

# 1 Statische Optimierung ohne Beschränkungen

Diese Übung beschäftigt sich mit zwei Themengebieten: Zuerst soll die Genauigkeit numerischer Differenzierungsalgorithmen am Beispiel des zentralen Differenzenquotienten und der komplexen Funktionsauswertung untersucht werden. Weiters soll das Minimum einer Kostenfunktion  $f(\mathbf{x})$  bezüglich der Optimierungsvariable  $\mathbf{x}$  in einem unbeschränkten Gebiet gesucht werden. Hierzu soll die *Newton-Methode* in MATLAB implementiert und anschließend anhand von zwei Testfunktionen mit den von der *Optimization Toolbox* zur Verfügung gestellten Algorithmen verglichen werden.

Diese Übung ist in zwei Teile gegliedert. Der erste Teil besteht aus vorbereitenden Aufgaben welche *vor der Übungseinheit* bearbeitet werden sollen. Im zweiten Teil wird eine Aufgabe zum numerischen Differenzieren und ein unbeschränktes Optimierungsproblem gelöst. Diese Aufgaben werden *in der Übungseinheit* bearbeitet.

Bearbeiten Sie folgende Punkte zur Vorbereitung auf die nachfolgenden Aufgaben:

1. Implementieren Sie die *Booth-Funktion*

$$f_{\text{Booth}}(\mathbf{x}) = (x_1 + 2x_2 - 7)^2 + (2x_1 + x_2 - 5)^2$$

und die *Styblinski-Tang-Funktion*

$$f_{\text{Styblinski-Tang}}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i^4 - 16x_i^2 + 5x_i)$$

für  $n = 2$  in MATLAB als separate Funktionen `[f,df,ddf]=calcf_booth(x)` bzw. `[f,df,ddf]=calcf_styblinski_tang(x)`, welche den jeweiligen Funktionswert  $f$ , den analytisch berechneten Gradienten  $df$  und die analytisch berechnete Hessematrix  $ddf$  liefern. Stellen Sie diese beiden Funktionen, wie in Abbildung 1.1 gezeigt, mit dem MATLAB-Befehl `mesh` dar. Zeichnen Sie des Weiteren mit Hilfe des `plot3`-Befehls eine Linie in den Graphen ein.

Veranschaulichen Sie sich darüber hinaus die geometrische Form der Funktionen über eine Darstellung der Höhenlinien mit dem MATLAB-Befehl `contour`. Der MATLAB-Befehl `meshc` vereint die beiden Befehle `mesh` und `contour`.

2. Machen Sie sich mit der *Optimization Toolbox*, allen voran mit dem Befehl `fminunc`, vertraut. Studieren Sie dazu die MATLAB-Dokumentation dieses Befehls.
3. Studieren Sie die Theorie zur Ableitungsberechnung mit Differenzenquotienten, dem komplexen Differenzieren, sowie zur *Newton-Methode* und zu Liniensuchverfahren.

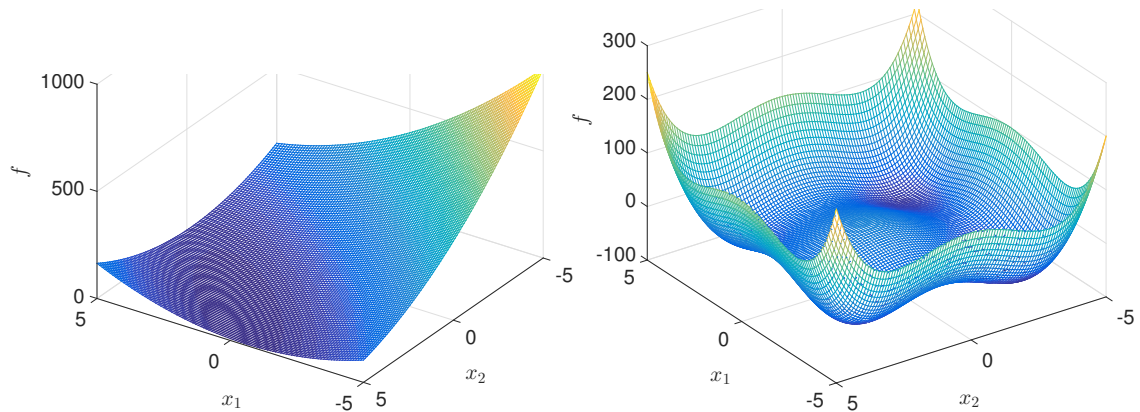


Abbildung 1.1: Booth-Funktion und Styblinski-Tang-Funktion.

Lösen Sie folgende Aufgaben in der Übungseinheit:

1. Implementieren Sie die beiden Unterprogramme `[f,df]=diff_central(fun,x,h)` und `[f,df]=diff_complex(fun,x,h)`, welche den Gradienten einer `fun` mittels zentralem Differenzenquotienten bzw. durch komplexe Funktionsauswertung einer Funktion ermittelt. Beachten Sie dabei, dass das Argument `x` ein Vektor ist. Die Unterprogramme sollen den Funktionswert `f` sowie den Gradienten `df` mit der Schrittweite `h` an der Stelle `x` ermitteln, wobei die Funktion `fun` als *Function Handle* (@-Symbol in Matlab) übergeben wird.

Die Genauigkeit der numerischen Algorithmen wird mit Hilfe der Richtungsableitung der Funktion  $f_{\text{Styblinski-Tang}}(\mathbf{x})$  entlang einer Kurve  $\mathbf{x}(t) \in \mathbb{R}^2$  gemäß

$$d(t) = \nabla f_{\text{Styblinski-Tang}}(\mathbf{x})|_{\mathbf{x}=\mathbf{x}(t)} \cdot \mathbf{x}'(t) \quad (1.1)$$

mit  $\mathbf{x}'(t) = \frac{d\mathbf{x}(t)}{dt}$  beurteilt. Wählen Sie  $\mathbf{x}(t)$  als Gerade  $\mathbf{x}(t) = \mathbf{a} + \mathbf{b}t$  mit  $\mathbf{a} = [-5, -5]^T$  und  $\mathbf{b} = \frac{1}{\sqrt{2}}[1, 1]^T$ .

Berechnen Sie den Gradienten  $\nabla f_{\text{Styblinski-Tang}}(\mathbf{x})|_{\mathbf{x}=\mathbf{x}(t)}$  für die Richtungsableitung (1.1) sowohl analytisch, als auch mit den Unterprogrammen `diff_central` und `diff_complex`. Die Richtung der Gerade  $\mathbf{x}'(t) = \frac{d\mathbf{x}(t)}{dt}$  in (1.1) soll analytisch berechnet werden.

Berechnen Sie weiters die absoluten Fehler zwischen der analytischen und den numerisch berechneten Richtungsableitungen für verschiedene Schrittweiten  $h \in [10^{-9}, 10^{-1}]$  an 10 Punkten im Intervall  $t \in [0, 10\sqrt{2}]$  und mitteln Sie diese für jede Schrittweite.

- Wie verhält sich der Fehler für kleiner werdende Schrittweiten  $h$ ?
- In welchen Bereichen ist der Abschneidefehler bzw. der Rundungsfehler dominant? Wo tritt ein Auslöschungsfehler auf?

2. Programmieren Sie eine Funktion `[x,fval]=newton(fun,x0)`, die mittels der *Newton*-Methode das Minimum einer Kostenfunktion ausgehend vom Startwert  $\mathbf{x}_0$

berechnet. Dabei soll die Kostenfunktion als *Function Handle* und der Startwert als Vektor  $\mathbf{x}_0$  übergeben werden. Wählen Sie eine konstante Schrittweite  $\alpha_k = 1$  (ungedämpfte Newton-Methode) und zeichnen Sie die Iterationsschritte als Linienzug in einem dreidimensionalen Plot ein.

**Hinweis:** Benutzen Sie hier den analytisch berechneten Gradienten sowie die analytisch berechnete Hessematrix.

3. Testen Sie Ihre Methode anhand der *Booth-Funktion* und der *Styblinski-Tang-Funktion*. Starten Sie die Iterationen jeweils an den Punkten  $\mathbf{x}_0 = [5, 0]^T$  bzw.  $\mathbf{x}_0 = [5, 5]^T$ .
  - Konvergiert die Methode zu einem globalen Minimum?
  - Wieso werden ggf. je nach Startwert unterschiedliche Punkte erreicht?
  - Wie kann das Konvergenzverhalten verbessert werden?

**Hinweis:** Das globale Minimum befindet sich bei  $\mathbf{x} = [1, 3]^T$  für die Booth-Funktion und bei  $\mathbf{x} = [-2.903534, -2.903534]^T$  für die Styblinski-Tang-Funktion.

4. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit der von MATLAB zur Verfügung gestellten Funktion `fminunc` unter Verwendung der *Methode der Vertrauensbereiche* (*Trust-Region Method*). Achten Sie auf eine korrekte Übergabe der Optionen, damit tatsächlich diese Methode verwendet wird.

**Hinweis:** Setzen Sie für den MATLAB-Befehl `fminunc` die Option `Display` auf `'iter'` (mit Hilfe von `optimoptions`). Damit wird der Fortschritt der Optimierung nach jedem Iterationsschritt des Algorithmus ausgegeben.