

# **Abschlussbericht zum DAAD-RISE Praktikum in Irland**

**zum Thema**

**„Nanopartikel und nanoskalige anorganische Polymere  
zur Anwendung in antimikrobiellen Materialien“**

**an der National University of Ireland Galway**

**Malte-Maximilian Schmidt**



**Abb. 1.** Selbst aufgenommenes Foto der Cliffs of Moher.

# 1. Allgemeiner Teil

Im August und September 2019 hatte ich die Möglichkeit, in Irland ein Auslandspraktikum im Bereich der anorganischen Chemie zu absolvieren, ein Praktikum, das vom DAAD gefördert wurde. Ich habe an der National University of Ireland Galway in der Gruppe von Prof. Dr. Andrea Erxleben acht Wochen lang an dem Thema „Nanopartikel und nanoskalige anorganische Polymere zur Anwendung in antimikrobiellen Materialien“ geforscht.

Ich habe mich für ein Praktikum in Irland beworben, weil es ein englischsprachiges Land ist, das mich aufgrund seiner Landschaft immer sehr interessiert hat. Die Menschen in Irland sind sehr aufgeschlossen und freundlich. Auch die Wissenschaftler im Labor waren sehr hilfsbereit, selbst wenn sie nicht direkt mit meinem Projekt zu tun hatten.

## 1.1. Die Stadt Galway

Galway ist eine kleine Stadt an der Atlantikküste Irlands, die vielen Menschen vor allem durch das Lied „Galway Girl“ von Ed Sheeran bekannt sein dürfte. Die Stadt hat 80.000 Einwohner, dazu kommen noch einige Studenten und Touristen als temporäre Bewohner. Galway hat zwei Universitäten – die *National University of Ireland Galway* und das *Galway Institute of Technology*. Mit insgesamt über 20.000 Studenten ist Galway vor allem eine Studentenstadt. Obwohl die Stadt im Vergleich zu Dublin relativ klein ist, hat sie Charme durch ihre Altstadt und ihre Geschichte, die bis ins Mittelalter zurückreicht. Außerdem ist Galway ein hervorragender Ausgangspunkt für Erkundungen der Westküste Irlands. So habe ich an den Wochenenden Connemara mit Clifden und Kylemore Abbey, die Cliffs of Moher (siehe Abb. 1), die Aran Islands und Dublin besucht.

Galway ist eine internationale Stadt. Sowohl die Besucher als auch die permanenten Bewohner Galways kommen nicht nur aus Irland, sondern aus verschiedenen Teilen Europas und der Welt. Während meines Aufenthaltes in Galway habe ich deshalb mit Mitbewohnern aus Frankreich, Spanien, Italien und den USA zusammengewohnt. Auch die Wissenschaftler im Labor kamen nur etwa zur Hälfte aus Irland und ansonsten z.T. sogar aus dem Iran, Saudi-Arabien, Indien oder China. Nach meiner Erfahrung ist Galway deshalb so etwas wie ein Melting Pot Irlands und mir persönlich hat es sehr gefallen, Menschen so unterschiedlicher Herkunft und Kultur kennenzulernen.

Ein Aspekt, der zumindest in Galway etwas zu wünschen übriglässt, ist der öffentliche Nahverkehr. Die Busse fahren nur in großen Abständen, selbst in der Innenstadt oft nur alle 30 Minuten. Es hat sich deshalb als eine gute Entscheidung herausgestellt, eine Wohnung zu suchen, von der die Universität fußläufig erreichbar war. Wenn man etwas außerhalb der Stadt wohnt, kann es sinnvoll sein, ein Fahrrad zu mieten.

Worauf man sich bei einem Aufenthalt in Irland ebenfalls einstellen sollte, ist regnerisches Wetter. Durch die Nähe zum Atlantik hat es während meines Praktikums fast jeden Tag geregnet, mal als Schauer, die sich mit Sonnenschein abgewechselt haben, und mal als Dauerregen. Die Temperaturen bleiben meist unter 20 °C, sodass es im Vergleich zum deutschen Sommer eher kühl ist. An das Wetter kann man sich jedoch gewöhnen und die sonnigen Momente umso mehr wertschätzen. Nur bewusst sollte man sich des Wetters in Irland sein, bevor man ein Auslandspraktikum auf der grünen Insel beginnt.

## **1.2. Anreise**

Da Irland Mitglied der EU ist, war die Reisevorbereitung sehr unproblematisch. Ich musste kein Visum beantragen, sondern benötigte lediglich einen gültigen Reisepass. Bei der Anreise bin ich über Dublin geflogen und habe dann einen Fernbus von Dublin nach Galway benutzt. Es gibt auch eine Zugverbindung zwischen den beiden Städten, allerdings fahren die Züge weniger oft als die Fernbusse. Alternativ kann man auch über Shannon fliegen, das näher an Galway liegt als Dublin, allerdings sind die Flüge über Shannon teurer.

## **1.3. Unterkunft**

Die Studentenwohnheime in Galway waren leider entweder ausgebucht oder boten keine Zimmer nur über die Semesterferien an, sodass ich eine private Unterkunft finden musste. Letztlich habe ich über Airbnb ein Zimmer in einer Wohngemeinschaft gebucht, in der die Bewohner regelmäßig gewechselt haben. Die anderen Bewohner kamen aus ganz Europa, sodass sich das Wohnen in einer solchen WG als gute Möglichkeit entpuppt hat, neue Kontakte zu knüpfen. Das Zimmer war relativ teuer, dafür aber in der Nähe der Universität gelegen.

## **2. Fachlicher Teil**

### **2.1. Theoretischer Teil**

Ein großer Anteil an Krankenhausinfektionen wird durch Oberflächenkontakt verbreitet. Der Befall von Kathetern, Implantaten und anderen medizinischen Geräten durch Mikroben ist zu einem ernstem Problem geworden. Adhäsion von Mikroben und das Wachstum von Bakterienkolonien verursachen die Bildung von Biofilmen auf der Oberfläche, die die Bakterien vor Antibiotika schützen. Deshalb werden neue Materialien mit antimikrobiellen Eigenschaften gesucht und um die Erforschung solcher Materialien ging es auch in dem Projekt des Auslandspraktikums.

Vielversprechende antibakterielle Materialien sind einerseits Metal-Organic Frameworks (MOFs) und andererseits Nanopartikel. Dabei sind Metal-Organic Frameworks anorganische Polymere, die aus Metallionen und organischen Linkern bestehen. Die organischen Linker besitzen mehrere funktionelle Gruppen, mit denen sie mehrere Metallionen koordinieren und somit ein Koordinationsnetzwerk aufbauen können. In dem Projekt wurden beide Materialgruppen kombiniert, indem nanoskalige MOFs auf Basis von Kupferionen hergestellt wurden.

Ein Drittel aller medizinischen Geräte besteht aus Thermoplasten. Nanopartikel können in Thermoplasten eingebracht werden, sodass das Material toxisch für Mikroorganismen ist. Dadurch wird die Kolonisation und das Koloniewachstum durch Mikroorganismen auf der Polymeroberfläche verhindert. Im Praktikum wurden dazu nanoskalige MOFs in Polystyrol eingebracht.

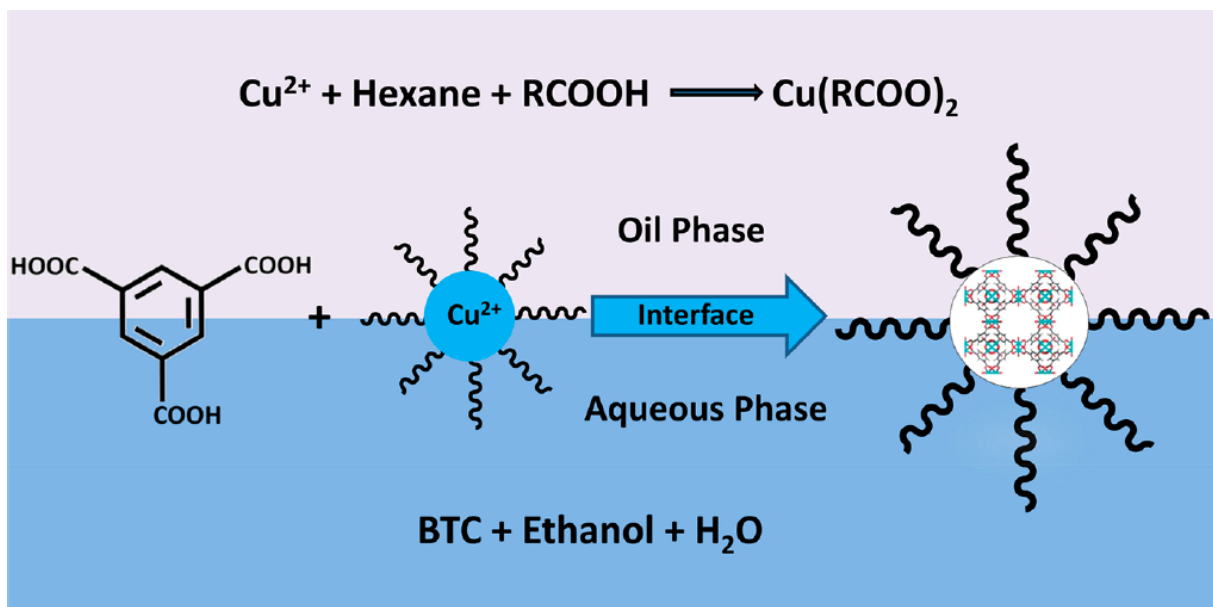
### **2.2. Experimenteller Teil und Ergebnisse**

Der experimentelle Teil des Praktikums bestand vor allem aus der Synthese von MOFs, Nanopartikeln und dem Einbringen dieser Substanzen in Polystyrol. Zum experimentellen Teil gehörte aber auch die Charakterisierung der Produkte mit IR-Spektroskopie und Röntgen-Pulverdiffraktometrie.

Das Praktikum war inhaltlich in vier Teile unterteilt. Im ersten Teil ging es um die Synthese und Charakterisierung eines neuen MOFs auf Basis von  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen und Azelainsäure als

organischem Linker. Eigentlich war auch geplant, den MOF zu kristallisieren und die Kristallstruktur durch Einkristall-Röntgenanalyse aufzuklären, aber die Kristallisation des MOFs war nicht erfolgreich.

Im zweiten Teil sollten nanoskalige MOFs mithilfe einer Mikroemulsions-Technik synthetisiert werden. Der hergestellte MOF bestand wieder aus  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen sowie 1,3,5-Benzoltricarbonsäure (BTC) als organischem Linker. Die Mikroemulsion, in der die Reaktion stattfand, bestand aus einer wässrigen und einer organischen Phase, wobei sich die Nanopartikel an der Grenzfläche zwischen beiden Phasen bildeten. Ölsäure verhinderte als Ligand der Nanopartikel, dass diese aggregieren. Durch die Menge an zugegebener Ölsäure wurde die Größe der Nanopartikel kontrolliert. Die Mikroemulsions-Technik ist schematisch in Abb. 2. dargestellt.



**Abb. 2.** Schematischer Reaktionsmechanismus zur Herstellung eines nanoskaligen  $\text{Cu}^{2+}$ /BTC-MOFs mit der Mikroemulsions-Technik.<sup>[1]</sup>

Im dritten Teil wurden ebenfalls nanoskalige MOFs mit der Mikroemulsions-Technik synthetisiert, wobei der organische Linker variiert wurde. Es wurden 4,4'-Oxybisbenzoesäure, Nicotinsäure, Terephthalsäure und 4,4'-Bipyridin als organische Komponente getestet. Dabei hat die Synthese bei BTC und bei 4,4'-Bipyridin sehr gut funktioniert. Bei Nicotinsäure und Terephthalsäure konnten ebenfalls Nanopartikel hergestellt werden, allerdings nur unter veränderten Reaktionsbedingungen. Mit 4,4'-Oxybisbenzoesäure hat die Synthese unter keinen Bedingungen funktioniert.

Außerdem wurde noch eine zweite Synthese-Methode versucht, bei der nanoskalige MOFs auf Basis von  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen mit 2-Methylimidazol (2MI) als organischem Linker hergestellt wurden. Die Synthese fand nicht in einer Mikroemulsion, sondern in wässriger Phase statt, wobei statt Ölsäure ein anderes Tensid als Ligand verwendet wurde. Die Synthese war ebenfalls erfolgreich.

Im vierten Schritt ging es um das Einbringen der hergestellten Nanopartikel in Polystyrol. Dazu wurden sowohl Polystyrol-Granulat als auch die entsprechenden Nanopartikel in Chloroform aufgelöst. Dann wurden die beiden Lösungen vermischt und das Chloroform verdampfen gelassen. Besonders homogene Polystyrol-Folien entstanden bei den Nanopartikeln mit BTC und mit 4,4'-Bipyridin. Die Nanopartikel mit Nicotinsäure und Terephthalsäure aggregierten beim Einbringen in das Polystyrol. Die Nanopartikel mit 2MI aggregierten nur teilweise. Fotos einiger Polystyrol-Folien sind in Abb. 3. dargestellt.



**Abb. 3.** Fotos der Polystyrol-Filme mit  $\text{Cu}^{2+}$ /BTC-Nanopartikeln (links),  $\text{Cu}^{2+}$ /4,4'-Bipyridin-Nanopartikeln (Mitte) und  $\text{Cu}^{2+}$ /2MI-Nanopartikeln (rechts).

Durch Herstellung von nanoskaligen Kupfer(II)-MOFs auf Basis von BTC, Nicotinsäure, Terephthalsäure, 4,4'-Bipyridin und 2MI und deren Einbringen in Polystyrol-Folien konnte das Praktikum erfolgreich zum Abschluss gebracht werden.

### 2.3. Literatur

- [1] X. Cai, Z. Xie, M. Pang, J. Lin, *Controllable Synthesis of Highly Uniform Nanosized HKUST-1 Crystals by Liquid-Solid-Solution Method*, *Crystal Growth & Design*, 19, **2019**, 556-561.

Galway, 16.09.2019.