

Nanomedizin im Chemieunterricht

**Synthese von „smarten“ Nanopolymeren für
eine gezielte Freisetzung von Medikamenten**

Antonia Fruntke,
Prof. Dr. Timm Wilke



Vorneweg



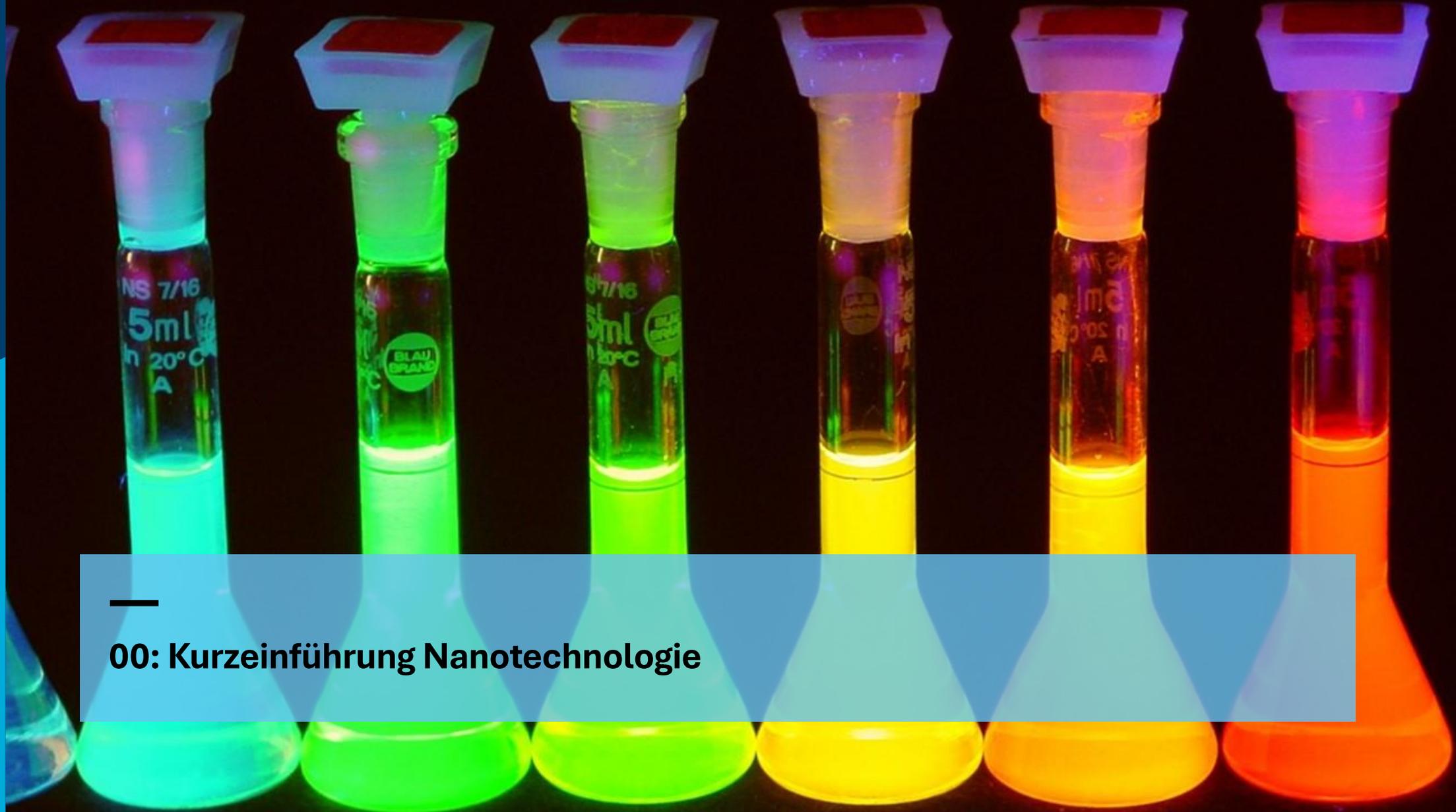
Folien



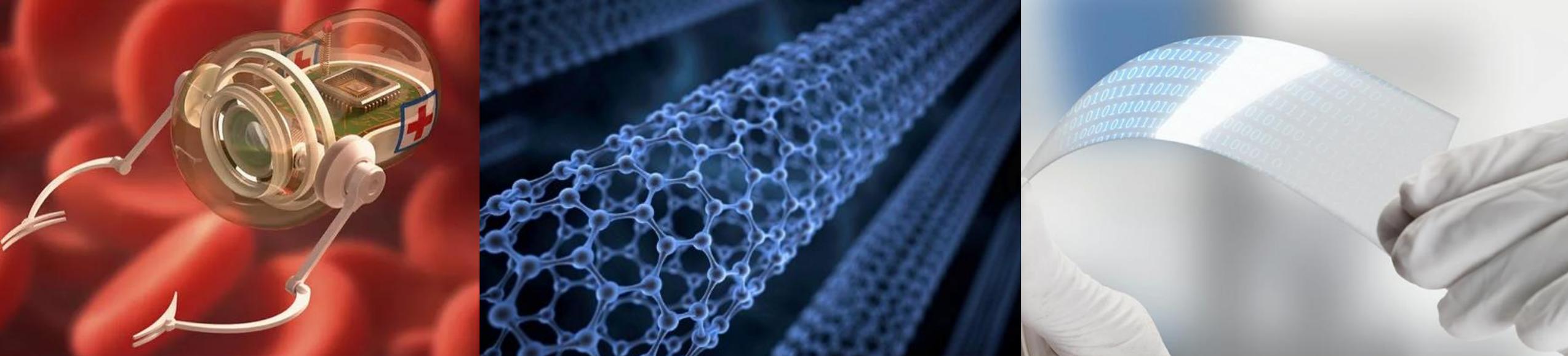
Materialien

Inhalt

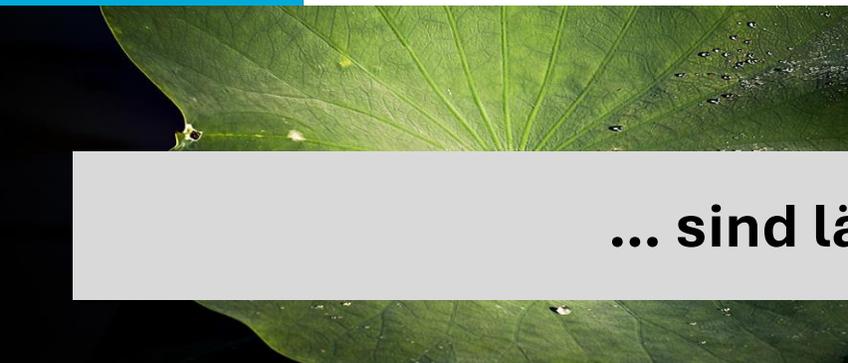
- 00 Was ist „Nano“?**
Kurzeinführung auf sieben Folien
- 01 Nanomedizin gegen Corona und Sepsis?**
Nebenwirkungen vermeiden und Wirkstoffe direkt ans Ziel bringen
- 02 Welches Potenzial bietet Nanomedizin für den Chemieunterricht?**
Lehrplanrelevanz, kurze didaktische Potenzialanalyse
- 03 ... und wie setze ich das in meinem Unterricht um?**
Vorstellung einer einfachen und günstigen Versuchsreihe
- 04 Was sagen Sie dazu?**
Diskussion und Erfahrungen aus der Praxis



—
00: Kurzeinführung Nanotechnologie



Hochtechnologie, Spitzenforschung, Zukunftsvision



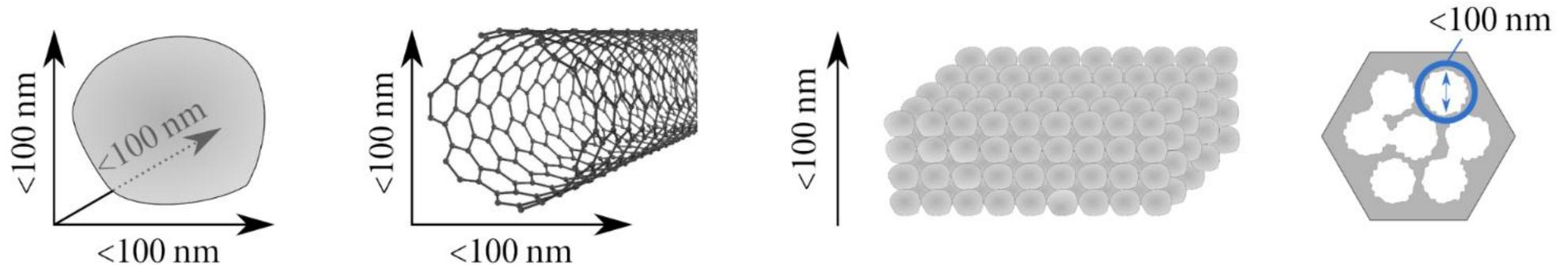
... sind längst in unserem Alltag angekommen.

00 Kurzeinführung Nanotechnologie

„Nano“

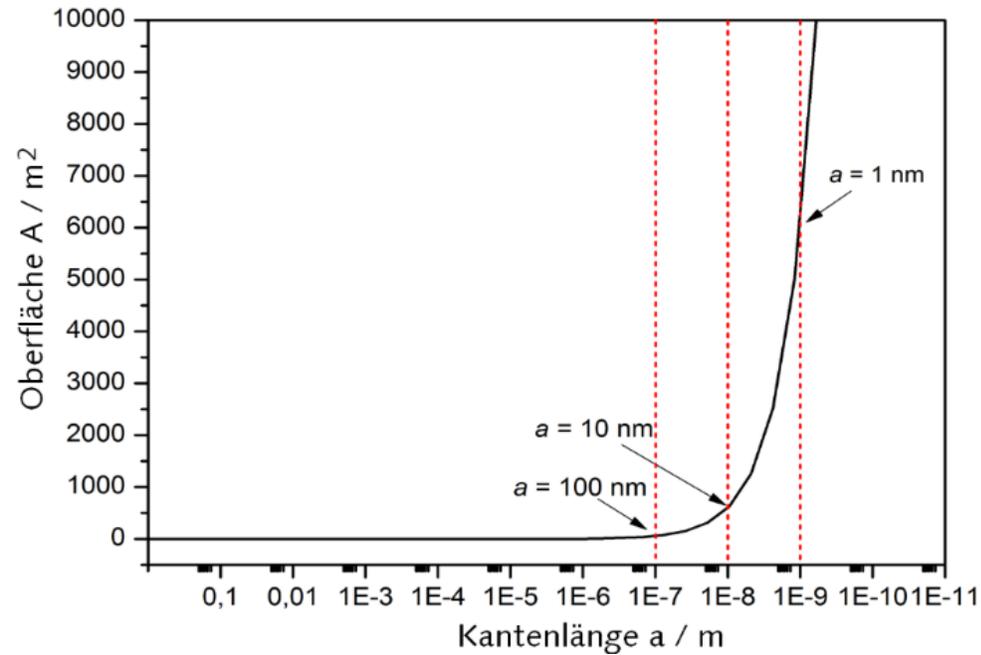
- Kurzbegriff für Nanowissenschaften und Nanotechnologie
- Vereint die drei klassischen Naturwissenschaften

Nanotechnologie befasst sich mit der gezielten Konstruktion von Molekülen und Strukturen in einem Größenbereich zwischen einem und 100 Nanometern.



Große spezifische Oberfläche

Viele Oberflächenatome

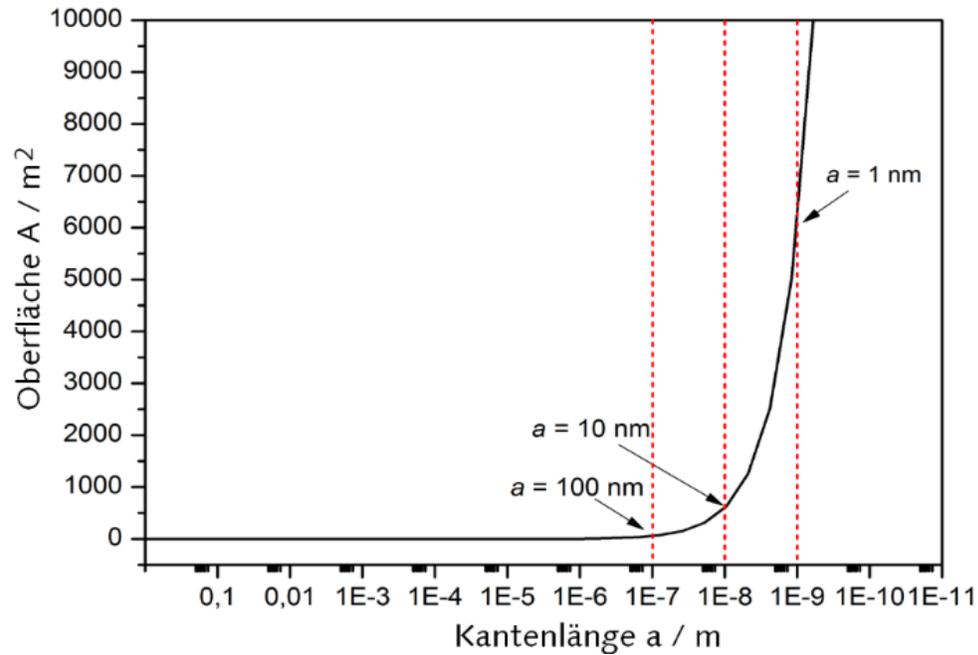


00 Kurzeinführung Nanotechnologie » Kurzeinführung

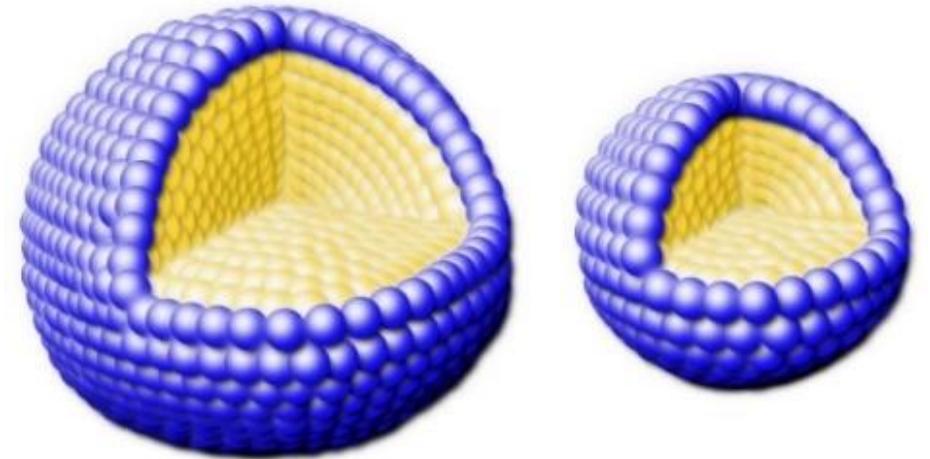


00 Kurzeinführung Nanotechnologie » Kurzeinführung

Große spezifische Oberfläche



Viele Oberflächenatome



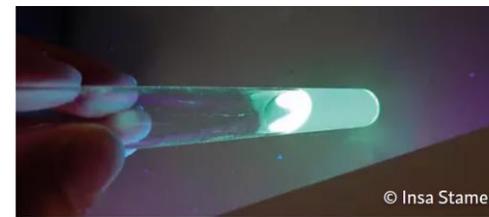
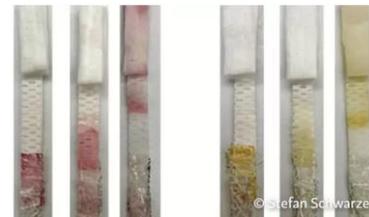
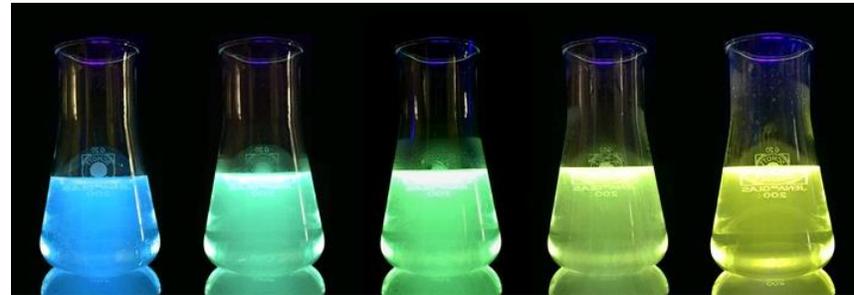
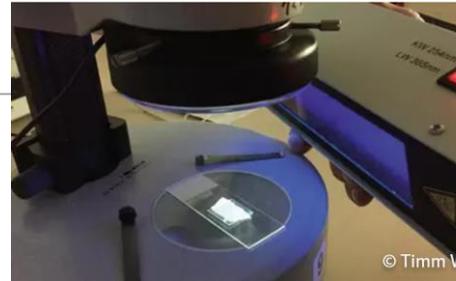
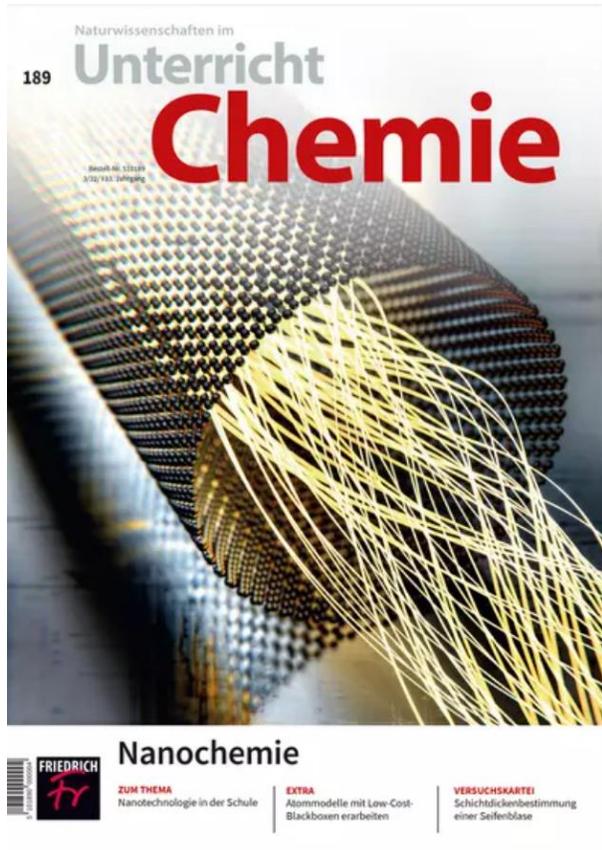
Kantenlänge [nm]	1	10	100
Anteil Oberflächenatome	95,3 %	6,2 %	0,6 %



00 Kurzeinführung Nanotechnologie » „Starthilfe“

NIU, Heft 189

- Grundlagen- und Übersichtsartikel, Schule & Hochschule



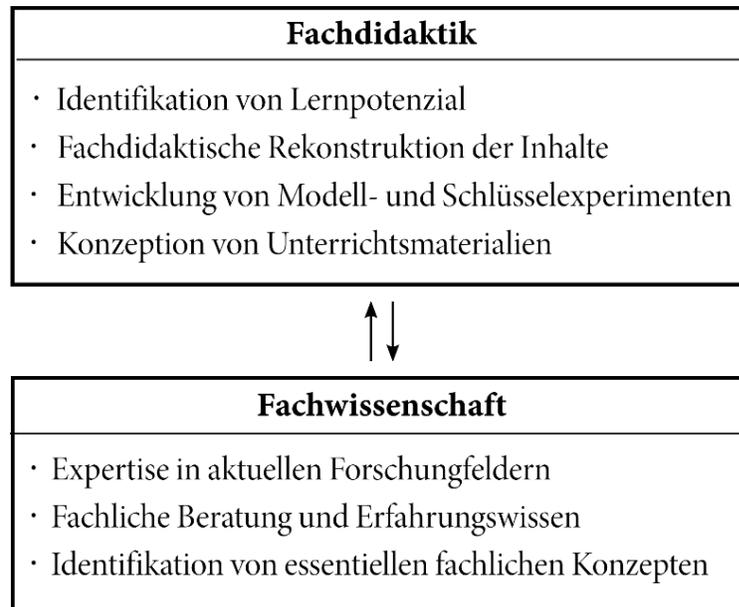


—
01 Nanomedizin gegen Corona und Sepsis?

01 Nanomedizin gegen Corona und Sepsis? » MFT

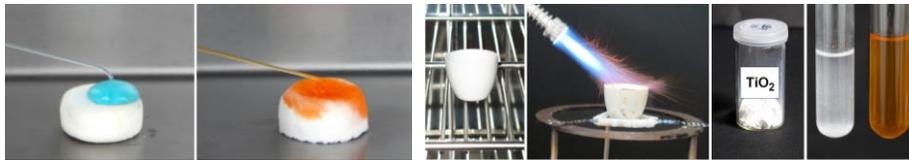
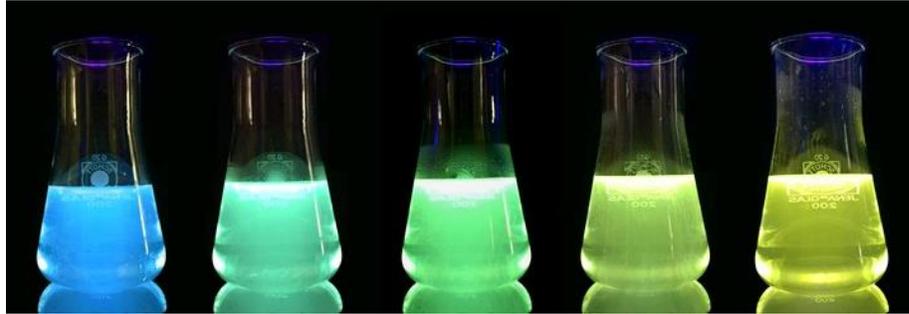
Modell der Fachdidaktischen Transferforschung

- Grundlage: MODELL DER DIDAKTISCHEN REKONSTRUKTION
- Praxisorientiertes Vorgehen unter Einbezug des Lehr-Lern-Labors

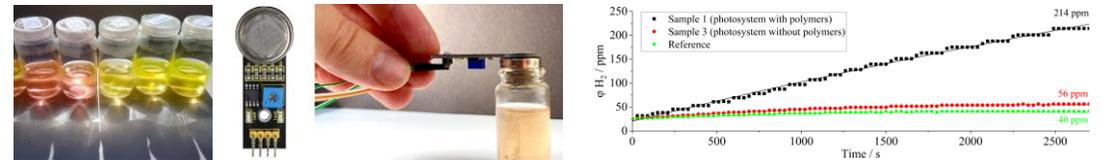


01 Nanomedizin gegen Corona und Sepsis? » Bisherige Projekte

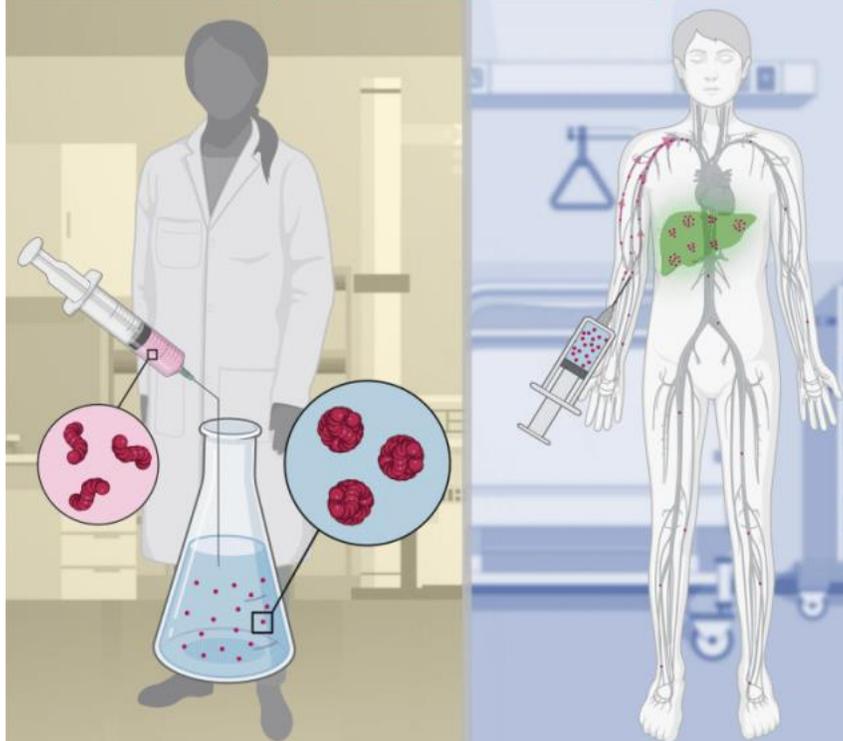
Nanotechnologie



Nachhaltige Chemie, Green Chemistry



Nanomedicine:
Targeted drug delivery
in chemistry education



Antonia Fruntke
Doktorandin



Elisabeth Dietel
Doktorandin



Mira Behnke
Doktorandin



Dr. Antje Vollrath
PostDoc



Dr. Christine Weber
Wiss. Mitarbeiterin



Prof. Dr. Ulrich Schubert

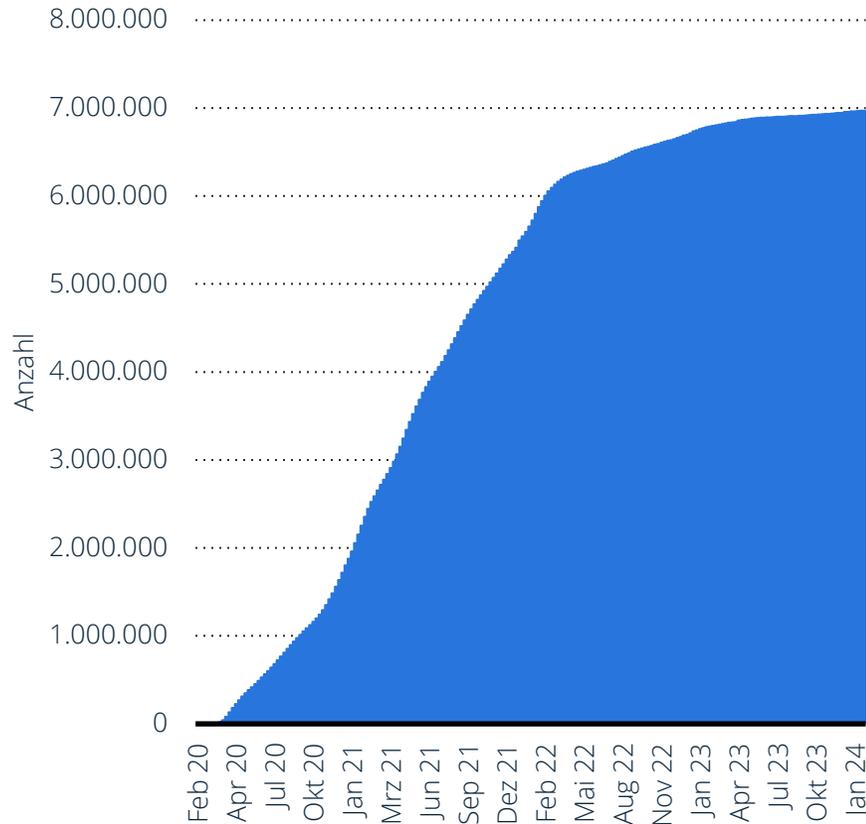
Gefördert durch

DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft

Didaktik der Chemie

Organische und Makromolekulare Chemie

01 Nanomedizin gegen Corona und Sepsis?



Aus der Forschung

Sepsis fordert viel mehr Todesopfer als gedacht

In Deutschland gibt es einen weitgehend unbekanntem Killer: Nach einer aktuellen Studie des Kompetenznetzes Sepsis (SepNet) sterben hierzulande jeden Tag durchschnittlich 162 Menschen an einer Sepsis – den Folgen einer außer Kontrolle geratenen Infektion durch Bakterien oder andere Mikroorganismen.

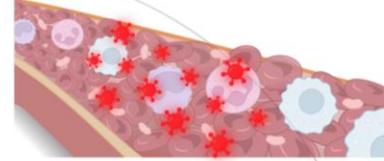
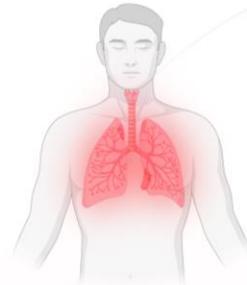
„Jährlich erkranken geschätzte **48,9 Mio. Patienten** an einer Sepsis, sie ist damit eine der **häufigsten Erkrankungen weltweit**. Etwa **20 % aller Todesfälle** gelten als mit Sepsis assoziiert.“

1,74 Mio./J

11 Mio. Menschen pro Jahr

01 Nanomedizin gegen Corona und Sepsis? » Sepsis

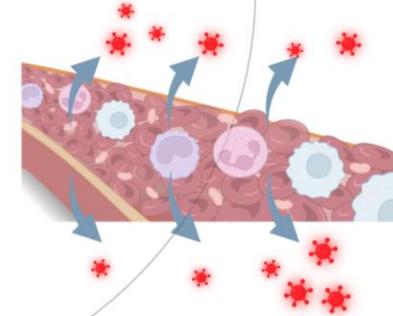
1. Lokaler
Entzündungsherd



2. Krankheitserreger
dringen in den
Blutkreislauf ein

Sepsis

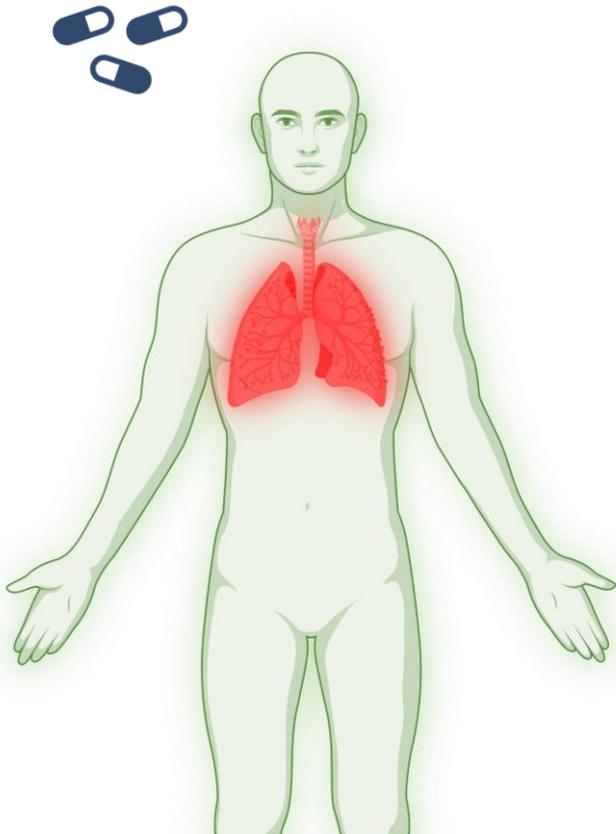
4. Schädigung von
Gefäßen, Gewebe
und Organen, bis
schlimmstenfalls
Tod



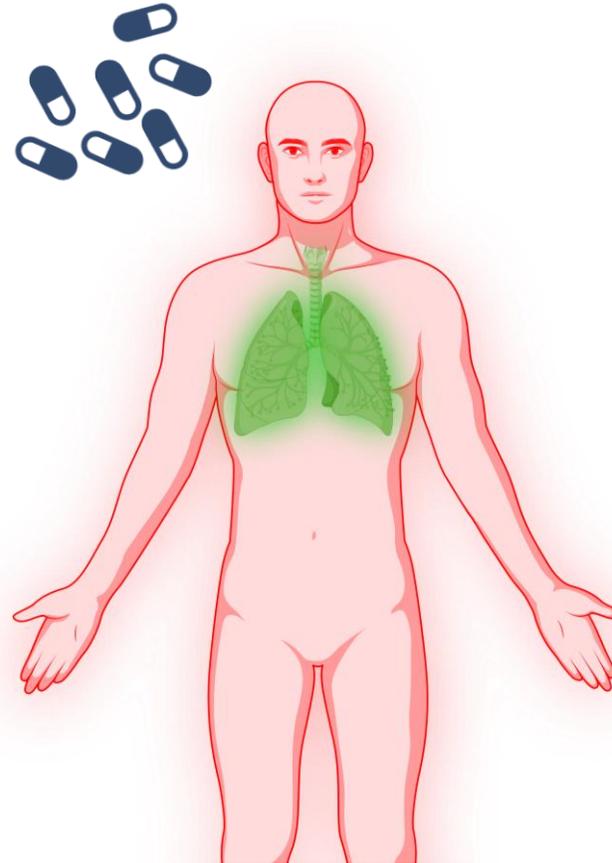
3. Erreger verteilen
sich im Körper

01 Nanomedizin gegen Corona und Sepsis? » Dosierung

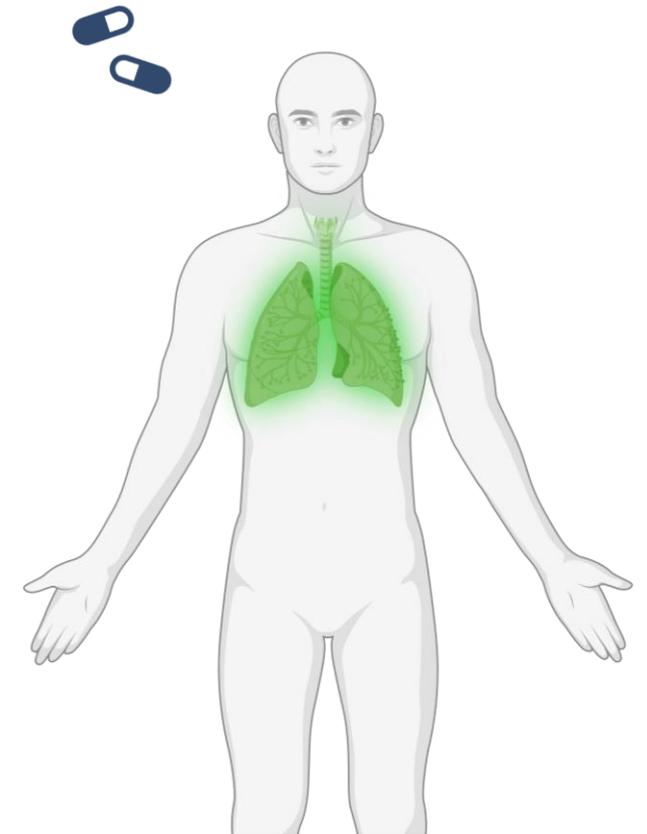
Niedrige Dosierung



Hohe Dosierung



Gezielte Dosierung

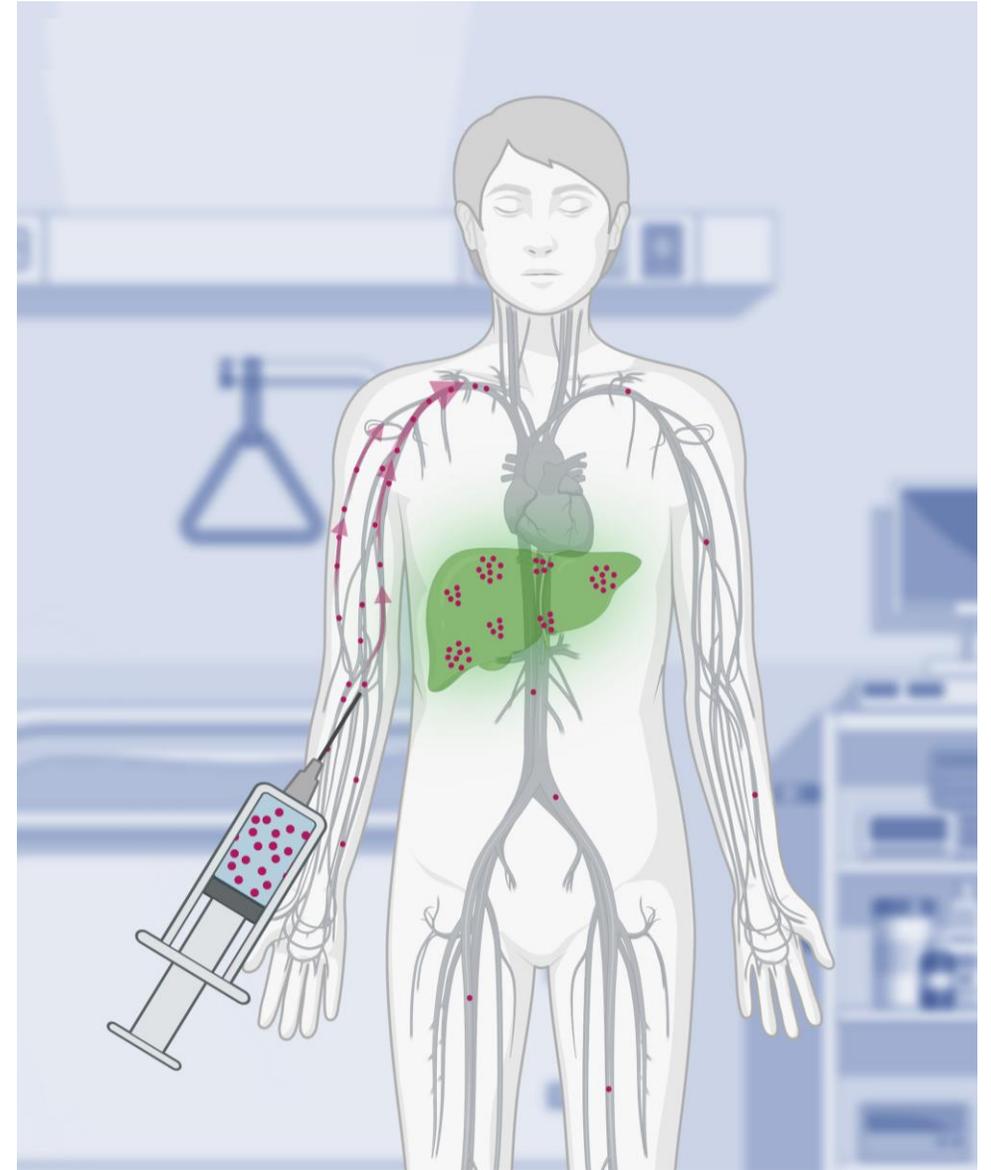


01 Nanomedizin » Carrier

Nanocarrier: Wie ein Taxi mit GPS für medizinische Wirkstoffe

- Nanocarrier werden als maßgeschneiderte "Hüllen" entwickelt, um Wirkstoffe aufzunehmen
- Beladene Nanocarrier zirkulieren möglichst lange unerkant im Körper
- Freisetzung erfolgt nur am gewünschten Wirkort durch gewählten Impuls (bspw. pH-Wert, Proteine, Biomarker, ...)

Polymere sind ideale Ausgangsmaterialien



POLYTARGET

SFB 1278



SFB 1278 PolyTarget

Polymerbasierte Nanopartikel-Bibliotheken zur zielgerichteten Applikation von pharmazeutischen Wirkstoffen

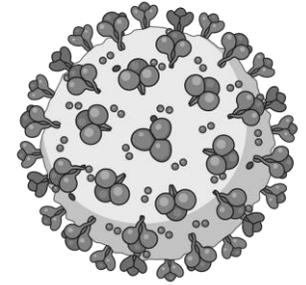
Chemie, Medizin, Materialwissenschaften, Pharmazie, Biochemie



02 Didaktisches Potenzial

Lebensweltbezug

- Medizin, Medikamente und Nebenwirkungen
- Aktuelle Bezüge durch Corona-Pandemie und ggf. Sepsis



Inhaltlich

- Anbindung an klassische Themenfelder des Chemieunterrichts (Polymere, Polarität, Esterbildung und -spaltung, Carbonsäuren und -derivate, Analytik, ...)
- Chance für fächerübergreifenden Unterricht und forschungsaktuelle Kontexte

Motivierendes Themenfeld

- Medizinische Themenfelder insb. für junge Frauen interessant [7]
- Nanotechnologie für beide Geschlechter interessant [8]

02 Didaktisches Potenzial » Lehrplanbezug

Novellierung der Bildungsstandards (2020)

Aufnahme des Themenfeldes
Nanotechnologie

Integration in die Lehrpläne (2021-2023)

- Exemplarisch: Rheinland-Pfalz
- Thüringen
- ...

14.2 Anwendungsgebiete von Nanomaterialien		
W 4 h	Grund- und Leistungsfach	P 4 h
<ul style="list-style-type: none"> ■ Anwendungen von Nanomaterialien (mindestens zwei), z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Kunststoffe, z. B. Verstärkung durch Kohlenstoffnanoröhrchen, kratzfeste Kunststofflacke ... • Lebensmittel, z. B. Nanocontainer für Geschmacksträger, Verbesserung der Löslichkeit von Stoffen, Optimierung von Antioxidation, bessere Bioverfügbarkeit von Vitaminen ... • Kosmetik, z. B. Titandioxid in Sonnencreme ... • Reinigungs- und Pflegemittel, z. B. Imprägnierspray ... • Keramiken, z. B. als Katalysatorträger, Ultrafilter, Elektrolytschichten für Brennstoffzellen ... • Energietechnik, z. B. Nanotinten zur Herstellung flexibler Solarzellen, Nanochips in Smartphones ... 		
<ul style="list-style-type: none"> • Medizin, z. B. Implantat mit nanostrukturierten Oberflächen zur besseren Verträglichkeit, Nanocarrier, Krebstherapie mit Nanopartikeln aus Eisenoxid, smarte Nanomedizin ... 		
<ul style="list-style-type: none"> • Baustoffe, z. B. Wärmedämmung, Oberflächenbeschichtung ... • Fotokatalysatoren, z. B. Titandioxid in selbstreinigenden Oberflächen ... • ... 		



02 Didaktisches Potenzial » Barrieren in der Transferforschung



Polymerisation

**Formulierung von Nanopartikeln,
Be- und Entladen**

**Spezielle
Ausrüstung**
z.B. Inertgas-
atmosphäre,
Glovebox

Analytik
z.B. MALDI
TOF MS, SEC,
NMR

Aufreinigung
des Polymers
und der NP
benötigt Zeit
und
Ausrüstung

Beladen
z.B.
Arzneimittel,
Farbstoffe,
Nukleinsäure

Analytik
z.B. DLS,
SEM, HPLC,
AF4

02 Didaktisches Potenzial » Wahrgenommene Barrieren

Ziele

- Entwicklung einer lehrplankonformen Unterrichtssequenz zum Thema Drug Delivery
- Einfache, ungefährliche, günstige, illustrative **Schüler:innen**versuche
- Motivierender Kontext, lehrreiche Inhalte

Barrieren

- Wie soll ich aktuelle, interdisziplinäre Forschung in meinem Unterricht vermitteln?
- Das kann ich mit den Geräten in meiner Schule nicht durchführen.
- Mir fehlt das Geld, um teure Spezialchemikalien anzuschaffen.
- Wo finde ich denn begleitendes Unterrichtsmaterial?
- ... und weitere

03 Umsetzung » Versuchsreihen zu Drug-Delivery-Systemen

**Nanofällung /
Kopräzipitation**

Dialyse

03 Umsetzung » Versuchsreihen zu Drug-Delivery-Systemen

Nanofällung / Kopräzipitation

am häufigsten verwendete Technik

Vorgehen Kopräzipitation

1. Lösen eines **hydrophoben Polymers** in einem mit Wasser mischbaren **organischen Lösungsmittel**
2. Verkapselung von **Wirkstoffen oder fluoreszierende Marker (Farbstoffe)** in die **Partikel** der jeweiligen Verbindung zusammen **mit dem Polymer**
3. Organische Lösung wird anschließend in einen **Überschuss an wässrigem Medium** gegeben

Dialyse

03 Umsetzung » Versuchsreihen zu Drug-Delivery-Systemen

Nanofällung / Kopräzipitation

Dialyse

Lösemittel wird ebenfalls von einem „Nicht-Lösemittel“ verdrängt

Vorgehen (konzentrationsgetriebenes Verfahren)

1. Polymerlösung wird in einen Dialyseschlauch (=semipermeable Membran) gegeben und somit vom Wasser getrennt
2. Wasser strömt während der Dialyse in den Dialyseschlauch, Lösungsmittel strömt heraus
3. Polymer nur im Dialyseschlauch, MWCO so gewählt, dass Polymer nicht durch die Poren nach außen dringen kann kontinuierlicher Verlust der Löslichkeit
4. Bildung Partikelsuspension

03 Umsetzung » **Versuchsreihen zu Drug-Delivery-Systemen**

Nanofällung / Kopräzipitation

Aktuell: Zwei Versuchsreihen
entwickelt

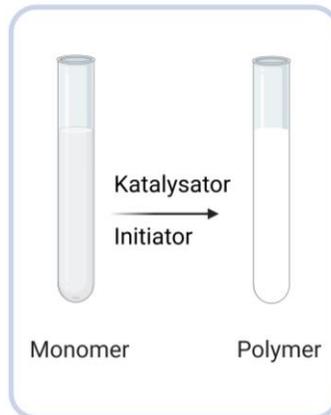
Dialyse

Aktuell: Eine Versuchsreihe
entwickelt

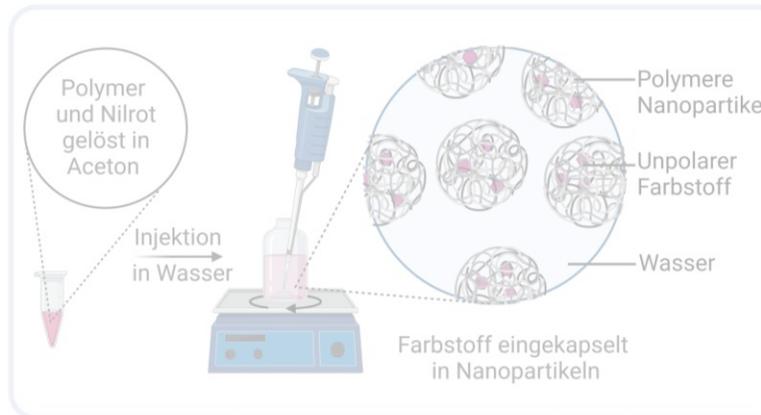
03 Umsetzung » Versuchreihe (Experiment 1)

Nanofällung, Teilversuch I: Vorbereitung der Nanopartikel

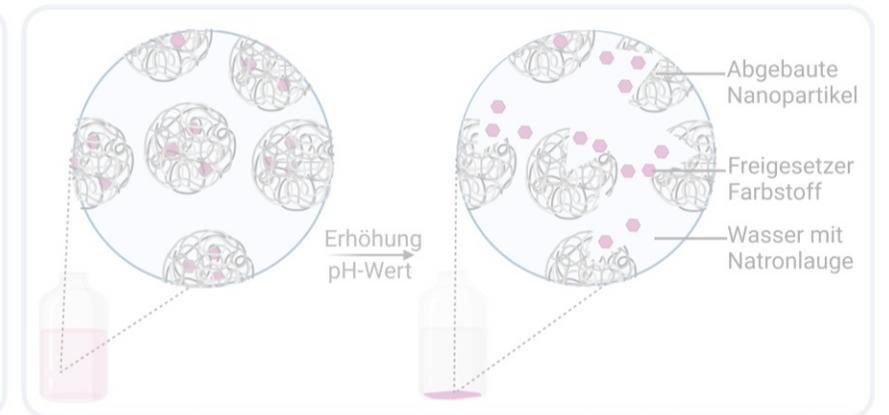
Vorbereitung der Nanopartikel



Beladen der Nanopartikel



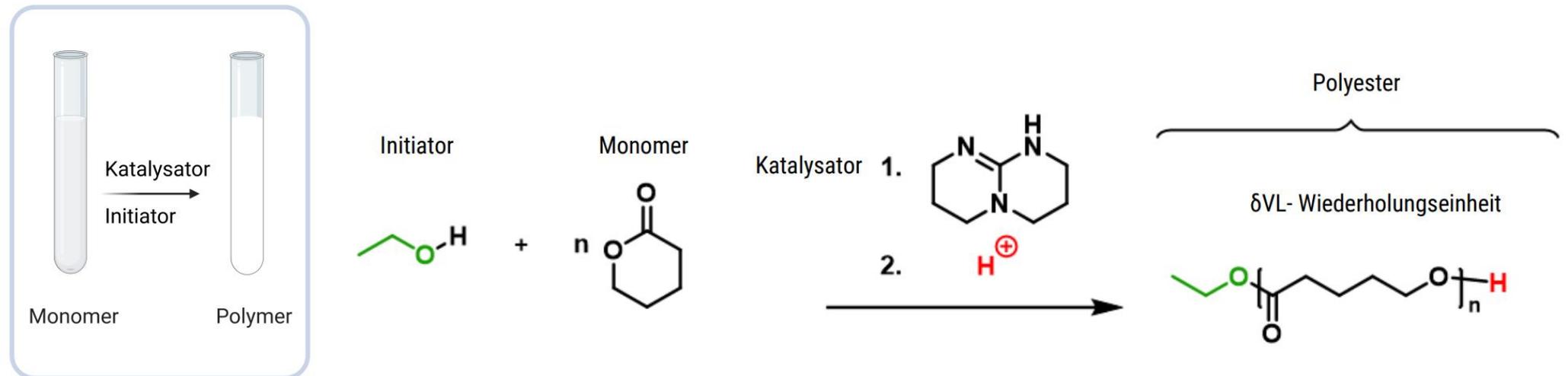
Abbau der Nanopartikel und Freisetzung des Farbstoffs



03 Umsetzung » Versuchsreihe (Experiment 1)

Ringöffnungspolymerisation von δ -Valerolacton

- Bildung eines simplen Polyesters





03 Umsetzung » Versuchsreihe (Experiment 1)

Ringöffnungspolymerisation von δ -Valerolacton



Reaktion ist mit bloßem Auge
optisch nachzuverfolgen

Analytik (^1H NMR, SEC, MALDI MS, DLS) bestätigt, dass trotz der „schulischen Bedingungen“ anschließend Nanopartikel formuliert werden können, die den **medizinischen Standards** hinsichtlich der Größe entsprechen.

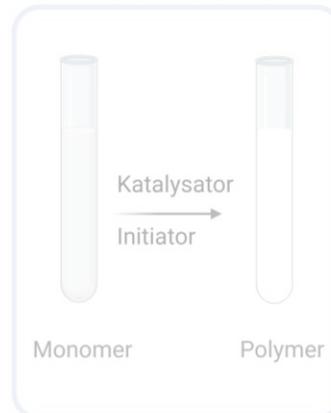


~10 Minuten

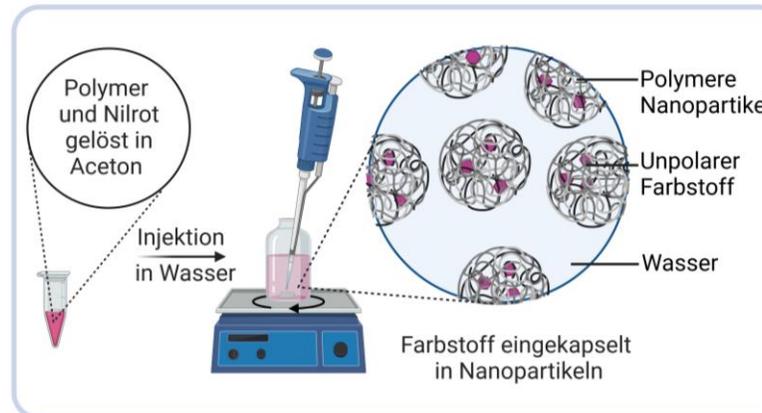
03 Umsetzung » Versuchreihe (Experiment 2)

Teilversuch II: Formulierung & Beladung der Nanocarrier

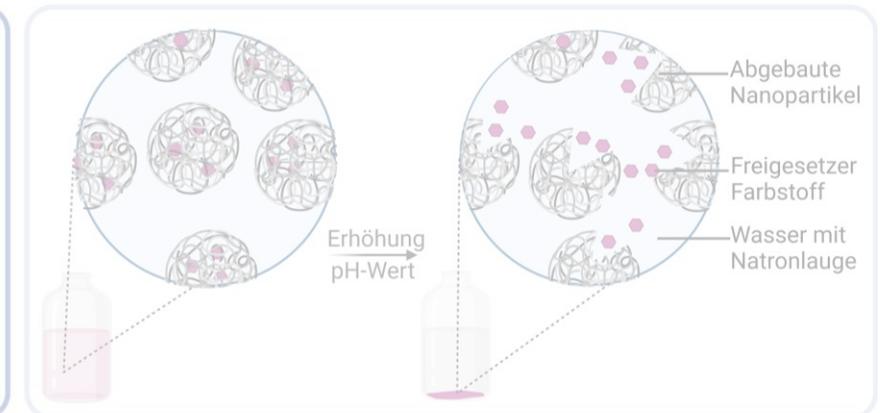
Vorbereitung der
Nanopartikel



Beladen der Nanopartikel



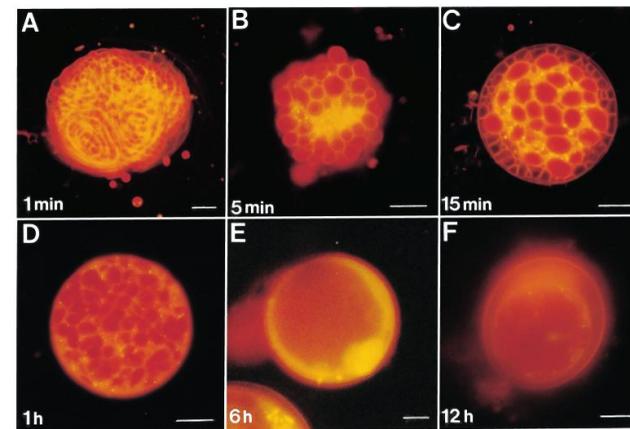
Abbau der Nanopartikel und Freisetzung des
Farbstoffs



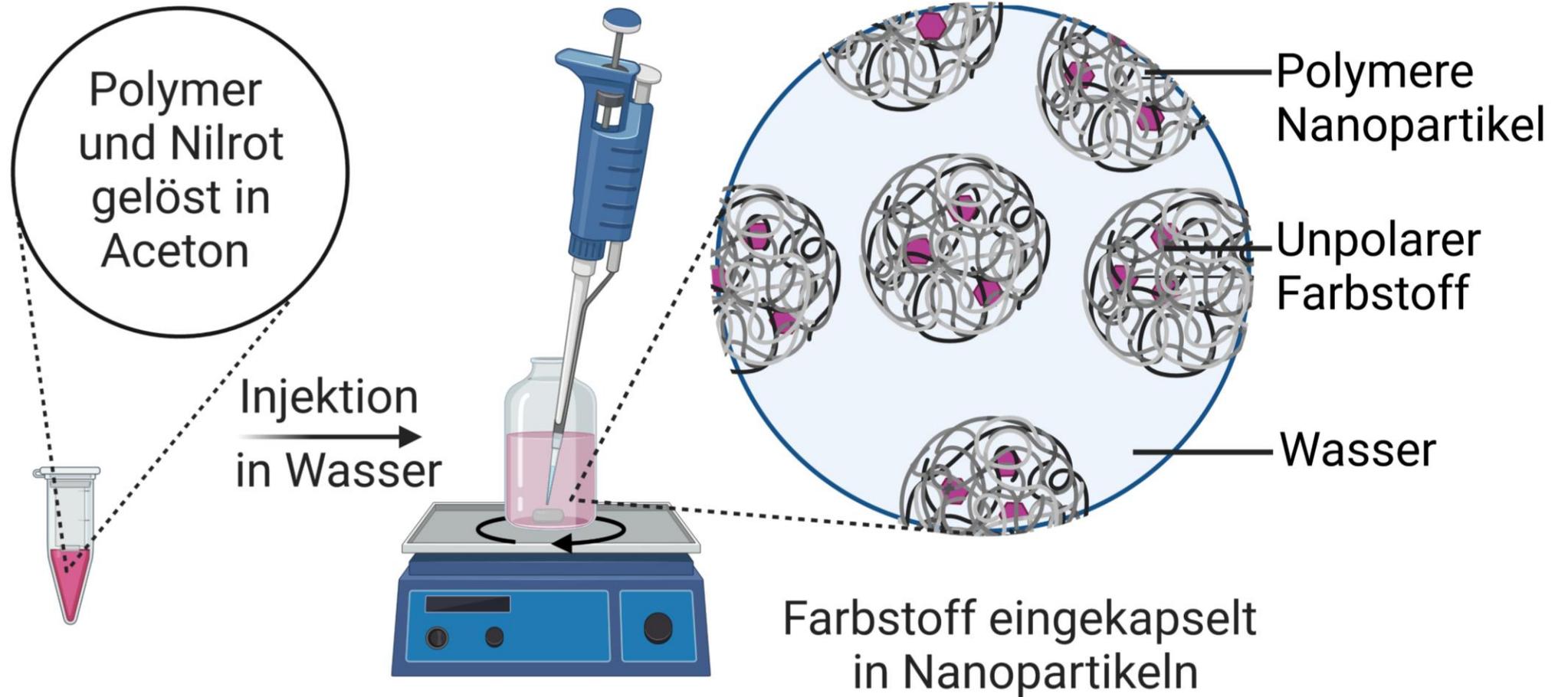
03 Umsetzung » Versuchreihe (Experiment 2)

Kopräzipitation

- ✓ Einfache Methode: „Fällung“ als Nanopartikel und Beladen mit der Modellschubstanz Nilrot
- ✓ Basiert auf Polarität
- ✓ Formulierung von Nanopartikeln im gewünschten Größenbereich (bis 300 nm)



03 Umsetzung » Versuchssreihe (Experiment 2)



03 Umsetzung » Versuchsreihe (Experiment 2)



Anschließend: Aceton muss für eine Stunde evaporieren (50 °C, auf Magnetrührplatte)

Alternative: Aceton kann ohne Wärmezufuhr über Nacht verdampfen

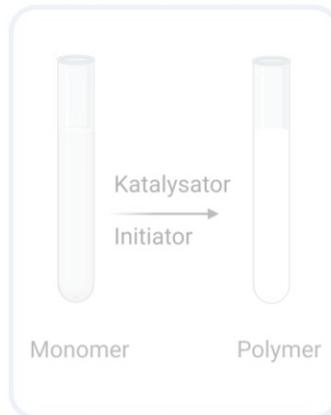
03 Umsetzung » Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme

- Analytik (DLS & REM) nach Nanofällung und Evaporation bestätigt:**
- ✓ Homogene Verteilung der Partikel (PDI)
 - ✓ Im gewünschten medizinischen Größenbereich (kleiner als 300 nm)

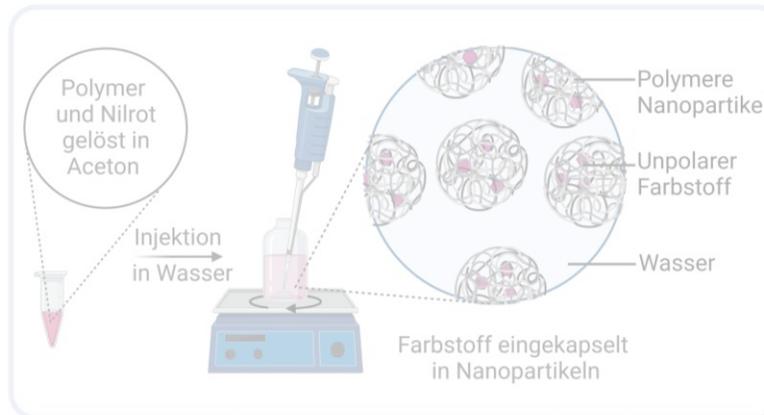
03 Umsetzung » Versuchsreihe (Experiment 3)

Teilversuch III: Freisetzung des Wirkstoffs

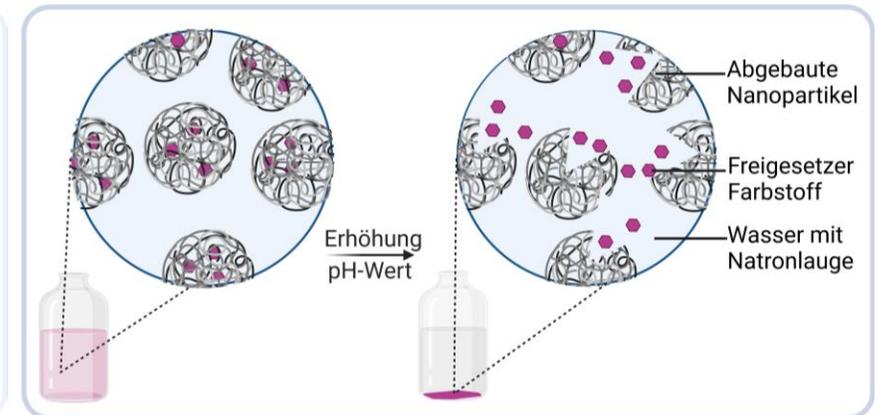
Vorbereitung der Nanopartikel



Beladen der Nanopartikel



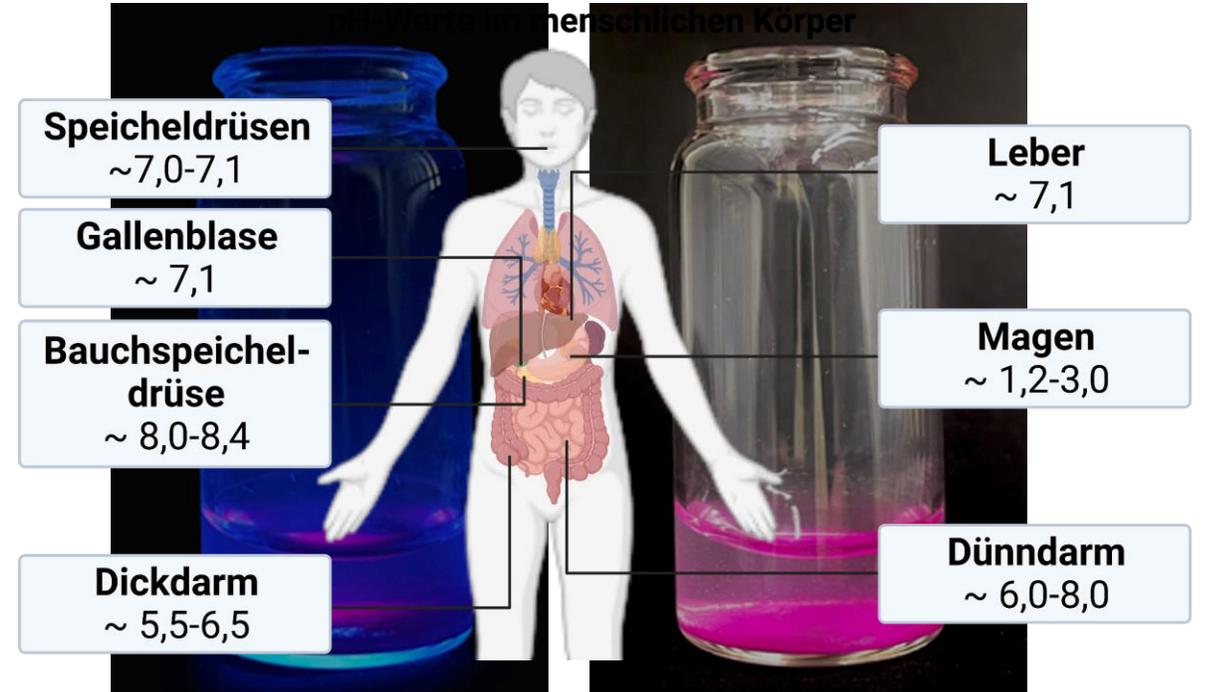
Abbau der Nanopartikel und Freisetzung des Farbstoffs



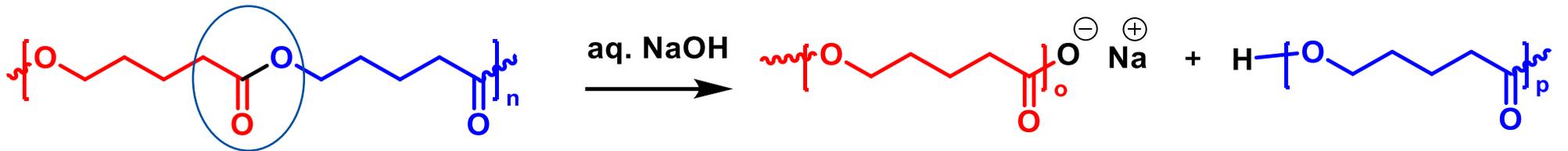
03 Umsetzung » Versuchsreihe (Experiment 3)

Alkalische Esterhydrolyse

- Zugabe von 1 M Natronlauge
- Abbau der Nanopartikel
- Freisetzung von Nitrot



Poly- δ -Valerolacton



03 Umsetzung » Versuchreihe (Experiment 3)

Polymerisation

Formulierung von Nanopartikeln, Be- und Entladen

**Spezielle
Ausrüstung**
z.B. Inertgas-
atmosphäre,
Glovebox

Analytik
z.B. MALDI
TOF MS, SEC,
NMR

Aufreinigung
des Polymers
und der NP
benötigt Zeit
und
Ausrüstung

Beladen
z.B.
Arzneimittel,
Farbstoffe,
Nukleinsäuren

Analytik
z.B. DLS, SEM,
HPLC, AF4

**Schulische
Labor-
bedingungen**

**Beobachtung
mit bloßem
Auge**

**Aufreinigung
nicht
notwendig**

**Beladen
der
Nanopartikel
mit
Farbstoffen**

**Fluoreszenz
mit dem
bloßen Auge
oder low-cost
Photometer
beobachten**

03 Umsetzung » Versuchreihe (Experiment 3)

Kosten

Durchführung im Klassensatz (8
Gruppen): 6,55 €

(1x Polymersynthese, je 8x Beladen
und Freisetzen des Wirkstoffs)

Experiment	Kosten
Teilversuch 1: Herstellung des Polymers	2,55 €
Teilversuch 2: Beladen des Wirkstoffs	8x 0,25 €
Teilversuch 3: Freisetzen des Wirkstoffs	8x 0,25 €



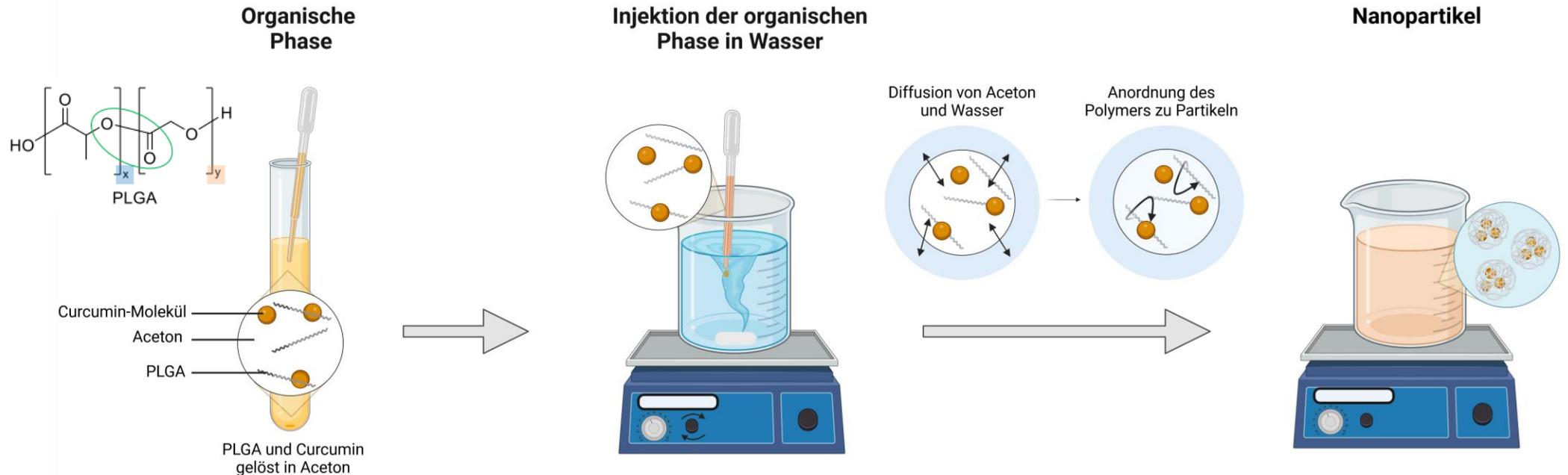
03 Umsetzung » Versuchsreihe 2

Versuchsreihe 2: Kurkumin als günstige, alltagsnahe Alternative zu Nilrot



03 Umsetzung » Versuchsreihe: Alternativen

Versuchsreihe 2: Kurkumin als günstige, alltagsnahe Alternative zu Nilrot





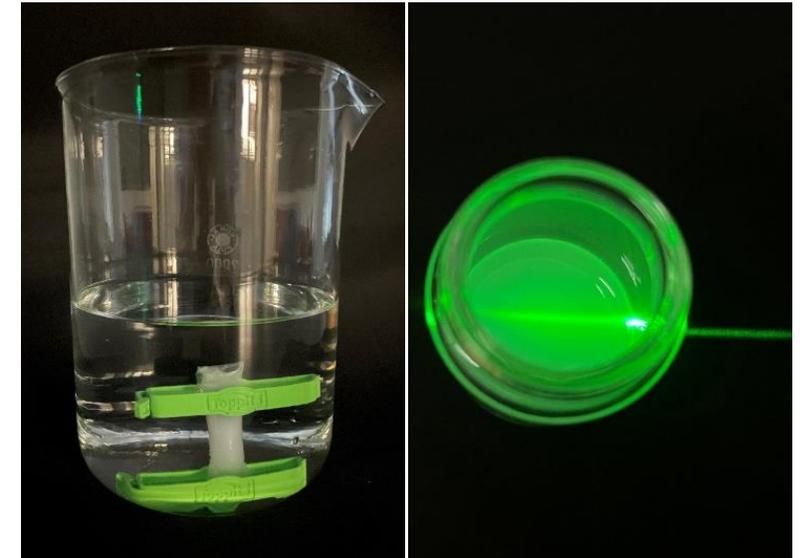
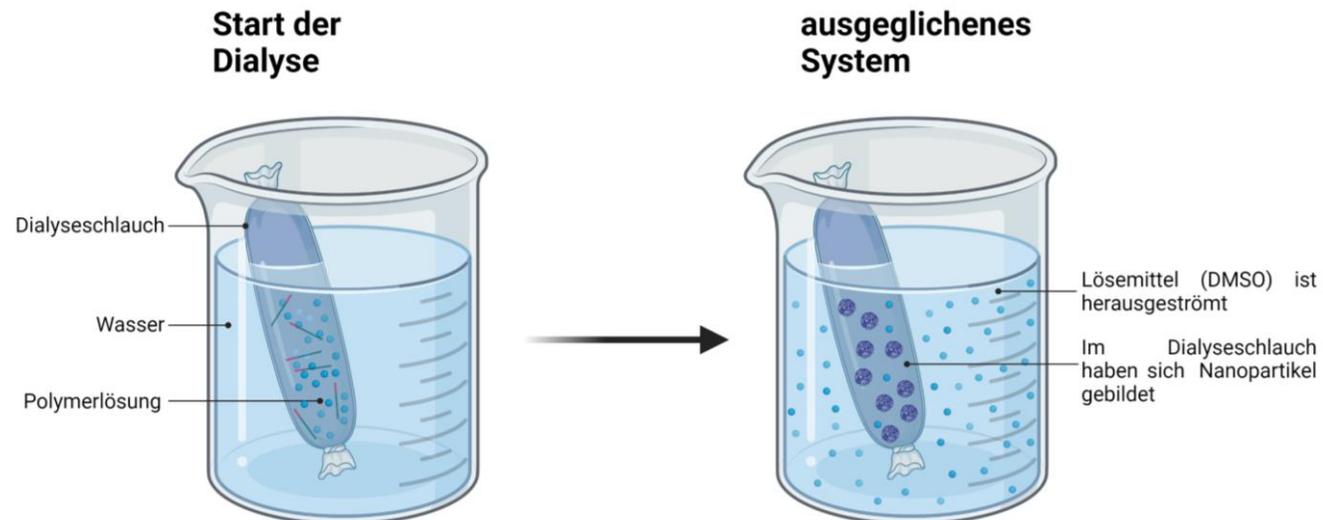
Wasser

PLGA in Acetone
(10 mg/mL)

Curcumin in Acetone
(1 mg/mL)

03 Umsetzung » Versuchsreihe: Alternativen

Versuchsreihe 3: Polysaccharid-basierte Nanopartikel im Dialyseverfahren



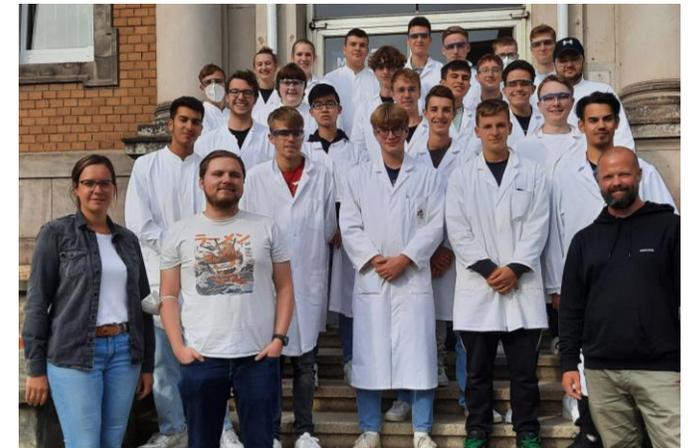
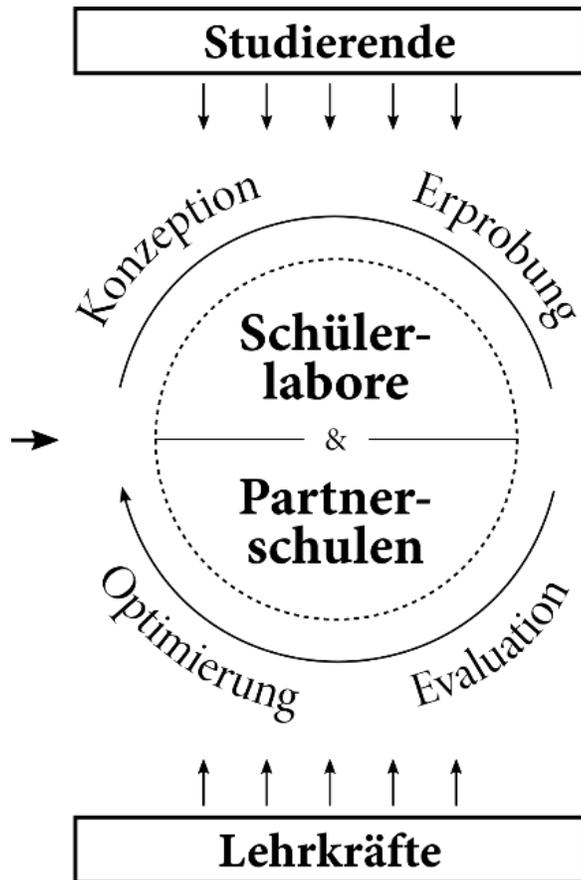
03 Umsetzung » Versuchssreihe (Experiment 3)

Versuchsreihe 3: Polysaccharid-basierte Nanopartikel im Dialyseverfahren

Chemikalien Lösungsmittel DMA, dest. Wasser	Dauer der Dialyse 15 Stunden	Spezielle Ausrüstung Zentrifuge, Dialyse- klemmen	Analytik DLS, REM
Chemikalien Lösungsmittel DMSO, Leitungswasser	Optische Effekte Nach 20 Minuten	Schulische Laborbedingungen Ohne Zentrifuge, Gefrierbeutel- klemmen	Mit dem bloßen Auge beobachten Tyndall-Effekt, Fluoreszenz

Evaluation (Erste Einblicke)

03 Umsetzung » Erprobung & Evaluation



03 Umsetzung » Erprobung & Evaluation



Ziel

Erfassen von **Vorwissen** und **Interesse** der Lernenden am Thema Nanomedizin vor und den **Wissenszuwachs** sowie kurzfristige Auswirkungen auf die **Motivation** nach den Experimenten

Umsetzung

- Qualitative Erhebung im Rahmen eines Pre-Post-Designs
- Durchführung in Schulen in ganz Deutschland

03 Umsetzung » Erprobung & Evaluation

Erste Einblicke (N = 153)

- Fragebögen und Rückmeldungen von Studierenden und Lehrenden zeigen **Interesse** der Lernenden für das Themenfeld (88%)
- 87% der Schüler:innen geben für die Versuchsreihe Note 1 oder 2.
- Lernende heben die Anschaulichkeit der Experimente hervor, insb. visuelle Effekte

- **Pretest:** Unspezifisches, allgemeines Wissen und Präkonzepte. 75% Schüler:innen geben „keine“ / „wenige“ Kenntnisse an
- **Posttest:** 76% der Lernenden können Drug Delivery Systeme und den Prozess der Wirkstoffabgabe durch Nanocarrier sowie die Wirkstofffreisetzung durch spezifische Stimuli (z.B. pH-Wert) konkret beschreiben. 88% geben „einige“ / „viele“ Kenntnisse an



03 Umsetzung » Erprobung & Evaluation

Multiplikatoren-Fortbildungen



Jena



Speyer



Rotenburg



03 Umsetzung » Erprobung & Evaluation

5. Bewer 5. Bewert 5. Bewer 5. Bewert 5. Bewert 5. Bewert 5. Bewerten Sie die nachfolgenden Aspekte bitte mit Schulnoten:

Bitte nur c Bitte nur c Bitte nur c Bitte nur d Bitte nur c Bitte nur d Bitte nur die Aspekte beurteilen, die für diese Veranstaltung relevant sind!

							1	2	3	4	5	6	
Organis	Organisa	Organis	Organisa	Organisa	Organisa	Organisation der Veranstaltung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,06				
Vortrag	Vortrag	Vortrag	Vortrag	Vortrag	Vortrag	Vortrag	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,24				
Praktiku	Praktikum	Praktiku	Praktikum	Praktikum	Praktikum	Praktikum	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,12				
Experim	Experime	Experim	Experime	Experim	Experime	Experimentauswahl	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,24				
Schulbe	Schulbez	Schulbe	Schulbez	Schulbez	Schulbez	Schulbezug	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,29				
Aufbere	Aufberei	Aufbere	Aufberei	Aufberei	Aufberei	Aufbereitung des Lehrmaterials	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,12				
Fachdid	Fachdida	Fachdid	Fachdida	Fachdida	Fachdida	Fachdidaktischer Gewinn	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,18				
Fachwis	Fachwiss	Fachwis	Fachwiss	Fachwiss	Fachwiss	Fachwissenschaftlicher Gewinn	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,06				
Experim	Experime	Experim	Experime	Experime	Experime	Experimenteller Gewinn	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,18				
Möglich	Möglichk	Möglich	Möglichk	Möglichk	Möglichk	Möglichkeiten zum Erfahrungsaustausch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,29				
Geben S	Geben Si	Geben S	Geben Si	Geben Si	Geben Si	Geben Sie der Veranstaltung eine Gesamtnote	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,12				

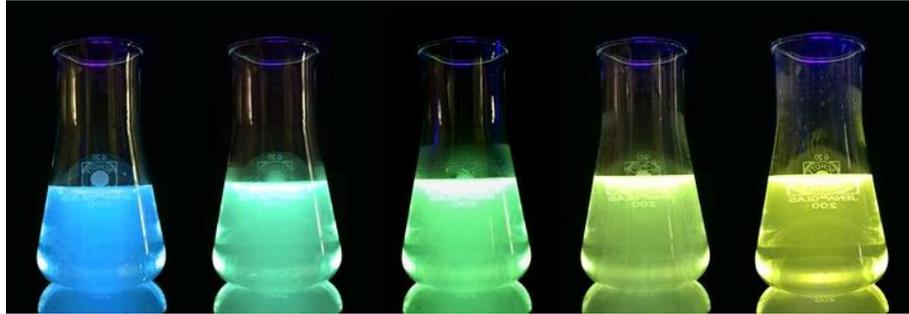
6. Wurde 6. Wurde 6. Wurde 6. Wurden 6. Wurde 6. Wurden 6. Wurden Ihre Erwartungen an den Kurs erfüllt?

voll voll voll voll voll voll vollständig zum Teil überhaupt nicht

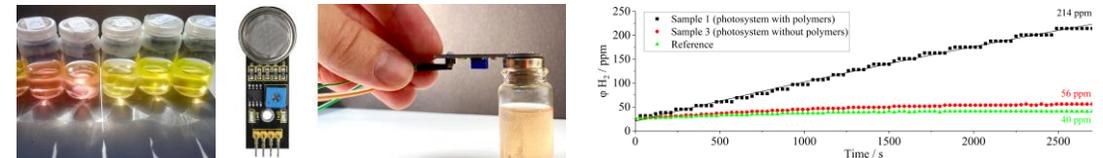
1,00

03 Umsetzung » Weitere Projekte

Nanotechnologie



Nachhaltige Chemie, Green Chemistry



04 Was sagen Sie dazu?



01 Nanomedizin » Carrier

Nanocarrier: Wie ein Taxi mit GPS für medizinische Wirkstoffe

- Nanocarrier werden als maßgeschneiderte "Hüllen" entwickelt, um Wirkstoffe aufzunehmen
- Beladene Nanocarrier zirkulieren möglichst lange unerkannt im Körper
- Freisetzung erfolgt nur am gewünschten Wirkort durch gewählten Impuls (bspw. pH-Wert, Proteine, Biomarker, ...)

Polymere sind ideale Ausgangsmaterialien

Seite 39
22.05.2024

Nanomedizin im Chemiestudiengang
Benedikt Frenkel & Prof. Dr. Tessa Weller



03 Umsetzung » Versuchsreihe (Experiment 1)

Ringöffnungspolymerisation von δ-Valerolacton

Reaktion ist mit bloßem Auge optisch nachzuverfolgen

Analytik (¹H NMR, SEC, MALDI MS, DLS) bestätigt, dass trotz der „schulischen Bedingungen“ anschließend Nanopartikel formuliert werden können, die den **medizinischen Standards** hinsichtlich der Größe entsprechen.

~10 Minuten

Seite 41
22.05.2024

Nanomedizin im Chemiestudiengang
Benedikt Frenkel & Prof. Dr. Tessa Weller

03 Umsetzung » Versuchsreihe (Experiment 2)

Anschließend: Aceton muss für eine Stunde evaporieren (50 °C, auf Magnetrührplatte)
Alternative: Aceton kann ohne Wärmezufuhr über Nacht verdampfen

Seite 42
22.05.2024

Nanomedizin im Chemiestudiengang
Benedikt Frenkel & Prof. Dr. Tessa Weller

03 Umsetzung » Versuchsreihe (Experiment 3)

Alkalische Esterhydrolyse

- Zugabe von 1 M Natronlauge
- Abbau der Nanopartikel
- Freisetzung von Nitrot

Poly-δ-Valerolacton

$$\text{Poly-}\delta\text{-VL} + \text{aq. NaOH} \rightarrow \text{Poly-}\delta\text{-VL-COO}^- \text{Na}^+ + \text{H-O-}\delta\text{-VL-NH}_2$$

Seite 43
22.05.2024

Nanomedizin im Chemiestudiengang
Benedikt Frenkel & Prof. Dr. Tessa Weller

03 Umsetzung » Erprobung & Evaluation

Seite 44
22.05.2024

Nanomedizin im Chemiestudiengang
Benedikt Frenkel & Prof. Dr. Tessa Weller



01 Nanomedizin gegen Corona und Sepsis? » Bisherige Projekte

Nanotechnologie

Nachhaltige Chemie, Green Chemistry

Seite 46
22.05.2024

Nanomedizin im Chemiestudiengang
Benedikt Frenkel & Prof. Dr. Tessa Weller

Wiley 2018

Zum Abschluss



Folien



Materialien

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Dr. B. Bartram



N. ter Horst



Dr. M. Peetz



M. Petersen



Dr. J. Petereit



M. Wejner
(Jena)



C. Bley (Jena)



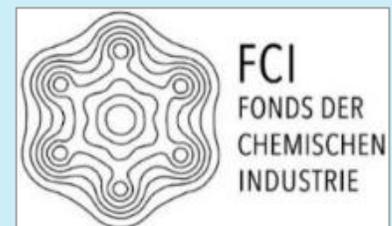
G. Heißner
(Jena)



E. Dietel



Dr. M. Doil



Antonia Fruntke
antonia.frontke@uol.de



Prof. Dr. Timm Wilke
timm.wilke@uol.de

Literatur (alle Online-Quellen geprüft am 28.01.2024)

- T. Wilke, „Konzeptualisierung des Themas "Nano" für den Chemieunterricht“, Dissertation, **2017**, <https://ediss.uni-goettingen.de/handle/11858/00-1735-0000-002B-7CB8-5>
- T. Wilke, J. Dege, T. Waitz, "Experimente zu Eigenschaften von Nanomaterialien in Chemieunterricht und Schülerlabor", *CHEMKON* **2017**, *4*, 209-226
- Statista (**2024**), „Weltweite Zahl der Todesfälle in Zusammenhang mit dem Coronavirus (COVID-19) seit Februar 2020 (Stand: 22. Januar 2024)“, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1103240/umfrage/entwicklung-der-weltweiten-todesfaelle-aufgrund-des-coronavirus/>
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (**2005**), „Sepsis fordert viel mehr Todesopfer als gedacht“, www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/sepsis-fordert-viel-mehr-todesopfer-als-gedacht-3068.php.
- C. Fleischmann-Struzek, D. Schwarzkopf, K. Reinhart, „Inzidenz der Sepsis in Deutschland und weltweit: Aktueller Wissensstand und Limitationen der Erhebung in Abrechnungsdaten“, *Med Klin Intensivmed Notfmed.* **2021**, *117*, 264-268.
- B. Gyawali, K. Ramakrishna, A.S.Dhamoon, „Sepsis: The evolution in definition, pathophysiology, and management“, *SAGE Open Med.* **2019**, *7*, 1-13.
- A. Fruntke, M. Behnke, L. M. Stafast, T. Träder, E. C. Dietel, A. Vollrath, C. Weber, U. S. Schubert*, T. Wilke*: "Targeted drug delivery: Synthesis of smart nanocarriers for school chemistry education", *J. Chem. Educ.* **2023**, *2*, 751.
- J. Wanjek, „Einflüsse von Alltagsorientierung und Schülerexperimenten auf den Erfolg von Chemieunterricht“, Dissertation, **2000**.
- T. Wilke, T. Waitz, „Small particles – big impact. Nanomaterials in chemistry class“, *NPSE* **2012**, 105-109.
- B. Bartram, T. Wilke, "Aus der Forschung in die Schule - Gestaltung einer lernortübergreifenden Summer School zum Thema Nanotechnologie durch Fachdidaktische Transferforschung" in: Theorie und Praxis im Spannungsverhältnis, herausgegeben von K. Fereidooni, K. Hein, K. Kraus, 2018, Waxmann, Münster, ISBN: 978-3-8309-3921-4, 67-82.
- M. A. Rahim, N. Jan, S. Khan, H. Shah, A. Madni, A. Khan, A. Jabar, S. Khan, A. Elhissi, Z. Hussain, H. C. Aziz, M. Sohail, M. Khan, H. E. Thu, „Recent Advancements in Stimuli Responsive Drug Delivery Platforms for Active and Passive Cancer Targeting“, *Cancers* **2021**, *13*, 1-52.
- Fruntke, B. Blümbott, A. Koschella, T. Heinze, T. Wilke, "From current research to chemistry education: Preparation of polysaccharide-based nanoparticles by dialysis.", *NPSE* **2023**.
- H. Wondraczek, K. Petzold-Welcke, P. Fardim, T. Heinze, "Nanoparticles from conventional cellulose esters: evaluation of preparation methods", *Cellulose* **2013**, *2*, 751-760.
- A. Fruntke, M. Behnke, E. C. Dietel, A. Vollrath, U. S. Schubert, T. Wilke, „Nanomedizin im Chemieunterricht: zielgerichteter Wirkstofftransport mit polymeren Nanopartikeln“, *CHEMKON* **2024**, *early view*.