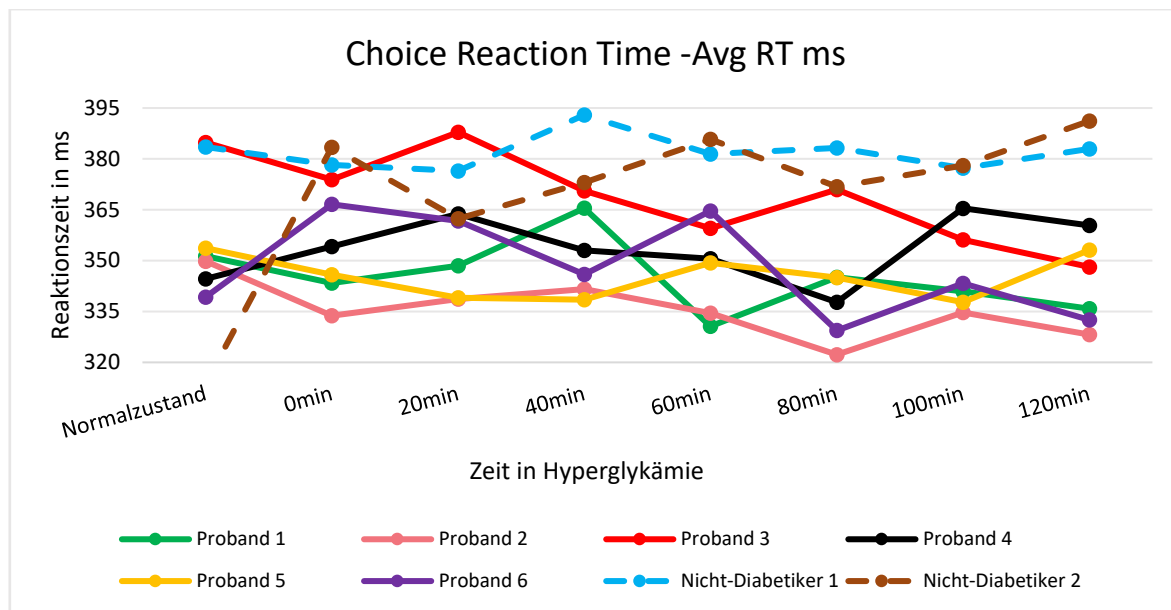


Abbildung 10: Resultat Choice Reaction Time

Die Abbildung 10 zeigt die Veränderung der Reaktionsgeschwindigkeit der Probanden während des Versuchs, die mit dem «Choice Reaction Time» Experiment getestet wurden. Bei den Probanden 1, 2 und 6 sind über die ganze Zeitspanne hinweg leicht verbesserte Reaktionszeiten von durchschnittlich 15 ms erkennbar. Beim Proband 4 ist zu beobachten, dass sich seine Reaktionszeit nach 80 Minuten um 27.7 ms verlangsamt und anschliessend auf diesem Niveau bleibt. Über den gesamten Versuch nimmt die Reaktionszeit von Proband 4 um 16 ms zu. Proband 5 hat die konstanteste Kurve. Seine Reaktionszeit im Vergleich vom Anfang zum Ende beträgt 0.5 ms. Proband 3 zeigt eine klare Verbesserung seiner Reaktionszeit mit 37 ms über den ganzen Zeitraum hinweg. Auch bei Nicht-Diabetiker 1 liegt die Differenz über die volle Zeit bei 0.5 ms. Anders sieht es beim Nicht-Diabetiker 2 aus. Dieser fing mit einer schnellen Reaktionszeit im Normalzustand an. Seine Reaktionszeit steigt anschliessend bei 0 Minuten um 70 ms und blieb bis zum Ende des Versuchs im Bereich von 372 ms bis 391 ms.

Beim zweiten Experiment «Match to Sample» wurde ebenfalls die Reaktionszeit gemessen.

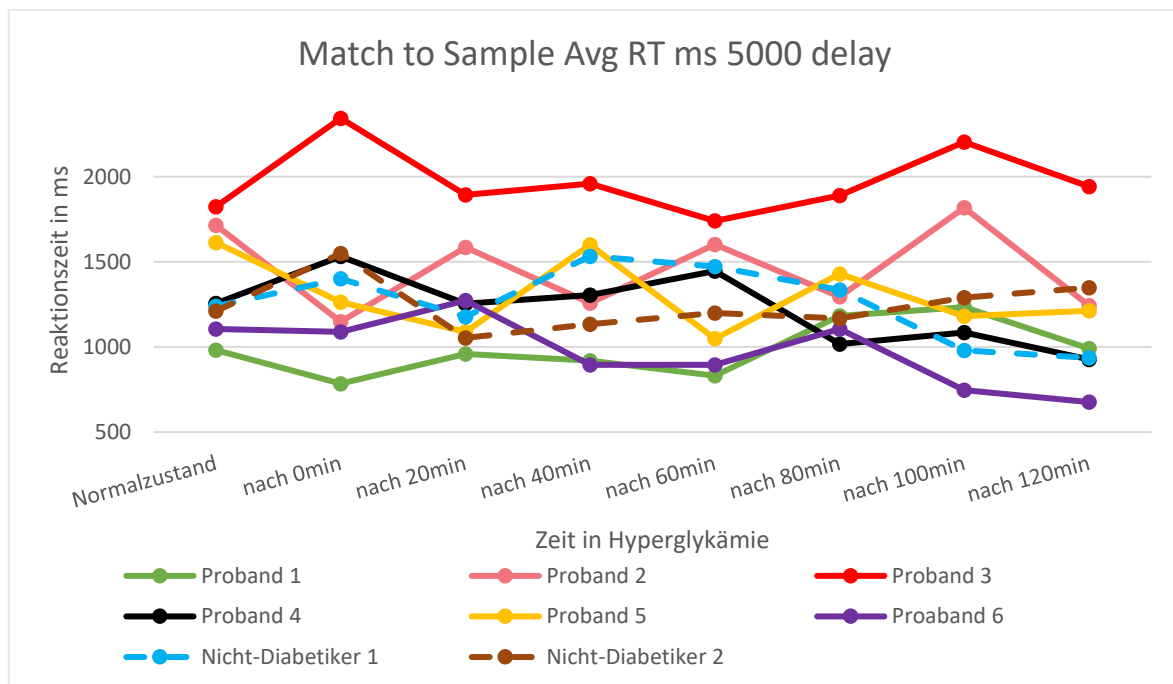


Abbildung 11: Resultat Match to Sample Reaction time

Auffallend ist hier die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit von Proband 3 mit 1975 ms. Im Vergleich zu den restlichen Probanden liegt diese Reaktionsgeschwindigkeit, wie in Abbildung 11 erkennbar ist, hoch. Die Werte bleiben jedoch konstant bei 2000 ms und weisen keine grossen Schwankungen auf. Die Reaktionszeiten aller anderen Probanden und die von den Nicht-Diabetikern liegen im Bereich von 1348 ms bis 1818 ms mit Mittelwerten zwischen 1234 ms und 2343 ms. Bei Proband 6 ist eine klare Verbesserung der Reaktionszeit von anfänglich 1106 ms auf 676 ms zu erkennen.

5.6.2 Konzentration

Bei den Konzentrationstests wurden die Probanden anhand der Resultate in zwei Gruppen zugeteilt, um die Diagramme übersichtlicher zu gestalten. Alle Probanden mit einem negativen Trend wurden einer Gruppe zugeordnet. Die restlichen Probanden, bei denen kein negativer Trend erkennbar war, wurden in die andere Gruppe eingeteilt. Um einen negativen Trend darzustellen, wurde eine sogenannte «Trendlinie» benutzt. Sie ist gepunktet dargestellt und in der Legende als «Linear» bezeichnet, da es sich um eine lineare Funktion handelt. Von einem negativen Trend wird gesprochen, wenn die Steigung der Trendline negativ ist.

5.6.2.1 Match to Sample-Accuracy

Beim «Match to Sample» Test zeigte die Hyperglykämie bei ausgerechneten 66.6% der Probanden einen negativen Effekt auf die Fehlerquote

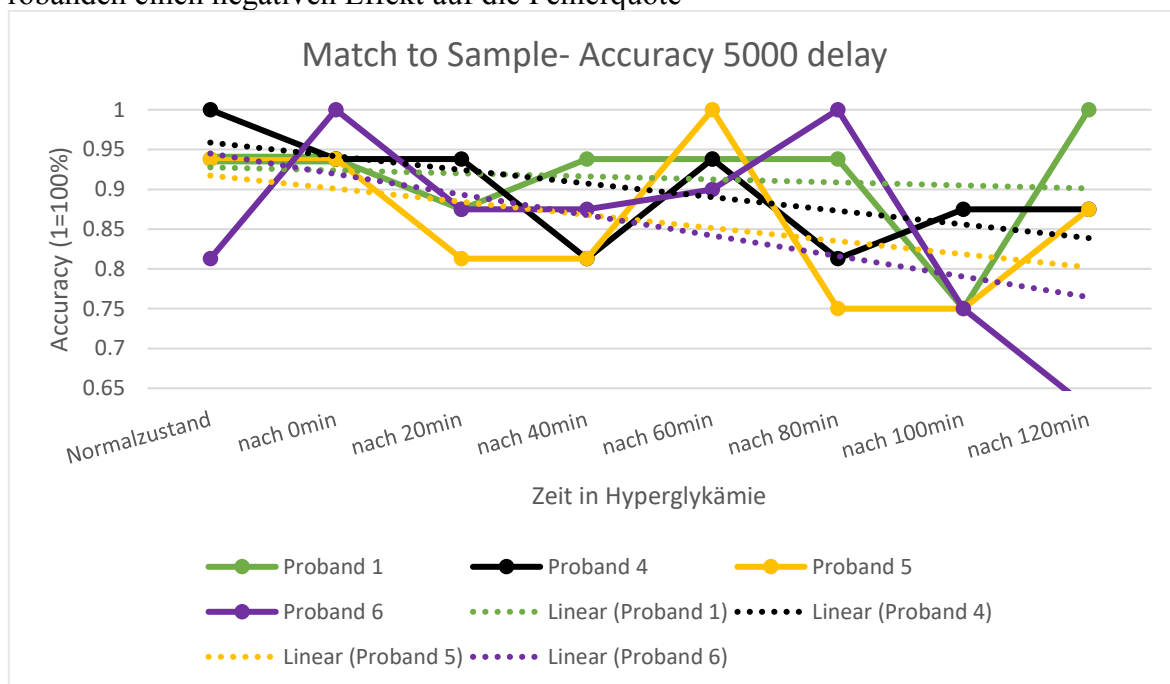


Abbildung 12: Resultat Match to Sample-Accuracy 5000 delay Gruppe 1

Gruppe 1: negativer Trend

Bei den Probanden 4, 5 und 6 zeigt die Trendlinie auf der Abbildung 12 stark nach unten. Generell sind bei allen 4 Probanden dieser Gruppe starke Schwankungen der Konzentration festzustellen. Über den gesamten Zeitraum jedoch betrachtet, liegt die Tendenz bei einer 18.9-prozentigen Abnahme. Bei Proband 1 ist zu erkennen, dass sich dieser vom Start bis nach 80 Minuten im Bereich von 0.85 bis 0.95 befindet und erst nach 100 Minuten eine starke Zunahme der Fehlerquote von 0.188 aufzeigt. Am Ende liegt die Genauigkeit bei 1. Proband 4 fängt fehlerlos an, jedoch lässt die Genauigkeit direkt nach und sinkt bis auf 0.813. Darauf folgen Schwankungen, wobei sich die Konzentration wieder verbessert und verschlechtert, bis sich in den letzten 20 Minuten die Konzentration bei 0.875 stabilisiert. Proband 5 startet mit konstanten Ergebnissen bei einer Genauigkeit von 0.938. Anschliessend sinkt diese auf 0.813. Nach einer starken Steigung auf 100% der Genauigkeit nach 60 Minuten folgt ein starker Abfall um 25% von 1 bis auf 0.75. Schlussendlich steigt die Genauigkeit auf 0.875, was nahe beim Mittelwert von 0.85 liegt. Proband 6 fängt mit einem auffallend tiefen Wert von 81.3% Richtigkeit an. Nach einem 100% Durchlauf sinkt der Wert auf 0.875, jedoch erholt sich dieser wieder und nach 80 Minuten liegt die Fehlerquote wieder bei 0. Daraufhin ist nach 100 Minuten ein markanter Sturz der Konzentration von 100% auf 75% Richtigkeit zu sehen und sinkt schlussendlich auf 62.5%. Dies ist eine Differenz von 0.375 in 40 Minuten.

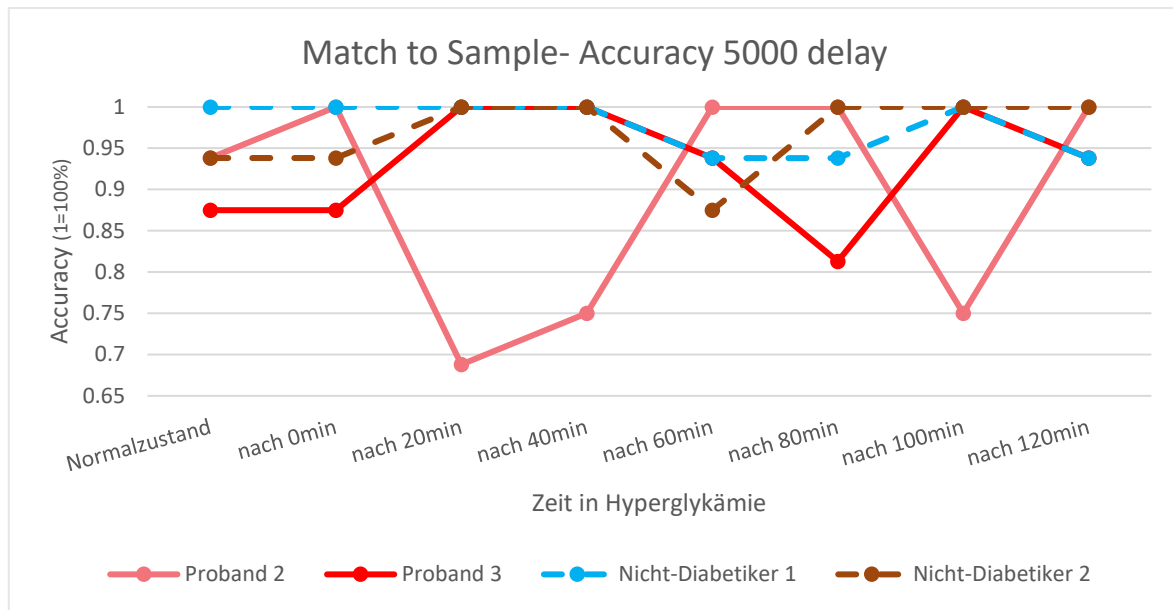


Abbildung 13: Resultat Match to Sample-Accuracy 5000 delay Gruppe 2

Gruppe 2: Kein negativer Trend erkennbar

In dieser Gruppe befinden sich lediglich 2 Probanden. Diese weisen über die ganze Zeitspanne gesehen einen leichten Anstieg auf. Bei Proband 2 sowie bei Proband 3 sind starke Schwankungen auf der Abbildung 13 ersichtlich. Proband 2 bewegt sich in einer Spanne zwischen 0.688 und 1. Es gibt Schwankungen von bis zu 0.322 zwischen zwei Werten. Über den ganzen Zeitraum ist ein Auf und Ab zu beobachten, wobei kein Muster oder Tendenz erkennbar ist. Die Genauigkeit bei Proband 3 steigt anfangs von 0.875 auf 1 nach 20 Minuten und bleibt dort weitere 20 Minuten. Anschliessend ist über 40 Minuten ein Fall in der Konzentration von 0.187 zu beobachten. Nach 100 Minuten ist die Erfolgsquote jedoch wieder bei 100% und schlussendlich bei 93.8%. Die beiden Nicht-Diabetiker zeigten keine grösseren Schwankungen und Veränderungen auf, wobei sich die Werte zwischen 0.875 und 1 befanden.

5.6.2.2 Choice Reaction Time - Accuracy

Auch für diesen Konzentrationstest wurden die Probanden in zwei Gruppen analog dem vorherigen Kapitel eingeteilt. Berechnungen zeigten bei 50% der Probanden negative Effekte.

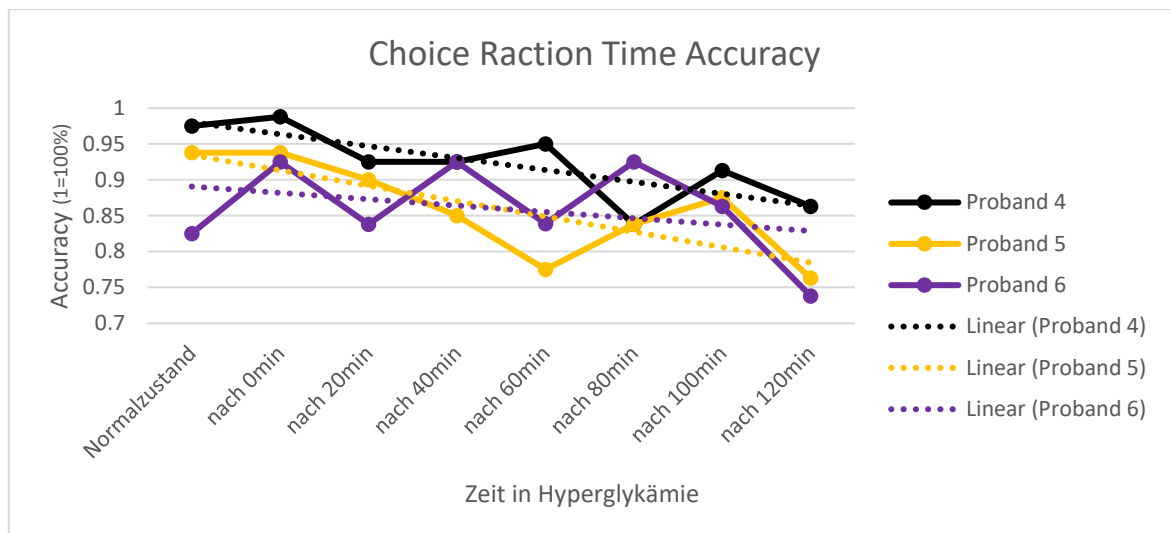


Abbildung 14: Choice Reaction Time Accuracy Gruppe 1

Gruppe 1: negativer Trend

In der ersten Gruppe, wo die Trendlinie nach unten zeigt, befinden sich wie bereits beim «Match to Sample» Konzentrationstest die Probanden 4, 5 und 6. Proband 1 wies keinen negativen Trend mehr auf. Die Abbildung 14 zeigt bei allen eine klare Tendenz nach unten. Vor allem bei Proband 6 schwanken die Werte zwischen 0.825 und 0.925 von Anfang an bis nach 80 Minuten kontinuierlich. Erst nach 80 Minuten ist ein starker Abfall der Genauigkeit zu beobachten und zwar von 0.925 auf 0.738 innerhalb 40 Minuten. Proband 5 zeigt in der ersten Stunde eine Senkung der Konzentration von anfänglich 0.938 bis auf 0.775 an. Anschliessend stiegen die Werte nach 100 Minuten wieder auf 0.875 an. Schlussendlich lag die Genauigkeit zum Versuchsende bei 0.763, was eine Differenz von 17.5% bezogen auf die initialen 93.6% des Probanden ausmacht. Nach 20 Minuten sind bei Proband 4 bereits mehr Fehler aufgetreten als in den ersten beiden Messdurchgängen mit einer Genauigkeit von 0.925. Anschliessend bleiben die Werte konstant und verbessern sich wieder leicht auf 0.95. Zwischen der 60. und der 80. Minute verschlechterte sich die Konzentration stark von 0.95 auf 0.838. Ähnlich wie bei Proband 5 steigt die Genauigkeit wieder auf 0.913. Am Ende sinkt diese wieder auf 0.863 ab, was eine Differenz von 0.112 zum ursprünglichen Wert ist.

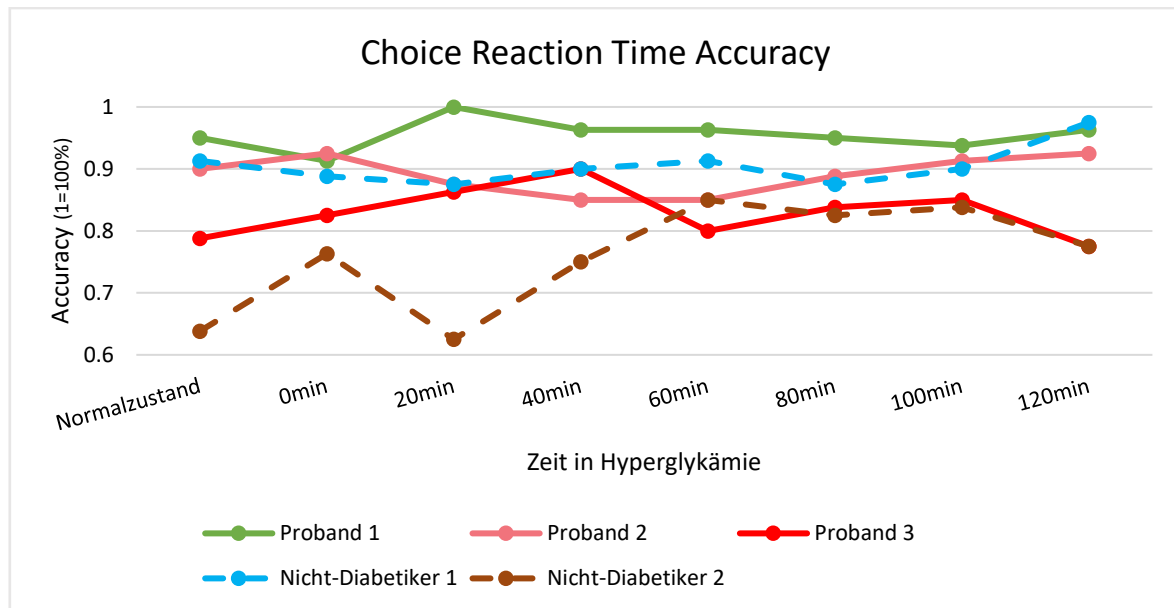


Abbildung 15: Choice reaction Time Accuracy Gruppe 2

Gruppe 2: kein negativer Trend erkennbar

In dieser Gruppe befinden sich die Probanden 1, 2 und 3. Sie zeigen eine flache Steigung auf, wie auf der Abbildung 15 zu beobachten ist, da bei ihnen die Differenzen der Anfangswerte und der Endwerte nur sehr klein sind. Bei Proband 1 kann anfangs zwar eine Verschlechterung der Konzentration um 0.037 festgestellt werden. Diese steigt jedoch nach 60 Minuten wieder auf 100% an und sinkt anschliessend nur sehr leicht, wobei die Werte ± 0.02 bei 0.95 liegen. Bei Proband 2 ist in der ersten Stunde der Hyperglykämie eine leichte Verschlechterung von 0.075 zu beobachten. In der zweiten Hälfte des Versuchs ist jedoch eine Verbesserung von anfangs 0.9 auf 0.925 ersichtlich. Proband 3 startet im Vergleich mit den anderen Probanden mit einer tiefen Genauigkeit von 0.788. Dieser verbessert sich in den ersten 40 Minuten auf 0.9. Anschliessend ist ein Abfall von 0.1 zu erkennen. Nach einer kurzen Verbesserung auf 0.913 zwischen der 60. und der 100. Minute liegt der Wert am Ende bei 0.775, was 0.013 tiefer ist als der Normwert. Nicht-Diabetiker 1 zeigt ein sehr flacher Graph auf mit einer Differenz von -0.558 zwischen dem Normalwert und dem Schlusswert. Hingegen zeigt Nicht-Diabetiker 2 eine starke Verbesserung der Konzentration auf von anfänglich 0.638 auf 0.775 am Ende.

6. Diskussion

Wie in den Resultaten beobachtet wurde, hat Proband 3 den Versuch nicht erfolgreich durchgeführt, jedoch wird dieser trotzdem in die Diskussion miteinbezogen, um einen Vergleich zu schaffen.

6.1 Überblick der einzelnen Tests

6.1.1 Blutzucker

Bis auf Proband 3 hatten alle Teilnehmer die gleiche Ausgangslage im Normalzustand und starteten mit einem Blutzucker zwischen 4 und 8 mmol/l. Der Blutzuckerspiegelanstieg zu Beginn des Versuchs ist damit zu erklären, dass die Probanden Glucose zu sich genommen haben. Da Diabetiker zu wenig Insulin produzieren, kann die Glucose von den Körperzellen nicht mehr ausreichend aufgenommen werden und somit steigt der Blutzucker (Becker, 2022). Britische Forscher haben jedoch bewiesen, dass der Körper Diabetes Typ 1 trotz jahrelanger Erkrankung noch körpereigenes Insulin in kleinen Mengen produzieren kann. Dies kann ein Grund sein, dass der Blutzucker bei den Meisten gegen Ende des Versuchs wieder leicht sinkt (Hess, 2013).

Proband 3 startete den Versuch mit 10.5 mmol/l, da sein Blutzuckersensor nicht funktionierte und er darum seinen Blutzucker nicht korrigieren konnte. Sein Blutzuckerspiegel stieg nicht gleich schnell wie bei den anderen an. Ein Erklärungsgrund dafür könnte sein, dass der Blutzucker von jedem Menschen unterschiedlich auf eine Glucoseaufnahme reagiert. Dies ist aufgrund von unterschiedlichem Insulinbedarf, da β -Zellen noch teilweise Insulin produzieren (Deutsche Diabetes Gesellschaft e.V. (DDG), 2018).

Des Weiteren ist nicht bekannt, ob der Proband vor dem Versuch irgendwelche körperliche Aktivitäten unternommen hat, was gegen die Glucoseaufnahme wirken würde (Becker, 2022). Bei den Nicht-Diabetikern steigen die Blutzuckerwerte leicht bis gar nicht an, da bei Ihnen die Insulinproduktion im Pankreas normal funktioniert und ihre Insulinrezeptoren nicht resistent gegen Insulin sind.

6.1.2 Ketonkörper

Alle Probanden und Nicht-Diabetiker 2 starten mit einem Ketonkörper Gehalt von 0.1 mmol/l im Blut. Es ist normal einen tiefen Gehalt an Ketonkörper zu haben, da der Körper Fett abbauen kann und so Ketone entstehen können (Diabetes.co.uk, 2023). Der Blutketone-Gehalt sollte jedoch unter 0.6 mmol/l liegen (Abbot Diabetes Care Ltd., 2019).

Dieser tiefe Gehalt an Ketonen kann zum Beispiel durch das Fehlen von Glucose, beim Fasten oder mangelnder Kohlenhydrateinnahme entstehen (Sung-Bin, 2017).

Proband 1 und 4 zeigen einen Anstieg der Ketone nach 60 Minuten an. Ein möglicher Grund könnte sein, dass der Körper kein Insulin mehr bekommt. Da Glucose nicht mehr zur Verfügung steht, wird Fett verbraucht, um Energie zu gewinnen. Folglich entstehen Ketone. Dies passiert eigentlich frühstens nach 24 Stunden, insofern der Blutzucker konstant über 13mmol/l ist. Wenn aber ein Anstieg des Blutzuckers über 17 mmol/l zu verzeichnen ist, können sich Ketone schon früher bilden, was hier aber nur bei Proband 4 der Fall ist. Bei Proband 1 ist es wahrscheinlicher, dass der Anstieg vom Ketongehalt einen natürlichen Grund hat. Da die Werte tief sind, hat er möglicherweise zu lange keine Kohlenhydrate gegessen (Diabetes.co.uk, 2023). Bei Proband 4 sinkt der Ketonkörpergehalt nach 120 Minuten wieder auf 0.1 mmol/l. Dies könnte aufgrund des Blutzuckers sein, der nach 120 Minuten wieder unter 17mmol/l sinkt, nämlich auf 15.8 mmol/l. Die restlichen Probanden zeigen keine Veränderung auf. Vermutlich weil sie nur kurze Zeit in der Hyperglykämie waren.

Die Nicht-Diabetiker zeigen Werte von 0 bis 0.1 mmol/l, was in der Norm liegt.

Generell muss gesagt werden, dass alle Werte der Probanden in der Norm unter 0.6 mmol/l liegen (Abbot Diabetes Care Ltd., 2019).

6.1.3 Sehschärfe

Es ist bekannt, dass ein schneller Anstieg des Blutzuckerspiegels einen Einfluss auf die Sehschärfe haben kann. So ist es beim Versuch dieser Arbeit der Fall. Durch die Glucoseaufnahme steigt der Blutzucker rasch an, welches sich anschliessend auf die Form der Augenlinse auswirken kann. Daraus kann folglich eine verschwommene Sicht resultieren (Lazarus, 2020). Aufgrund eines gestörten Blutzuckerspiegels kann es zu einer Elektrolyten¹⁷ Verschiebung in der Augenlinse führen, was zu einer Quellung und Degenation der Linsenfasern führt (Dr. Frank Antwerpes, 2020).

6.1.4 Herzfrequenz

Der Ausreisser von Proband 2 nach 0 Minuten ist darauf zurückzuführen, dass der Proband kurz vor der Messung auf die Toilette ging und sich darum bewegen musste. Folglich konnte nicht sein Ruhepuls, sondern ein leicht erhöhter Puls gemessen werden.

Ein möglicher Erklärungsgrund der stabilen Herzfrequenzen ist, dass der Dehydrationsvorgang, der durch eine Hyperglykämie verursacht wird, noch nicht genug fortgeschritten ist. Daher kann die Dehydration die Herzfrequenz nicht beeinflusst haben (Austin, 2023) (Diabetes.co.uk, 2019).

6.1.5 Blutdruck

Oftmals sind Diabetiker einem erhöhten Risiko von Bluthochdruck ausgesetzt. Dies ist aber meistens erst der Fall, wenn dem Körper enorm viel Insulin injiziert wird, als ein normaler Mensch produzieren würde. Das ist vor allem bei Diabetes Typ 2 Patienten der Fall. Ausserdem kann ein tiefer Blutzuckerspiegel einen steigenden Blutdruck verursachen. Auf der anderen Seite kann ein tiefer Blutdruck einen Blutzuckeranstieg auslösen. In den Resultaten ist festzustellen, dass vor allem der zu tiefe Blutzuckerspiegel nicht der Grund sein kann. Einzelne Werte des Blutdruckes der Probanden sind leicht tiefer, dies scheint jedoch nicht tief genug zu sein, um einen Einfluss auf den Blutzucker zu haben, da wir keine Unterschiede zu den Probanden mit konstanten Werten sehen (M.D, 2022).

Erwähnenswert, aber beim Versuch nicht relevant, ist, dass Ketonkörper eine blutdrucksenkende Wirkung zeigen. Da jedoch in den Resultaten festgestellt wurde, dass nur sehr wenig Ketonkörper gebildet wurden und dies klar in der Norm liegt, kann dieser Faktor ausgeschlossen werden (Martin, 2018).

Des Weiteren kann eine Dehydrierung zur Folge tragen, dass der Blutdruck sinkt, welches die einzelnen tiefen Werte erklären könnte (Vieira, 2021).

Jedoch muss nicht vergessen werden, dass der Blutdruck schwanken kann und das gelegentlich tiefe Werte natürlich sind. Die Nicht-Diabetiker zeigen konstant in der Norm liegenden Werte auf und es sind darum auch keine Veränderungen im Blutzucker zu sehen.

6.1.6 Kognitive Fähigkeiten

6.1.6.1 Reaktionszeit

Die zwischenzeitlichen Schwankungen der Reaktionszeit könnten auf natürliche Ursachen zurückgeschlossen werden, da sie auch bei den Nicht-Diabetikern zu sehen sind. Es kann sein, dass gewisse Faktoren wie Geräusche aus der Umgebung die Konzentration gestört haben. Zusätzlich könnte Müdigkeit eine Rolle gespielt haben, weil der Versuch jeweils im späteren Nachmittag stattgefunden hat und der Versuch zwei Stunden gedauert hat, was sich möglicherweise auch bei der Konzentration bemerkbar gemacht hat. Schnellere Reaktionszeiten einzelner Probanden können durch eine erhöhte Verfügbarkeit von Glucose im

¹⁷Stoffe in wässriger Lösung, die Strom leiten können z.B. Kalium (Lena Machetanz, 2021)

Gehirn begründet werden. Folglich kann das Gehirn Informationen schneller verarbeiten, was in schnelleren Reaktionszeiten resultiert (D S Owens, 1994).

Jedoch wird eine Hyperglykämie auch mit Konzentrationsstörungen in Verbindung gebracht, welches sich auf eine Verlangsamung kognitiven Leistung auswirken kann. Ein ähnlicher Versuch von amerikanischen Wissenschaftlern von der «University of Virginia» zeigten sehr ähnliche Resultate, wie die von Kapitel 5.6.1. Auch Sie führten eine Art «Choice Reaction» Test durch, welcher ebenfalls keine signifikante Verlangsamung der Reaktion zeigte. In anderen psychomotorischen Tests waren jedoch Verlangsamungen der kognitiven Leistung erkennbar. Der rasante Anstieg der Reaktionszeit von Nicht-Diabetiker 2 zu Beginn kann damit erklärt werden, dass dieser vermutlich einen zweiten Durchgang brauchte, um das Prinzip des Tests zu verstehen (Daniel J. Cox, et al., 2005).

6.1.6.2 Konzentration

Konzentrationsstörungen treffen häufig bei Hyperglykämien auf, welches die vielen Schwankungen in den Konzentrationstest erklären könnte. Wie bei der Reaktionszeit bereits erwähnt, wurde von amerikanischen Wissenschaftlern ein ähnlicher Versuch durchgeführt. Dieser zeigte, wie auch im Kapitel 5.6.2, sehr unterschiedliche Ergebnisse, wobei ungefähr 50% der Probanden negative Effekte bezüglich kognitiver Fähigkeiten aufzeigten. So traten auch vermehrt Fehler in den jeweiligen Tests auf, was auch auf den Versuch dieser Arbeit zutrifft. Des Weiteren ist keine lineare Beziehung zum Blutzucker erkennbar. Die Studie besagt, dass erst bei einem Schwellenwert von 15 mmol/l kognitive Störungen in der Hyperglykämie auftreten können (Daniel J. Cox, et al., 2005).

6.2 Hypothesen

Die erste Hypothese drückt aus, dass sich eine Überzuckerung auf gesundheitliche Werte wie Puls, Blutdruck, Sehschärfe und Ketonkörperbildung innerhalb von zwei Stunden auswirkt. Die Hypothese kann für Ketonkörper, Herzfrequenz und Blutdruck widerlegt werden, da sich die Resultate während der Hyperglykämie kaum unterscheiden von den Normalwerten, wie in den Abbildungen 5, 7, 8 und 9 zu sehen ist. Hingegen sind bei der Sehschärfe in Abbildung 6 klare Verschlechterungen zu erkennen, wie im Kapitel 5.3 beobachtet wurde und im Kapitel 6.1.3 diskutiert wurde. Die Nicht-Diabetiker zeigen bei allen Parametern keine auffälligen Veränderungen auf. Somit kann die Hypothese nur bezüglich der Sehschärfe verifiziert werden.

Die zweite Hypothese behauptet, dass sich die Hyperglykämie schon während zwei Stunden auf Reaktionszeit und Konzentration auswirkt. Wie im Kapitel 5 beobachtet, werden bei ungefähr 50% der Probanden Veränderungen bezüglich der Konzentration festgestellt. Es sind vermehrt Fehler festzustellen, wie beim Verlauf der Graphen bei den Abbildungen 12 bis 15 zu sehen sind und im Kapitel 6.1.6.2 mögliche Erklärungen gegeben wurden.

Hingegen sind keine klaren Veränderungen betreffend der Reaktionszeit zu erkennen, wie in den Resultaten 5.6.1 beobachtet worden ist. Die Nicht-Diabetiker zeigen im Vergleich zu den Diabetikern konstante Resultate auf bis auf den «Choice Reaction Time Accuracy» Test von Nicht-Diabetiker 2. Die Hypothese kann also bezüglich der Konzentration verifiziert werden und bezüglich Reaktionszeit falsifiziert werden.

Die dritte Hypothese sagt aus, dass sich die Hyperglykämie während zwei Stunden unterschiedlich auf den Puls, den Blutdruck, die Sehschärfe und die Bildung von Ketonkörper von Diabetes Typ 1 Patienten auswirkt. Diese kann anhand der Resultate der Kapitel 5.2, 5.3 und 5.6 teilweise bestätigt werden. Bei den Diagrammen der Herzfrequenz und des Blutdruckes sehen die Graphen der Probanden relativ ähnlich, ohne grosse Schwankungen, aus, wie in den Kapitel 5.4 und 5.5 beschrieben. Hingegen sind in den Kapitel 5.2, 5.3 und 5.6 klare

Unterschiede in Ketonkörper, Sehschärfe und kognitive Fähigkeiten zwischen den einzelnen Diabetikern zu erkennen, wie auf den Graphen der Abbildungen 5, 6 und 10 bis 15 zu sehen ist. Die beiden Nicht-Diabetiker zeigen kleine bis keine Unterschiede auf, wie im Kapitel 5 beobachtet wurde. Deswegen kann die Hypothese nur bezüglich Ketonkörper, Sehschärfe und kognitiven Fähigkeiten verifiziert werden.

6.3 Mögliche Fehlerquellen

Generell muss gesagt werden, dass der Versuch von vielen Faktoren beeinflusst werden kann, die jedoch nicht alle in Betracht gezogen werden können. Beispielsweise ist es schwierig einzuschätzen, wie viel aktives Insulin der Körper zur Zeit des Versuchs noch im Körper hatte. Dieses könnte sich nämlich noch auf den Verlauf des Blutzuckers auswirken. Schnell wirkendes Insulin kann nach Abgabe zwischen drei bis fünf Stunden wirken. Hingegen Langzeitinsulin kann bis zu 20 bis 40 Stunden nach Abgabe wirken, ständig abhängig von der Dosis (Brutsaert, MSD Manual, 2022).

Der Blutdruck und die Herzfrequenz wurden mit einem digitalen Blutdruckmessgerät am Handgelenk gemessen. Diese Handgelenkmessgeräte sind weniger zuverlässig als herkömmliche am Arm (Diener, 2019).

Bezüglich den Reaktions- und Konzentrationstest kann zusätzlich die Müdigkeit eine Rolle gespielt haben, da der Versuch bei den meisten am späteren Nachmittag durchgeführt worden ist und über zwei Stunden dauerte.

7. Nachwort

Diese Maturaarbeit zu realisieren war einerseits sehr spannend, lehrreich und hat mir eine grosse Freude bereitet. Andererseits hat es mich sehr viele Nerven, Zeit und Geduld gekostet. Ich habe meine Krankheit besser kennengelernt und verstanden, was mir dabei hilft meinen Körper besser zu verstehen. Zudem zeigte es mir, was es bedeutet, eine wissenschaftliche Arbeit zu schreiben. Nicht nur wie eine solche Arbeit verfasst wird, sondern auch wie viele Recherchen dazu gehören. Dabei habe ich gelernt, mit Rückschlägen, Hindernissen und einer gewissen Verzweiflung umzugehen. Ein grosser Aspekt bildete die Organisation und die Zeitplanung. Auch wenn es insgesamt nur 8 Probanden waren, war es eine Herausforderung diese zu rekrutieren, zu koordinieren und ihre Sicherheit und Gesundheit zu gewährleisten.

7.1 Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei meiner Betreuerin Frau Schwesternmann Carmen bedanken, die mich bei der ganzen Arbeit und mit dem praktischen Versuch mit Ratschlägen, Gesprächen und Tipps unterstützt hat. Einen grossen Dank geht an Herr Dr. Jean-Marc Vuissoz, der mich beim Erschliessen des Themas fachlich sehr kompetent unterstützt hat. Des Weiteren danke ich herzlich Frau Dr. Caroline Christen Bühler sowie Frau Wellig Marianne, die mir das Material zur Durchführung des Versuchs bereitgestellt haben. Zusätzlich überprüften Sie die Sicherheit des Versuchs und waren während den Versuchen stets auf Bereitschaft, um bei Komplikationen sofort eingreifen zu können. Nicht zu vergessen sind die 8 Probanden, die sich bereit erklärt hatten, bei diesem Versuch mitzuwirken und teilweise bis zu 4 Stunden zur Verfügung standen.

8. Literaturverzeichnis

- Abbot Diabetes Care Ltd. (2019). *freestyleserver*. Abgerufen am 9. November 2023 von https://freestyleserver.com/Payloads/IFU/2020/q2/ART40988-002_rev-A-Web.pdf
- AOK. (12. April 2023). *aok.de*. Abgerufen am 20. November 2023 von <https://www.aok.de/pk/magazin/koerper-psyche/immunsystem/was-ist-eine-autoimmunerkrankung/>
- Apotheken-Umschau. (1. März 2016). *Apotheken-umschau.de*. Abgerufen am 17. November 2023 von <https://www.apotheken-umschau.de/krankheiten-symptome/diabetes/lexikon/langerhans-inseln-inselzellen-809413.html>
- Apotheken-Umschau. (4. April 2017). *Apotheken Umschau*. Abgerufen am 8. November 2023 von <https://www.apotheken-umschau.de/diagnose/laborwerte/laborwerte-hba1c-811345.html>
- Apotheken-Umschau. (3. Januar 2019). *Apotheken-Umschau*. Abgerufen am 7. November 2023 von <https://www.apotheken-umschau.de/mein-koerper/gehirn-und-gedaechtnis/die-blut-hirn-schranke-721023.html>
- Augenheilkunde, Lasik Care. (15. April 2016). *Lasik Care*. Abgerufen am 14. September 2023 von <https://www.lasikcare.de/blog/die-messung-der-sehschaerfe-optotypen/>
- Augentraining Forum. (29. Mai 2007). *Augen-training.com*. Abgerufen am 16. November 2023 von <http://www.augen-training.com/resources/file/8?sid=74c2d865699e40501805cbba1a535245>
- Austin, D. (12. April 2023). *USA today*. Abgerufen am 5. Oktober 2023 von <https://eu.usatoday.com/story/life/health-wellness/2023/04/12/can-dehydration-cause-high-blood-pressure/11634018002/>
- Bachmann, D. m. (16. Juli 2019). *Herbano*. Abgerufen am 3. Oktober 2023 von <https://herbano.com/ch/ratgeber/dehydrierung-diabetes>
- Ballwieser, D. D. (18. August 2023). *Apotheken-Umschau.de*. Abgerufen am 20. November 2023 von <https://www.apotheken-umschau.de/krankheiten-symptome/diabetes/lexikon/beta-zellen-810087.html>
- Becker, D. U. (9. November 2022). *diabinform*. Abgerufen am 14. September 2023 von <https://www.diabinform.de/leben/typ-1-diabetes/diabetes-im-alltag/sport.html#:~:text=Individueller%20Blutzuckerverlauf%20je%20nach%20Sportart&text=Ausdauersportarten%20wie%20Laufen%2C%20Radfahren%20oder,Kraft%2D%20oder%20Sprintsportarten%20vor%3%BCbergehen>
- Befunddolmetscher. (23. August 2016). *Befunddolmetscher*. Abgerufen am 23. November 2023 von <https://befunddolmetscher.de/persistierend>
- Betterview. (9. Mai 2022). *Betterview*. Abgerufen am 17. November 2023 von <https://betterview.ch/de/blog/dioptrien/>
- Breitenbach, E. (22. Mai 2020). *Praxis-Foerderlichediagnostik.de*. Abgerufen am 15. November 2023 von <https://www.praxis-foerderdiagnostik.de/arbeitsgedaechtnis/>
- Brutsaert, E. F. (Oktober 2022). *MSD Manual*. Abgerufen am 25. September 2023 von <https://www.msdmanuals.com/de/heim/hormon-und-stoffwechselerkrankungen/diabetes-mellitus-dm-und-st%C3%B6rungen-des-blutzuckerstoffwechsels/medikament%C3%B6se-behandlung-von-diabetes-mellitus>
- Brutsaert, E. F. (Oktober 2023). *MSD Manual*. Abgerufen am 7. November 2023 von <https://www.msdmanuals.com/de/heim/hormon-und-stoffwechselerkrankungen/diabetes-mellitus-dm-und-st%C3%B6rungen-des-blutzuckerstoffwechsels/diabetische-ketoazidose>
- Bürki, D. m. (Oktober 2008). *docplayer*. Abgerufen am 20. November 2023 von <https://docplayer.org/8145718-Diabetes-und-auge-am-auge-kann-die-zuckerkrankheit-folgende-veraenderungen-ausloesen.html>

- D S Owens, D. B. (1994). *PubMed*. Abgerufen am 2. Oktober 2023 von <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7800156/>
- Daniel J. Cox, P., Boris P. Kovatchev, P., Linda A. Gonder-Frederick, P., Kent H. Summers, P., Anthony McCall, M. P., Kevin J. Grimm, M., & William L. Clarke, M. (Januar 2005). *diabetesjournals.org*. Abgerufen am 14. September 2023 von <https://diabetesjournals.org/care/article/28/1/71/25875/Relationships-Between-Hyperglycemia-and-Cognitive>
- Debrowski, A. (12. November 2020). *All about vision*. Abgerufen am 3. Oktober 2023 von <https://www.allaboutvision.com/eye-care/eye-health/diabetes-blurry-vision/>
- Deutsche Diabetes Gesellschaft e.V. (DDG). (2018). *AMWF*. Abgerufen am 27. September 2023 von https://register.awmf.org/assets/guidelines/057-013m_S3-Therapie-Typ-1-Diabetes_2018-04.pdf
- Diabetes.co.uk. (15. Januar 2019). *Diabetes.co.uk*. Abgerufen am 14. September 2023 von <https://www.diabetes.co.uk/dehydration-and-diabetes.html#insipidus>
- Diabetes.co.uk. (25. Januar 2023). *Diabetes.co.uk*. Abgerufen am 15. November 2023 von <https://www.diabetes.co.uk/diabetes-and-ketones.html>
- Diener, E. (23. Oktober 2019). *Medinside Medinside*. Abgerufen am 25. September 2023 von <https://www.medinside.ch/post/acht-von-zwoelf-blutdruckmessgeraeten-sind-ungenau>
- Dr. Frank Antwerpes, B. F. (18. August 2020). *flexikon.doccheck.com*. Abgerufen am 14. September 2023 von https://flexikon.doccheck.com/de/Cataracta_diabetica
- FETeV Redaktion. (3. Juli 2022). *Fachgesellschaft für Ernährungstherapie und Prävention e.V.* Abgerufen am 8. November 2023 von <https://fet-ev.eu/insulin-blutzuckerspiegel/>
- Hess, v. G. (16. Oktober 2013). *diabetologie-online*. Abgerufen am 14. September 2023 von <https://www.diabetologie-online.de/a/viele-typ-diabetiker-produzieren-auch-jahre-nach-erkrankungsbeginn-noch-insulin-1601798>
- Lazarus, D. R. (23. September 2020). *Optometrists*. Abgerufen am 15. November 2023 von <https://www.optometrists.org/general-practice-optometry/guide-to-eye-conditions/guide-to-diabetes-and-the-eyes/why-does-diabetes-cause-blurry-vision/>
- Lena Machetanz, E. R.-M. (4. Oktober 2021). *Netdoktor.ch*. Abgerufen am 20. November 2023 von <https://www.netdoktor.ch/laborwerte/elektrolyte/>
- Leyh, A. (9. September 2011). *DasGehirn.info*. Abgerufen am 17. November 2023 von https://www.dasgehirn.info/grundlagen/anatomie/der-parietallappen?gclid=EAIaIQobChMIwPu5t4qs3AIVAQAAAB0BAAAAEAAYACA AEgJVzfD_BwE
- M.D, E. C. (10. Februar 2022). *HealthCentral*. Abgerufen am 14. September 2023 von <https://www.healthcentral.com/condition/diabetes/can-blood-sugar-affect-blood-pressure>
- Martin, S. (24. Oktober 2018). *ÄrzteZeitung*. Abgerufen am 14. September 2023 von <https://www.aerztezeitung.de/Medizin/Ketonkoerper-Vom-Feind-zum-fleissigen-Helfer-bei-der-Praevention-310022.html>
- MSc, G. A. (16. August 2017). *MeinMed.at*. Abgerufen am 15. November 2023 von <https://www.meinmed.at/krankheit/hyperglykaemie/1658#definition-42843>
- Neurobehavioral Systems, Inc. (2015). Psych Lab 101. Abgerufen am 15. November 2023 von <https://apps.apple.com/us/app/psych-lab-101/id1014084546>
- Püschel, D. G. (10. Dezember 2022). *Thieme via medici*. Abgerufen am 2. Oktober 2023 von <https://viamedici.thieme.de/lernmodul/548738/538879/ketonk%C3%B6rper>
- Redaktion Gesundheitsportal. (27. November 2020). *Geshundheit.gv.at*. Abgerufen am 19. November 2023 von <https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/infektionen-bakterien/interleukin-6.html>
- Rothberg, J. (29. September 2023). *Apotheken-umschau.de*. Abgerufen am 17. November 2023 von <https://www.apotheken-umschau.de/krankheiten/diabetes/diabetisches->

- koma-id215971/thecken-umschau.de/krankheiten-symptome/diabetes/lexikon/diabetisches-koma-809505.html
- Schäffler, D. m. (10. Oktober 2019). *Apotheken.de*. Abgerufen am 20. November 2023 von <https://www.apotheken.de/krankheiten/5806-austrocknung>
- Stanley Oiseth, L. J. (3. Mai 2023). *lecturio*. Abgerufen am 17. November 2023 von <https://www.lecturio.de/artikel/medizin/>
- Stiftung Gesundheitswissen. (7. August 2023). *Stiftung Gesundheitswissen*. Abgerufen am 7. November 2023 von <https://www.stiftung-gesundheitswissen.de/gesund-leben/koerper-wissen/was-ist-eine-magnetresonanztomographie-mrt>
- Studyflix. (24. März 2021). *Studyflix*. Abgerufen am 7. November 2023 von <https://studyflix.de/biologie/neurotransmitter-2837>
- Sung-Bin. (29. September 2017). *drpetrabracht.de*. Abgerufen am 5. Oktober 2023 von <https://www.drpetrabracht.de/blog/fasten-ernaehrung-gewicht/ketone/>
- Thiel, A. (19. März 2019). *MedicalTribune*. Abgerufen am 2. Oktober 2023 von <https://www.medical-tribune.de/medizin-und-forschung/artikel/wie-reagiert-das-gehirn-auf-hypo-und-hyperglykaemien>
- Umschau-Apotheken. (7. November 2017). *Apotheken-Umschau*. Abgerufen am 7. November 2023 von <https://www.apotheken-umschau.de/krankheiten-symptome/diabetes/lexikon/ketonkoerper-809489.html>
- Vieira, G. (28. Oktober 2021). *beyond type 1*. Abgerufen am 10. September 2023 von <https://beyondtype1.org/dehydration-blood-sugar/>
- Visusvital. (9. Juni 2023). *Visusvital.de*. Abgerufen am 19. November 2023 von <https://www.visusvital.de/das-auge/die-netzhaut>

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: FreeStyle Libre Messgerät *	8
Abbildung 2: Abbot FreeStyle Precision β -Ketoneteststreifen *	8
Abbildung 3: Medisana, Blood Pressure Monitor HGH *	9
Abbildung 4: Resultat Blutzuckerspiegel *	12
Abbildung 5: Resultat Ketonkörper *	13
Abbildung 6: Resultat Sehschärfe *	14
Abbildung 7: Resultat Herzfrequenz *	15
Abbildung 8: Resultat systolischer Blutdruck *	16
Abbildung 9: Resultat diastolischer Blutdruck *	16
Abbildung 10: Resultat Choice Reaction Time *	17
Abbildung 11: Resultat Match to Sample Reaction time *	18
Abbildung 12: Resultat Match to Sample-Accuracy 5000 delay Gruppe 1 *	19
Abbildung 13: Resultat Match to Sample-Accuracy 5000 delay Gruppe 2 *	20
Abbildung 14: Choice Reaction Time Accuracy Gruppe 1 *	21
Abbildung 15: Choice reaction Time Accuracy Gruppe 2 *	22
Abbildung 16: Snellen Sehtafel 1. Teil ¹⁸	41
Abbildung 17: Snellen Sehtafel 2. Teil ¹⁸	42
Abbildung 18: Psych Lab 101 App Logo ¹⁹	43
Abbildung 19: Psych Lab 101 Bild 1 ¹⁹	43
Abbildung 20: Psych Lab 101 Bild 2 ¹⁹	43
Abbildung 21: Psych Lab 101 Bild 3 ¹⁹	43
Abbildung 22: Psych Lab 101 Bild 4 ¹⁹	44
Abbildung 23: Psych Lab 101 Bild 5 ¹⁹	44
Abbildung 24: Psych Lab 101 Bild 6 ¹⁹	44

*Diese Abbildungen stammen vom Autor Robin Hildbrand

¹⁸ Sehtafel Snellen 2-teilig zum Ausdrucken mit Visus (Augentraining Forum, 2007)

¹⁹ Screenshot aus der «Psych Lab 101» App (Neurobehavioral Systems, Inc., 2015)

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Testergebnisse Proband 1	33
Tabelle 2: Testergebnisse Proband 2	34
Tabelle 3: Testergebnisse Proband 3	35
Tabelle 4: Testergebnisse Proband 4	36
Tabelle 5: Testergebnisse Proband 5	37
Tabelle 6: Testergebnisse Proband 6	38
Tabelle 7: Testergebnisse Nicht-Diabetiker 1	39
Tabelle 8: Testergebnisse Nicht-Diabetiker 2	40
Tabelle 9: Gesundheitsumfrage der Probanden	45
Tabelle 10: Gesamtergebnisse Blutzucker	50
Tabelle 11: Gesamtergebnisse Ketonkörper	50
Tabelle 12: Gesamtergebnisse Sehschärfe	50
Tabelle 13: Gesamtergebnisse Herzfrequenz	51
Tabelle 14: Gesamtergebnisse Blutdruck	51
Tabelle 15: Gesamtergebnisse Choice reaction Time Avg. Rt ms	52
Tabelle 16: Gesamtergebnisse Choice Reaction Time Accuracy	52
Tabelle 17: Gesamtergebnisse Match to Sample Avg. RT ms 5000 delay	52
Tabelle 18: Gesamtergebnisse Match to sample Accuracy 5000 delay	53

Alle Tabellen stammen vom Autor Robin Hildbrand

11. Anhang

Anhang 1

Proband ID: 1
Datum Versuch: 22.06.2023

Zeit min	Choice Reaction Time - Avg RT ms	Choice Reaction Time - Accuracy	Match to sample Avg RT ms 1000 delay	Match to sample Avg RT ms 5000 delay	Match to Sample- Accuracy 1000 delay	Match to Sample- Accuracy 5000 delay	Sehschärfe VISION	Blutdruck (mmHg)	Puls (bpm)	Ketone (mmol/l)	Wohlbefinde n(1-10)	Symptome	Blutzucker
Normzustand	351,282	0.95	962	980.625	0.813	0.938		1 109/86	87	0.1	10		5.9
0min	343,43	0.913	959.8	784.75	0.813	0.938		1 108/66	133		8	Durst	14.2
20min	348,475	1	707	959.375	1	0.875		1 116/62	63		7	Durst, leichte Krämpfe	15.5
40min	365,449	0.963	734	919.8	1	0.938		1 112/76	79		7	Durst, leichte Krämpfe	15.1
60min	330,633	0.963	694.188	830.25	0.875	0.938		1 119/61	67	0.2	6	Durst, leichte Krämpfe, müder, wie ein wenig	15.9
80min	345,052	0.95	836.063	1183.563	0.938	0.938		1 111/66	75		5	Durst, leichte Krämpfe, müder, wie ein wenig	15.8
100min	340,91	0.938	858.375	1233.875	0.938	0.75		1 111/63	59		5	Durst, leichte Krämpfe, müder, wie ein wenig	15.9
120min	335.85	0.963	907.25	990.5	0.938	1		1 112/64	54	0.3	5	Durst, leichte Krämpfe, müder, wie ein wenig	15.8

Tabelle 1: Testergebnisse Proband 1

Proband ID: 2
Datum Versuch: 27.06.2023

Zeit min	Choice Reaction Time - Avg RT ms	Choice Reaction Time - Accuracy	Match to sample Avg RT ms 1000 delay	Match to sample Avg RT ms 5000 delay	Match to Sample- Accuracy 1000 delay	Match to Sample- Accuracy 5000 delay	Sehschärfe VISION	Blutdruck (mmHg)	Puls (bpm)	Ketone (mmol/l)	Wohlbefinde n(1-10)	Symptome	Blutzucker
Normzustand	349.844	0.9	1206.333	1714.75	0.938	0.938	1 1	114/77	96	0.1	10	/	7.2
0min	333.759	0.925	946.5	1148.25	0.938	1	0.9	106/68	93	/	10	/	13.9
20min	338.662	0.875	1021.25	1584.563	1	0.688	1	89/62	89	/	10	n kann sich weniger konzentriere	14.7
40min	341.64	0.85	992.125	1257.625	0.938	0.75	0.9	96/68	80	/	10	n kann sich noch weniger konzentriere	15.4
60min	334.534	0.85	1233.15	1602.25	1	1	0.8	105//64	91	0.1	10	trockene Lippen	15.3
80min	322.278	0.888	1304.4	1294.75	0.938	1	(0.7)/0.8	95/61	90	/	10	/	15.5
100min	334.705	0.913	1345.2	1817.75	0.938	0.75	0.8	101/64	77	/	10	müde, schwere Augen, allgemein	15
120min	328.2	0.925	941.875	1243.063	1	1	0.7	104/67	90	0.1	10	/	14.2

Tabelle 2: Testergebnisse Proband 2

Proband ID: 3
Datum Versuch: 07.07.2023

Zeit in min	Choice Reaction Time - Avg RT ms	Choice Reaction Time - Accuracy	Match to sample Avg RT ms 1000 delay	Match to sample Avg RT ms 5000 delay	Match to Sample- Accuracy 1000 delay	Match to Sample- Accuracy 5000 delay	Sehschärfe VISION	Blutdruck (mmHg)	Puls (bpm)	Ketone (mmol/l)	Wohlbefinde n(1-10)	Symptome	Blutzucker
Normzustand	384.797	0.788	2255.274	1824.375	0.75	0.875	1	1131/68	60	0.1	10 /		10.5
0min	373.904	0.825	1986.375	2343.25	0.938	0.875	1	1112/63	70 /		10 /		13.4
20min	387.873	0.863	2171.867	1892.875	0.875	1	1	1115/64	84 /		10 /		12.6
40min	370.554	0.9	1931.813	1958.75	0.875	1	101.01.2002	116/64	65 /		10 /		14.9
60min	359.514	0.8	1798	1740.12	0.875	0.938	1	1118/55	68	0.1	10 /		19
80min	370.957	0.838	1981.4	1890.4	0.875	0.813	1	1126/65	61 /		10 Handräng		23
100min	356.176	0.85	1438.313	2204.125	0.938	1	0.9	129/60	57 /		10 /		21.8
120min	348.152	0.775	1470.313	1942.625	0.938	0.938	0.9	126/45	57	0.1	10 /		17.2

Tabelle 3: Testergebnisse Proband 3

Proband ID: 4
Datum Versuch: 27.06.2023

Zeit in min	Choice Reaction Time -Avg RT ms	Choice Reaction Time-Accuracy	Match to sample Avg RT ms 1000 delay	Match to sample Avg RT ms 5000 delay	Sehschärfe VISION	Blutdruck (mmHg)	Puls (bpm)	Ketone (mmol/l)	Wohlbefinden (1-10)	Symptome	Blutzucker
Normzustand	344.59	0.975	1023.438	1255.813	1	111/68	67	0.1	10 /		5.4
0min	354.127	0.988	995.688	1531.563	1	0.9 106/63	58 /		10 /		14.4
20min	363.824	0.925	971.813	1254.375	0.938	0.9 107/63	62 /		10	4	15.8
40min	353	0.925	973.375	1305.438	1	1133/62	67 /		10 /		18.7
60min	350.59	0.95	1267.813	1446.688	0.813	0.9 104/64	66	0.2	bisschen 10 Durst		20
80min	337.732	0.838	967.75	1016.625	0.875	0.9 94/65	70 /		10 /		19.7
100min	365.432	0.913	846.813	1084.875	0.938	0.9 89/62	66 /		10 /		17.9
120min	360.425	0.863	738.688	927.188	0.875	0.9 83/63	56	0.1	10 /		15.8

Tabelle 4: Testergebnisse Proband 4

Proband ID: 5
Datum Versuch: 08.07.2023

Zeit in min	Choice Reaction Time - Avg RT ms	Choice Reaction Time - Accuracy	Match to sample Avg RT ms 1000 delay	Match to sample Avg RT ms 5000 delay	Match to Sample Accuracy 1000 delay	Match to Sample Accuracy 5000 delay	Sehschärfe VISION	Blutdruck (mmHg)	Puls (bpm)	Ketone (mmol/l)	Wohlbefinde n(1-10)	Symptome	BZ
Normzustand	353.684	0.938	1096.064	1613.125	0.875	0.938	1.2	120/65	66	0.1	10	-	7.2
0min	345.81	0.938	995.688	1263.125	1	0.938	1	129/78	77	-	10	-	14.2
20min	339.064	0.9	1090.125	1087.813	0.875	0.813	0.9	143/78	65	-	10	-	17.4
40min	338.461	0.85	1210.438	1599.188	0.938	0.813	0.9	138/98	61	-	8	weniger gut sehen, durstig	19.2
60min	349.347	0.775	1144.13	1048.5	0.813	1	1	136/70	58	0.1	8	-	20.3
80min	344.986	0.838	982.75	1428.25	0.938	0.75	1	103/64	61	-	9	wieder besser sehen	19.5
100min	337.747	0.875	960.438	1180.875	0.875	0.75	1.2	144/78	67	-	9	-	18.4
120min	353.129	0.763	954.638	1213.063	0.938	0.875	1	107/64	67	0.1	9	-	17.4

Tabelle 5: Testergebnisse Proband 5

Proband ID: 6
Datum Versuch: 16.07.2023

Zeit in min	Choice Reaction Time -Avg RT ms	Choice Reaction Time-Accuracy	Match to sample Avg RT ms 1000 delay	Match to sample Avg RT ms 5000 delay	Match to Sample-Accuracy 1000 delay	Match to Sample-Accuracy 5000 delay	Wohlbefinde n(1-10)	Symptome
Normzustand	339.246	0.825	1047.963	1106.063	0.938	0.813	10 /	
0min	366.6	0.925	1136.063	1089.25	1	1	10 /	
20min	361.696	0.838	1119.5	12720.63	0.875	0.875	9	etwas durstig
40min	345.935	0.925	929.25	895.875	0.938	0.875	8	durstig
60min	364.6	0.839	1124.063	895.25	0.89	0.9	7	durstig, weniger konzentration
80min	329.382	0.925	1136.063	1106.063	1	1	6	durstig, müde
100min	343.257	0.863	661.5	746.813	0.75	0.75	5	müde, durst
120min	332.507	0.738	561.063	676.25	0.625	0.625	4	durstig, müde, keine Konzentration mehr

Tabelle 6: Testergebnisse Proband 6

Nicht-Diabetiker ID: 1
Datum Versuch: 10.08.2023

Zeit in min	Choice Reaction Time - Avg RT ms	Choice Reaction Time - Accuracy	Match to sample Avg RT ms 1000 delay	Match to sample Avg RT ms 5000 delay	Match to Sample Accuracy 1000 delay	Match to Sample Accuracy 5000 delay	Sehschärfe VISION	Blutdruck (mmHg)	Puls (bpm)	Ketone (mmol/l)	Wohlbefinde n(1-10)	BZ
Normzustand	383.507	0.913	1325.938	1238.938	1	1	1.2	125/65	89	0	10	6.4
0min	378.194	0.888	1173.938	1401.375	1	1	1.2	114/72	83	-	10	5.8
20min	376.472	0.875	1089.938	1176.375	1	1	1.2	107/68	78	-	10	6.2
40min	392.932	0.9	1285.563	1533.25	0.938	1	1.2	106/64	79	-	10	6.5
60min	381.446	0.913	1179.25	1472.875	1	0.938	1.2	107/64	84	0.1	10	5.8
80min	383.225	0.875	1434.688	1335.2	1	0.938	1.2	115/65	73	-	10	5.3
100min	377.264	0.9	1087.625	980.25	1	1	1.2	111/67	72	-	10	5
120min	382.949	0.975	954	936.463	0.938	0.938	1.2	104/65	82	0.1	10	5.7

Tabelle 7: Testergebnisse Nicht-Diabetiker 1

Nicht-Diabetiker ID: 2
 Datum Versuch: 10.08.2023

Zeit in min	Choice Reaction Time-Avg RT ms	Choice Reaction Time- Accuracy	Match to sample Avg RT ms 1000 delay	Match to sample Avg RT ms 5000 delay	Match to Sample- Accuracy 1000 delay	Match to Sample- Accuracy 5000 delay	Sehschärfe VISION	Blutdruck (mmHg)	Puls (bpm)	Ketone (mmol/l)	Wohlbefinde n(1-10)	BZ
Normzustand	313.679	0.638	947.438	1211.438	0.938	0.938	1.2	116/79	75	0.1	10	5.1
0min	383.429	0.763	889.938	1548.667	1	0.938	1.2	117/74	58	-	10	7.8
20min	362.35	0.625	999	1053.189	1	1	1.2	112/71	56	-	10	5.3
40min	373.077	0.75	1148.5	1134.563	0.938	1	1.2	117/71	69	-	10	5.2
60min	385.806	0.85	1079.75	1199.063	0.938	0.875	1.2	127/68	66	0	10	5.5
80min	371.775	0.825	1367.25	1168.313	0.938	1	1.2	114/66	55	-	10	5.1
100min	378	0.838	1005.688	1290.75	0.938	1	1.2	124/62	54	-	10	5.4
120min	391.159	0.775	1119.438	1348.625	1	1	1.2	114/65	51	0.1	10	5.3

Tabelle 8: Testergebnisse Nicht-Diabetiker 2

Anhang 2

Sehtafel: Snellen V

F N P O H V D L X 0,7

A G D U Z B N F K 0,8

C H N F L D T U P Z 0,9

I B S D V O X T N U 1

A C F L U N D P H Z X 1,2

D P S Z K O E U L F N 1,5

Abbildung 16: Snellen Sehtafel 1. Teil

N X V 3 mt
0,1

M C T H 0,2

A F D Z E 0,3

B G L Y C K I 0,4

H D F Z V X T 0,5

D L V B N C M F 0,6

Abbildung 17: Snellen Sehtafel 2. Teil

Anhang 3

Konzentrationsversuch

1. Lade dir die App PsychLab101 (Abb. 18) herunter am besten auf einem iPad.



Abbildung 18: Psych Lab 101 App Logo

2. Anschliessend öffne die App und klicke auf die Kategorie «Attention & Perception» und nachher auf «Choice Reaction Time» (Abb. 19).

Experiments	Overview	Run
Introduction	Choice Reaction Time Background Measurement of reaction times is one of the fundamental concepts in cognitive psychology. Typically, reaction time (RT) is measured as the time between the onset of a stimulus or response cue and a participant's response (often a button press, but may be vocal, motor responses, or other behaviors). Comparing RTs between different tasks (or different conditions of the same task) can reveal the time required for processing or performing some part of the task. For example, a participant may take 200 milliseconds to respond to any stimulus (as described below, 200 milliseconds is their simple reaction time). If the task were changed so that they must respond to one stimulus but withhold responses to another stimulus, their RT might increase to 350 milliseconds. We can subtract the simple reaction time from that to determine how long it takes to discriminate between stimuli and select an appropriate response: 150 milliseconds (i.e., 350-200). If additional stimuli were added to the task and the reaction time increased once more to 450 milliseconds, we would know that the processing of the additional stimuli takes 100	
Class Settings		
- Attention & Perception		
Change Blindness		
Choice Reaction Time		
Dot Probe		
Dot Probe (Images)		
Flanker Compatibility Task		
Global Precedence		
Mackworth Clock Test		

Abbildung 19: Psych Lab 101 Bild 1

3. Drücke anschliessend oben rechts auf «Run» (Abb. 19) und dann auf Start in der Mitte
4. Bei dem Test «Choice Reaction Time» erscheinen immer entweder ein rotes oder ein blaues Rechteck (Abb. 20). Wenn das rote Rechteck erscheint, muss man auf die linke Seite des Bildschirms drücken und wenn ein blaues Rechteck erscheint auf die rechte Seite des Bildschirms. Ziel ist es so schnell wie möglich zu reagieren. Bei jedem Test findet am Anfang eine kleine Probe statt (Abb. 21). Danach startet der Test (Abb.22).

Experiments	Overview	Run
Introduction	Sequence of Events Configurations Color Discrimination (default) A color discrimination task. The stimuli are a red box and a blue box. 60 total trials are completed (30 of each stimulus). Interstimulus intervals are evenly distributed in a range between 1000-2000 ms. Letter This version uses the same trial counts and timing as the default configuration, but the stimuli are two letters (A and Z). Sound Discrimination This version uses the same trial counts and timing as the default configuration, but the stimuli are auditory: a 2000 Hz tone, and a 500 Hz tone. Image Discrimination This version uses the same trial counts and timing as the default configuration, but the stimuli are two images (a horizontal sine wave grating and a vertical sine wave grating).	
Class Settings		
- Attention & Perception		
Change Blindness		
Choice Reaction Time		
Dot Probe		
Dot Probe (Images)		
Flanker Compatibility Task		
Global Precedence		
Mackworth Clock Test		

Abbildung 20: Psych Lab 101 Bild 2

In this experiment, you will see a series of stimuli presented one at a time. In each trial, your task is to determine which of two possible stimuli was presented, and touch the corresponding side of the screen as quickly as possible.

If you see a red box, touch the left side of the screen as quickly as possible.

If you see a blue box, touch the right side of the screen as quickly as possible.

Try not to anticipate which stimulus will appear, or when it will appear. Simply respond as quickly as possible when you see a stimulus.

Remember, touch the left side of the screen if you see a red box. Touch the right side of the screen if you see a blue box. You will start by doing a few examples for practice.

Touch the screen to start the experiment when you are ready.

Abbildung 21: Psych Lab 101 Bild 3

Practice complete! Touch the screen to begin
when you are ready.

Abbildung 22: Psych Lab 101 Bild 4

- Nach dem Test erscheint eine Box mit den Resultaten, Bitte schreibe von der letzten Zeile «Accuracy» und «Avg RT» in die Tabelle bei der jeweiligen Spalte vom «Choice Reaction Time» ein.
- Nach dem «Choice Reaction Time» Test folgt noch der “Match to Sample” Test der du unter der Kategorie «Learning & Memory» findest (Abb. 23).

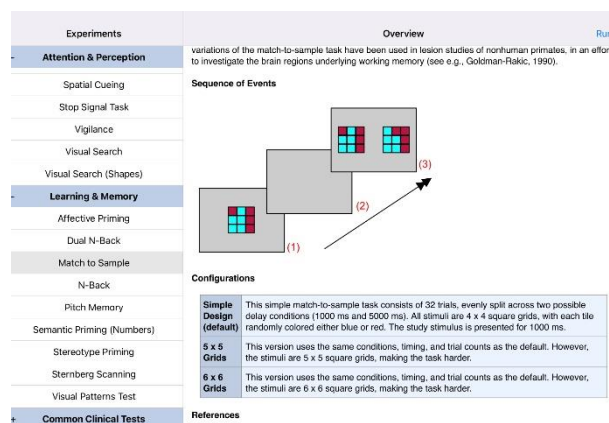


Abbildung 23: Psych Lab 101 Bild 5

- Hier wird dir zuerst ein Muster gezeigt, dass du dir merken musst und anschliessend nach einer kurzen Pause werden dir zwei Muster gezeigt und du musst so schnell wie möglich das richtige Muster von vorher anklicken. Auch hier gibt es immer zuerst eine Probe (Abb. 24), bevor es losgeht.

In this experiment, we are interested in your ability to remember the pattern of colored boxes in a grid.

The sequence of events for one trial will be like this: first, you will see a grid of boxes in the center of the screen. Each box in the grid will be one of two possible colors. Do your best to remember the arrangement of boxes in the grid. The grid will then disappear, and after a short delay, two grids will appear on screen, one on the left side and one on the right side of the screen.

Your task is to determine which of the two grids (left or right) matches the one you just saw.

If you think the left grid is the same as the one you just saw, touch the left side of the screen.

If you think the right grid is the same as the one you just saw, touch the right side of the screen.

Try to respond as quickly as possible while still being accurate. You will start by doing a few examples for practice.

Touch the screen to start the experiment when you are ready.

Abbildung 24: Psych Lab 101 Bild 6

- Nach dem Test sieht man die Resultate wieder und bitte schreibe die vier Zellen in der Mitte in das richtige Feld in der Tabelle.

Anhang 4

Gesundheitsumfrage der Probanden

ID	Haben Sie andere Erkrankungen/Alergien etc. ? Wenn ja welche?	Wie viel Jahre haben Sie bereits Diabetes?	Haben Sie eine Pumpe, Sensor?	Welche Pumpe/Sensor/Pen oder andere Hilfsmittel brauchen Sie (Welche Marke?/Welches Modell)	Haben Sie das Gefühl Sie sind gut eingestellt?	Was war ihr letzter HbA1c Wert?	Haben Sie vermehrt Hyperglykämien im Alltag?	Was merken Sie, wenn Sie überzuckert sind? Wie fühlen Sie sich bei einer Hyperglykämie? (Symptome etc.)	Haben Sie oder kennen Sie Ihren Korrekturfaktor (z.B. [Blutzucker - 8] /4)?
1	Nein	13 Jahre	Pumpe und Sensor	Pumpe: Omnipod, Sensor: Freestyle libre 2	Ja		7,6 Nein	Ich bin extrem durstig, umzingelt, angewidert	Ja
2	-	13-14 Jahre	Nur Sensor	Sensor: Dexcom G6, Pen: Tresiba & Novo Rapid	Nein		11 Ja	Mehrmals auf die Toilette, Durst, Manchmal Kopfschmerzen	Nein
3	Nein	16 1/2 Jahre	Pumpe und Sensor	Pumpe: Roche, Sensor: Dexcom	Denke schon		8,5 Ab und zu	Durstig, unruhig und keine Konzentration	Ja
4	leichte Katzen und Hundeleidung	16,5 Jahre	Pumpe und Sensor	Pumpe: Accu-Check Inside/ Sensor: Dexcom/ Messgerät: DBLG1	ja		6,5 eher seltener	schlapp, Handräng, Durst, Krämpfe, Übel, Konzentrationsverlust	Ja
5	Zöliakie	7 Jahre	Pumpe und Sensor	Medtronic Mini Med Pumpe und Sensor auch Medtronic	Ja		6,6 ab und zu	Durst, schlechter sehen	Ja
6	Nein	18 Jahre	Pumpe und Sensor	Medtronic Minimed und Sensor Medtronic	Ja	keine Angabe	Ab und zu	Handräng	Ja

Tabelle 9: Gesundheitsumfrage der Probanden

Anhang 5

Einverständniserklärung der Probanden zur Teilnahme an der Maturaarbeit zum Thema Diabetes – Kurzezeitwirkungen einer Hyperglykämie

Information zur Maturaarbeit

Die Maturaarbeit befasst sich mit den Kurzeitwirkungen einer Hyperglykämie auf Diabetes Typ 1 Patienten. Die Auswirkungen werden mit Hilfe von verschiedenen Tests an den Probanden untersucht und dokumentiert. Es werden Tests durchgeführt vor und während die Probanden in eine Hyperglykämie versetzt werden. Dabei wird der Hauptfokus auf die Auswirkungen der Konzentration der Probanden gelegt und nebenbei werden Sie noch auf weitere potenzielle Veränderungen am Körper getestet (Dokument „Versuch-Methoden“).

Vorgaben des Versuchs

Der Proband wird für einen Zeitraum von zwei bis drei Stunden in eine Hyperglykämie versetzt. Vor und während der Hyperglykämie werden die untenstehenden Tests durchgeführt.

Wichtig: Der Proband sollte mit einem Blutzucker antreten, der im Normalbereich liegt (4-10mmol/l).

Test

Es werden die aufgeführten Parameter getestet

- Glucose (Blutzucker)
- Herzfrequenz
- Sehschärfe
- Ketone
- Konzentration Test

Für genauere Details zum Versuch sehen Sie sich das Dokument «Versuch» an.

Zeit & Ort

Der Versuch wird voraussichtlich am _____ stattfinden und wird ca. drei Stunden dauern. Dieser findet im Biogebäude des Kollegium Spiritus Sanctus in Brig statt.

Kontakt Daten

Bei allfälligen Fragen stehe ich jederzeit gerne zur Verfügung. Sie erreichen mich unter:

Vorname, Name: Robin Hildbrand

Mail : robin.hildbrand@edu.vs.ch

Telefon/WhatsApp: 079 835 43 13

Personalien

Name, Vorname:
Geburtsdatum:
Adresse:
Telefonnummer
E-Mail

- Sind sie erkrankt oder haben eine Erkältung?
- Nehmen Sie aktuell irgendwelche Medikamente? Wenn ja, welche?

Datenschutz

Die angegebenen Daten werden mit Sorgfalt bearbeitet. Alle gesammelten Daten der Probanden werden nicht an Drittpersonen weitergegeben und werden ausschliesslich in anonymisierter Form in der Maturaarbeit verwendet.

Mit Ihrer Unterschrift akzeptieren Sie die Datenschutzerklärung und bestätigen, dass Sie freiwillig an dieser Studie teilnehmen. Des Weiteren erklären Sie hiermit, dass Sie über die Ziele und den Ablauf der Studie informiert sind und diese verstanden haben. Sie akzeptieren, dass ich bei allfälligen Nebenwirkungen oder Komplikationen keine Haftung trage. Sie sind einverstanden am Versuch teilzunehmen.

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift des Schülers
bzw. des gesetzlichen
Vertreters

Vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben an dem Experiment teilzunehmen!

Anhang 6



**Robin Hildbrand
Kreuzstrasse 6
3945 Gampel**

26.05.2023 CCH

Betreff: Versuchsaufbau Hyperglykämie Maturaarbeit

Lieber Robin

Aus diabetologischer Sicht kann der Versuch, wie du ihn mir vorgelegt hast, durchgeführt werden. Bei einer Hyperglykämie im Bereich von 14-18 mmol/l über 3-4 Stunden sind keine unmittelbare gesundheitliche Gefährdung und auch keine langfristigen Folgen zu erwarten, zumal eine regelmässige Überwachung der Glukose und der Ketone erfolgt.

Viel Erfolg beim Versuch und liebe Grüsse



Dr. med. Caroline Christen Bühler

Diabetologie

Dr. med. Caroline Christen Bühler
FMH Innere Medizin

Myriam Bittel-Wyssen
Diabetesfachberatung

Marianne Wellig Good
Diabetesfachberatung

Allgemeine Innere Medizin

Dr. med. Christine Baumann
FMH Innere Medizin

Dr. med. Sidonie Heinzmann
FMH Innere Medizin

Dermatologie

Dr. med. Caroline Imhof-Gex-Collet
FMH Dermatologie/Venerologie
FMH Allergologie/klin. Immunologie

Dr. med. Anca Ungureanu
FMH Dermatologie/Venerologie

Anhang 7

Kontaktpersonen

Bei einem Notfall oder einer dringenden Frage können je nach Situation folgende Personen kontaktiert werden:

- **Diabetesfachberaterin:** 079 372 99 42
 - Bei einem Notfall kann die Diabetesfachberaterin umgehend eine bereits im Vorhinein informierte Ärztin kontaktieren.
- **Betreuerin:** 079 274 06 04
- **Sanitätsnotruf, Ambulanz, Notfall:** 144

Robin Hildbrand

Tel: 079 835 43 13

Mail: robin.hildbrand@edu.vs.ch

Adresse: Kreuzstrasse 6, 3945 Gampel

Anhang 8

Blutzucker

Zeit in min	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Nicht-Diabetiker 1	Nicht-Diabetiker 2
Normalzustand	5.9	7.2	10.5	5.4	7.2	6.4	5.1
nach 0min	14.2	13.9	13.4	14.4	14.2	5.8	7.8
nach 20min	15.5	14.7	12.6	15.8	17.4	6.2	5.3
nach 40min	15.1	15.4	14.9	18.7	19.2	6.5	5.2
nach 60min	15.9	15.3	19	20	20.3	5.8	5.5
nach 80min	15.8	15.5	23	19.7	19.5	5.3	5.1
nach 100min	15.9	15	21.8	17.9	18.4	5	5.4
nach 120min	15.8	14.2	17.2	15.8	17.4	5.7	5.3

Tabelle 10: Gesamtergebnisse Blutzucker

Ketonkörper

Zeit in min	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Nicht-Diabetiker 1	Nicht-Diabetiker 2
Normalzustand	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1
nach 60min	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0
nach 120min	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabelle 11: Gesamtergebnisse Ketonkörper

Sehschärfe

Zeit in min	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Nicht-Diabetiker 1	Nicht-Diabetiker 2
Normalzustand	1	1	1	1	1.2	1.2	1.2
0min	1	0.9	1	0.9	1	1.2	1.2
20min	1	1	1	0.9	0.9	1.2	1.2
40min	1	0.9	1	1	0.9	1.2	1.2
60min	1	0.8	1	0.9	1	1.2	1.2
80min	1	0.8	1	0.9	1	1.2	1.2
100min	1	0.8	0.9	0.9	1.2	1.2	1.2
120min	1	0.7	0.9	0.9	1	1.2	1.2

Tabelle 12: Gesamtergebnisse Sehschärfe

Herzfrequenz

Zeit in min	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Nicht-Diabetiker 1	Nicht-Diabetiker 2
Normalzustand	87	96	60	67	66	89	75
0min	133	93	70	58	77	83	58
20min	63	89	84	62	65	78	56
40min	79	80	65	67	61	79	69
60min	67	91	68	66	58	84	66
80min	75	90	61	70	61	73	55
100min	59	77	57	66	67	72	54
120min	54	90	57	56	67	82	51
Mittelwert	77	88	65	64	65	80	60.5
Maximale Differenz zum Mittelwert	± 56(23)	±11	±19	±8	±12	±9	±14

Tabelle 13: Gesamtergebnisse Herzfrequenz

Blutdruck

Zeit in min	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Nicht-Diabetiker 1	Nicht-Diabetiker 2
Normalzustand	109/86	114/77	131/68	116/68	120/65	125/65	116/79
nach 0min	108/66	106/68	112/63	106/63	129/78	114/72	117/74
nach 20min	116/62	89/62	115/64	107/63	143/78	107/68	112/71
nach 40min	112/76	96/68	116/64	133/62	138/98	106/64	117/71
nach 60min	119/61	105//64	118/55	104/64	136/70	107/64	127/68
nach 80min	111/66	95/61	126/65	94/65	103/64	115/65	114/66
nach 100min	111/63	101/64	129/60	89/62	144/78	111/67	124/62
nach 120min	112/64	104/67	126/45	83/63	107/64	104/65	114/65

Tabelle 14: Gesamtergebnisse Blutdruck

Choice Reaction Time Avg. RT ms

Zeit in min	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6	Nicht-Diabetiker 1	Nicht-Diabetiker 2
Normalzustand	351.282	349.844	384.797	344.59	353.684	339.246	383.507	313.679
0min	343.43	333.759	373.904	354.127	345.81	366.6	378.194	383.429
20min	348.475	338.662	387.873	363.824	339.064	361.696	376.472	362.35
40min	365.449	341.64	370.554	353	338.461	345.935	392.932	373.077
60min	330.633	334.534	359.514	350.59	349.347	364.6	381.446	385.806
80min	345.052	322.278	370.957	337.732	344.986	329.382	383.225	371.775
100min	340.91	334.705	356.176	365.432	337.747	343.257	377.264	378
120min	335.85	328.2	348.152	360.425	353.129	332.507	382.949	391.159
Differenz (Norm-120min)	15.432	21.644	36.645	-15.835	0.555	6.739	0.558	-77.48

Tabelle 15: Gesamtergebnisse Choice reaction Time Avg. Rt ms

Choice Reaction Time Accuracy

Zeit in min	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6	Nicht-Diabetiker 1	Nicht-Diabetiker 2
Normalzustand	0.95	0.9	0.788	0.975	0.938	0.825	0.913	0.638
0min	0.913	0.925	0.825	0.988	0.938	0.925	0.888	0.763
20min	1	0.875	0.863	0.925	0.9	0.838	0.875	0.625
40min	0.963	0.85	0.9	0.925	0.85	0.925	0.9	0.75
60min	0.963	0.85	0.8	0.95	0.775	0.839	0.913	0.85
80min	0.95	0.888	0.838	0.838	0.838	0.925	0.875	0.825
100min	0.938	0.913	0.85	0.913	0.875	0.863	0.9	0.838
120min	0.963	0.925	0.775	0.863	0.763	0.738	0.975	0.775

Tabelle 16: Gesamtergebnisse Choice Reaction Time Accuracy

Match To Sample Avg RT ms 5000 delay

Zeit in min	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6	Nicht-Diabetiker 1	Nicht-Diabetiker 2
Normalzustand	980.625	1714.75	1824.375	1255.813	1613.125	1106.063	1238.938	1211.438
nach 0min	784.75	1148.25	2343.25	1531.563	1263.125	1089.25	1401.375	1548.667
nach 20min	959.375	1584.563	1892.875	1254.375	1087.813	1272.63	1176.375	1053.189
nach 40min	919.8	1257.625	1958.75	1305.438	1599.188	895.875	1533.25	1134.563
nach 60min	830.25	1602.25	1740.12	1446.688	1048.5	895.25	1472.875	1199.063
nach 80min	1183.563	1294.75	1890.4	1016.625	1428.25	1106.063	1335.2	1168.313
nach 100min	1233.875	1817.75	2204.125	1084.875	1180.875	746.813	980.25	1290.75
nach 120min	990.5	1243.063	1942.625	927.188	1213.063	676.25	936.463	1348.625
Mittelwert	985.34225	1457.875125	1974.565	1227.820625	1304.242375	973.52425	1259.34075	1244.326
Max Wert	784.75	1148.25	1824.375	1254.375	1087.813	1089.25	936.463	1053.189
Min Wert	1233.875	1817.75	2343.25	1531.563	1613.125	1272.63	1533.25	1548.667

Tabelle 17: Gesamtergebnisse Match to Sample Avg. RT ms 5000 delay

Match to Sample Accuracy 5000 delay

Zeit in min	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6	Nicht-Diabetiker 1	Nicht-Diabetiker 2
Normalzustand	0.938	0.938	0.875	1	0.938	0.813	1	0.938
nach 0min	0.938	1	0.875	0.938	0.938	1	1	0.938
nach 20min	0.875	0.688	1	0.938	0.813	0.875	1	1
nach 40min	0.938	0.75	1	0.813	0.813	0.875	1	1
nach 60min	0.938	1	0.938	0.938	1	0.9	0.938	0.875
nach 80min	0.938	1	0.813	0.813	0.75	1	0.938	1
nach 100min	0.75	0.75	1	0.875	0.75	0.75	1	1
nach 120min	1	1	0.938	0.875	0.875	0.625	0.938	1
Mittelwert	0.914375	0.89075	0.929875	0.89875	0.859625	0.85475	0.97675	0.968875

Tabelle 18: Gesamtergebnisse Match to sample Accuracy 5000 delay

Anhang 9

Versuch – Methoden

Versetzung in die Hyperglykämie

Um den Zustand der Hyperglykämie zu erreichen, muss die Insulinpumpe vom Patienten abgeschlossen sein oder falls der Patient keine Pumpe hat, wird ab dem Zeitpunkt des Versuchsstart kein Insulin verabreicht. Anschliessend konsumiert der Proband zuerst 500 ml Orangensaft von Coop («Sunny Orange Arancia») oder 500ml Coca-Cola (100 ml Orangensaft $\approx$ 100 ml Coca-Cola). Nach zehn Minuten wird der Blutzucker gemessen und falls dieser noch nicht bei 14 mmol/l liegt, nimmt der Proband nochmals 100 ml Orangensaft oder 100 ml Coca-Cola zu sich. Dies geschieht so lange, bis der Proband einen Blutzucker von ≥ 14 mmol/l erreicht hat. Anschliessend muss der Blutzucker des Probanden für die vorgegebene Zeitspanne des Versuches über 14 mmol/l bleiben. Falls der Proband die Schwelle von 14 mmol/l unterschreiten sollte, kann ihm 50 ml Orangensaft oder 50 ml Coca-Cola zugeführt werden. Eine Überschreitung des Blutzuckerwert von 18 mmol/l wird geduldet. Dem Proband wird in diesem Fall keine weitere Glucose zugeführt.

Während des Versuchs

Die Zeitspanne, in welcher der Proband in der Hyperglykämie ist, beträgt zwei Stunden. Die Tests werden ein erstes Mal durchgeführt, bevor die Probanden in die Hyperglykämie versetzt werden, um die Normalwerte der jeweiligen Probanden festzustellen. Diese werden anschliessend mit den Werten, die während der Hyperglykämie gemessen werden, verglichen. Sobald der Proband ein Blutzuckerspiegel von ≥ 14 mmol/l erreicht hat, werden die Tests in Abständen von 20 Minuten wiederholt. Eine Ausnahme liegt bei den Ketonkörpertests vor. Da sich diese nicht schnell bilden, werden diese nur stündlich gemessen.

Nach dem Versuch

Nachdem der Versuch abgeschlossen ist, werden alle Einstellungen der Insulinpumpe in den ursprünglichen Zustand zurückgesetzt. Anschliessend gibt der Proband, falls dies die Pumpe nicht automatisch macht, eine Bolus Korrektur ab. Die Dosis wird anhand eines persönlichen Korrekturfaktors berechnet. Danach sollte Blutzuckerspiegel senken. Alternativ zur Pumpe kann das Insulin auch mittels einer Spritze verabreicht werden. Einen solchen Korrekturfaktor sollte jeder Proband kennen und mit seinem Arzt besprochen haben, da dieser auf die individuellen Bedürfnisse angepasst ist. Idealerweise sollte der Proband keine Glucose bzw. Kohlenhydrate konsumieren, solange er nicht wieder im Normalbereich liegt. Falls der Blutzucker nach zwei bis drei Stunden immer noch nicht unter 10 mmol/l liegt, sollte der Proband eine weitere Bolus Korrektur anhand seines Korrekturfaktors tätigen.

Bei Komplikationen

Falls dem Probanden während des Versuches plötzlich übel wird oder er starke Symptome entwickelt, wird der Versuch unverzüglich abgebrochen. Der Proband kann jederzeit den Versuch abbrechen (gleich wie nach dem Versuch).

Versuch

Die Zeitspanne, die der Proband in der Hyperglykämie verbringt, beträgt zwei Stunden. Die Tests werden ein erstes Mal durchgeführt, bevor die Probanden in die Hyperglykämie versetzt werden, damit man Standardwerte/Normwerte des jeweiligen Patienten hat um diese anschliessend mit den Werten, die während der Hyperglykämie gemessen wurden, zu vergleichen.

Sobald der Proband in die Hyperglykämie versetzt worden ist und der Blutzucker im Bereich zwischen 14 bis 18mmol/l liegt, startet das Experiment und der erste Testdurchgang beginnt. Anschliessend werden die Tests in gewissen Abständen wiederholt

Konzentration/Reaktion

Hauptfokus wird auf die Reaktions- und Konzentrationstests gesetzt. Dieser wird alle 20 Minuten durchgeführt. Für den Test wird hier eine App namens «Psych Lab 101» verwendet, die die Reaktionszeit und gleichzeitig die Konzentration der Probanden misst und auflistet. Hier werden zwei verschiedene Tests aus der App verwendet, um eine aussagekräftigere Schlussfolgerung zu ziehen. Die Tests heissen “Match to Sample” und “Choice Reaction Time”. Wichtig hierbei ist es zu versuchen, so schnell wie möglich bei den Tests zu reagieren.

Sehschärfe

Hier wird die Veränderung der Sehschärfe mittels einer Sehtafel getestet. Man nennt diesen Test auch «Snellen-Test». Dieser wird alle 20 Minuten durchgeführt.

Herzfrequenz und Blutdruck

Herzfrequenz und Blutdruck werden mit einem Blutdruckmessgerät alle 20 Minuten Minuten gemessen.

Ketone

Ketone werden mit Hilfe von Keton-Teststreifen für den «Freestyle Libre» im Blut gemessen. Dies wird alle 60 Minuten durchgeführt, da sich Ketonkörper nicht schnell bilden.

Anhang 10

Materialienliste des Versuches

- FreeStyle Libre Messgerät
- FreeStyle Precision β -Ketone-Teststreifen
- Snellen Sehtafel V
- Medtronic Blutzuckermessgerät
- Accu-Check und Guide Kit (Blutzuckermessgerät und Teststreifen)
- «Sunny Orange Arancia» Orangensaft von Coop
- Coca-Cola
- iPad Pro
- Mac Book Air
- Medisana, Blood Pressure Monitor HGH
- Trinkbecher 200 ml
- Webcol Skin Cleansing Alcohol Prep
- Taschentücher
- Mylife Safety Lancets

12. Authentizitätserklärung

Ich bezeuge mit meiner Unterschrift, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und erlaubte Hilfen von Drittpersonen korrekt veranschaulicht habe. Informationen, die ich wörtlich oder sinngemäss von anderen Publikationen oder Quellen, unter anderem aus dem Internet oder mithilfe künstlicher Intelligenz (KI), verfasst habe, sind klar, wiederauffindbar zitiert und machen nur einen geringen Anteil der Arbeit aus. Die in meiner Arbeit benützten Hilfsmittel entsprechen der Wahrheit, sind vollständig aufgelistet und auf diese Weise noch nicht veröffentlicht worden. Mir ist bewusst, dass ich unter Umständen zu den von mir gebrauchten Hilfsmitteln Stellung nehmen muss.

Ort und Datum: Brig, den 30. November 2023

Unterschrift der Schülerin/des Schülers: 