



MATLAB für Naturwissenschaftler

10. Projekt: Vorstellung und Pflichtenheft

Till Biskup

Lehrstuhl für Physikalische Chemie und Didaktik
Universität des Saarlandes



Ein reales Beispiel: Fluoreszenz-Versuch aus dem PCG

- ▶ Ausgangslage
 - Daten wurden alle gemessen
 - Daten liegen als Textdateien (ASCII) vor

- ▶ Zielstellung
 - Vollständige Auswertung gemäß Fragestellung
 - Abbildungen, die den Assistenten zufriedenstellen (und den wissenschaftlichen Standards entsprechen)

- ▶ Vorgehen
 1. Pflichtenheft erstellen (was muss getan werden?) ✓
 2. Notwendige Grundlagen von MATLAB aneignen ✓
 3. Auswertung gemäß Pflichtenheft in MATLAB programmieren

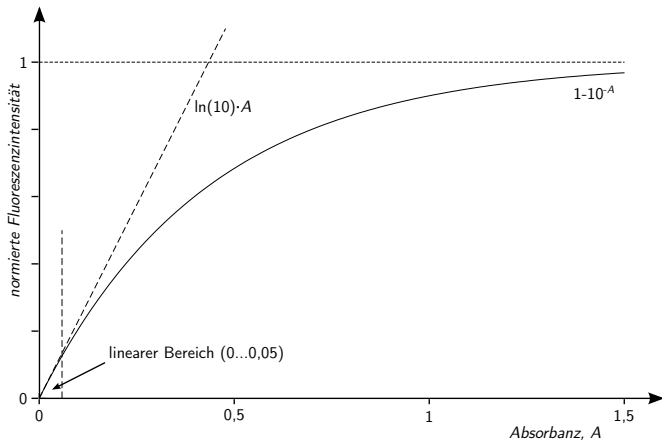


Kurze Beschreibung: Der Fluoreszenz-Versuch im PCG

1. Anregungs- und Emissionsspektren
 - Spektren darstellen
 - Maximum hervorheben
2. Konzentrationsabhängigkeit der Fluoreszenz
 - Intensität als Funktion der Konzentration darstellen
 - Lineare und nichtlineare Kurvenanpassung
3. Bestimmung des Chiningehalts von Tonic Water
 - Lineare Regression
4. Dynamische Fluoreszenzlöschung (Stern-Volmer)
 - Lineare Regression mit festem y-Achsen-Abschnitt

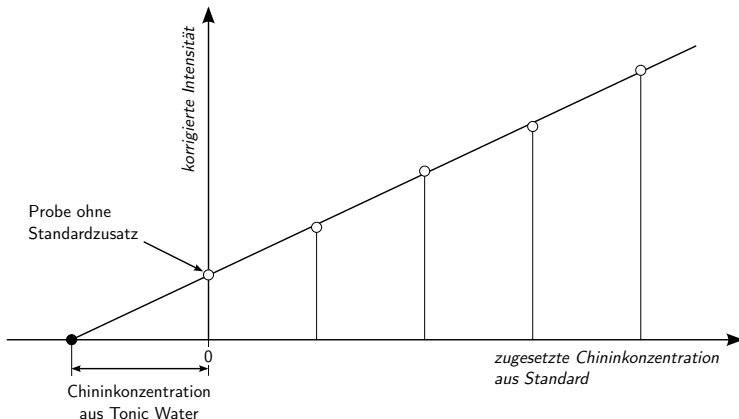


Fluoreszenzintensität als Funktion der Konzentration



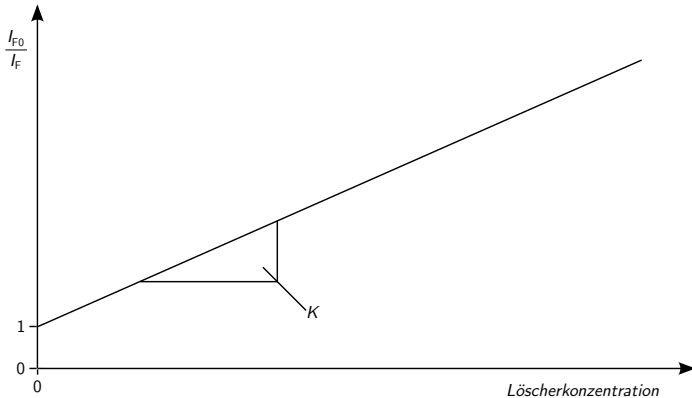


Konzentrationsbestimmung durch Standardaddition





Fluoreszenzlöschung: Stern-Volmer-Auftragung





Pflichtenheft: Einzelne Schritte der Auswertung

- ▶ Daten einlesen
 - Daten importieren in MATLAB
- ▶ Spektren darstellen
 - Daten in MATLAB grafisch darstellen (plotten)
 - Achsenbeschriftungen gemäß Vorgaben
 - Abbildungen aus MATLAB exportieren
- ▶ Intensitäten für eine Wellenlänge aus mehreren Spektren
 - Mehrere Spektren einlesen
 - Zugriff auf einen bestimmten Wert in einem Vektor
- ▶ Lineare und nichtlineare Kurvenanpassung
 - MATLAB-Routinen zur Kurvenanpassung



Daten importieren

Daten verarbeiten

- Zugriff auf die eingelesenen Daten

- Umrechnung von Werten

- Regression und Anpassung von Kurven

Daten darstellen

- Formatierung von Abbildungen

- Grundlegende Plot-Befehle im MATLAB

- Abbildungen aus MATLAB exportieren



Import von Textdateien (ASCII): `importdata`

- ▶ Einsatzgebiet
 - Textdateien mit Kopfzeilen

- ▶ Voraussetzung
 - Länge des Dateikopfes ist bekannt
 - Daten: Identische Spaltenzahl für jede Reihe
 - Daten: Punkt als Dezimaltrennzeichen

- ▶ Parameter der Funktion
 - Dateiname
 - *Optional*: Trennzeichen für die einzelnen Datenspalten
 - *Optional*: Zahl der Kopfzeilen der Datei

☞ Wir werden *diese* Funktion nachher brauchen.



Import von Textdateien (ASCII): `importdata`

Listing 2: Beispiel einer mit `importdata` lesbaren Textdatei

```
1 PE FL                SPECTRUM  ASCII  PEDS      1.60
2   -1
3 1A-01.SP
4 13/05/02
5 13:55:40.00
6 13/05/02
7 13:56:11.00
8
9
10 400.000000
11 1
12 #DATA
13 270.000000  7.640000
14 270.500000  7.712395
15 271.000000  7.775626
16 271.500000  7.830389
17 272.000000  7.877049
18 272.500000  7.925246
19 273.000000  7.979488
20 273.500000  8.035135
```



Import von Textdateien (ASCII): `importdata`

Listing 3: Aufruf der `importdata`-Funktion

```
1 % Aufruf ohne optionale Parameter
2 data = importdata('filename');
3
4 % Aufruf mit Spaltentrennzeichen (hier: Tabulator)
5 data = importdata('filename','\t');
6
7 % Aufruf mit Spaltentrennzeichen und Anzahl Kopfzeilen
8 data = importdata('filename','\t',13);
```

► Wichtige Hinweise

- Zahl der Kopfzeilen kann nur *gemeinsam* mit dem Spaltentrennzeichen angegeben werden.
- Rückgabeparameter (`data`) ist ein `struct`
Felder: `data`, `textdata`, `colheaders`



Daten: Wahrung der empirischen Wissenschaften

- ▶ Grundlage und Ausgangspunkt empirischer Wissenschaft
 - Daten sind nicht notwendigerweise „offensichtlich“.
 - Messung zur „Aufnahme“ von Daten
- ▶ Daten iberdauern, Interpretationen ändern sich
 - Daten nach bestem Wissen und Gewissen aufnehmen
 - Rohdaten *niemals* wegwerfen
- ▶ Verantwortung des Wissenschaftlers
 - Saubere Datenaufnahme und -dokumentation
 - Nachvollziehbarkeit der Datenaufnahme und -verarbeitung
 - Reproduzierbarkeit der Ergebnisse



Zugriff auf die eingelesenen Daten

- ▶ `importdata` liefert ein `struct` zurück
 - Eigentliche Daten stehen im Feld `data`
 - `data` in diesem Fall Matrix mit zwei Spalten

Listing 4: Zugriff auf die Daten aus `importdata`

```
1 % Import data; separator: tabulator; header lines: 42
2 data = importdata('datafile.txt','\t',42);
3 % Note: "data" is a structure with three fields
4 %     data      - numeric; contains the actual data
5 %     textdata  - cell array; header lines
6 %     colheaders - cell array; column headers
7
8 % Plot y = f(x)
9 % x is in the 1st column of data.data
10 % y is in the 2nd column of data.data
11 plot(data.data(:,1),data.data(:,2));
```



Zugriff auf die eingelesenen Daten

- ▶ Zugriff auf Intensitätswert über Wellenlängenachse
 - Gefragt sei nach der Intensität bei 448 nm
 - Zugriff über „logische Indizierung“

Listing 5: Logische Indizierung

```
1 % Import fluorescence spectrum; separator: tabulator; header lines: 42
2 data = importdata('1E-01.sp', '\t', 42);
3
4 % Assume that data.data(:,1) is the wavelength axis
5 %           and data.data(:,2) the corresponding intensities
6
7 % Get intensity at 448 nm
8 Int448 = data.data(data.data(:,1)==448,2)
```



Zugriff auf die eingelesenen Daten

- ▶ Handhabung mehrerer Datensätze
 - Gefragt seien elf Datenpunkte, je aus einem Datensatz
 - Fluoreszenzintensität gegen Konzentration auftragen

Listing 6: Mögliche Verarbeitung mehrerer Datensätze

```
1 % Cell array with filenames
2 fileNames = {'2E-01.sp', '2E-02.sp', ..., '2E-11.sp'};
3
4 % For each filename, load file and get intensity at 448 nm
5 for k=1:length(fileNames)
6     data = importdata(fileNames{k}, '\t', 42);
7     Int448(k) = data.data(data.data(:,1)==448,2);
8 end
```

👉 **Tipp:** Initialisierung von `Int448` (Warnung im Editor)



Umrechnung von Werten

- ▶ Normierung der Fluoreszenzintensität auf die Leerprobe
 - Abziehen des Wertes der Leerprobe

Listing 7: Matrixoperationen – eine Stärke von MATLAB

```
1 % Assume Int448 to be a vector of fluorescence intensities at 448 nm
2 % Assume the first element of Int448 to be the blank
3 normInt448 = Int448-Int448(1);
```

- ▶ Anmerkungen
 - `Int448` ist ein Vektor mit mehreren Elementen.
 - `Int448(1)`, der erste Wert von `Int448`, ist die Leerprobe.



Regression und Anpassung von Kurven

- ▶ Allgemeines zur Kurvenanpassung
 - Häufig über Minimierung der Summe der Fehlerquadrate (*least squares fit*)
 - *Erst überlegen*, welches Modell man anpassen möchte
 - Zahl der Parameter ist entscheidend

- ▶ Arten von Kurvenanpassungen im Fluoreszenzversuch
 - Linear (ein und zwei Parameter)
 - Nichtlinear

- ☞ MATLAB stellt diverse Möglichkeiten zur Verfügung.



MATLAB-Routinen zur Kurvenanpassung

- ▶ Polynome
 - `polyfit`, `polyval`
- ▶ Lineare Gleichungssysteme
 - `\`, `lsq`
- ▶ Allgemeine nichtlineare Kurvenanpassungen
 - `fminsearch`
 - (kommerzielle) Toolboxes



Lineare Regression mit zwei Parametern

- ▶ Funktion: $y = m \cdot x + c$
- ▶ MATLAB-Funktion: `polyfit`, `polyval`

Listing 8: Lineare Regression mit zwei Parametern

```
1 % Assume data x,y
2 % Fit polynomial of first order, f(x)=y=m*x+c
3 coefficients = polyfit(x,y,1);
4
5 % Get regression curve with calculated coefficients
6 regression   = polyval(coefficients,x);
```



Lineare Regression durch den Ursprung

- ▶ Funktion: $y = m \cdot x$
- ▶ MATLAB-Funktion: `lscov` oder `\`

Listing 9: Lineare Regression durch den Ursprung

```
1 % Assume data x,y
2 % Use system of linear equations, A*m = B => y = m*x
3 % Solve using "lscov" to get slope
4 m = lscov(x(:),y(:));
5
6 % Second parameter gives error estimate
7 [m,sm] = lscov(x(:),y(:));
```

- ▶ Anmerkungen
 - `lscov` ist empfindlich auf die Dimension der Vektoren.
 - `x(:), y(:)` umgeht das Problem.



Nichtlineare Kurvenanpassung

- ▶ Funktion: $y = a \cdot (1 - 10^{-b \cdot x})$
- ▶ MATLAB-Funktion: `fminsearch`

Listing 10: Nichtlineare Kurvenanpassung

```
1 % Assume data x,y
2 % Set starting values for coefficients c
3 c = [1000 5e-4];
4
5 % Define model to fit the data, with vector of coefficients c
6 % Model: y = c(1)*(1-10^(-c(2)*x))
7 model = @(c)c(1).*(1-10.^(-c(2).*x));
8
9 % Define fit function as sum of residual least squares
10 fitfun = @(c)sum((y-model(c)).^2);
11
12 % Get coefficients using fminsearch
13 coeff = fminsearch(fitfun,c);
```



Daten darstellen

- ▶ **Abbildungen sind wichtig**
 - „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte..“
 - *Charakteristika* der Daten darstellen und hervorheben
 - Eine gute Abbildung darf Zeit kosten.

- ▶ **Allgemeine Hinweise**
 - Vorhandenen Platz möglichst ideal ausnutzen
 - Beschriftungen: vollständig, korrekt und ausreichend groß
 - Abbildungen durchnummerieren
 - Verweise aus dem Text

- ▶ **Tipps zu Abbildungsunterschriften**
 - Zusammenfassung im ersten Satz (ggf. fett hervorheben)
 - Alle wichtigen Informationen in die Abbildungsunterschrift



Formatierung von Abbildungen

- ▶ Konventionen in den Naturwissenschaften
 - Diskrete Datenpunkte (normalerweise) nicht verbinden
 - Formelgrößen *kursiv* setzen
 - Einheiten aufrecht und *nie* in eckigen Klammern
 - Achsenbeschriftungen: *Größe* / Einheit
- ▶ MATLAB unterstützt grundlegende \LaTeX -Formatierung
 - kursiver Text: „`\it Text`“
 - hochgestellter Text: „`^{\text{Text}}`“
 - tiefgestellter Text: „`_{\text{Text}}`“
- ▶ Hinweis zu Sonderzeichen
 - MATLAB unterstützt (noch) kein Unicode
 - Sonderzeichen sind mitunter betriebssystemabhängig



Grundlegende Plot-Befehle im MATLAB

- ▶ Eindimensionale Daten darstellen: `plot`
 - Eine Dimension: $f(x)$ gegen x auftragen
 - Häufigste (und einfachste) Darstellungsform
- ▶ Achsen beschriften: `xlabel`, `ylabel`
 - Wichtig: Auf korrekte Formatierung achten
 - Größe und Einheit (wenn es eine Einheit gibt)
- ▶ Legende: `legend`
 - Box innerhalb der Achsen
 - Beschreibung jeder einzelnen „Kurve“
 - Position (in gewissen Grenzen) kontrollierbar

☞ Details und weitere Plot-Befehle in der MATLAB-Hilfe



Abbildungen aus MATLAB exportieren

- ▶ MATLAB unterstützt Export in diverse Grafikformate
 - Vektorisiert: EPS, PDF
 - Bitmap: PNG, JPG, ...
 - Vektorgrafiken sind *immer* zu bevorzugen
(einfache Nachbearbeitung mit anderen Programmen)
- ▶ Grundsätzlich zwei Wege zum Export von Abbildungen
 - Grafisch über die MATLAB-GUI bzw. das Menü des Fensters
 - Über die Kommandozeile
- ▶ Befehle zum Speichern von Abbildungen in MATLAB
 - `saveas, print`
- ☞ Export führt mitunter zu überraschenden Ergebnissen



Abbildungen aus MATLAB exportieren

Listing 11: Beispiel für den Grafikexport mit `saveas`

```
1 % Save current figure ("gcf") as PNG file (bitmap)
2 saveas(gcf, 'myFigure.png', 'png');
```

Listing 12: Beispiel für den Grafikexport mit `print`

```
1 % Save current figure ("gcf") as PDF file (vectorised)
2 print(gcf, '-dpdf', 'myFigure.pdf');
```

- ▶ Umfangreiche Kontrolle des Aussehens möglich
 - Papierformat, Schriftart und -größe, ...
 - Eigenschaften der Abbildungen über `set` setzen
- ▶ Tipp: Eigene Routine zum Export von Abbildungen

Ausblick

Wie geht's weiter?



...Zeit für eigene praktische Arbeit...

„Lunch atop a Skyscraper“, Charles C. Ebbets, 1932