

Anwendung dynamischer Systeme in der Kognitionsforschung

Bistabiles Verhalten in der menschlichen Wahrnehmung

Name: Marc-Philipp Beller

Matrikelnummer: 220202788

Abgabedatum: 08.09.2023

Betreuer und Gutachter: Prof. Dr. Jens Starke
Universität Rostock
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Gutachter: Dr. Wolfram Just
Universität Rostock
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Zusammenfassung

Im Mittelpunkt dieser Arbeit sind kognitive Prozesse in der menschlichen Wahrnehmung. Durch die Untersuchung räumlicher Wahrnehmung und dem Einordnen menschlicher Gesichter werden erstaunliche Ähnlichkeiten zwischen den Prozessen demonstriert. Nach dem Erschließen der notwendigen Grundlagen wird experimentell Bistabilität im Übergang zweier Stimuli demonstriert. Außerdem lassen erhobene Daten auf den erfolgreichen Einsatz nicht invasiver Kontrolle zur Beeinflussung menschlicher Wahrnehmung schließen. Dies verweist auf die Existenz instabiler Zustände in der menschlichen Wahrnehmung hin.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
1 Einleitung	1
2 Aufgabenstellung	3
3 Herangehensweise	4
3.1 System Wahrnehmung von Kippbildern	4
4 Dynamische Systeme	6
4.1 Fixpunkte	7
4.2 Parameterabhängige Differentialgleichungen	9
5 Simulierte Kontrolle einer Hysterese-Normalform	12
5.1 Hysterese	13
5.2 Stabilisierung instabiler Zustände	14
6 Experimentelle Untersuchung von Bistabilität	17
7 Auswertung	21
7.1 Hysterese Verhalten im Necker Würfel	21
7.2 State Observer Kontrolle im Necker Würfel	24
7.3 Hysterese Verhalten in der Gesichtserkennung	26
7.4 Stabilisierung instabiler Zustände in der Gesichtserkennung	29
7.5 Diskussion	30
Literaturverzeichnis	33

Abbildungsverzeichnis

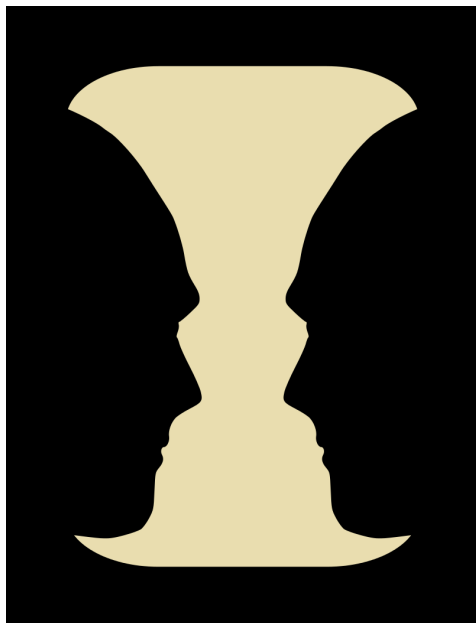
1.1	Abbildung optischer Täuschungen	1
4.1	Abgebildet ist ein einfaches Modell für das Wachstum einer Population, wobei die Population proportional zu ihrer eigenen Größe wächst. Links ist die diskrete Version des dynamischen Systems abgebildet, rechts die kontinuierliche Version	6
4.2	Abgebildet ist je ein Fixpunkt im Punkt $(x,y)=(0,0)$. Auf der linken Seite ist dieser anziehend, auf der rechten abstoßend. Das System wird in dem roten Punkt initialisiert, von diesem geht ein Orbit für $t \rightarrow \infty$ aus. . . .	8
4.3	Abgebildet ist die Hopfbifurkation	9
4.4	Abgebildet ist eine Pitchfork-Bifurkation, wobei stabile Fixpunkte in blau und instabile rot gestrichelt eingezeichnet sind.	11
5.1	Abgebildet sind in rot Upsweeps mit Initialisierung $(x, \mu) = (0.1, -2)$ und Downsweeps in blau mit Initialisierung $(x, \mu) = (-0.1, 2)$ in einem Raster mit Gitterbreite 0.1 über μ	12
5.2	Abgebildet ist das Bifurkationsdiagramm der Hysterese Normalform, in blau stabile Fixpunkte, instabile Fixpunkte sind rot gestrichelt.	14
5.3	Abgebildet ist der Fluss der State Observer Kontrolle initialisiert mit den Parametern $a = 20, b = 1, \mu = 0.1$ im rot abgebildeten Punkt $(x, y) = (-1, 0.5)$ bis zum blau abgebildeten Punkt bei $t = 50$. Links sind stabile Fixpunkte blau gestrichelt und instabile rot gestrichelt eingezeichnet. . .	16
6.1	Abbildung des parameterabhängigen Übergangs des Neckerwürfels . . .	18
6.2	Abbildung des parameterabhängigen Übergangs zwischen männlichen Gesichtern	19
6.3	Abbildung des parameterabhängigen Übergangs zwischen weiblichen Gesichtern	20
7.1	Abbildung eines diskreten Sweeps am Necker Würfel	21
7.2	Abbildung des arithmetischen Mittels des diskreten Sweeps am Necker Würfel	22
7.3	Abbildung des arithmetischen Mittels des kontinuierlichen Sweeps am Necker Würfel	22
7.4	Abbildung eines diskreten Sweeps am Necker Würfel ohne Hysterese Verhalten	23

7.5	Visualisiert sind experimentell erhobene Daten unter dem Einfluss nicht invasiver Kontrolle. In Blau sind die Werte des Sliders über der Zeit aufgetragen, rot hinterlegt sind Punkte zu denen der Slider gesprungen ist. Grau gestrichelt ist der zum Parameter korrespondierende Wert der Stabilisiert werden soll.	24
7.6	Abgebildet ist der Verlauf einer State Observer Kontrolle am Neckerwürfel bei welchem unklar ist ob konvergentes Verhalten gezeigt wird . . .	25
7.7	Abgebildet ist das arithmetische Mittel der State Observer Kontrolle am Necker Würfel	25
7.8	Arithmetisches Mittel des diskreten Sweeps am Übergang zwischen zwei männlichen Gesichtern	26
7.9	Arithmetisches Mittel des kontinuierlichen Sweeps am Übergang zwischen zwei männlichen Gesichtern	27
7.10	Arithmetisches Mittel des diskreten Sweeps am Übergang zwischen zwei weiblichen Gesichtern	27
7.11	Arithmetisches Mittel des kontinuierlichen Sweeps am Übergang zwischen weiblichen Gesichtern	28
7.12	Abbildung eines kontinuierlichen Sweeps am Übergang zwischen weiblichen Gesichtern mit breitem Hysterese Fenster	28
7.13	Abgebildet ist das arithmetische Mittel der State Observer Kontrolle am Übergang zwischen männlichen Gesichtern	29
7.14	Abgebildet ist das arithmetische Mittel der State Observer Kontrolle am Übergang zwischen weiblichen Gesichtern	30
7.15	Abgebildet ist ein Sweep zwischen weiblichen Gesichtern mit Destabilisierungs Phase	31
7.16	Abgebildet ist links eine Kontrolle am Necker Würfel, rechts eine Kontrolle am Übergang zwischen weiblichen Gesichtern	31

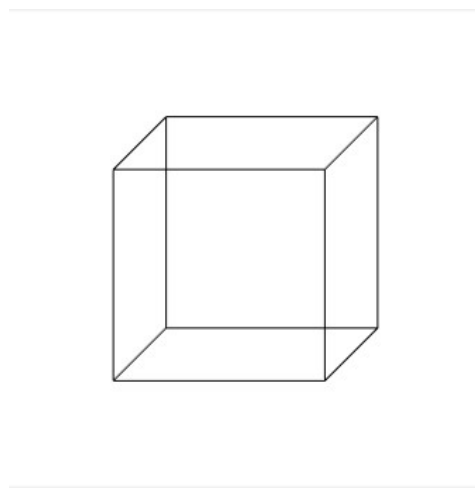
1 Einleitung

Nichts verbindet Menschen so sehr mit der Außenwelt wie unsere Wahrnehmung. Sie eröffnet uns Möglichkeiten mit unserer Umwelt zu interagieren, informiert unsere Emotionen und definiert unser Handeln. Dies rechtfertigt eine lange und breit gefächerte Geschichte der Forschung. Bereits im 19. Jahrhundert beschäftigten sich Psychologen wie Hermann v. Helmholtz [1] mit dem Unterschied zwischen dem Wahrgenommenen und der Realität. Ein beliebtes Phänomen, dass durch diese Differenz entsteht, sind Optische Täuschungen, oder im Speziellen Kipp Bilder, die dem Betrachter verschiedene Interpretationen ein und des selben Bilds ermöglichen. Bekannte Beispiele sind die Rubin Vase 1.1a oder der Necker Würfel 1.1b. Das potential dieser Figuren die Uneindeutigkeiten unserer sonst so kohärent wirkender Wahrnehmung aufzudecken, inspirierte viele wissenschaftliche Arbeiten und so auch diese.

Besonders der 1832 von Louis Albert Necker publiziert [8] Neckerwürfel 1.1b führte zu einem umfassenderen Verständnis der Tiefenwahrnehmung und der Verarbeitung visueller Information.



(a) Rubin Vase



(b) Necker Würfel

Abbildung 1.1: Abbildung optischer Täuschungen

So sticht beispielsweise eine 1974 beschriebene Fallstudie des blinden Patienten Sydney Bradford heraus, der im Alter von 52 Jahren seine Sehkraft durch eine Operation

wiedererlangte. Bradford konnte weder die Mehrdeutigkeit des Neckerwürfels noch Perspektive in Bildern wahrnehmen, jedoch konnte er Distanzen zwischen Objekten einschätzen. Es wurde entdeckt, dass präoperative Erfahrungen wie die Bewegung durch Raum und das Ertasten von Objekten die visuelle Wahrnehmung des Patienten informieren, wohingegen Bilder die der Patient während seiner Blindheit nicht Wahrnehmen konnte, weiterhin Schwierigkeiten bereiten.[16].

Studien wie diese zeigen den Einfluss kognitiver Prozesse auf die menschliche Wahrnehmung, die dem Betrachtenden als akkurates Abbild der Realität erscheint. Diesen zeigen auch Studien zum Auftreten des Wechsels alternativer Interpretationen von optischen Täuschungen. Neben modellierung des Wechsels und der einhergehenden Bistabilität anhand neuronaler Sättigung [9], deuten neue Studien auf längere kognitive Prozesse, die zur Destabilisierung der wahrgenommenen Interpretation führen, hin. Dabei suggerieren EEG Aufnahmen Aktivität hinterer Bereiche des Gyrus parahippocampalis (Parahippocampal Place Area (PPA), eine Hirnregion, oft assoziiert mit Erinnerung und Erkennen, als Prediktor des spontanen Wechsels [7].

2 Aufgabenstellung

Ziel dieser Arbeit ist die weiterführende Untersuchung des Phänomens der Bistabilität in menschlicher Wahrnehmung. In erster Instanz soll festgestellt werden, wie Menschen den objektiven Übergang zwischen zwei visuellen Reizen subjektiv erfahren und in wie fern Wahrnehmung und Realität übereinstimmen. Dabei soll das bekannte Hysterese Verhalten [9] [4] mittels experimentell erhobener Daten reproduziert werden. Dies soll als Basis für ein Modell für den Wechsel zwischen stabilen Wahrnehmungszuständen genutzt werden. Daran sollen mittels nichtinvasiver Kontrolle angenommene instabile Zustände der menschlichen Wahrnehmung stabilisiert werden.

3 Herangehensweise

Die Untersuchung des in der Aufgabenstellung besprochenen Übergangs von einem Stimulus zum nächsten legt die Untersuchung von Kippbildern nahe. Diese haben folgende Eigenschaften [9]:

- Es existieren im gegebenen Bild zwei oder mehr Interpretationsmöglichkeiten zwischen denen der Beobachter unterscheiden kann.
- Wird eine der Varianten wahrgenommen bleibt das wahrgenommene Bild für den Beobachter für eine Mindestzeit eindeutig erkennbar.
- Häufig wird eine der Alternativen stärker wahrgenommen, jedoch ist diese Präferenz nicht stark. Dies äußert sich in der Zeitspanne zwischen Wahrnehmung des ersten Bilds und der eines Anderen. Eine stärkere Präferenz korreliert mit einer längeren Zeit bis zum Erkennen der Alternative.
- Der Wechsel zwischen den wahrgenommenen Alternativen kann durch Vertrautheit mit dem gegebenen Kipp Bild vom Beobachter beeinflusst werden, jedoch kann der Wechsel nicht gänzlich unterdrückt werden[15].
- Das Bild kann zu Gunsten einer Alternative beeinflusst werden.
- Es findet eine Hysterese statt.

3.1 System Wahrnehmung von Kippbildern

Um die Quantifizierbarkeit der Daten zu gewährleisten, gilt es eine Situation zu schaffen, in der der Interpretationsspielraum von Aussagen der Testperson möglichst limitiert ist. Hierfür bietet sich die Untersuchung räumlicher Wahrnehmung an. Hier lassen sich objektive Zustände unterscheiden und entsprechend lassen sich definierte Aussagen treffen, so wie zum Beispiel: „Objekt A ist weiter vorne als Objekt B“.

Die Ursachen der menschlichen Tiefenwahrnehmung lassen sich grundlegend in zwei Bereiche unterteilen, binokulare Räumlichkeit (Stereopsis) und monokulare Räumlichkeit[11]. Unter binokularer Räumlichkeit versteht man die Erfahrung von Tiefe basierend auf der Konvergenz der Sichtlinien unserer Augen auf einen Punkt. Durch den Abstand zwischen den menschlichen Pupillen wird ein Objekt auf verschiedene, horizontal versetzte Punkte (querdisparat) auf der Netzhaut abgebildet [14]. Die Bilder eines entsprechend wahrgenommenen Objekts werden vom Gehirn fusioniert, wodurch ein dreidimensionaler Eindruck entsteht. Dies geschieht unbewusst und sofort, ohne Interpretation des

Beobachters. Dieser Prozess ermöglicht räumliche Wahrnehmung jedoch nur bis zu einer Distanz von ungefähr 30 Metern [14], da bei dem Fokus auf entferntere Objekte die Sichtlinien der Augen nahezu parallel verlaufen.

Um räumliches Sehen außerhalb des Nahbereichs zu ermöglichen, wägt das Gehirn, in der monokularen Tiefenwahrnehmung, verschiedene Hypothesen gegeneinander ab. Diese in der Interpretation stattfindenden kognitiven Prozesse lassen sich entlang der monokularen Tiefenkriterien Aufteilen [12].

- Verdeckung: Objekte überlappen sich im Sichtfeld des Betrachters, wodurch ihre relative Entfernung festgestellt werden kann.
- Relative Größe und Bekanntheitsgrad: Größere Objekte erscheinen dem Betrachter näher als kleinere, ist die Größe eines Objekts bekannt kann eine Distanz zugeordnet werden.
- Linearperspektive: Parallele Linien laufen im Sichtfeld des Betrachters in einem Fluchtpunkt zusammen.
- Texturgradient: Objekte mit gleichem Abstand scheinen in weiter Distanz dichter gepackt.
- Luftperspektive: Verschwommene Objekte erscheinen dem Betrachter als weiter entfernt, während scharfe Kanten eine kürzere Distanz zum Betrachter suggerieren.
- Farbperspektive: Blassere Objekte erscheinen dem Betrachter als weiter entfernt, während Objekte mit einer stärkeren Farbsättigung näher erscheinen.

Um die Illusion von Tiefe zu schaffen, bietet sich im Rahmen dieser Arbeit besonders die Farbperspektive an. Die Sättigung der Farben eines gegebenen Objekts ergibt einen natürlichen Parameter, der direkt zur wahrgenommenen Entfernung korreliert.

4 Dynamische Systeme

Wie bereits angeführt liegt dieser Arbeit die Idee zugrunde die erkennbaren alternativen eines Kipp Bilds als stabile Zustände in Wahrnehmung des Betrachters zu verstehen. Im Folgenden wird angenommen, dass diese aus einem dynamischen System der Form $\dot{x} = f(x, \mu)$ resultieren.

Ein dynamisches System beschreibt im Allgemeinen einen zeitabhängigen Prozess. Dabei lässt sich zwischen zeitdiskreten dynamischen Systemen, in Form der oberen Gleichung, und dynamischen Systemen mit kontinuierlicher Zeitentwicklung wie in der unteren Gleichung unterscheiden.

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= f(x_n) \\ x &= f(t, x)\end{aligned}$$

Aufgrund der Allgegenwärtigkeit zeitabhängiger Prozesse finden dynamische Systeme vielseitige Anwendung in den Naturwissenschaften. Anhand eines einfachen Beispiels lässt sich dieser Unterschied illustrieren.

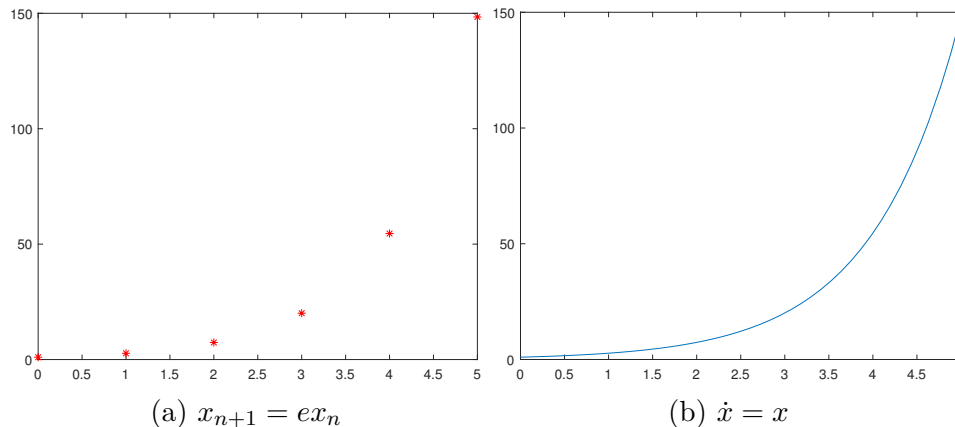


Abbildung 4.1: Abgebildet ist ein einfaches Modell für das Wachstum einer Population, wobei die Population proportional zu ihrer eigenen Größe wächst. Links ist die diskrete Version des dynamischen Systems abgebildet, rechts die kontinuierliche Version

Im Folgenden liegen den Überlegungen dieser Arbeit, kontinuierliche dynamische Systeme zugrunde. Initialisiert man nun dieses System an einem Punkt x_0 entwickelt sich der Zustand gemäß der Differentialgleichung $\dot{x} = f(x, \mu)$. Diese zeitabhängige Entwicklung wird auch als Fluss bezeichnet.

Definition 1. *Fluss*

Für Menge X und die Parametermenge Γ definiert

$$\phi = X \times \Gamma \rightarrow X$$

den Fluss einer Differentialgleichung wenn

- $\phi(x, 0) = x \forall x \in X$
- $\phi(\phi(x, s), t) = \phi(x, s + t) \forall x \in X, s, t \in \Gamma$

Anhand des Flusses lässt sich leicht die Definition des Orbits einführen, mittels welcher wiederum die wichtige Definition eines Fixpunktes aufgestellt werden soll.

Definition 2. Orbit

Der Orbit von einem Punkt $x \in X$ ist mittels des Flusses als folgende Menge definiert:

$$O(x, \phi) := \{\phi(x, t) | t \in \mathbb{R}\}$$

Dabei unterscheidet man zwischen dem Vorwärtsorbit $O^+(x, \phi) := \{\phi(x, t) | t \in \mathbb{R}^{\geq 0}\}$ und dem Rückwärtsorbit $O^-(x, \phi) := \{\phi(x, t) | t \in \mathbb{R}^{< 0}\}$

Somit beschreibt ein Orbit des Punktes x die Menge der Punkte die gemäß der Entwicklung des dynamischen Systems von diesem aus erreichbar sind.

4.1 Fixpunkte

Definition 3. Fixpunkt

Gilt für einen Punkt $\hat{x} \in X : O(\hat{x}) = \{\hat{x}\}$ ist dieser Punkt ein Fixpunkt des Systems. Alternativ lässt sich ein Fixpunkt $\hat{x}$ auch als der Punkt charakterisieren für den $\exists x \in X : \hat{x} = \lim_{t \rightarrow \pm\infty} \phi(x, t)$ gilt.

Im Fall kontinuierlicher dynamischer Systeme gilt dies für einen Punkt $\hat{x} \in X$ an dem im System $\dot{x} = f(x)$ die rechte Seite $0 = f(\hat{x})$ ist. Ist der Ausgangspunkt für die Entwicklung in einem gegebenen System ein Fixpunkt, verändert sich also nichts, doch initialisiert man nahe eines Fixpunktes, lassen sich verschiedene Verhaltensweisen beobachten die mit Eigenschaften eben dieses Fixpunktes zusammenhängen.

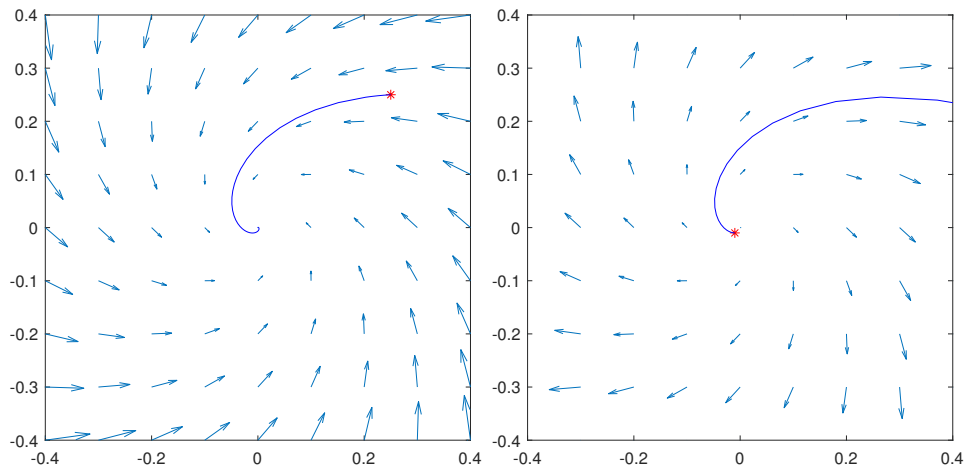


Abbildung 4.2: Abgebildet ist je ein Fixpunkt im Punkt $(x,y)=(0,0)$. Auf der linken Seite ist dieser anziehend, auf der rechten abstoßend. Das System wird in dem roten Punkt initialisiert, von diesem geht ein Orbit für $t \rightarrow \infty$ aus.

Definition 4. *Stabilitätseigenschaften von Fixpunkten*

Gegeben sei der Fixpunkt $\hat{x} \in X$ des Dynamischen Systems $\dot{x} = f(x)$.

- Existiert eine offenen Umgebung $U \subseteq X$ um den Fixpunkt $\hat{x} \in U$, so dass für den Fluss des dynamischen Systems $\lim_{t \rightarrow +\infty} \phi(x, t) = \hat{x} \forall x \in U$ gilt, ist der Punkt $\hat{x}$ ein anziehender (stabiler) Fixpunkt.
- Existiert eine offenen Umgebung $U \subseteq X$ um den Fixpunkt $\hat{x} \in U$, so dass für den Fluss des dynamischen Systems $\lim_{t \rightarrow +\infty} \phi(x, t) = y : y \notin U \forall x \in U \setminus \{\hat{x}\}$ gilt, ist der Punkt $\hat{x}$ ein abstoßender (instabiler) Fixpunkt.
- Ist ein Fixpunkt weder anziehend noch abstoßend, so ist er ein Sattelpunkt.

In der Praxis ist jedoch die Erfüllung dieser Definitionen häufig schwer zu verifizieren, weswegen im folgenden einige Stabilitätskriterien eingeführt werden sollen. In den kommenden Kriterien spielt die Linearisierung des zu untersuchenden Systems eine zentrale Rolle, weswegen diese zunächst erwähnt werden sollte.

Definition 5. *Linearisierung einer Differentialgleichung*

Die Linearisierung einer Differentialgleichung in einem Punkt $\hat{x}$ bezeichnet die Jacobi Matrix der Gleichung in diesem Punkt.

Für ein gegebenes Gleichungssystem $\dot{x} = f(x)$, $x \in \mathbb{R}^n$ gilt entsprechend $J_{[i,j]} = \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \forall i, j = 1 \dots n$.

Anhand der Eigenwerte dieser Linearisierung lassen sich praktische Kriterien für die Stabilitätsbestimmung in einem gegebenen Punkt aufstellen.

Definition 6. *Stabilitätskriterien anhand von Eigenwerten*

Gegeben sei ein Differentialgleichungssystem $\dot{x} = f(x)$, $x \in \mathbb{R}^n$ und die entsprechende Linearisierung $J \in \mathbb{R}^n$ in dem Fixpunkt $\hat{x}$ mit den Eigenwerten $\lambda_{i=1 \dots n}$

- Gilt $\lambda_i < 0 \forall i \in \{1 \dots n\}$ ist $\hat{x}$ anziehend.
- Gilt $\lambda_i > 0 \forall i \in \{1 \dots n\}$ ist $\hat{x}$ abstoßend.
- Gilt weder $\lambda_i < 0 \forall i \in \{1 \dots n\}$ noch $\lambda_i > 0 \forall i \in \{1 \dots n\}$ und außerdem dass $\lambda_i \neq 0 \forall i \in \{1 \dots n\}$ ist $\hat{x}$ ein Sattelpunkt.

Außer diesen allgemeingültigen Kriterien soll an dieser Stelle noch ein weiteres eingeführt werden.

Definition 7. *Spur-Determinante Kriterium* Für ein gegebenes System $\dot{x} = f(x, \mu)$ mit $x \in \mathbb{R}^2$ lässt sich anhand von Spur und Determinante der Linearisierung J die Stabilität eines Fixpunktes $\hat{x}$ bestimmen. Es gilt:

- $\text{Det}(J) > 0$ und $\text{tr}(J) < 0 \implies \hat{x}$ ist stabil
- $\text{Det}(J) < 0$ und $\text{tr}(J) > 0 \implies \hat{x}$ ist instabil

4.2 Parameterabhängige Differentialgleichungen

Im ersten Absatz dieses Kapitels wurde bereits zu dem folgenden Punkt vorgegriffen. Menschliche Wahrnehmung soll anhand eines parameterabhängigen dynamischen Systems modelliert werden, welche den bisher eingeführten Systemen weitere Freiheitsgrade hinzufügen. Abhängig vom System können diese leichte Veränderungen verursachen, aber auch das Verhalten des Systems drastisch verändern. Ein gutes Beispiel für letzteren Fall ist die Hopf Bifurkation.

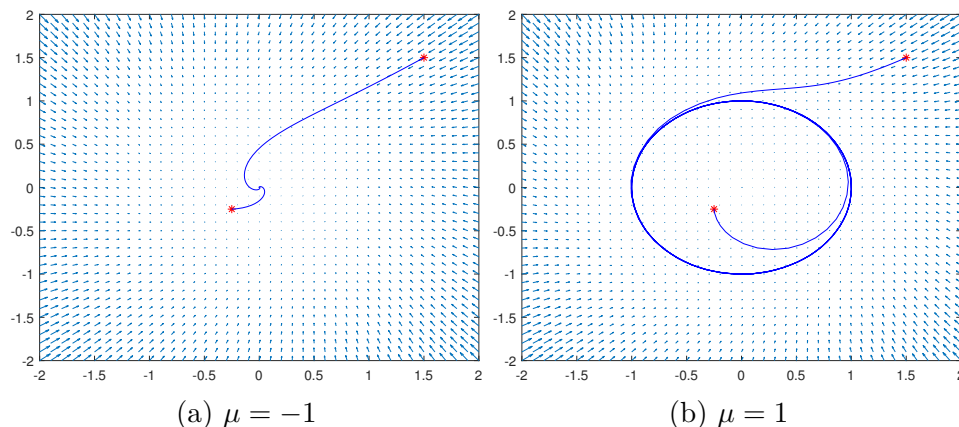


Abbildung 4.3: Abgebildet ist die Hopfbifurkation

Beispiel 1. Hopf Bifurkation

Um das oben dargestellte System und die mit dem wachsenden Parameters einhergehende Verhaltensänderung näher zu untersuchen ist es zweckmäßig die Hopfbifurkation

in ihrer Normalform zu betrachten, hierbei gilt $x, y \in \mathbb{R}$.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -y + x(\mu - (x^2 + y^2)) \\ \dot{y} &= x + y(\mu - (x^2 + y^2))\end{aligned}$$

In diesem Fall bieten Polarkoordinaten jedoch einen besseren Überblick, wobei $r, \theta \in \mathbb{R}$.

$$x = r \cos(\theta), y = r \sin(\theta), r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\begin{aligned}\dot{r} &= f_1(r, \theta, \mu) = r(\mu - r^2) \\ \dot{\theta} &= f_2(r, \theta, \mu) = 1\end{aligned}$$

Zur Ergründung des Verhaltens dieses Systems ist es sinnvoll Fixpunkte festzustellen.

$$\begin{aligned}0 = r(\mu - r^2) &\iff r^3 = \mu r \\ &r^2 = \mu \\ \implies \dot{r} = 0 \forall \mu \in \mathbb{R} &\iff r = 0 \forall \mu \in \mathbb{R} \\ \dot{r} = 0 \forall \mu > 0 &\iff r = \pm \sqrt{\mu}\end{aligned}$$

Durch eine Stabilitätsanalyse wird klar, dass in dem Punkt $\mu = 0$ etwas besonderes passiert. Dafür ist es relevant die Linearisierung der Gleichung des Radius r zu betrachten.

$$\frac{\partial f_1}{\partial r} = \mu - 3r^2$$

Setzt man nun in diese Linearisierung den Wert $r = 0$ ein, zeigt dies, dass die Stabilität des Fixpunktes direkt vom gegebenen Parameter abhängt. Außerdem verändert sich das Verhalten des Systems drastisch im Punkt des Stabilitätswechsels $(r, \mu) = (0, 0)$. In der Pitchfork Bifurkation entspringen diesem Punkt mit Wachsendem Parameter zwei neue stabile Fixpunkte. Im ursprünglichen System der Hopfbifurkation erzeugen die Fixpunkte im Radius kombiniert mit der konstanten Winkelgeschwindigkeit einen periodischen Orbit $\forall \mu > 0$ 4.3b.

Grundlegend nennt man Punkte stabilitätswechsels auch Bifurkationspunkte oder nicht hyperbolische Fixpunkte, im gegensatz zu den bisher betrachteten hyperbolischen Fixpunkten.

In diesen Kriterien werden Fixpunkte an denen für die Eigenwerte ihrer Linearisierung $\exists i \in \{1 \dots n\} : \lambda_i = 0$ gilt ausgeschlossen. Um die Relevanz dieser Punkte zu beleuchten ist es sinnvoll einen Schritt zurück zu nehmen und erneut den Aufbau des zugrunde liegenden Differentialgleichungssystems zu betrachten.

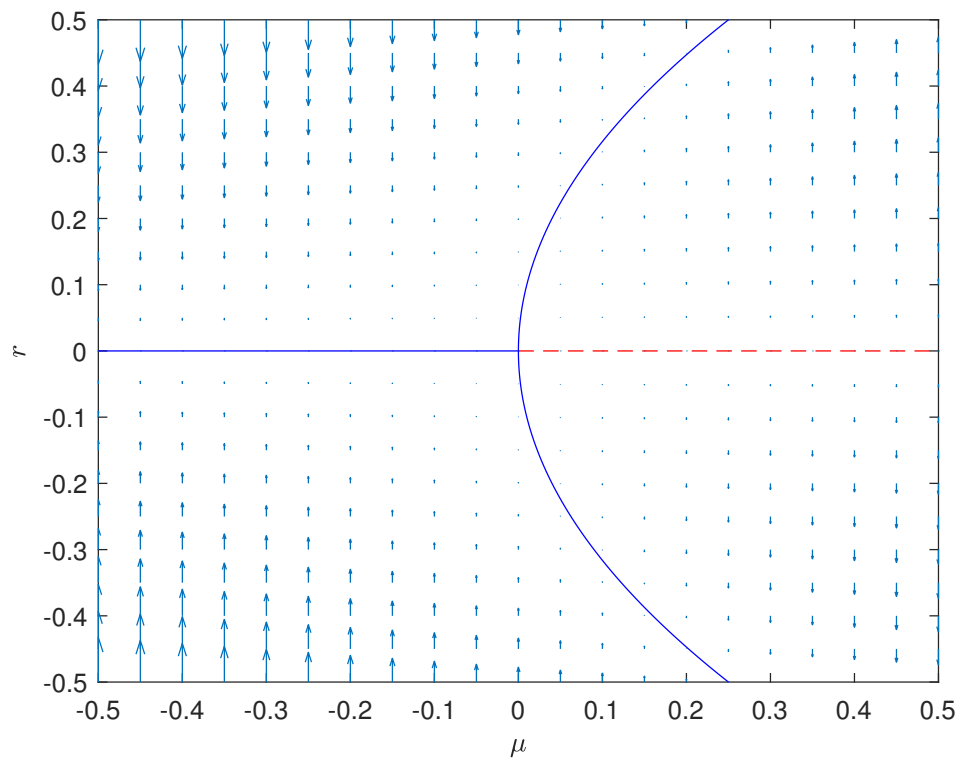


Abbildung 4.4: Abgebildet ist eine Pitchfork-Bifurkation, wobei stabile Fixpunkte in blau und instabile rot gestrichelt eingezeichnet sind.

5 Simulierte Kontrolle einer Hysterese-Normalform

Nachdem im vorherigen Kapitel die grundlegenden Eigenschaften dynamischer Systeme vorgestellt wurden, ist nun die Zielstellung Werkzeuge für die Analyse realer Systeme zu entwickeln und deren Anwendung zu simulieren. Eine der einfachsten Methoden zur ersten Untersuchung eines dynamischen Systems ist der Sweep.

Definition 8. Sweep

Bei einem Sweep wird in einem System $\dot{x} = f(x, \mu)$ die Entwicklung des Systems für $t \rightarrow \pm\infty$ in Abhängigkeit von der diskreten Entwicklung in μ betrachtet.

Ein Sweep garantiert kein vollständiges Bild des Systems, da dieser instabile Fixpunkte nicht zeigt. Außerdem sind in Fällen, wie dem der Pitchfork Bifurkation 5.1a mehrere Sweeps mit verschiedenen Startpunkten notwendig, um alle stabilen Äste zu erfassen. Deswegen ist es Praxis eine Upsweep für $\mu \rightarrow +\infty$ und einen Downsweep für $\mu \rightarrow -\infty$ mit unterschiedlichen Startpunkten durchzuführen

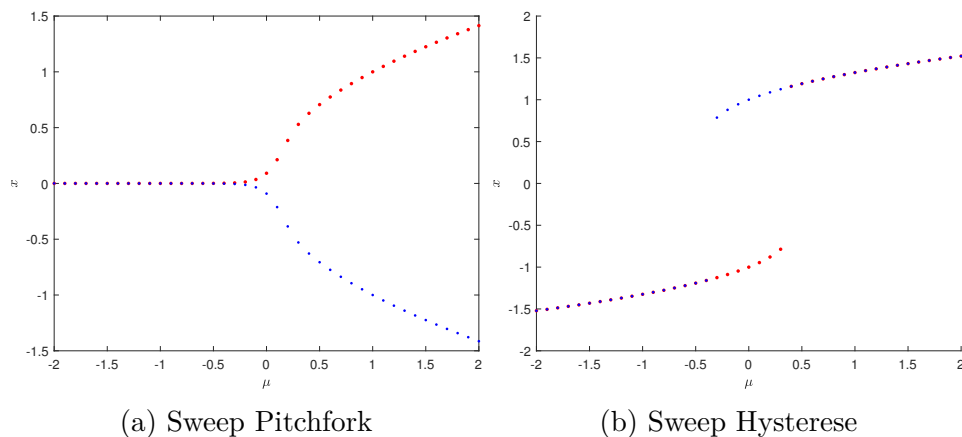


Abbildung 5.1: Abgebildet sind in rot Upsweeps mit Initialisierung $(x, \mu) = (0.1, -2)$ und Downsweeps in blau mit Initialisierung $(x, \mu) = (-0.1, 2)$ in einem Raster mit Gitterbreite 0.1 über μ

Neben des Sweeps der bekannten Pitchfork Bifurkation ist ein Sweep der Hysterese Normalform abgebildet. Diese wird im weiteren Verlauf der Arbeit eine zentrale Rolle spielen. Mit Verweis auf die Literatur [4] [9] und experimentell erhobene Sweeps 7.1. Wird den Simulationen eine Hysterese Normalform zugrunde gelegt.

5.1 Hysterese

Dieses bistabile System erzeugt ein charakteristisches Überlappen stabiler Fixpunkte im Hysterese-Fenster, welches in der Realität hinter einer breitgefächerten Menge an Phänomenen steckt. So weist zum Beispiel ein nicht magnetisierter Ferromagnet Hysterese-Verhalten auf, wenn dieser einem Magnetfeld ausgesetzt ist und dieses dann abgeschaltet wird. Der Magnet behält eine dem Feld entsprechende Magnetisierung bei [13].

Definition 9. *Hysterese Normalform*

$$\dot{x} = \mu + x - x^3 \forall x, \mu \in \mathbb{R} \quad (5.1)$$

Auch im Fall der menschlichen Wahrnehmung ist Hystereseverhalten zu beobachten. Aufgrund des Einfusses des Kurzzeitgedächtnisses [2] auf die Einordnung eines uneindeutigen Stimulus, wie einem Kipp Bild, besteht eine Abhängigkeit zum vorherigen Stimulus [4]. Um dieses Verhalten nachzuweisen eignet sich der oben eingeführte Sweep. Erstellt man nun Varianten des Stimulus, die parametergebunden zugunsten alternativer Interpretationen 6.1 beeinflusst sind, erlaubt dies einen Sweep wie in 5.1b durchzuführen [9]. Doch gibt dieser, wie bereits vermerkt, keine Information über instabile Fixpunkte des Systems. Um diese aufzudecken eröffnen sich verschiedene Möglichkeiten.

Eine bekannte ist die analytische Fixpunkt Bestimmung.

$$0 = \mu + x - x^3 \iff \mu = x^3 - x \forall x, \mu \in \mathbb{R}$$

Somit definiert eine Kubische Funktion eine Kurve entlang derer die Fixpunkte verlaufen. Zusammen mit dem simulierten Sweep 5.1b legt dies nahe, dass der obere und untere stabile Ast durch einen instabilen verbunden sind. Eine Stabilitätsanalyse bestätigt dies.

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial x} &= 1 - 3x^2 \\ \frac{\partial f}{\partial x} &= 0 \iff \pm \sqrt{\frac{1}{3}} = x \\ |x| &< \sqrt{\frac{1}{3}} \implies \frac{\partial f}{\partial x} > 0 \\ |x| &> \sqrt{\frac{1}{3}} \implies \frac{\partial f}{\partial x} < 0 \end{aligned}$$

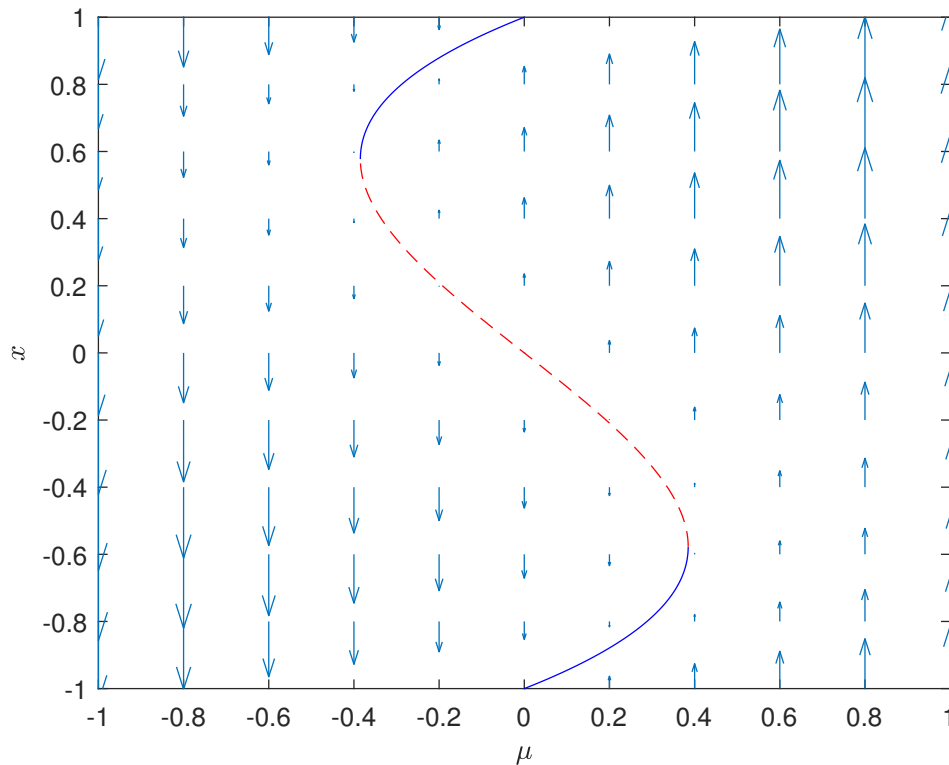


Abbildung 5.2: Abgebildet ist das Bifurkationsdiagramm der Hysterese Normalform, in blau stabile Fixpunkte, instabile Fixpunkte sind rot gestrichelt.

Doch lässt sich dieser instabile Ast in realen Systemen nur schwer erfassen, da ein gegebenes System genau auf diesem initialisiert werden muss, um dort zu verweilen. Allerdings lassen sich instabile Fixpunkte auch auf andere Art und Weise bestimmen.

5.2 Stabilisierung instabiler Zustände

Eine Möglichkeit zur Stabilisierung instabiler Zustände bietet die proportionale Kontrolle gekoppelt mit einem State Observer [5] (im Folgenden auch State Observer Kontrolle).

Definition 10. State Observer Kontrolle

Für ein Differentialgleichungssystem $\dot{x} = f(x, \mu)$ stabilisiert die State Observer Kontrolle instabile Fixpunkte für entsprechende Parameter $a, b \in \mathbb{R}$.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= f(x, \mu) + a(y - x) \\ \dot{y} &= b(y - x)\end{aligned}$$

Die Fixpunkte dieses Systems sind im Bezug auf y gleich denen von x , weswegen der

Term $a(y-x)$ verschwindet. Deshalb bleiben die Fixpunkte im Bezug auf x unverändert.

$$\begin{aligned} b(y-x) = 0 &\iff y = x \\ &\implies \dot{x} = f(x, \mu) \end{aligned}$$

In einem gegebenen System $\dot{x} = f(x, \mu)$ mit $x \in \mathbb{R}$ lassen sich die Parameter a, b leicht anhand des Spur-Determinante Kriterium überprüfen. Dafür muss zunächst die Linearisierung bestimmt werden, dies wird anhand der Hysteresis Normalform demonstriert 5.1.

$$J = \begin{pmatrix} 1 - 3x^2 - a & a \\ -b & b \end{pmatrix}$$

Nun müssen Spur und Determinante der Linearisierung bestimmt werden.

$$\begin{aligned} \det(J) &= b - 3bx^2 - ab - (-ab) \\ &= b - 3bx^2 \\ \operatorname{tr}(J) &= 1 - 3x^2 - a + b \end{aligned}$$

Somit lassen sich die Werte a, b ermitteln, unter denen sich die Punkte $\{(x, y) : |x| < \sqrt{\frac{1}{3}}, y = x\}$ stabilisieren.

$$\begin{aligned} b - 3bx^2 > 0 &\iff 1 > 3x^2 \\ &\iff \sqrt{\frac{1}{3}} > |x| \\ &\iff b > 0 \\ 1 - 3x^2 - a + b < 0 &\iff 1 - 3x^2 + b < a \\ &\iff 1 + b < a \end{aligned}$$

Daher muss für die Parameter $0 < b < a - 1 \forall a, b \in \mathbb{R}$ gelten.

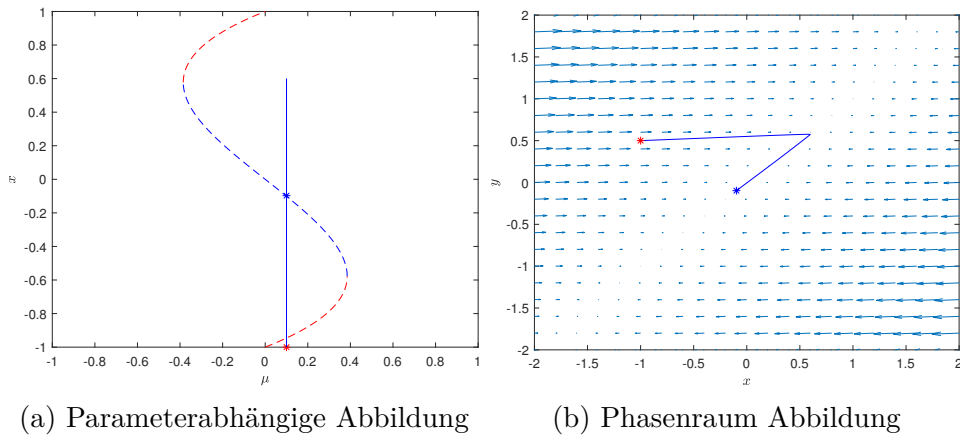


Abbildung 5.3: Abgebildet ist der Fluss der State Observer Kontrolle initialisiert mit den Parametern $a = 20, b = 1, \mu = 0.1$ im rot abgebildeten Punkt $(x, y) = (-1, 0.5)$ bis zum blau abgebildeten Punkt bei $t = 50$. Links sind stabile Fixpunkte blau gestrichelt und instabile rot gestrichelt eingezeichnet.

Dieser Kontrollmechanismus lässt sich anhand des Euler Verfahrens, einem numerischen Verfahren zum Lösen von Anfangswerten zur Anwendung im Experiment diskretisieren.

Definition 11. *Euler Verfahren Gegeben sei ein Anfangswert-Problem: $\dot{x} = f(t, x), x(t_0) = x_0$. Durch das wählen einer Schrittweite $\delta_t > 0$ lässt sich das Problem mit der folgenden Iteration approximativ lösen, wobei $t_i = t_0 + \delta_t \forall i \in \mathbb{N}$ gilt.*

$$x_{i+1} = x_i + \delta_t f(t_i, x_i)$$

Die Anwendung dieses Prinzips liefert eine diskretisierte Version der Stateobserverkontrolle.

$$\begin{aligned} y_{i+1} &= y_i + \delta_t b(y_i - x_i) \\ \tilde{x}_i &= f(x_i, \mu) \\ x_{i+1} &= \tilde{x}_i + \delta_t (\tilde{x}_i + a(y_i - \tilde{x}_i)) \end{aligned}$$

6 Experimentelle Untersuchung von Bistabilität

Mit der Zielstellung der Untersuchung von Bistabilität wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Experiment zur Untersuchung 3 verschiedener Stimulus Übergänge durchgeführt. Zum einen wurden modifizierte Neckerwürfel präsentiert, die durch das parameterabhängige Einblenden von weißen, teils durchsichtigen weißen Flächen anhand von Farbperspektive den Eindruck vermitteln in verschiedenen Orientierung zu stehen. Das studierte Verhalten der Hysterese des Neckerwürfels ist in der Literatur beschrieben [4], jedoch ist bis zu diesem Zeitpunkt noch keine Stabilisierung instabiler Wahrnehmungszustände bekannt. Die Stabilisierung soll mittels State Observer Kontrolle erreicht werden. Die weiteren Stimuli sind Übergänge zwischen je zwei Gesichtern. Die Übergansbilder beider Stimuli werden parameterabhängig mittels mesh-based image warping [17] erstellt. Für beide Gesicht-Paare werden je Sweeps und Kontrollen mittels State Observer Kontrolle durchgeführt. In vorherigen Iterationen des Experiments wurde eine weitere Kontrolle am Neckerwürfel durchgeführt, diese wurde jedoch nicht in der Finalen Version verwendet. Die Teilnehmer werden vor Durchführung anhand der angefügten Anleitung mit dem Experiment vertraut gemacht. Alle Anweisungen während des Experiments werden auf dem Bildschirm eingeblendet.

Für jeden Stimulus Übergang werden den Proband*innen für 5 Sekunden eine vergrößerte Version jeder Orientierungshilfe [18] gezeigt, wonach je zwei Sweeps gefolgt von zwei Kontrollversuchen mittels State-Observer Kontrolle durchgeführt werden. Der erste Sweep beginnt mit einem 20 Sekunden langen Upsweep von $\mu = -0.6$ bis $\mu = 0.6$. Nachdem die Proband*innen aufgefordert werden "Weiter" zu klicken folgt dem Upsweep ein ebenfalls 20 Sekunden langer Downsweep von $\mu = 0.6$ bis $\mu = -0.6$. Dieser Sweep wird mit einer Rate von 0.5 Bildern pro Sekunden (im folgenden FPS) durchgeführt. Aufgrund der deutlich erkennbaren Unterschiede zwischen den Übergangsphasen der Bilder, wird dieser Sweep im folgenden als diskreter Sweep bezeichnet. Nach erneuter Aufforderung auf "Weiter" zu klicken wird diesmal erst ein Down- und dann ein Upsweep durchgeführt, wieder zwischen den Parametern $\mu = -0.6$ und $\mu = 0.6$. Dieser Sweep wird im folgenden als kontinuierlicher Sweep bezeichnet, da dieser eine Framerate von 10 FPS hat. Die Sweeps finden auf dem Intervall $[-0.6, 0.6]$ statt, da sich in vorherigen Iterationen des Experiments die Größe des Hysterese Fensters in relation zu Werten von $|\mu| > 0.6$ als zu klein herausstellte. Nachdem die Proband*innen erneut auf "Weiter" klicken beginnt der erste Kontrollversuch mit einem 5 Sekunden kurzen kontinuierlichen Downsweep von $\mu = 1$ bis $\mu = -1$, direkt gefolgt von einem ebenfalls 5 Sekunden langen Upsweep von $\mu = -1$ bis $\mu = 0.1$, welches dem Parameterwert entspricht, an dem die erste Kontrolle instabile Fixpunkte stabilisieren soll. Die Kontrolle erfolgt durch regelmäßige, erzwungene Sprünge des Sliders. Diese sind in 5 Sekunden Intervallen ge-

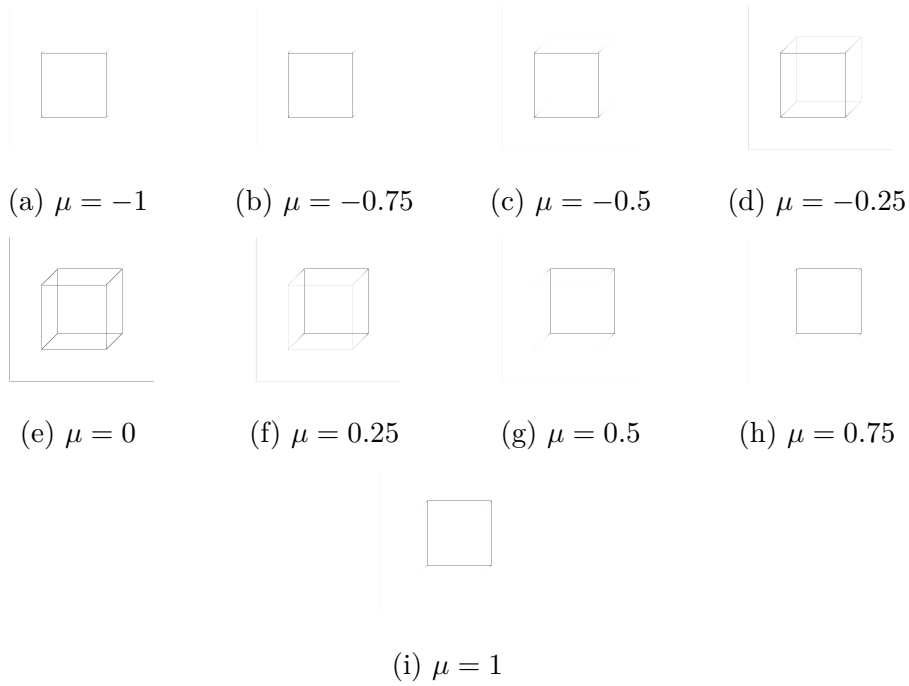


Abbildung 6.1: Abbildung des parameterabhängigen Übergangs des Neckerwürfels

taktet, wobei sie die Proband*innen dazu anregen sollen, den Slider neu auszurichten. Die Richtung der Sprünge des Sliders wird durch die diskretisierte Version der State Observer Kontrolle gegeben, wobei als Startparameter $y_0 = -0.1, a = 20, b = 1$ mit $\delta_t = 0.02$ gewählt wurden. Der zweite Kontrollversuch beginnt mit einem Upsweep von $\mu = -1$ bis $\mu = 1$ gefolgt von einem Downsweep von $\mu = 1$ bis $\mu = -0.1$, hierbei sind die Sweeps denen des ersten Kontrollversuchs ähnlich. Nun wird das selbe Stabilisierungsverfahren wie im ersten Kontrollversuch angewandt, wobei nun $y_0 = 0.1$ gilt. In einer früheren Iteration des Experiments wurden für den Necker Würfel unter gleichen Bedingungen Sweeps durchgeführt, diese Daten gehen ebenfalls in die Auswertung ein.

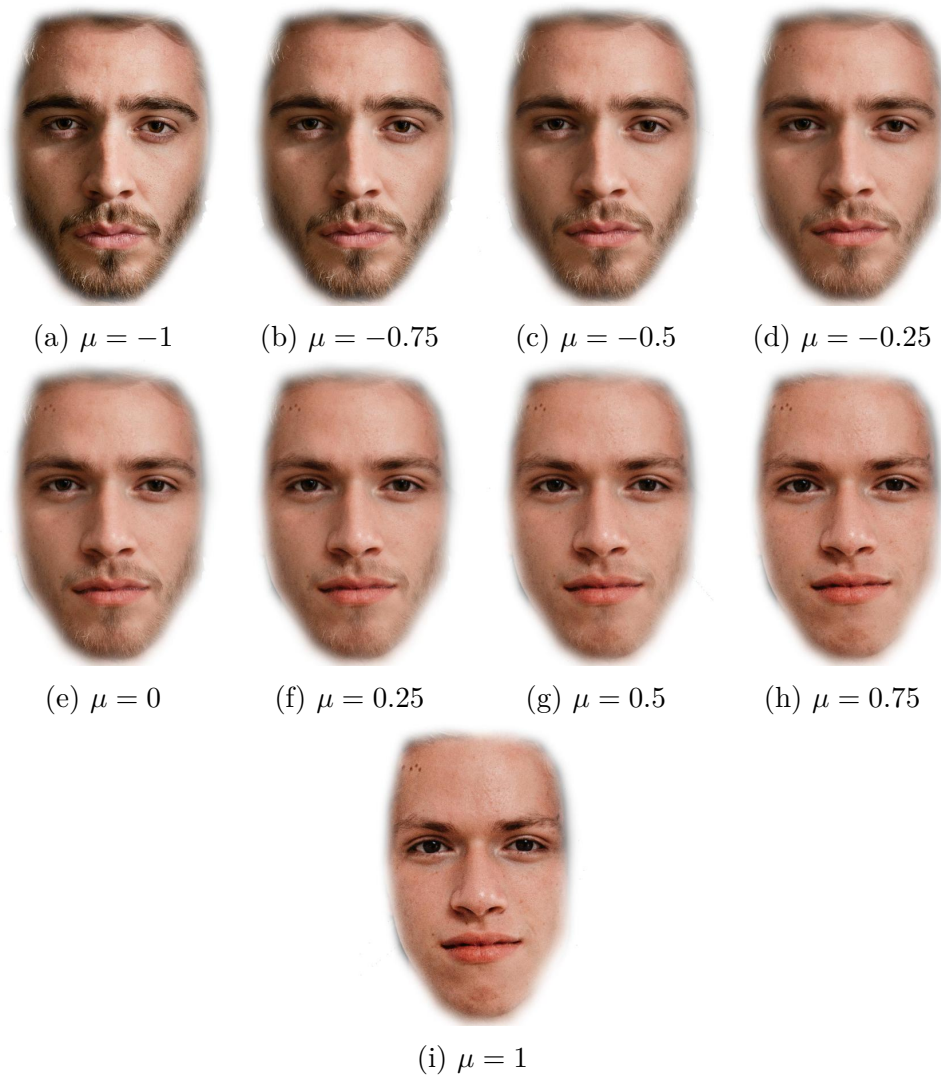


Abbildung 6.2: Abbildung des parameterabhängigen Übergangs zwischen männlichen Gesichtern

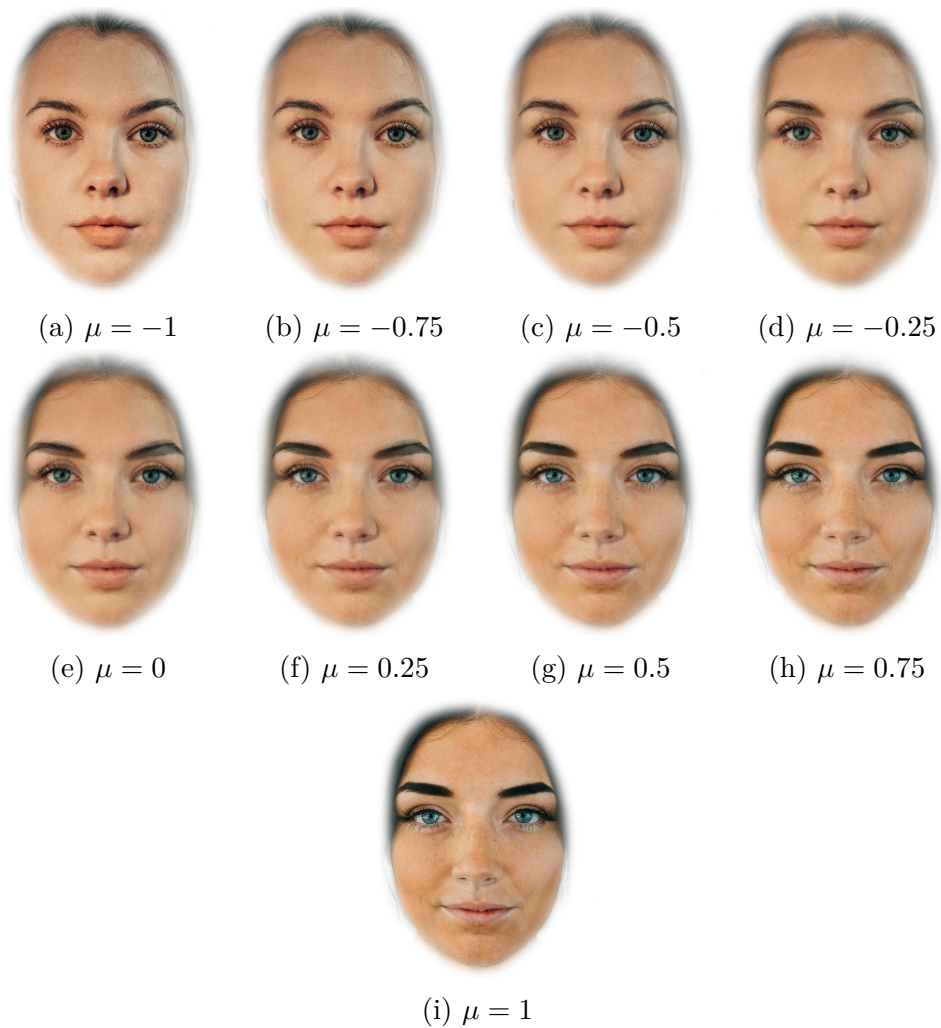


Abbildung 6.3: Abbildung des parameterabhängigen Übergangs zwischen weiblichen Gesichtern

7 Auswertung

Es wurden Experimentell 9 vollständige Datensätze erhoben, vor der folgenden Auswertung ist es sinnvoll auf die Gliederung eben dieser einzugehen. Zu Beginn soll das in der Literatur bekannte Hysterese Verhalten im Necker Würfel [4] in den Daten gezeigt werden. Dazu soll außerdem der herkömmliche diskrete Sweep mit dem kontinuierlichen verglichen werden, wonach die Kontrolle instabiler Zustände in der Wahrnehmung des Necker Würfels in den Vordergrund rückt. Dabei werden die Ergebnisse der nicht invasive Kontrolle zur Stabilisierung instabiler Zustände bearbeitet. Nach diesen, mithilfe des Necker Würfels erhobenen, Ergebnissen werden ebenfalls die des Morphings präsentiert und mit denen des Würfels verglichen.

7.1 Hysterese Verhalten im Necker Würfel

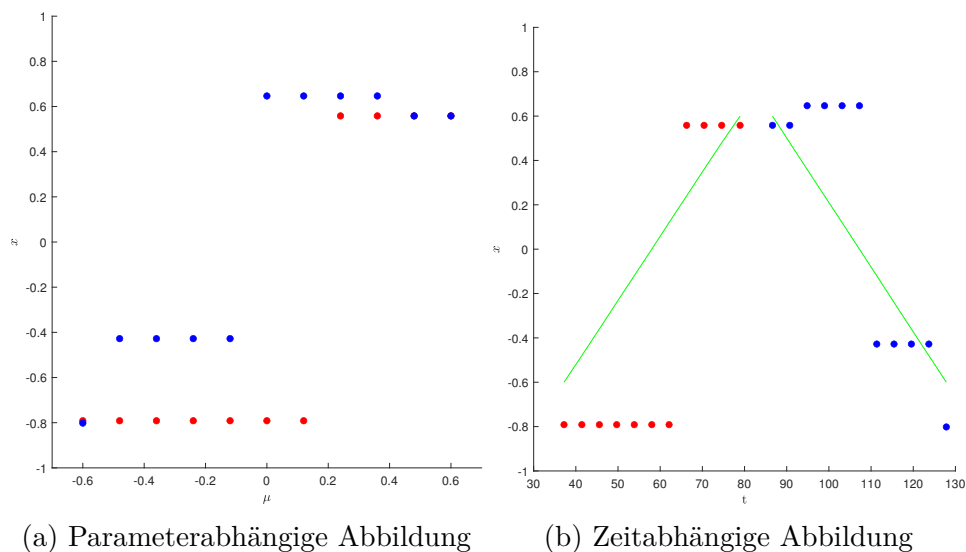


Abbildung 7.1: Abbildung eines diskreten Sweeps am Necker Würfel

Der in 7.1 abgebildete Sweep ist ein gutes Beispiel anhand dessen die präsentierten Daten verständlich aufgeschlüsselt werden können. Abbildung 7.1 zeigt die Sliderposition in Abhängigkeit von dem zum Parameter μ korrespondierenden Stimulus 6.1. Dabei sind die Punkte, die zum Stimuluswechsel gemessenen Sliderpositionen. Hierbei repräsentiert rot den Hin- und blau den Rück- Sweep. Die linke Abbildung 7.1b zeigt die chronologische Entwicklung des Sweeps, wobei t in Sekunden gemessen wird. Dabei entspricht $t = 0$ dem Startzeitpunkt des Experiments. Im die in grün eingezeichneten

Graden repräsentieren den Wert des Parameters μ zum gegebenen Zeitpunkt. Ähnlich dem simulierten Sweep 5.1b erkennt man hier den für Hysterese Verhalten typischen Überhang.

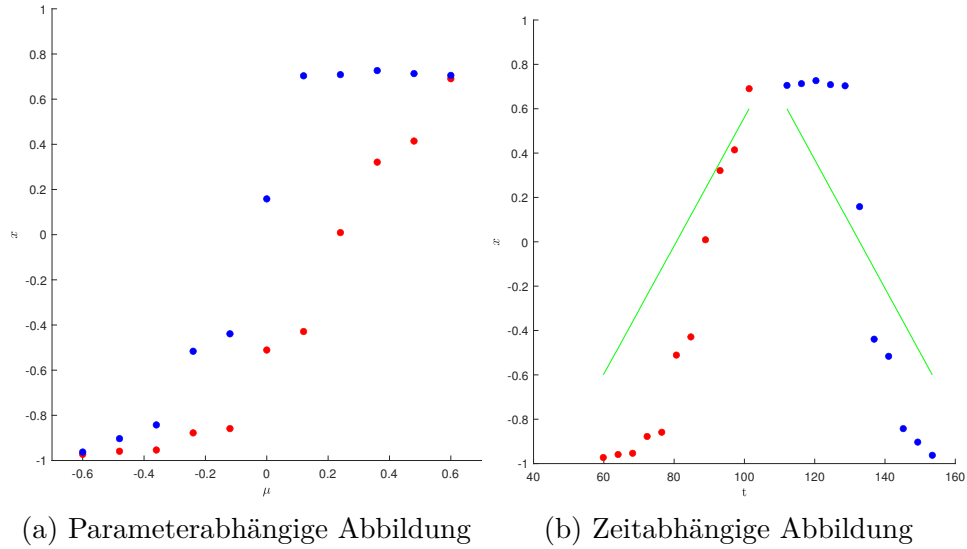


Abbildung 7.2: Abbildung des arithmetischen Mittels des diskreten Sweeps am Necker Würfel

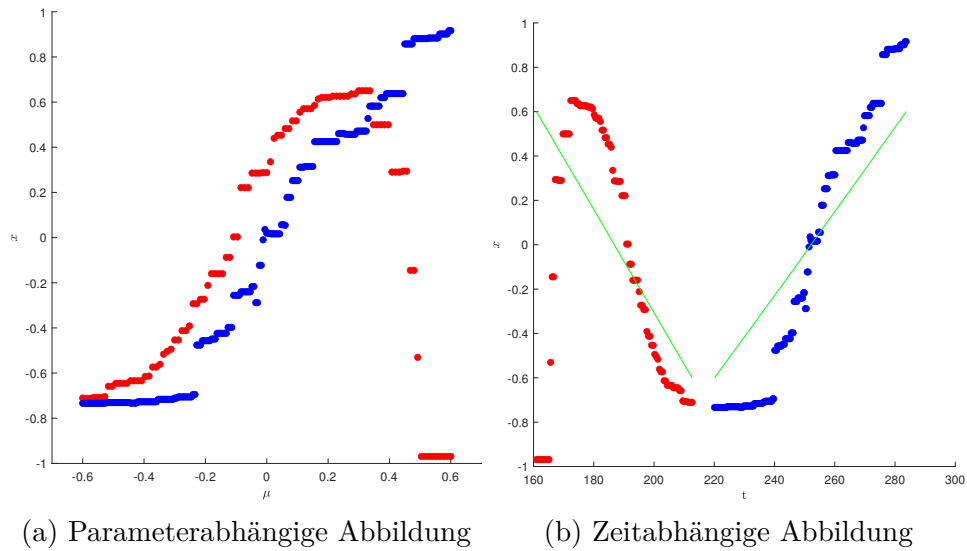


Abbildung 7.3: Abbildung des arithmetischen Mittels des kontinuierlichen Sweeps am Necker Würfel

In den Abbildungen 7.2 und 7.3 sind die Datensätze $D_i, i = 1 \dots 9$ durch $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^9 x_i \forall x_i \in D_i$ gemittelt. In beiden Fällen sind Hysterese Fenster erkennbar, doch scheint das im diskreten Sweep stärker ausgeprägt zu sein. Ermittelt man die Differenzen zwischen Up- und Downsweep bei $\mu = -0.36, 0, 0.36$ also in der Mitte und nahe der Innenseiten

der Ränder des hysterese Fensteres der Normalform stellt man fest, dass der diskrete Sweep mit 0.3952 beim Necker Würfel eine deutlich höhere durchschnittliche Differenz hat, als der Kontinuierliche mit 0.1681. Außerdem zeigen die Differenzen im diskreten Sweep einen klaren Bias für die Interpretation, in welcher die untere rechte Seite des Würfels vorne ist.

Tabelle 7.1: Hysterese Fenster Höhe beim Übergang am Necker Würfel

μ	diskreter Sweep	kontinuierlicher Sweep
$\mu = -0.32$	0.1110	0.1539
$\mu = 0$	0.6692	0.2679
$\mu = 0.32$	0.4054	0.0826

Betrachtet man die Daten einzeln zeigen 5 von 9 der diskreten Sweeps eindeutiges Hysterese Verhalten am Necker Würfel, dagegen zeigen 4 kontinuierliche Sweeps eindeutiges Hysterese Verhalten. In mehreren Fällen wurde Verhalten wie in 7.4 beobachtet, welches nicht als bistabil gewertet wird, da μ und x hier nahezu linear korreliert sind. 3 der 4 diskreten Sweeps ohne Hysterese zeigen dieses Verhalten, im Falle des kontinuierlichen sind es ebenfalls 3. Insgesamt ist bistabiles Verhalten am Necker Würfel bei 7 von 9 Testpersonen mindestens einmal zu beobachten.

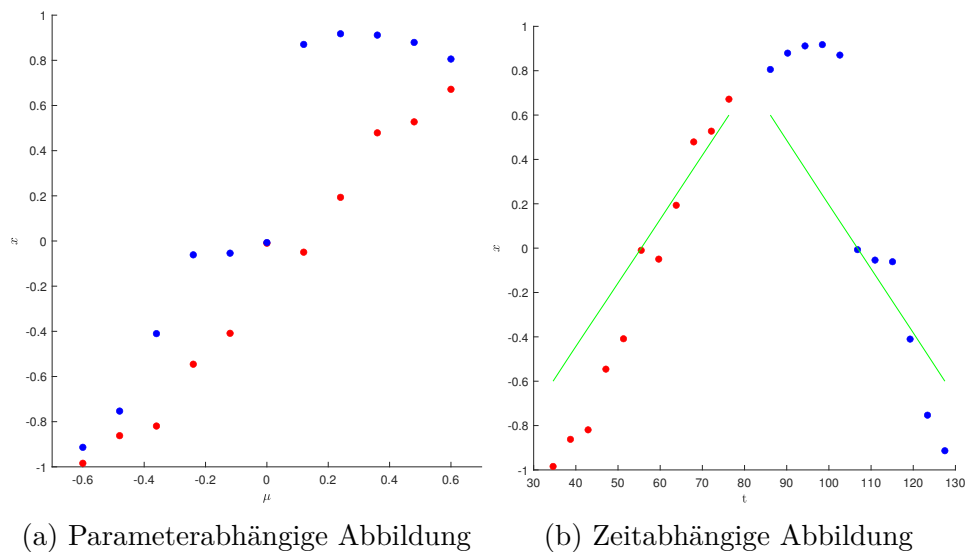


Abbildung 7.4: Abbildung eines diskreten Sweeps am Necker Würfel ohne Hysterese Verhalten

7.2 State Observer Kontrolle im Necker Würfel

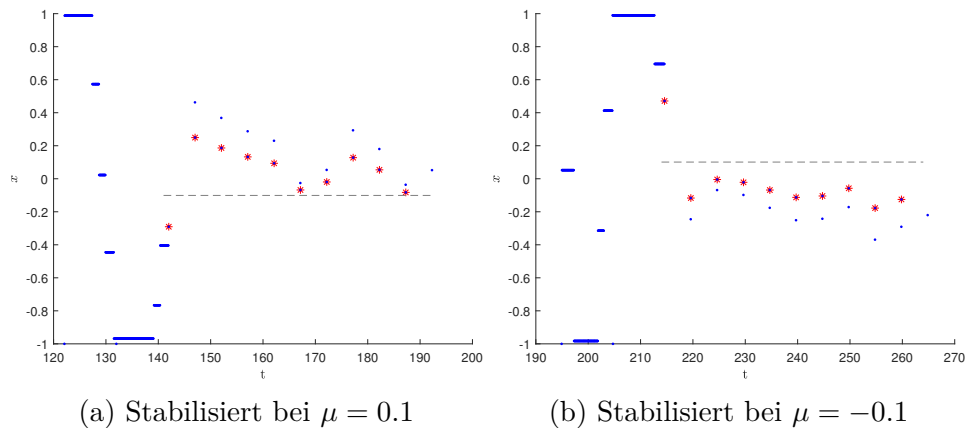


Abbildung 7.5: Visualisiert sind experimentell erhobene Daten unter dem Einfluss nicht invasiver Kontrolle. In Blau sind die Werte des Sliders über der Zeit aufgetragen, rot hinterlegt sind Punkte zu denen der Slider gesprungen ist. Grau gestrichelt ist der zum Parameter korrespondierende Wert der Stabilisiert werden soll.

In 7.5a ist die erfolgreiche Stabilisierung am Punkt $\mu = 0.1$ zu beobachten, daneben die darauf folgende Kontrolle. Hier 7.5b wird das angestrebte Ziel nicht ganz erreicht. In beiden Fällen folgt dem ersten Kontroll-Schritt ein Wechsel der wahrgenommenen Interpretation. Mittels State Observer Kontrolle gelingt es in 7 von 18 Fällen das angestrebte Ziel zu stabilisieren, wobei dies erreicht ist, wenn $x \in \hat{x} \pm 0.2$ für mindestens 10 Sekunden. Hier gilt $\hat{x} = -0.101031$ bei $\mu = 0.1$ und $\hat{x} = 0.101031$ bei $\mu = -0.1$. Bei 5 von 9 Testpersonen ist mindestens einmal die Stabilisierung eines instabilen Zustands gelungen.

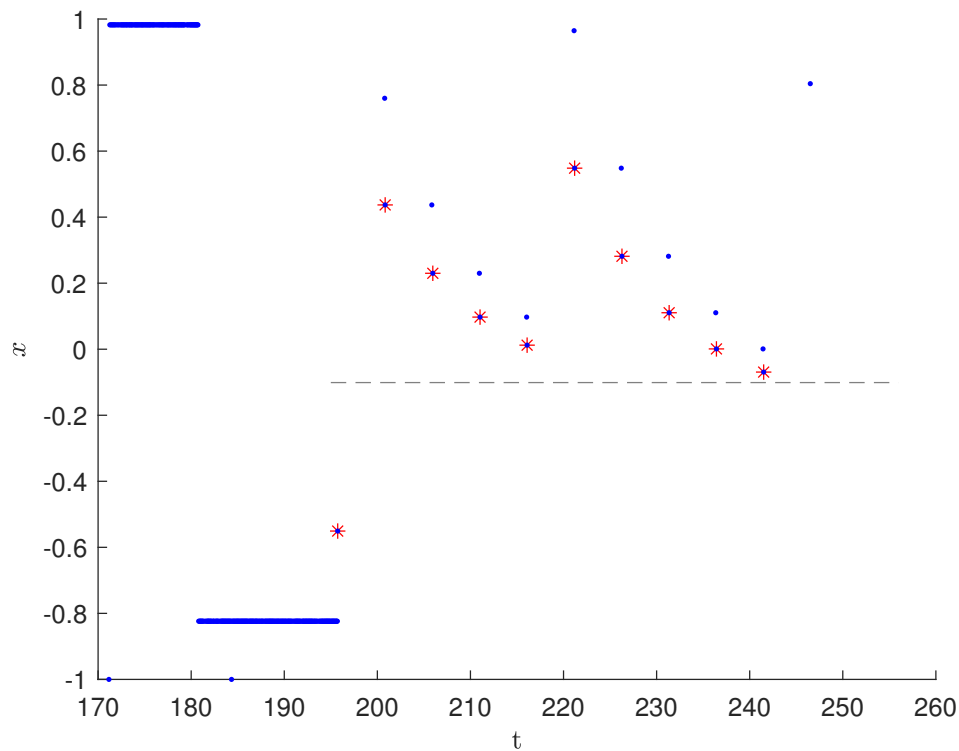
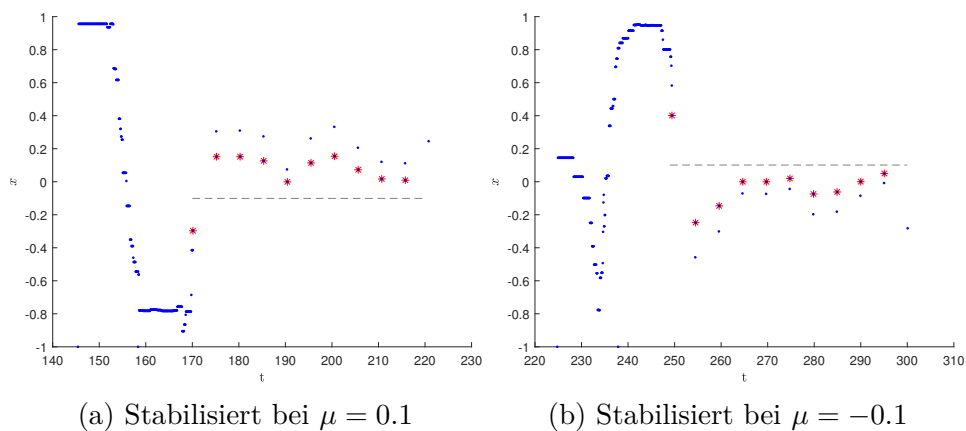


Abbildung 7.6: Abgebildet ist der Verlauf einer State Observer Kontrolle am Neckerwürfel bei welchem unklar ist ob konvergentes Verhalten gezeigt wird

Datensätze in denen Konvergenz allein durch die erzwungene Sliderbewegung zustande kommt 7.6 werden ausgeschlossen, da Proband*innen hier möglicherweise die Verschiebung des Sliders nicht bemerkt haben und dessen Position somit keine Aussagekraft bezüglich der Wahrnehmung der Proband*innen haben.



(a) Stabilisiert bei $\mu = 0.1$

(b) Stabilisiert bei $\mu = -0.1$

Abbildung 7.7: Abgebildet ist das arithmetische Mittel der State Observer Kontrolle am Necker Würfel

7.3 Hysterese Verhalten in der Gesichtserkennung

Im Übergang zwischen männlichen Gesichtern zeigen beide Sweeps einen Bias zugunsten des Gesichtes 6.2a, Proband*innen identifizierten in Gesprächen nach dem Experiment die Gesichtsbeharung als markantestes Merkmal. Die durchschnittliche Höhe des Hysterese Fensters beträgt für den diskreten Sweep gemessen an den Punkten in 7.2 0.5488. Im Gegensatz zum Necker Würfel hat hier der kontinuierliche Sweep ein größeres hysterese Fenster. Sowohl im diskreten als auch im kontinuierlichen Sweep findet sich bei 6 von 9 Proband*innen bistabiles Verhalten. Insgesamt zeigen 8 von 9 Proband*innen mindestens einmal bistabiles Verhalten.

Tabelle 7.2: Hysterese Fenster Höhe beim Übergang zwischen männlichen Gesichtern

μ	diskreter Sweep	kontinuierlicher Sweep
$\mu = -0.32$	0.1450	0.5938
$\mu = 0$	0.8597	1.0216
$\mu = 0.32$	0.6416	0.5185

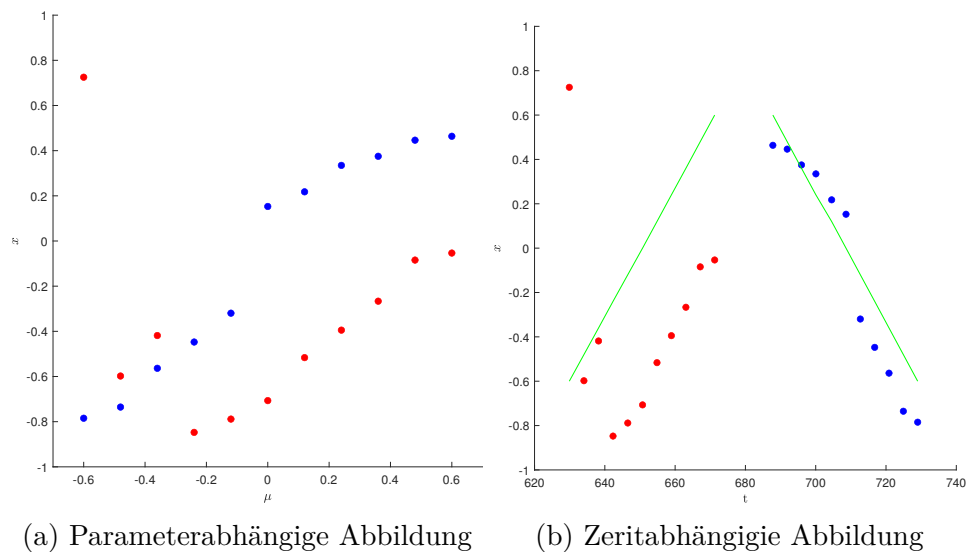


Abbildung 7.8: Arithmetisches Mittel des diskreten Sweeps am Übergang zwischen zwei männlichen Gesichtern

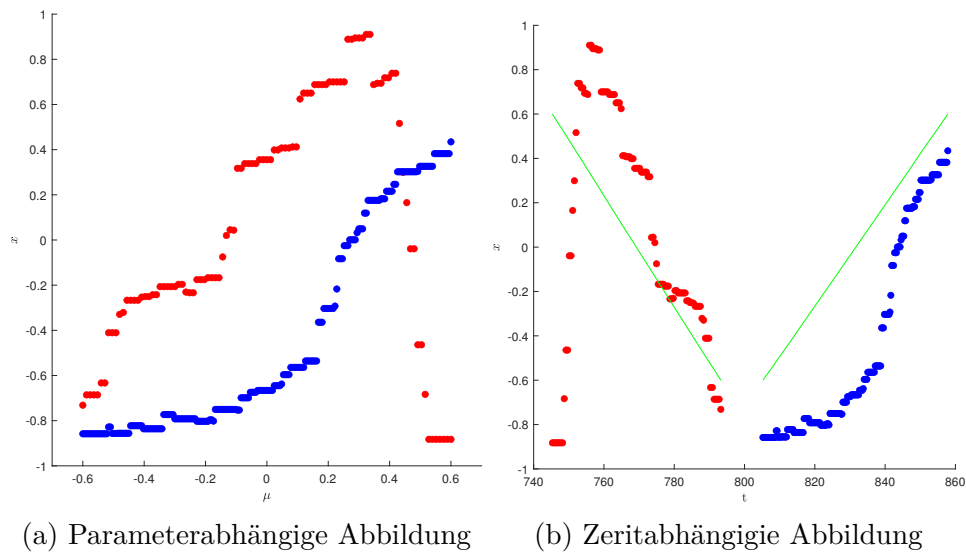


Abbildung 7.9: Arithmetisches Mittel des kontinuierlichen Sweeps am Übergang zwischen zwei männlichen Gesichtern

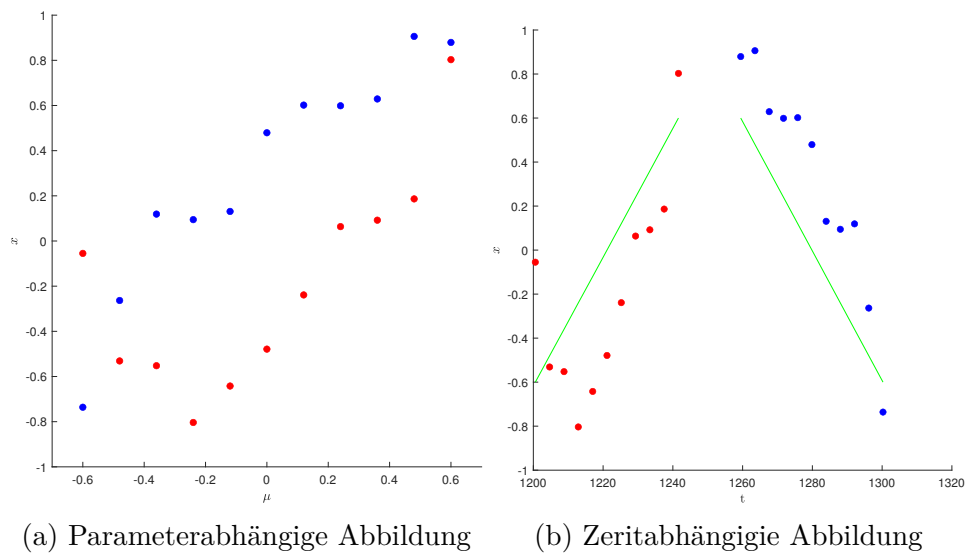


Abbildung 7.10: Arithmetisches Mittel des diskreten Sweeps am Übergang Zwischen zwei weiblichen Gesichtern

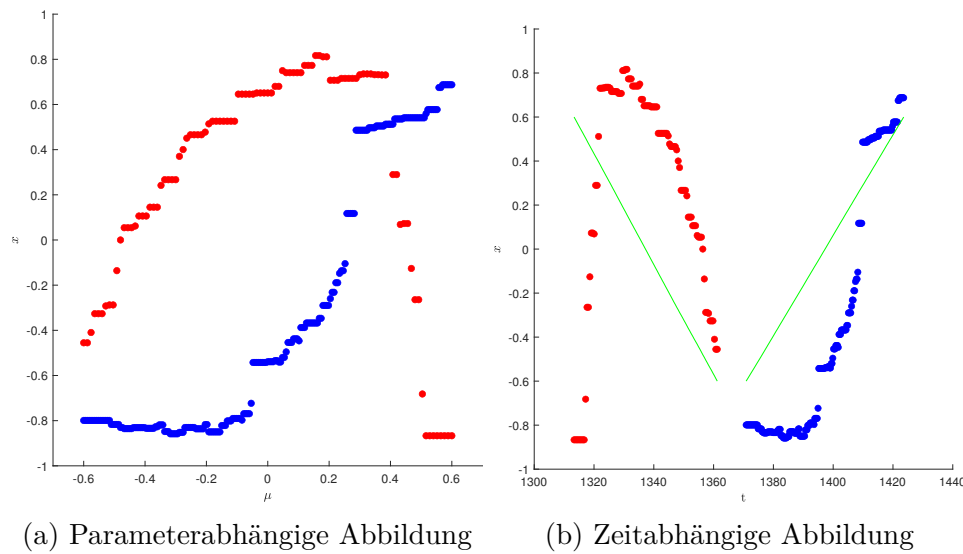


Abbildung 7.11: Arithmetisches Mittel des kontinuierlichen Sweeps am Übergang zwischen weiblichen Gesichtern

Im Übergang zwischen den weiblichen Gesichtern zeigen alle Proband*innen mindestens ein mal hystereses Verhalten. In Gesprächen nach dem Experiment wurde mehrfach erwähnt, dass die weiblichen Gesichter schwer auseinander zu halten sind. Dies spricht für ein breites Hysterese Fenster, welches sich besonders stark in Datensätzen wie diesem 7.12 widerspiegelt, das hystereses Fenster hat fast die Größe des Parameterintervalls des Sweeps.

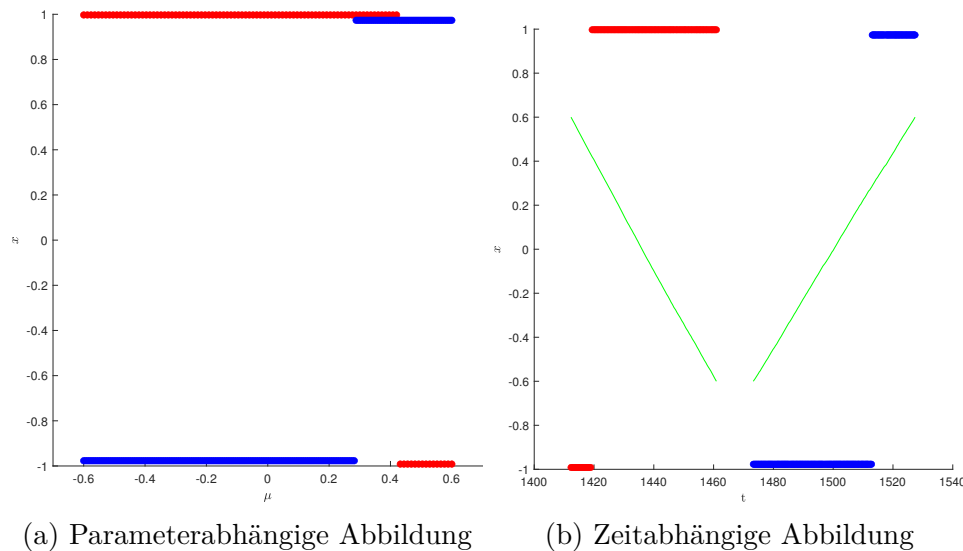


Abbildung 7.12: Abbildung eines kontinuierlichen Sweeps am Übergang zwischen weiblichen Gesichtern mit breitem Hysterese Fenster

In 8 von 9 diskreten und in 6 von 9 kontinuierlichen Sweeps findet sich bistabiles Verhalten. Die Sweeps am Übergang zwischen weiblichen Gesichtern haben die höch-

ten Durchschnittswerte unter den an den Stellen 7.3 gemessenen Werten, der diskrete Sweep mit 0.7220 und der kontinuierliche mit 0.7966. Beide zeigen einen leichten Bias zugunsten des zu $x = 1$ korrespondierenden Gesicht 6.3i.

Tabelle 7.3: Hysterese Fenster Höhe beim Übergang zwischen weiblichen Gesichtern

μ	diskreter Sweep	kontinuierlicher Sweep
$\mu = -0.32$	0.1450	0.5938
$\mu = 0$	0.8597	1.0216
$\mu = 0.32$	0.6416	0.5185

7.4 Stabilisierung instabiler Zustände in der Gesichtserkennung

Im Übergang zwischen männlichen Gesichtern gelingt es, nach den gleichen Kriterien wie beim Necker Würfel, nur in 6 von 18 Fällen bei 5 von 9 Proband*innen einen instabilen Zustand zu stabilisieren. In 5 von 6 Fällen wurde der zum Parameter $\mu = 0.1$ korrespondierende Punkt stabilisiert. Dies zeigt sich auch im arithmetischen Mittel der Kontrolle.

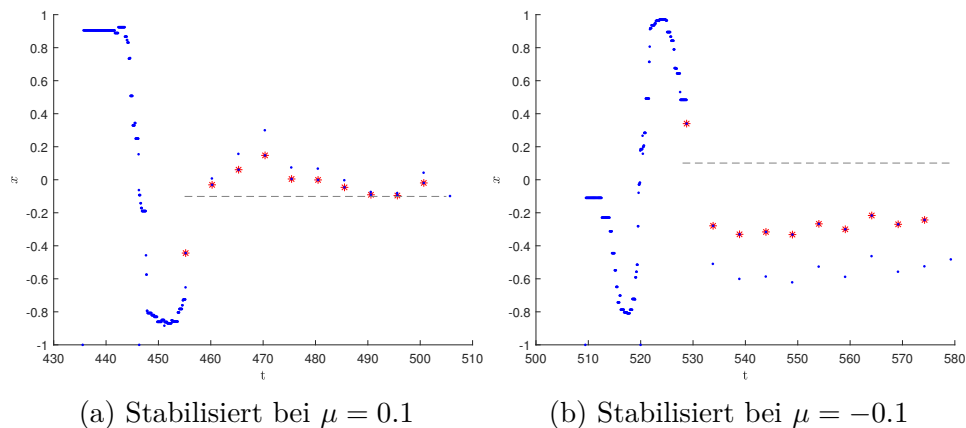


Abbildung 7.13: Abgebildet ist das arithmetische Mittel der State Observer Kontrolle am Übergang zwischen männlichen Gesichtern

Auch hier spiegelt sich der Bias zugunsten des bärtigen Mannes wieder, der Down-sweep in 7.13b überschieß das Hysterese Fenster in fast jedem Stabilisierungsversuch.

Beim Überbergang zwischen den, von Proband*innen als ähnlich beschriebenen, weiblichen Gesichtern gelingt es mit 10 von 18 Fällen am häufigsten instabile Zustände zu stabilisieren. Es gelingt bei 8 von 9 Proband*innen.

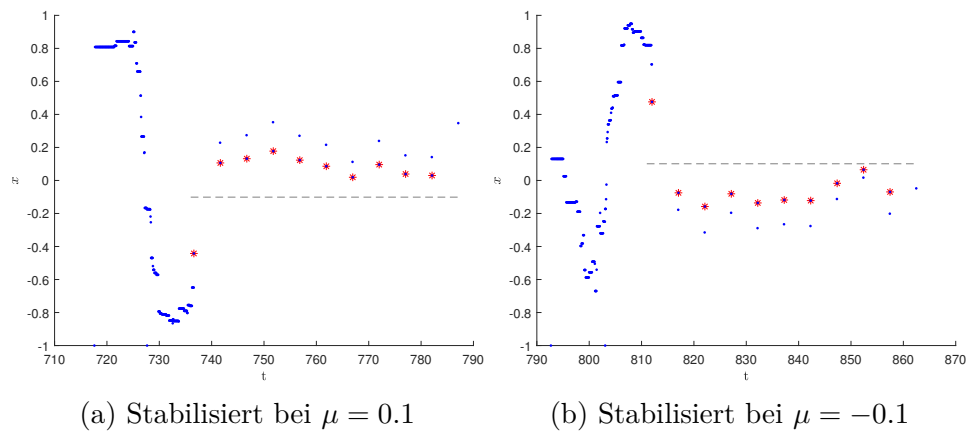


Abbildung 7.14: Abgebildet ist das arithmetische Mittel der State Observer Kontrolle am Übergang zwischen weiblichen Gesichtern

7.5 Diskussion

Trotzdem der Stimulus Übergang am Necker Würfel auf einer Komponente der Tiefenwahrnehmung beruht, ähnelt er phänomenologisch dem zweier Gesichter. Dies spricht für einen kognitiven Prozess der Stimulus unabhängig beim Übergang zwischen zwei visuellen Reizen wirkt. Aufgrund der variierenden experimentellen Umstände in unterschiedlichen Umgebungen sind alle Schlussfolgerungen aus den experimentell erhobenen Daten unter Vorbehalt zu betrachten. Des weiteren limitiert die geringe Anzahl an Proband*innen die tragweite etwaiger Erkenntnisse, jedoch spiegeln die Daten in jedem Stimulus Übergang in mehr als zwei Drittel der Probanden bistabiles Verhalten wieder. Die Prävalenz von Verhalten wie in 7.15 deutet auf eine Destabilisierungsphase besonders bei dem Übergang zwischen Gesichtern hin. Beginnt die Veränderung von μ , setzt die Destabilisierung des stabilen Stimulus, hier 7.15 korrespondierend zu $x = \pm 1$, ein. Diese Phase verläuft langsamer als die tatsächliche Veränderung von μ , wobei sie durch das Überschreiten des Hysterese Fensters durch eine das schnelle Erkennen des anderen Stimulus abgelöst wird.

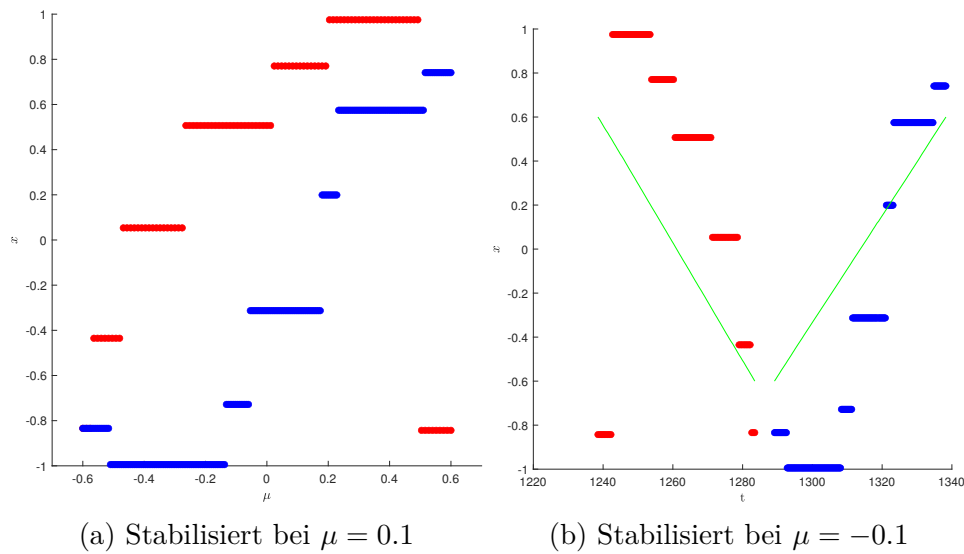


Abbildung 7.15: Abgebildet ist ein Sweep zwischen weiblichen Gesichtern mit Destabilisierungs Phase

So suggerieren die aufgenommenen Sliderpositionen die Stabilisierung eines instabilen Wahrnehmungszustands. Auch wenn das Messen der Sliderposition nur ein indirektes Maß für den Wahrnehmungszustand der Proband*innen ist, zeigen die Daten in mehreren Instanzen dass die Manipulation, durch die erzwungene Bewegung des Sliders, einen stabilen Zustand destabilisieren kann. Selbst wenn keine Stabilisierung instabiler Zustände erfolgt kann die erzwungene Sliderbewegung den Wechsel zu einem anderen stabilen Zustand verursachen 7.16, was zusammen mit den erfolgreichen Stabilisierungen für die Effektivität des Kontrollmechanismus spricht.

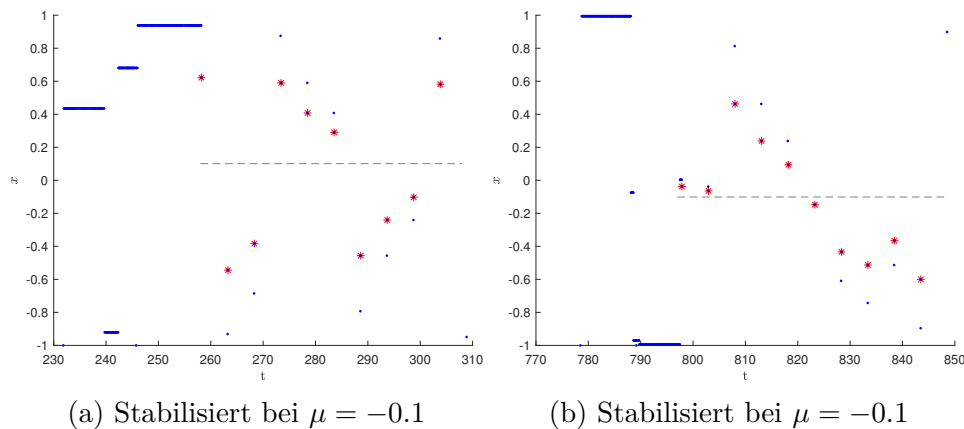


Abbildung 7.16: Abgebildet ist links eine Kontrolle am Necker Würfel, rechts eine Kontrolle am Übergang zwischen weiblichen Gesichtern

Im gegensatz zum Neckerwürfel scheint bistabiles Verhalten beim Erkennen von Gesichtern stärker ausgeprägt. Außerdem ist die Stabilisierung instabiler Zustände schwieriger wenn dem Betrachter markante Merkmale wie der Bart im Übergang zwischen

männlichen Gesichtern 6.2a zur Verfügung stehen.

Zur Validierung der hier erhobenen Daten sind umfassendere Studien notwendig. Im diskutierten Experiment wurden alle Stimuli allen Proband*innen in der selben Reihenfolge präsentiert. Dies könnte einen Lerneffekt erzeugen, durch welches sich das häufigere Auftreten bistabilen Verhaltens und erfolgreicher Kontrolle im letzten Stimulus Paar, den weiblichen Gesichtern, erklären lässt. Randomisierung der Reihenfolge präsentierter Stimuli könnte diesen ausschließen.

Zum Treffen allgemeingültiger Aussagen ist eine kontrollierte Umgebung notwendig, jedoch muss Ablenkung nicht ausgeschlossen werden. Der Einfluss von Ablenkung auf das Kurzzeitgedächtnis [19] bietet einen weiteren Parameter zur Beeinflussung der Stabilität von Wahrnehmungszuständen.

Literaturverzeichnis

- [1] Hermann v. Helmholtz Die Untersuchung der Funktionsweise des Geistes als Gegenstand einer wissenschaftlichen Psychologie ,R. Mausfeld, Psychologische Rundschau, 1994
- [2] Transient and sustained activity in a distributed neural system for human working memory. Courtney, S., Ungerleider, L., Keil, K. et al. Nature 386, 608–611 (1997).
- [3] The Neural Structures Expressing Perceptual Hysteresis in Visual Letter Recognition, A. Kleinschmidt, C. Büchel, C. Hutton, K. J Friston, R. S.J Frackowiak, Neuron 16 May 2002
- [4] Positive and negative hysteresis effects for the perception of geometric and emotional ambiguities. Liaci E, Fischer A, Atmanspacher H, Heinrichs M, Tebartz van Elst L, Kornmeier J. PLOS ONE 2018 Sep 26;
- [5] Detecting Stability and Bifurcation Points in Control-based Continuation for a Physical Experiment of the Zeeman Catastrophe Machine, A. Dittus, N Kruse, I. Barke, S. Speller , J. Starke, SIAM Vol. 22 Iss.2 (2023)
- [6] Oscillations in the perception of ambiguous patterns a model based on synergetics. Ditzinger, T., Haken, H. Biol. Cybern. 61, 279–287 (1989).
- [7] Spontaneous Necker-cube reversals may not be that spontaneous. M. Wilson,L. Hecker, E. Joos Ad Aertsen, L. T. van Elst, J. Kornmeier, Front. Hum. Neurosci., 30 May 2023
- [8] Observations on some remarkable optical phaenomena seen in Switzerland; and on an optical phaenomenon which occurs on viewing a figure of a crystal or geometrical solid". L.A. Necker,London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science. 1 (5): 329–337 (1832)
- [9] Oscillations in the Perception of Ambiguous Patterns. T. Ditzinger and H. Haken, Biol. Cybern. 61,279-287 (1989)
- [10] Vision : a computational investigation into the human representation and processing of visual information, D.Marr 1982
- [11] Perspektive und Visuelles System, G. Eisner 2019
- [12] Visuelle Informationsverarbeitung Jochen Müsseler Springer 2017 s(24-25)
- [13] <https://de.wikipedia.org/wiki/Hysterese> 02.09.2023

- [14] <https://www.spektrum.de/lexikon/optik/stereopsis> stand 02.09.2023
- [15] The Mindlessness of Organizational Behaviors. Ashforth, Blake; Fried, Yitzhak. (1988). Human Relations - HUM RELAT. 41. 305-329.
- [16] "The Blind Leading the Sighted: An Eye-Opening Experience of the Wonders of Perception" Gregory, R. (August 2004) Nature. 430 (7002): 836.
- [17] naive (2023). mesh-based image warping (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/mesh-based-image-warping>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved September 6, 2023.
- [18] Anleitung: Test auf bistabiles Verhalten in menschlicher Wahrnehmung M. Beller
- [19] Distraction in Visual Working Memory: Resistance is Not Futile. Lorenc ES, Mallett R, Lewis-Peacock JA, Trends Cogn Sci. 2021 Mar;25(3):228-239
- [20] Bildquellen:
<https://unsplash.com/de/fotos/s4nS3munSg8>
<https://unsplash.com/de/fotos/EGVccebWodM>
<https://unsplash.com/de/fotos/ZmmAnliy1d4>
<https://unsplash.com/de/fotos/ILip77SbmOE>

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Dazu habe ich keine außer den von mir angegebenen Hilfsmitteln und Quellen verwendet und die den benutzten Werken inhaltlich und wörtlich entnommenen Stellen habe ich als solche kenntlich gemacht. Ich versichere, dass die eingereichte elektronische Fassung mit den gedruckten Exemplaren übereinstimmt.

Rostock, den 08.09.2023

Marc-Philipp Beller