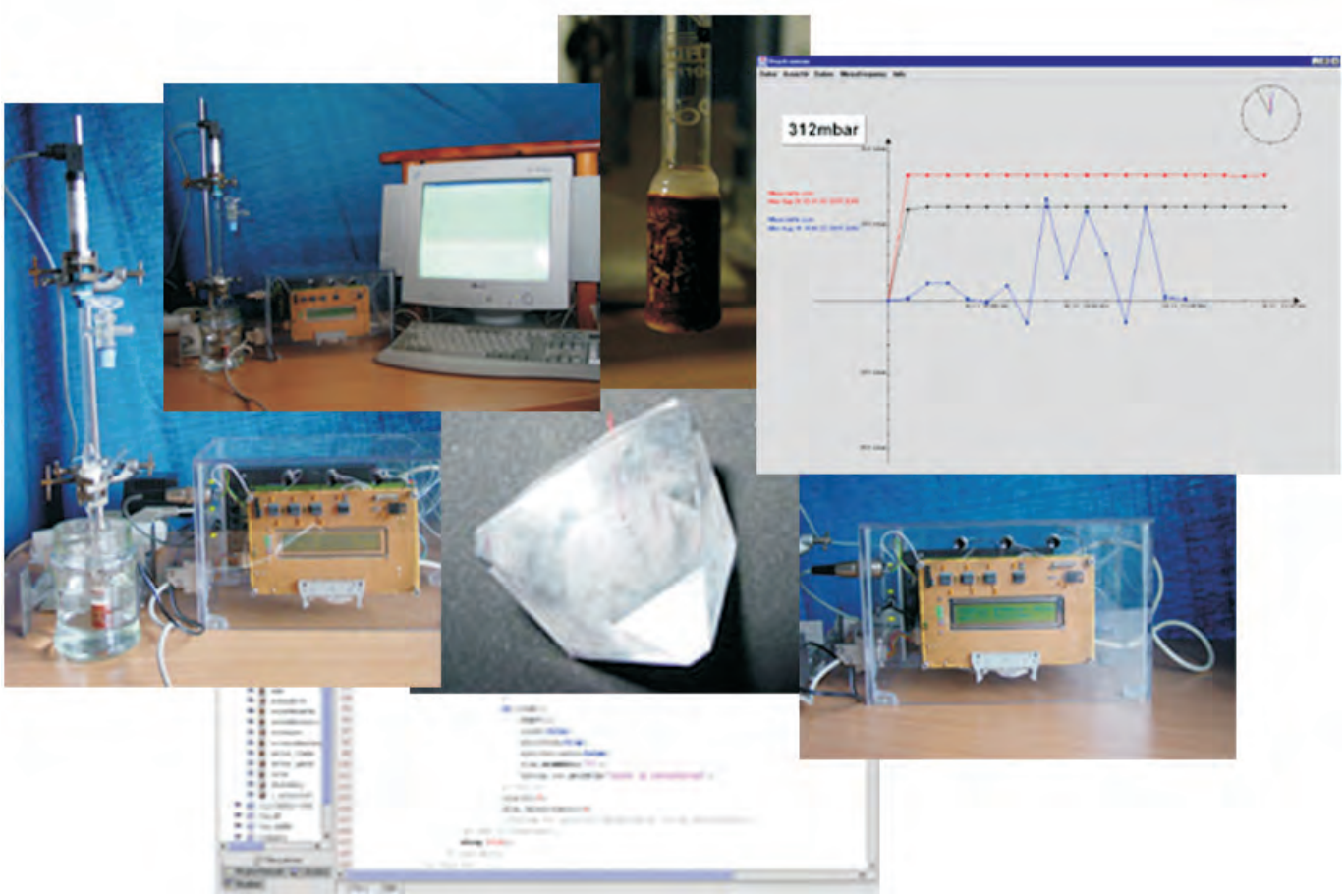
Georg Kerschensteiner Gymnasium
Müllheim (Baden)

Entwicklung eines Übersättigungsmessgerätes



vorgelegt von

Tobias Frey

jugend forscht 2003

2nd Edition 2008 by Stefan Müller and Otto Schäfer

30 Jahre jugend forscht

an der Georg-Kerschensteiner Schule
Technisches Gymnasium Müllheim

1978-2008

INHALTSVERZEICHNIS

EINFÜHRUNG 1

I. Motivation 1

II. Übersicht über die Arbeit 2

ENTWICKLUNG UND BAU DES MESSGERÄTES 2

I. Grundlagen 3

1. Chemie/Physik . . . 3
   a) Übersättigung . . . 3
   b) Anwendung des osmotischen Drucks zur Berechnung der Übersättigung . . . 4
   c) Osmotischer Druck . . . 5
2. Hardware . . . 5
   a) Mikrocontroller - grundlegender Aufbau . . . 5
   b) Verwendeter Mikrocontroller . . . 6
3. Software . . . 7
   a) Programmiersprache Java . . . 7
   b) Objektorientierter Programmentwurf . . . 7

II. Realisierung 8

1. Chemischer Aufbau . . . 8
   a) Osmotische Zelle . . . 8
   b) Schematischer Aufbau des Gesamtsystems . . . 8
2. Messapparatur . . . 9
   a) Drucksensor . . . 9
   b) Entwicklung der Messelektronik . . . 9
   c) Beschreibung des Mikrocontrollerprogramms . . . 10
3. Software . . . 11
   a) Einlesen der ankommenden Daten in das Auswertungsprogramm . . . 11
   b) Weitere Funktionen des Auswertungsprogramms . . . 12

III. Ausblick 12

ANHANG 13

I. Abbildungsverzeichnis 13

II. Literatur 13

III. Danksagung 13

EINFÜHRUNG

I. Motivation

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer "Jugend forscht"-Arbeit aus dem Jahre 1987 mit dem Thema "Entwicklung eines neuartigen Osmometers". Ziel der in [roth87] beschriebenen Arbeit war es, ein Gerät zur Messung der Übersättigung für die bei der Kristallzüchtung notwendige Züchtungslösung zu entwickeln. Mit diesem Gerät sollte es möglich sein, Kristalle von hervorragender Qualität zu züchten. Das damals hergestellte Gerät bestand aus einer halbdurchlässigen Zelle, einem Zwischenteil mit einer Einfüll- bzw. Druckentlastungsschraube, einer Kabelhalterung, die auch gleichzeitig am Gehäuse der Kristallzüchtungsapparatur befestigt werden konnte, und einem Drucksensor zur Messung des osmotischen Drucks. Mit Hilfe von diskreter Elektronik wurde das Signal des Drucksensors verarbeitet. Dies bedeutet, dass das Ausgangssignal des Drucksensors verstärkt und danach auf einem x-t Schreiber ausgegeben wird, um die Messdaten graphisch erfassen zu können.

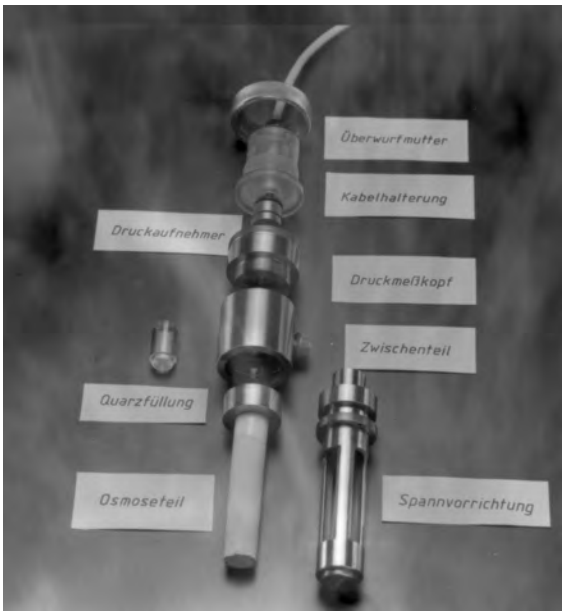


Abbildung 1: Foto der alten Messapparatur

Das in [roth87] vorgestellte Gerät wies jedoch noch erhebliche Mängel auf. Als besonders gravierend stellte sich die zu große Dimensionierung des Gerätes und folglich auch der halbdurchlässigen Zelle heraus. Dadurch hatten selbst kleine Temperaturunterschiede eine erhebliche Auswirkung auf den gemessenen Druck. Ein weiterer Nachteil dieses Osmometers war die dazugehörende Elektronik. Durch den Innenwiderstand des x-t Schreibers waren die aufgezeichneten Messwerte ungenau.

Eine Neuentwicklung dieses Messgeräteteils mit Hilfe von Software bietet erhebliche Vorteile bezüglich Anzeige und Weiterverarbeitung der Messwerte. Bei der praktischen Anwendung erwies sich das bestehende System auf Grund der beschriebenen Mängel als unbrauchbar.

Ziel dieser Arbeit ist deshalb:

1. die Verkleinerung und Verbesserung des 1987 realisierten Osmometers,
2. die Herstellung bzw. Programmierung eines komfortableren Auswertungstools, inklusive der Verwendung eines moderneren Drucksensors, um die Züchtung von hochwertigen Kristallen zu ermöglichen.

II. Übersicht über die Arbeit

Wie oben erwähnt, ging es neben der Verkleinerung und Verbesserung des Osmometers auch um das Auffinden des geeigneten Drucksensors und der Herstellung eines komfortableren sowie leistungsfähigeren Auswertungswerkzeugs.

Die schweizerische Firma Keller aus Winterthur führt unter anderem einen Drucksensor, der den gestellten Anforderungen entspricht, und erklärte sich bereit, ein Exemplar für diese Arbeit kostenlos zur Verfügung zu stellen.

Da für das Messgerät möglicherweise nicht zu jeder Zeit ein Computer zur Verfügung steht und trotzdem eine Aufzeichnung der Messwerte möglich bleiben soll, erschien es sinnvoll, die Auswertung des vom Drucksensor kommenden Signals auf ein autarkes Gerät auszulagern. Für die Erfassung der Messwerte soll ein Mikrocontroller zuständig sein, während der Computer nur zur Auswertung angeschlossen werden muss. Auf diesem werden die Messwerte dann in ein Koordinatensystem eingetragen bzw. dort dauerhaft gespeichert. Es wird also mit Hilfe des Mikrocontrollers ein unabhängiges Gerät entwickelt, das die Anwesenheit eines Computers nur noch temporär zur genaueren Analyse der Messdaten erfordert.

Die Arbeit wurde in drei Entwicklungsschritte unterteilt: erstens in einen chemischen Teil zur Herstellung der halbdurchlässigen Zelle, zweitens in einen technischen Teil zur Entwicklung des Erfassungsgeräts mit der benötigten Schaltung und drittens in einen softwaretechnischen Teil zur Auswertung der Messdaten.

ENTWICKLUNG UND BAU DES MESSGERÄTES

I. Grundlagen

1. Chemie/Physik

a) Übersättigung [1]

Bei der Arbeit mit chemischen Stoffen ist zu erkennen, dass sich manche Stoffe in bestimmten Lösungsmitteln lösen, andere jedoch nur schwer löslich oder nahezu unlöslich sind. Als Lösungsmittel bezeichnet man den Stoff, in dem der größte Stoffanteil der zu lösenden Substanz gelöst werden kann. Unter dem Begriff "Lösen" wird verstanden, dass ein homogenes Mehrstoffsystem entsteht. Die Konzentrationsangabe c einer Lösung wird in der Literatur unterschiedlich definiert, zum Beispiel Gramm/(100g Lösungsmittel), mol/l oder Gramm/(100g Lösung).

Ist die maximale Stoffportion in einer Lösungsmittelportion bei der Temperatur ϑ gelöst, bezeichnet man diese Lösung als gesättigt. Die Stoffportion, die in einer Lösungsmittelportion gelöst werden kann, nimmt meist mit der Temperatur zu. Dieser Zusammenhang kann auch graphisch dargestellt werden (siehe Abbildung 2). Aus der Abbildung 3 wird ersichtlich, dass bei einer bestimmten Temperatur ϑ_1 höchstens eine bestimmte Stoffportion gelöst werden kann. Mehr Stoff kann bei ϑ_1 nicht gelöst werden, was bedeutet, dass das Überschreiten der Löslichkeitskurve in Richtung der Konzentration nicht möglich ist.

Um nun aber trotzdem eine übersättigte Lösung zu erhalten, wird das Lösungsmittel auf eine bestimmte Temperatur ϑ_2 (mit $\vartheta_2 > \vartheta_1$) erwärmt und wieder eine gesättigte Lösung c_2 hergestellt. Anschließend wird die Lösung wieder auf ϑ_1 abgekühlt, wodurch man in den übersättigten Bereich gelangt. Die Konzentration der Lösung bei ϑ_1 sei c_1. Die Gleichung

$$c_2 - c_1 = \Delta c \tag{1}$$

gibt ein Maß für die Übersättigung der Lösung an. Die entstandene übersättigte Lösung ist instabil und erreicht durch spontane Kristallabscheidung wieder ihren gesättigten Zustand.

In einem schmalen übersättigten Bereich findet die Kristallabscheidung nicht spontan, sondern an einem eingehängten Impfkristall statt. Diesen Bereich bestimmter Übersättigung nennt man Ostwald-Miers-Bereich (Abbildung 2). Mit Hilfe des entwickelten Gerätes ist es nun möglich diesen schmalen Ostwald-Miers-Bereich zu bestimmen. Dies soll den Anwender in die Lage versetzen, Kristalle bei konstanter Übersättigung zu züchten, ohne dass es durch Konzentrationsschwankungen zu Fehlern im Kristall kommen kann.

Um nun diesen Ostwald-Miers-Bereich zu bestimmen, kann man folgende Messprinzipien

[1] Vgl. [huber99] S.3 ff

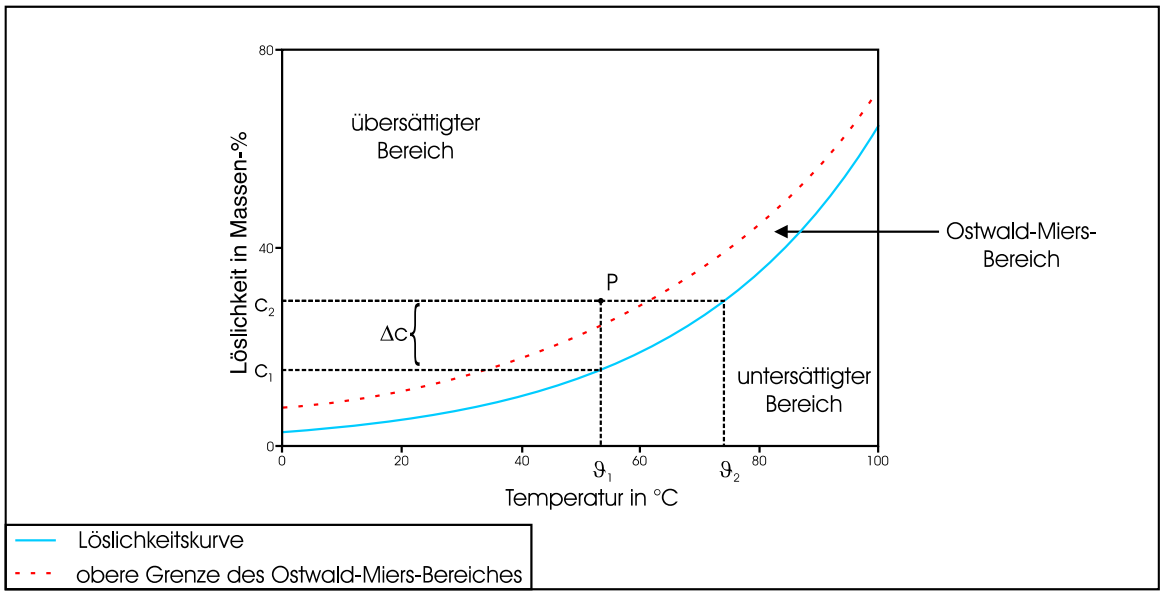


Abbildung 2: Löslichkeitskurve und Ostwald-Miers-Bereich

anwenden: Eine geringfügig übersättigte Lösung unterscheidet sich von einer gesättigten Lösung durch

- eine geringfügige Dichtedifferenz
- einen anderen Brechungsindex
- einen anderen Dampfdruck
- eine unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit
- Differenzen im osmotischen Druck

Den größten Unterschied zwischen einer geringfügig übersättigten und einer gesättigten Lösung liefert der osmotische Druck. Deshalb wird er als Messprinzip verwendet.

b) Anwendung des osmotischen Drucks zur Berechnung der Übersättigung [2]

Unter Osmose wird ein Sonderfall der Diffusion verstanden. Diffusion ist als Massentransport definiert, dessen Ursache in einem Konzentrationsgradienten liegt. Die Ursache für das Phänomen Diffusion ist in der Wärmebewegung der Atome und Moleküle zu suchen. Die Geschwindigkeit, mit der solche Diffusionsvorgänge ablaufen, sind in Flüssigkeiten erheblich langsamer (Faktor 10-15) als in Gasen. Dies ist damit zu erklären, dass die Dichte bei Gasen kleiner ist und es somit große freie Weglängen gibt, auf denen sich ein Molekül ohne Kollision bewegen kann.

Wenn zwischen zwei verschieden konzentrierten Lösungen eine Trennwand plaziert wird und diese nur das Lösungsmittel, jedoch nicht die Moleküle des gelösten Stoffes durchlässt, wird von Osmose gesprochen. Solche Trennwände werden als halbdurchlässig oder semipermea-

[2] [roth87] S.4 ff

bel bezeichnet. Der Austausch des Lösungsmittels durch die Trennwand ist nur durch Diffusion zu erklären, wobei die beiden Lösungen eine ausgeglichene Konzentration anstreben. Um dem Konzentrationsausgleich, sprich der Bewegung der Lösungsmittelmoleküle entgegenzuwirken, kann ein Druck auf die konzentriertere Lösung ausgeübt werden. Den sich einstellenden Gleichgewichtsdruck bezeichnet man als osmotischen Druck.

Für verdünnte Lösungsmittel lässt sich der osmotische Druck mit Hilfe der Gasgleichung

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \tag{2}$$

berechnen (p Druck, V Volumen, n Stoffmenge, R Gaskonstante ($8,31439 J/K\,mol$), T absolute Temperatur).

c) Osmotischer Druck[3]

Die Übersättigung ist über die Gleichung

$$\sigma = \frac{c - c^*}{c^*} \tag{3}$$

definiert (wobei c Momentankonzentration in mol/l, c^* Sättigungskonzentration in mol/l). Da bei übersättigten Lösungen $c > c^*$ ist, hat Gleichung 3 ein positives Ergebnis.

Damit das Kristallwachstum möglich ist, muss die Lösung übersättigt sein. Eine gesättigte Lösung ist somit verdünnter als eine übersättigte Lösung. Befindet sich nun in einem Gefäß eine gesättigte und eine übersättigte Lösung, die durch eine halbdurchlässige Wand getrennt sind, entsteht auf Grund der Lösungsmitteldiffusion in die übersättigte Lösung auf Seite der gesättigten Lösung ein Unterdruck. Um unabhängig von der Temperatur eine gesättigte Lösung zu besitzen, wird der bei einer bestimmten Temperatur gesättigten Lösung noch etwas kristalline Substanz zugegeben. Steigt die Temperatur nun, geht mehr kristalline Substanz in Lösung über. Somit bleibt die Lösung gesättigt. Entsprechendes gilt bei fallender Temperatur. Mit Hilfe der Sättigungskonzentration c^*, die aus der Löslichkeitskurve bestimmt wird, und dem Zusammenhang, dass die Differenz zwischen $\Delta c = c_2 - c_1$ zur gemessenen osmotischen Druckdifferenz proportional ist, kann man nach Gleichung 3 die Übersättigung bestimmen.

2. Hardware

a) Mikrocontroller - grundlegender Aufbau [4]

Allgemein besteht ein Mikrocontroller mindestens aus folgenden Einheiten:
CPU (Central Processing Unit): Sie ist die Recheneinheit des Mikrocontrollers.

[3] [roth87] S.3 ff
[4] Vgl. [claus97] S.293

Arbeitspeicher oder RAM (Random Access Memory): Es dient als Zwischenspeicher. Der Controller kann hier ein Ergebnis abspeichern und es bei einer späteren Rechenoperation wieder auslesen und weiterverwenden.

ROM (Read Only Memory): In ihm steht das Programm, welches die CPU ausführen soll, beispielsweise die Rechenoperation 5+3.

Input/Output - Einheit (Ein- und Ausgänge am Mikrocontroller): Über sie kann der Mikrocontroller mit der Außenwelt kommunizieren.

b) Verwendeter Mikrocontroller[5]

Der verwendete Mikrocontroller sollte folgende Komponenten besitzen:

- einen A/D-Wandler. Er ermöglicht es, analoge Signale in digitale Werte umzuwandeln. Der digitale Wert ist notwendig, weil sonst die Messwerte nicht mit Hilfe des Computers, der nur mit digitalen Daten, also Nullen und Einsen, arbeitet, dargestellt werden können.
- einen I^2C-Bus. Dieses Bussystem wird bei der vorliegenden Arbeit dazu benutzt, um ein EEPROM anzusteuern. Ein EEPROM ist ein Speicherchip, der abgespeicherte Daten auch nach Wegnahme der Spannung beibehält und damit eine Pufferbatterie überflüssig macht.
- verschiedene Timer. Ein Timer kann auf einen bestimmten Wert gesetzt werden, von dem aus er bis zur Null herunterzählt. Hat er die Null erreicht, löst er einen Interrupt aus und setzt sich automatisch auf seinen Ausgangswert. Einen Interrupt auszulösen bedeutet, dass der laufende Programmvorgang unterbrochen und das vom Interrupt ausgelöste Ereignis abgearbeitet wird. Anschließend kehrt der Controller an die Stelle zurück, an der er sich vor der Unterbrechung befunden hat.
- einen Interruptcontroller. Die Verarbeitung der verschiedenen Interrupts wird von einem Interruptcontroller erledigt. Zu Interrupts können Signale führen, die vom Computer kommen oder durch Schalter ausgelöst werden.

Diese gestellten Anforderungen erfüllt der CDC 32 der Firma Micronas. Als CPU dient ein 32 bit ARM Prozessor mit einer Taktfrequenz von 4 MHz. Der Hersteller stellt bereits einige Dateien zur Verfügung, die die Entwicklung der anwenderspezifischen Software ermöglichen bzw. vereinfachen. Dazu gehört ein "Startfile", in dem die verschiedenen Adressen festgelegt sind, mit deren Hilfe die einzelnen Komponenten des Mikrocontrollers angesprochen werden können. Des Weiteren gibt es ein oder mehrere "Headerfiles". Darin sind Variablen definiert, die der Adresse einer Komponente des Mikrocontrollers zugeordnet sind. So wird beispielsweise die Initialisierung eines Timers einer Variablen zugewiesen. Um den Timer zu initialisieren, setzt man die Variable auf eins, man muss also nicht erst auf komplizierte Weise direkt die Komponente

[5]Vgl. [micronas2001] S.7 ff

mit der im Startfile definierten Adresse auf dem Controller ansprechen. Ein "Linkerfile" muss vorhanden sein, in dem steht, welche Dateien im geladenen Programm vorhanden sind. In den weiteren Dateien ist das anwenderspezifische Programm enthalten.

3. Software

a) Programmiersprache Java[6]

Als Programmiersprache für das Projekt wurde Java gewählt. Java hat mehrere Vorteile gegenüber anderen Programmiersprachen. Zum einen ist Java objektorientiert, zum anderen vereinfacht Java die Speicherverwaltung. Dadurch werden viele Fehler vermieden, wie z.B. das unbeabsichtigte Überschreiben von Speicher, was zu den am schwersten aufzufindenden Programmierfehlern gehört.

Java ist eine größtenteils plattformunabhängige Sprache. Hier übersetzt der Compiler den Sourcecode in eine Zwischenform, den Bytecode, der nicht maschinenabhängig ist. Dieser Bytecode kann dann einfacher vom jeweiligen System während der Laufzeit in nativen Maschinencode übersetzt werden. Eine Ausnahme bilden systemspezifische Funktionen, wie z.B. der Zugriff auf die serielle Schnittstelle. Obwohl diese Funktionen durch Java-Klassen abstrahiert sind, werden sie nicht von jeder Laufzeitumgebung implementiert, so dass evtl. diese Funktionalität nachträglich installiert werden muss. Durch die Plattformunabhängigkeit ist es mit wenig Arbeitsaufwand möglich, das Programm auf jedem System zu verwenden, welches eine Java-Umgebung bereitstellt. Dies wurde im vorliegenden Fall erfolgreich mit Windows und Linux verifiziert. Ein weitere Vorteil bei der Umsetzung dieses Projekts war die relativ einfache Nutzbarkeit von Threads unter Java. Threads sind Programmbestandteile, die vom System gleichzeitig ausgeführt werden können, um dadurch eine Parallelisierung von Programmabläufen zu ermöglichen.

b) Objektorientierter Programmentwurf [7]

Java ist, wie oben erwähnt, eine objektorientierte Programmiersprache. Der Vorteil einer objektorientierten Programmiersprache ist, dass man den Entwurf eines komplexen Projektes einfacher gestalten kann.

Beim objektorientierten Entwurf wird das Programm in mehrere, unabhängige Module unterteilt. Gebräuchlich ist dabei die Analogie zu realen Objekten, z.B. die Unterteilung eines Autos in Blinker, Lenkrad, Gangschaltung etc.. Die Beschreibung und Funktionalität eines Objektes ist in einer Klasse abgelegt. Aus einer Klasse lassen sich mehrere gleiche, jedoch

[6]Vgl. [horstmann99] S.16 ff
[7]Vgl. [horstmann99] S.21 ff und [claus97] S.341 ff

unabhängige Objekte erzeugen und verwenden. In der Fachsprache wird dies als “Instanzieren“ bezeichnet.

Ein weiterer Vorteil beim objektorientierten Entwurf ist die Möglichkeit der Vererbung. Darunter versteht man die Erweiterung von bestehenden Klassen um neue Funktionen. Eine reale Analogie hierzu ist zum Beispiel die Spezialisierung einer allgemeinen Klasse “Fahrzeug“ in “PKW“ und “LKW“.

II. Realisierung

1. Chemischer Aufbau

a) Osmotische Zelle

Zur Herstellung der osmotischen Zelle wurden Experimente mit verschiedenen G4-Fritten durchgeführt. G4-Fritten sind aus Glas aufgebaute poröse Bauelemente, wobei die Nummer G4 ein Maß für die Porengröße ist. In [roth87] wurde für die halbdurchlässige Schicht Kupferhexacyanoferat-(II) verwendet, was zur Folge hatte, dass aus der Fritte Glas herausgesprengt wurde. Durch das vorherige Einziehen einer Gelschicht vor der halbdurchlässigen Schicht konnte dieser Effekt verhindert werden. Das Problem bei diesem Verfahren ist aber, dass die Diffusion, durch das Gel bedingt, nur noch sehr langsam erfolgt. Durch die Vorarbeiten einer Schüex-Arbeit von Max Winkelmann und Julius Goldmann mit dem Titel “Vom chemischen Garten zum Osmometer“[8] aus dem Jahre 2001 entwickelte sich die Idee, die halbdurchlässige Schicht aus Eisen(III)-silikat zu synthetisieren. Bei der damaligen Arbeit bildeten sich unter Verwendung von Wasserglas und einem wasserlöslichen Schwermetallsalz korallenähnliche Strukturen, die sich als halbdurchlässig erwiesen. Die aus Eisen(III)-chlorid und Wasserglas synthetisierte Schicht zeigte die beste osmotische Eigenschaft. Die G4 Porengröße stellte sich jedoch als zu grob heraus; erst eine G5-Fritte brachte den gewünschten Erfolg.

b) Schematischer Aufbau des Gesamtsystems

Bei der Arbeit mit der Messapparatur ist zu beachten, dass keine Gasbläschen vorhanden sind, weil diese den osmotischen Druck, entsprechend des Gesetzes von Boyle-Mariotte, abpuffern. Gase sind nämlich sehr kompressibel und ändern folglich unter Druck ihr Volumen stark. Sie geben somit den Druck nicht unmittelbar weiter, was zur Folge hat, dass die Messwerte zu stark fehlerbehaftet sind. Am Verbindungsrohr zum Drucksensor befindet sich ein Dreiwegehahn. Er ist eingebaut worden, da zum Arbeiten mit dem Messgerät sowohl die Zelle als auch das Verbindungsstück zum Sensor komplett mit der gesättigten Lösung und etwas kristalliner Substanz gefüllt sein müssen, um das Vorhandensein von Gasbläschen auszuschließen. Wenn man nun

[8] Vgl. [winkelmann01] S.1 u. S.7 ff

den Drucksensor in das Verbindungsrohr einschraubt, entsteht durch die Wasserverdrängung des Sensors bereits ein Überdruck. Zur Beseitigung des entstandenen Drucks öffnet man den Dreiwegehahn und die überflüssige Lösung kann bis zum Druckausgleich abfließen.

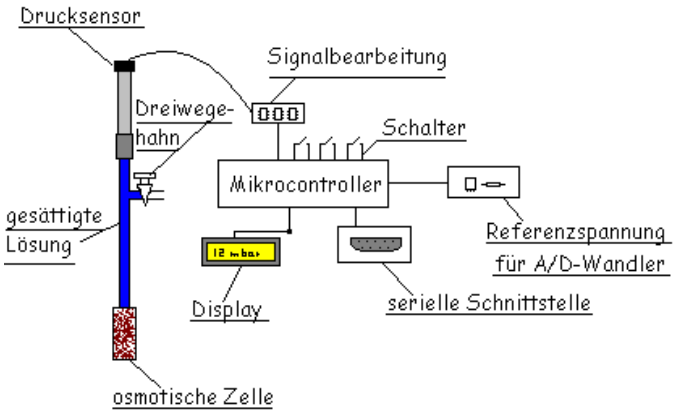


Abbildung 3: Skizze des Gesamtsystems

2. Messapparatur

a) Drucksensor

Bei dem verwendeten Drucksensor handelt es sich um einen Relativdruckaufnehmer. Durch die Verwendung eines Relativdruckaufnehmers spielt die tägliche Wetterlage keine Rolle. Da die zu messenden osmotischen Drucke bei geringer Übersättigung klein sind, muss der Sensor eine sehr hohe Empfindlichkeit bieten. Der verwendete Drucksensor erfüllt dieses Kriterium und bietet eine Auflösung von 1mbar.

b) Entwicklung der Messelektronik

Um Programme entwickeln zu können, braucht man zunächst eine Entwicklungsumgebung. Hierfür wurde die Software Multi 2000 von der Firma ARM verwendet. Sie ermöglicht das Compilieren und Debuggen von Programmen und stellt über eine standardisierte Schnittstelle die Verbindung zum angehängten Board her.

Entwickelt wurde das Projekt zuerst auf dem Evolution Board (EVB), einem Entwicklungssystem für ARM-Prozessoren. Dieses Board hat ein externes RAM, in das man das Programm laden und es dann testen bzw. debuggen kann. Durch das externe RAM können PC und Mikrocontroller gleichzeitig auf den Speicher zugreifen, wodurch die Entwicklung vereinfacht wird.

Läuft das Programm ohne Fehler, kann es in den Flashspeicher des Mikrocontrollers im Application Board geladen werden. Das Application Board (APB) ist eine fertige Anwendungs-

plattform und unterstützt im Unterschied zum EVB auch Mikrocontroller mit Flashspeicher. Im Gegensatz zum RAM ist der Flashspeicher kein flüchtiges Speichermedium und behält somit auch nach Spannungsverlust die enthaltenen Daten. Bisher war es immer nur möglich, die Daten vom Computer in das RAM zu laden und das Programm auszuführen. Bei einem Reset oder einer Spannungsunterbrechung musste das Programm von neuem vom Computer in das RAM geladen werden. Beim Flashspeicher ist es nun möglich, das Programm unabhängig vom Computer ablaufen zu lassen.

Die Digitalisierung des Signals vom Drucksensor geschieht über einen A/D-Wandler. Für den Eingang des A/D-Wandlers muss das Signal des Drucksensor entsprechend angepasst werden. Die Ausgangsspannung des Sensors beträgt null bis zehn Volt. Da der A/D-Wandler einen Eingangsbereich von null bis + 5,12 Volt besitzt, muss das Signal mit Hilfe von Operationsverstärkern modifiziert werden. Dafür werden drei Operationsverstärker benötigt. Der erste Operationsverstärker ist als Emitterfolger geschaltet, das heißt die Spannung des Sensors wird hochohmig abgegriffen. Der Zweite hat eine Verstärkung von 1/2, das Signal wird zusätzlich invertiert. Um die Negierung wieder aufzuheben, invertiert der dritte Operationsverstärker das Signal ein weiteres Mal. Die Verstärkung des dritten Operationsverstärkers beträgt eins.

c) Beschreibung des Mikrocontrollerprogramms

Das Hauptprogramm des Mikrocontrollers ist als Zustandsautomat ausgearbeitet worden. Bei einem Zustandsautomaten kann das Programm verschiedene Zustände einnehmen, wobei je nach Zustand ein zugehöriges Unterprogramm ausgeführt wird. Dadurch ist das entstandene Programm flexibler und einfacher erweiterbar, zusätzliche Zustände und Übergänge können einfach hinzugefügt werden.

Das Programm beinhaltet eine Funktion, die die Druckmessung ausführt. Dazu wird das vom A/D-Wandler bereitgestellte digitale Signal mit einer Auflösung von 10Bit in das EEPROM abgespeichert. Im Gegensatz zum Flashspeicher kann das EEPROM jedoch einfacher direkt vom Programm des Mikrocontrollers aus benutzt werden. Die letzten drei Messergebnisse und die Anzahl der noch freien Speicherplätze im EEPROM werden auf einem angeschlossenen Display angezeigt. Ist ein Computer angeschlossen, wird das Messergebnis auch noch über eine serielle Schnittstelle zum Computer geschickt. Diese Messfunktion wird periodisch aufgerufen, was mit Hilfe eines Timers realisiert wird.

Eine weitere Funktion bietet die Möglichkeit sofort eine Messung durchzuführen. Dieses Ergebnis wird nur auf dem Display anzeigt und dient zu Kontrollzwecken. Nach einer gewissen Zeit zeigt das Display wieder die periodisch gemessenen Werte an. Die Funktion zum sofortigen Messen kann durch zweierlei Ereignisse ausgelöst werden, durch das Drücken des am Gehäuse befindlichen Schalters oder durch ein Signal, das vom Computer gesendet wird.

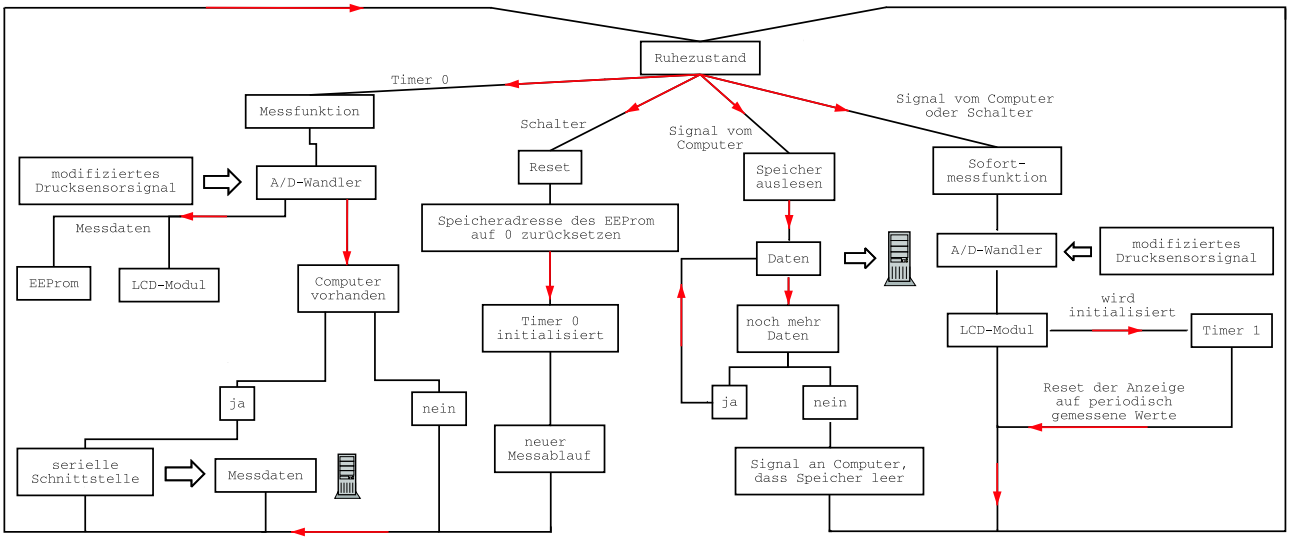


Abbildung 4: Schema des Mikrocontrollerprogramms

Da das Gerät unabhängig vom Computer arbeiten soll, gibt es eine Funktion im Controllerprogramm, die den kompletten Speicher ausliest und an den Computer schickt. Diese Funktion wird ebenfalls durch ein Signal vom Computer angestoßen.

Nach einem Stromausfall startet das Programm automatisch wieder. Auf Grund des EEPROM sind keine Daten verloren gegangen. Zum Löschen der Daten muss ein Schalter gedrückt werden, denn nur dann fängt der Controller an, das EEPROM von der Adresse null aus zu beschreiben.

Wenn der Speicherchip voll ist, wird eine entsprechende Meldung auf dem Display angezeigt. Die gemessenen Werte werden jetzt nicht mehr abgespeichert. Während das Gerät am Computer angeschlossen ist, können jedoch kontinuierlich Werte aufgezeichnet werden, die direkt zum Computer übertragen werden, auch wenn der Speicher voll sein sollte.

3. Software

a) Einlesen der ankommenden Daten in das Auswertungsprogramm

Die ankommenden Daten werden über die serielle Schnittstelle eingelesen und in einen Buffer geschrieben. Ein parallel laufender Thread schaut ständig nach, ob Daten angekommen sind. Sind Daten vorhanden, teilt das Programm den ankommen String auf und wandelt die Stringteile in Integerwerte um. Diese Integerwerte werden dann in ein Koordinatensystem eingezeichnet. Der Maßstab der x-Achse verändert sich je nachdem, wie viele Werte vorhanden sind. Die Länge der x-Achse wird durch die Anzahl der Messwerte geteilt und der Maßstab so gewählt, dass der ganze Bildschirm in x- Richtung von der Kurve ausgefüllt wird. Der Wert des aktuellen Messwertes wird zusätzlich separat in der linken oberen Ecke angezeigt.

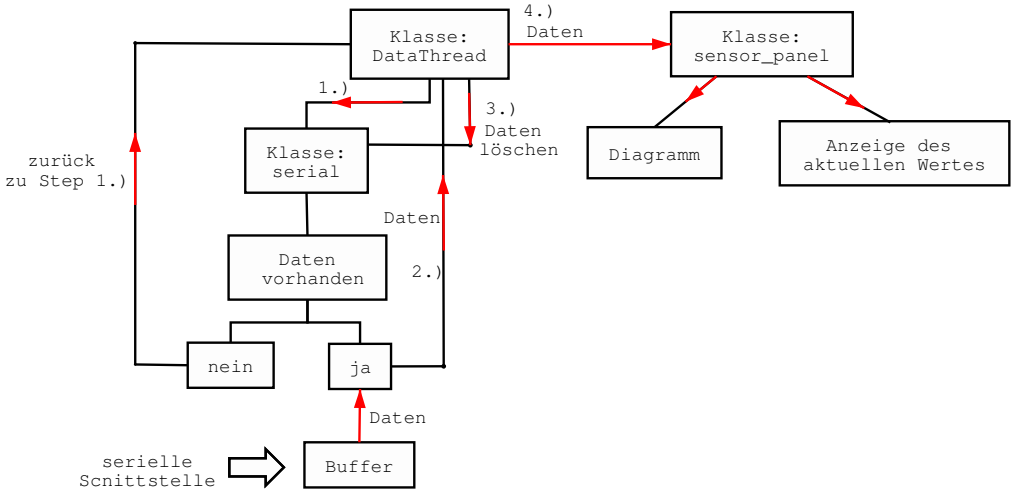


Abbildung 5: Einlesen der ankommenden Messdaten

b) Weitere Funktionen des Auswertungsprogramms

Zum weiteren Funktionsumfang gehört, dass der Ansichtsbereich flexibel gewählt werden kann. So kann man sich auch einen Teil aus der Kurve genauer anschauen. Um einen Vergleich mit anderen Messungen anstellen zu können, ist es möglich, Messkurven abzuspeichern und später bis zu zwei abgespeicherte Kurven in das Koordinatensystem der aktuellen Messkurve zu legen. Um das Ablesen der einzelnen Messwerte zu vereinfachen, muss man nur mit der Maus über den Messpunkt fahren und daraufhin werden der gemessene Druck und der Zeitpunkt der Messung angezeigt.

Zusätzliche Funktionen liegen in der Möglichkeit, über das Auswählen eines Menübefehls erstens das Signal für das sofortige Ausführen einer Messung und zweitens den Befehl für das Auslesen des gesamten EEPROM an den Controller zu schicken. Dabei wird eine Abfrage eingeblendet, in die die Zeit eingetragen werden muss, zu der der Controller gestartet wurde. Aus dieser angegebenen Zeit und der Systemzeit wird eine rückwärtslaufende Uhr initialisiert, von der man dann die Zeitspanne bis zur nächsten Messung ablesen kann.

Um die Funktionalität des Programms zu erweitern, ist es möglich, die Messwerte in Excel zu importieren, wodurch noch mehr Auswertungsmöglichkeiten, wie z.B. Mittelwertberechnung, zur Verfügung stehen.

III. Ausblick

Durch das Einbauen eines Temperaturfühlers wäre es möglich, die Apparatur dahingehend zu erweitern, dass die Temperatur der Züchtungslösung automatisch so abgesenkt wird, dass deren Übersättigung immer konstant bleibt. Zur Zeit muss die Temperaturabsenkung noch per Hand erfolgen.

ANHANG

I. Abbildungsverzeichnis

1 Foto der alten Messapparatur 1
2 Löslichkeitskurve und Ostwald-Miers-Bereich 4
3 Skizze des Gesamtsystems 9
4 Schema des Mikrocontrollerprogramms 11
5 Einlesen der ankommenden Messdaten 12

Abb.1 Foto Herr Schäfer; Abb.2 aus [huber99] S.4; Abb.3-5 Zeichnungen Tobias Frey
Umschlagbild erstellt von Tobias Frey

II. Literatur

[roth87] Manuel Roth, *Entwicklung eines neuartigen Osmometers*, Jugend forscht 1987, Müllheim 1987

[huber99] Alexander Huber und Axel Rottmann, *Ableitung der Wachstumsfunktion oktaedrischer Alaunkristalle*, Jugend forscht 1999, Müllheim 1999

[claus97] Volker Claus und Andreas Schwill, *Schülerduden Informatik*, Dudenverlag, Mannheim 1997

[micronas2001] Firma Micronas, *Advance Information CDC32xxG-b V2.0 Automotive Controller Emulator*, Freiburg, 25. Juni 2001

[horstmann99] Cay S. Horstmann und Gary Cornell, *coreJava, Band 1, Grundlagen*, Markt und Technik Verlag, München 1999

[winkelmann01] Max Winkelmann u. Julius Goldmann, *Vom chemischen Garten zum Osmometer*, Schüler experimentieren 2001, Müllheim 2001

III. Danksagung

Für die Unterstützung bei dieser Arbeit möchte ich mich bedanken bei:

- meinem betreuenden Lehrer Herrn Oberstudienrat Otto Schäfer,
- Herrn Christian Zöllin, Student der Elektrotechnik,
- bei der Firma Micronas für die Bereitstellung der elektronischen Geräte und den Mitarbeitern, Herrn Dipl.-Ing. Erwin Brüchig und Herrn Dipl.-Ing. Adriano De Rosa,
- Frau Oberstudienrätin Karin Wiedemann,
- Herrn Dipl. chem. Stefan Müller,
- der Firma Keller für die Bereitstellung eines kostenlosen Drucksensors.