

Was können wir von Green Chemistry für die Nanopartikel lernen?

3. FachDialog

Nachhaltige Nanotechnologien

Berlin 12.6.-13.6.

Klaus Kümmerer

Klaus.kuemmerer@uni.leuphana.de

Fakultät für Nachhaltigkeit



LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNEBURG

Was können wir von Green Chemistry für die Nanopartikel lernen?

Leitfragen:

1. Was beinhalten Green Chemistry und die 12 Prinzipien?
2. Und was nicht?
3. Was ist nachhaltige Chemie?

Green Chemistry = Sustainable Chemistry ?

- in Deutschland "Nachhaltige Chemie"
schon von Beginn an
- aber „Green Chemistry“ gemeint

- zwischenzeitlich auch international häufiger
„Sustainable Chemistry“

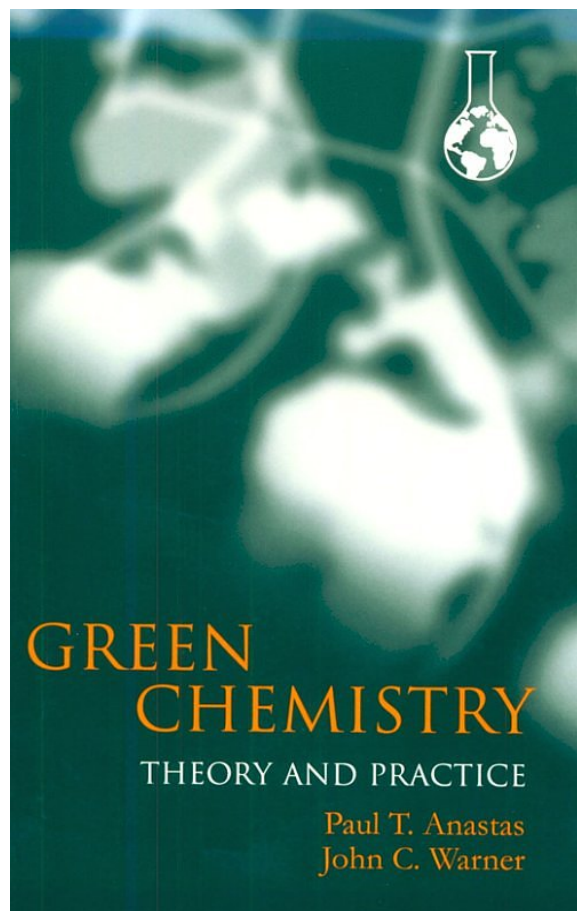
Green Chemistry

**Soweit wie möglich Reduktion der
Umweltbelastung und Toxizität von und
durch chemische Stoffe**

Versuch der Konkretisierung
durch Paul Anastas und John Warner:
12 Prinzipien (1996)

Green Chemistry - 12 Prinzipien

(Anastas und Warner 1996)



1. Abfall vermeiden
2. Atomökonomie
3. Ungefährliche Syntheseverfahren
4. Risikoarme chemische Methoden
5. Hilfsstoffe vermeiden
6. Energieeffizienz
7. Nachwachsende Rohstoffe
8. Unnötige Derivatisierungen vermeiden
9. Katalyse nutzen
10. Persistenz vermeiden
11. In-time Analytik
12. Gefahrenpotential minimieren

„Fokus“ der 12 Prinzipien

- fast nur die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit
- soziale und ökonomische Aspekte, wenn überhaupt dann im Sinne von „rechnet sich“
- sind vor allem für die Stoffe und Produkte selbst wichtig („Green Chemistry“)

 breiterer Blick notwendig, um von grüner Chemie zu nachhaltiger Chemie zu kommen!

12 Leitkriterien der IVU-Richtlinie

Ähnliches andernorts auch schon 1996 !

Die 12 Leitkriterien der IVU-Richtlinie*

1. Einsatz abfallarmer Technik;
2. Einsatz weniger gefährlicher Stoffe;
3. Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle;
4. vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im industriellen Maßstab erprobt wurden;
5. Fortschritte in der Technik und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen;
6. Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen;
7. Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen;
8. für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit;
9. Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz
10. die Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern;
11. die Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für die Umwelt zu verringern;
12. die von der Kommission gemäß Artikel 16 Absatz 2 oder von internationalen Organisationen veröffentlichten Informationen

* Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24.09.1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, ABI. EU Nr. L 257 S. 26 vom 10.10.96

 Umweltbundesamt

Weiter und enger

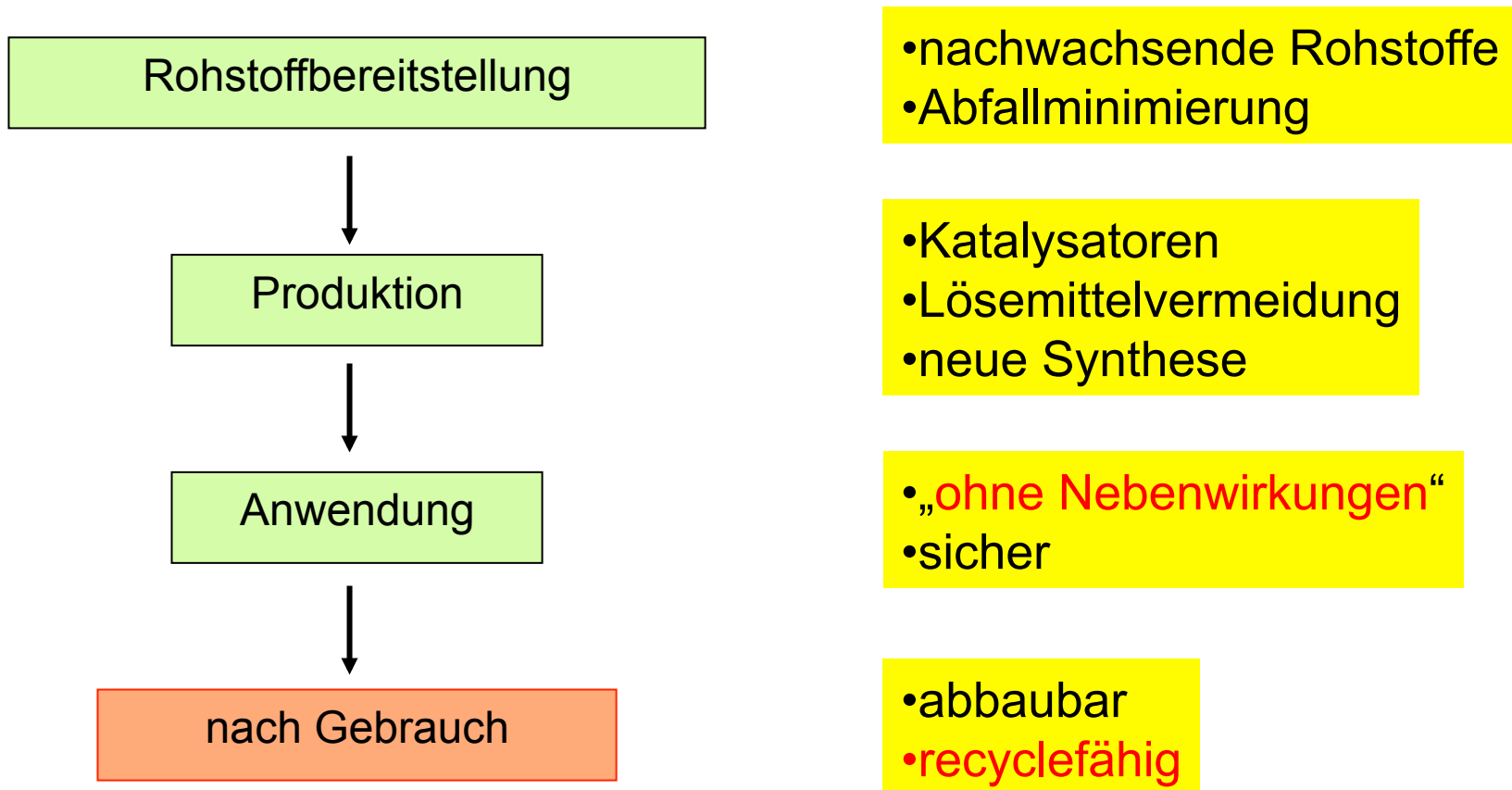


- | | |
|---|---|
| ➤ CMR Eigenschaften | ➤ Keine irreversiblen und chronischen Effekte |
| ➤ Atemwegs-sensibilisierend | ➤ Niedrige akute (Öko-) Toxizität |
| ➤ Sehr hohe akute (Öko-) Toxizität | ➤ Niedrige Persistenz |
| ➤ PBTs / vPvBs Eigenschaften | ➤ Keine Bioakkumulation |
| ➤ Hohe Persistenz und Mobilität | ➤ Geringe räumliche Reichweite |
| ➤ Herkunft des Rohstoffes: niedrige Sozial- und Umweltstandards | ➤ Herkunft des Rohstoffes: hohe Sozial- und Umweltstandards |
| ➤ Hohe Treibhausgasemissionen | ➤ Niedrige Treibhausgasemissionen |
| ➤ Hoher Ressourcenverbrauch | ➤ Niedriger Ressourcenverbrauch |

Quelle: © Umweltbundesamt

Produktlebenszyklus

und mögliche umweltentlastende Alternativen



nach: Clark J, Gren Chemistry, 2006

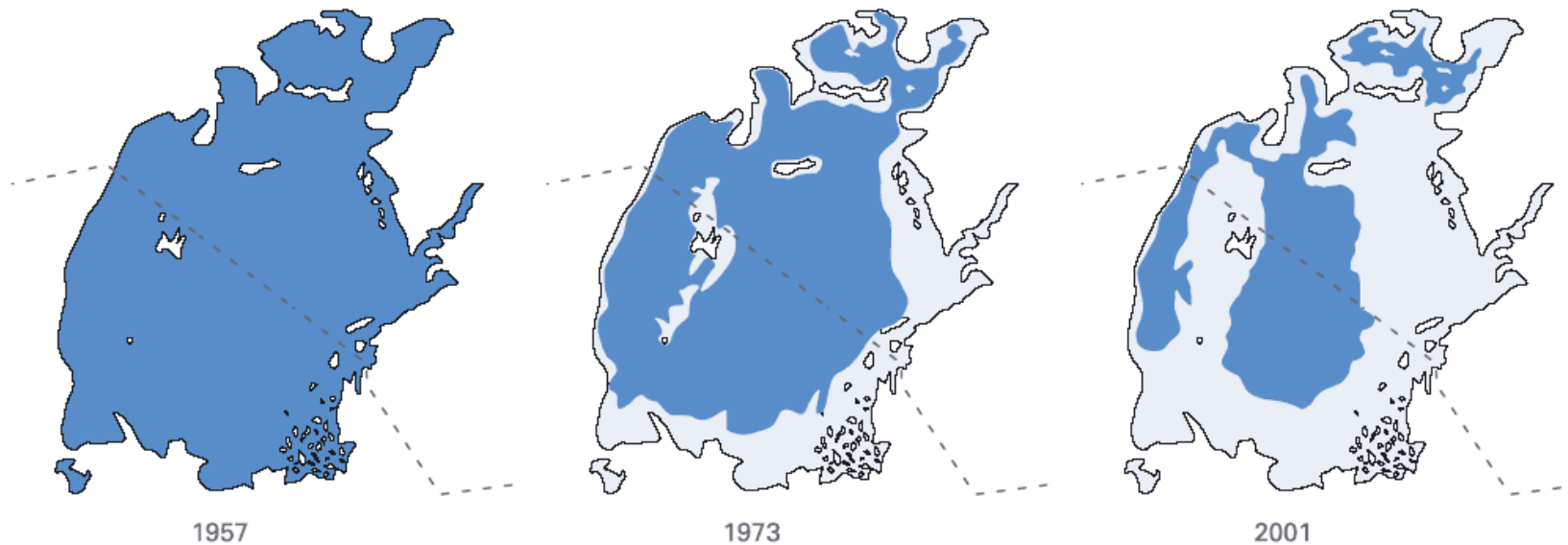
Green Chemistry = Sustainable Chemistry ?

natürliche Materialien: Baumwolle

Green Chemistry = Sustainable Chemistry ?

natürliche Materialien: Baumwolle

- Wasserverbrauch



Green Chemistry = Sustainable Chemistry ?

Nachwachsende Rohstoffe: Baumwolle

- Wasserverbrauch
- Pestizideinsatz
- Soziale Bedingungen
- Bügelfrei: Widerspruch in sich

( Textilhilfsmittel notwendig)

 nachhaltiger ist Verhaltensalternative:
Textilien länger nutzen!

Green Chemistry = Sustainable Chemistry ?

Nachwachsende Rohstoffe: Biodiesel

- Monokultur, Pestizideinsatz, Gesamtenergiebilanz
- (Grund-/Trink-)Wasser und Pestizide
- Nahrungsmittelkonkurrenz

 Nicht die Früchte


Aber: Bedeutung des „Abfallmaterials“ für fruchtbaren Boden!

Green Chemistry = Sustainable Chemistry ?

- Antibiotika in nicht medizinischer Anwendung (z.B. Natamycin in Verpackungspapier oder Käserinde) ?

Sustainable Chemistry

Gesamtstoffströme

- Effizienz: geringerer Ressourcenverbrauch bedeutet niedrigere Produktkosten
 - hierdurch die Produktion (übermäßig) erhöht (economy of scale)
-  unerwartet große Stoffströme mit nicht nachhaltigen Folgen ("rebound effect"): erhöhter Rohstoffverbrauch, Kampf um Rohstoffe, ...)

Nachhaltig?

- TiO_2 als Photokatalysator zum Schadstoffabbau in der Abwasserreinigung:
 - Energiebedarf?
 - Folgeprodukte?
 - Verbleib und Wirkung?
- Nanopartikel zum Fassadenschutz:
 - Eintrag in die Umwelt!
 - Katalytisch aktiv?
 - Verbleib und Wirkung?

Nachhaltige Moleküle und Produkte

Nachhaltigkeit 1. Ordnung

- Molekül/Produkt selbst genügt den Kriterien der Nachhaltigkeit und trägt zur Nachhaltigkeit bei
- Umdasst den gesamten Lebenszyklus
- Ersatzfunktionalitäten besser

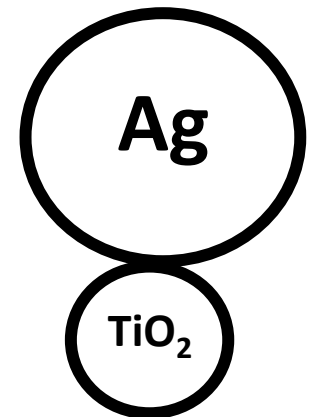
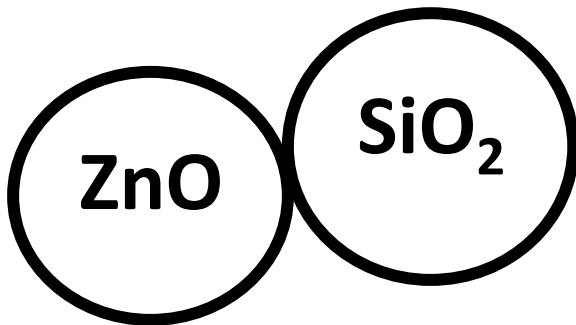
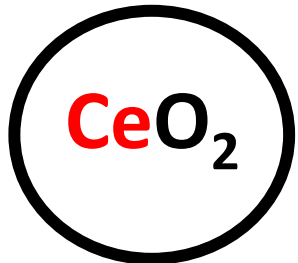
Nachhaltigkeit 2. Ordnung

- Molekül/Produkt selbst **genügt nicht** den Kriterien der Nachhaltigkeit trägt aber zur Nachhaltigkeit bei
-> **ermöglicht evtl. Zeit zu gewinnen**

Nachhaltigkeit 3. Ordnung

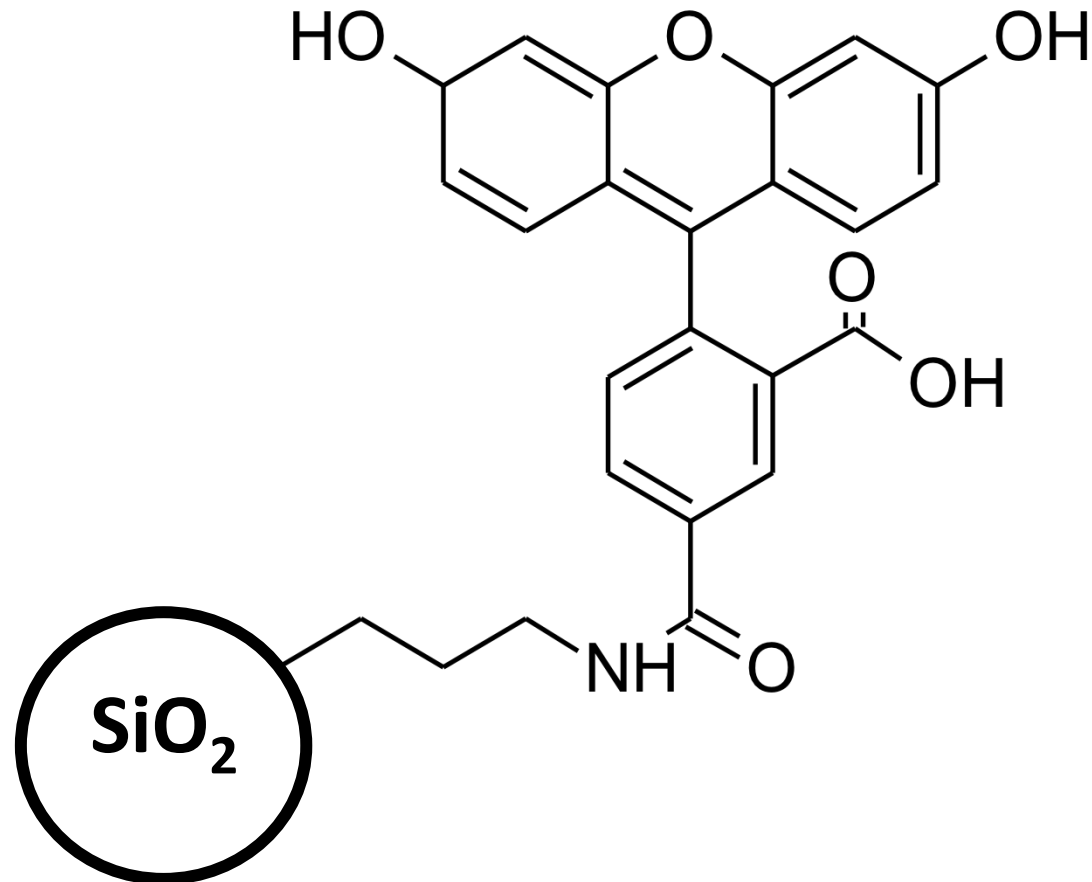
- Molekül/Produkt selbst **genügt** den Kriterien der Nachhaltigkeit **trägt aber nicht** zur Nachhaltigkeit bei

Zunehmende Produktvielfalt



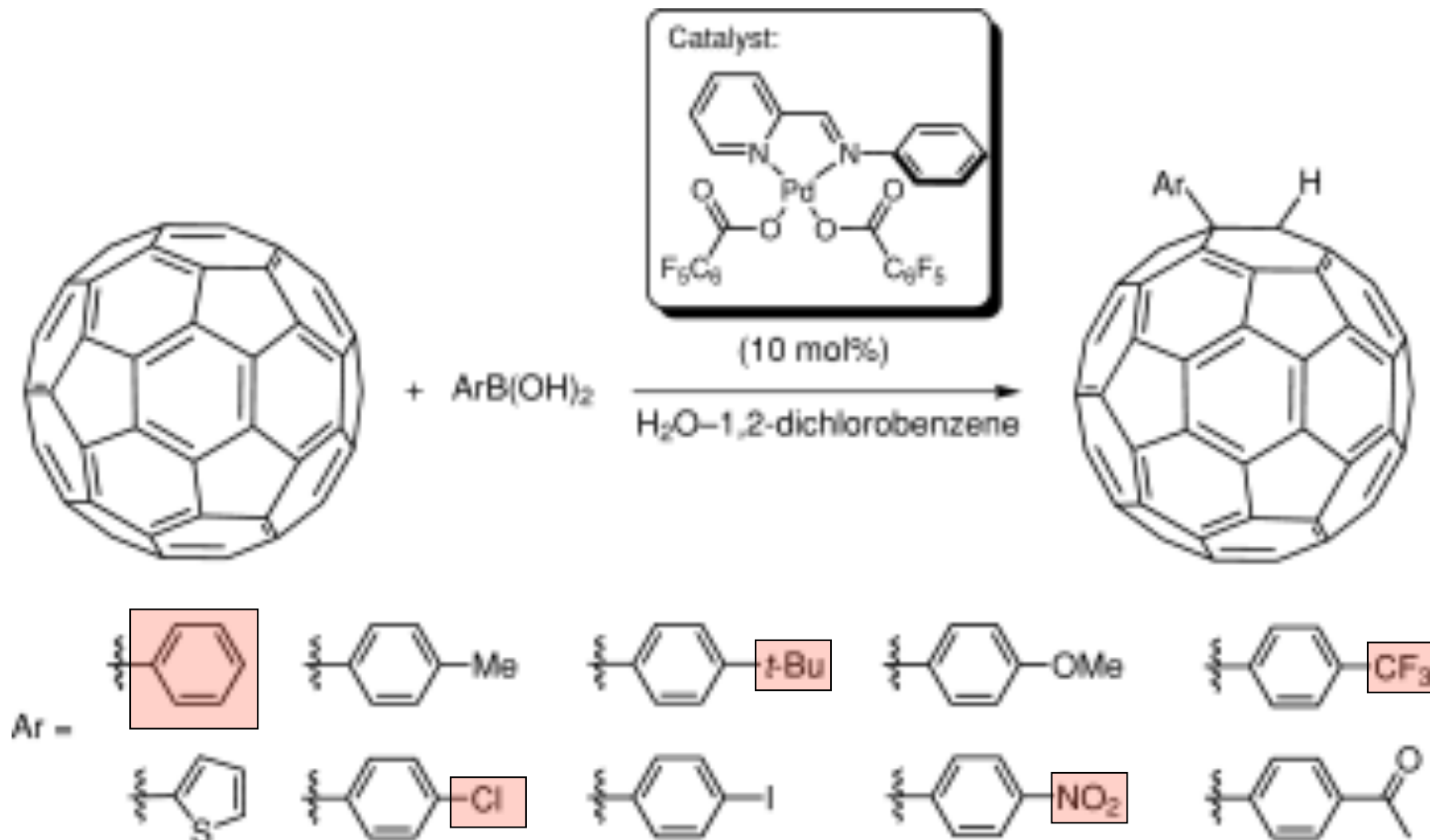
Zunehmende Produktvielfalt

Modifikation von Oberflächen (und Eigenschaften)

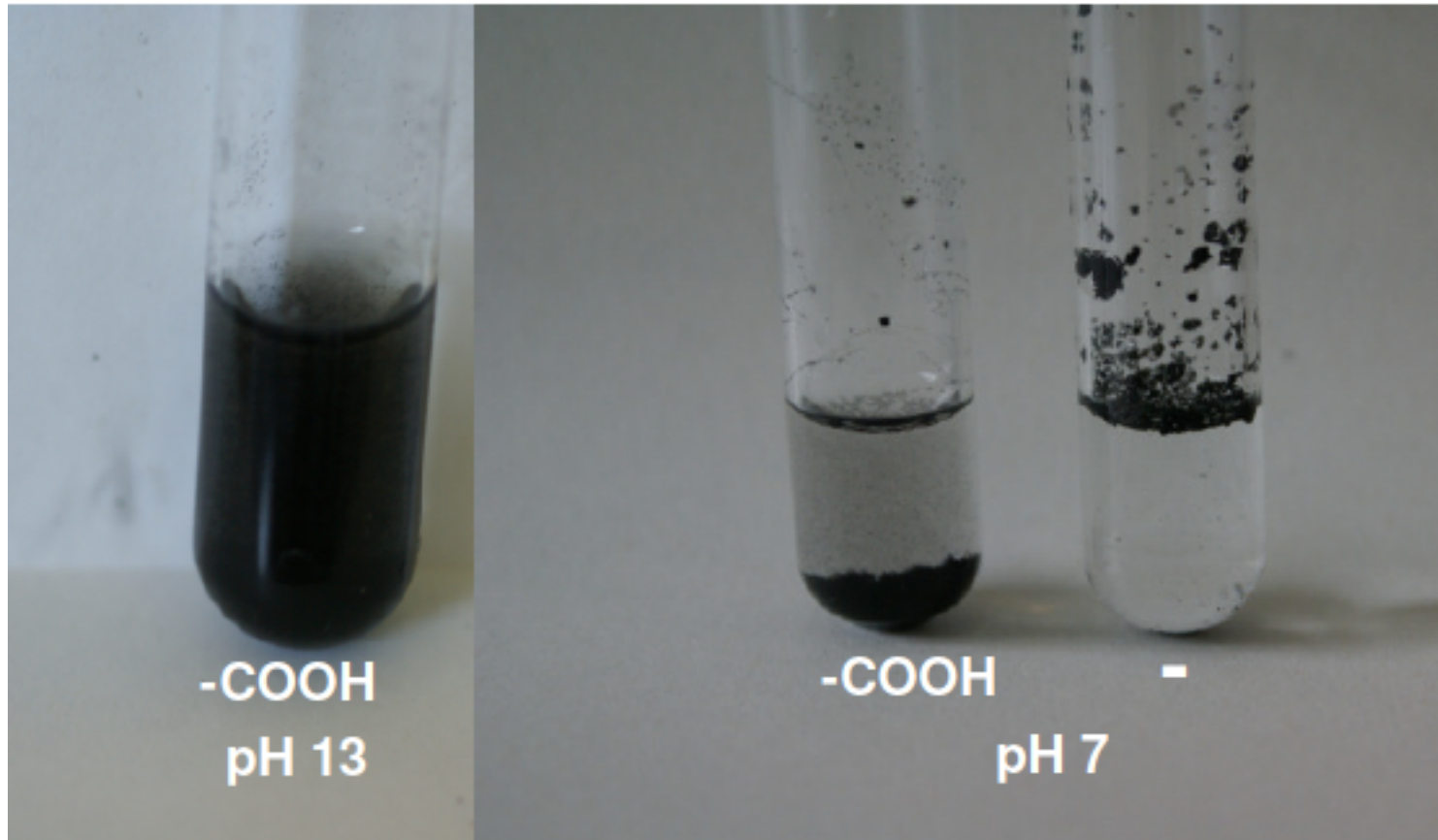


Zunehmende Produktvielfalt

Modifikation von Oberflächen (und Eigenschaften)

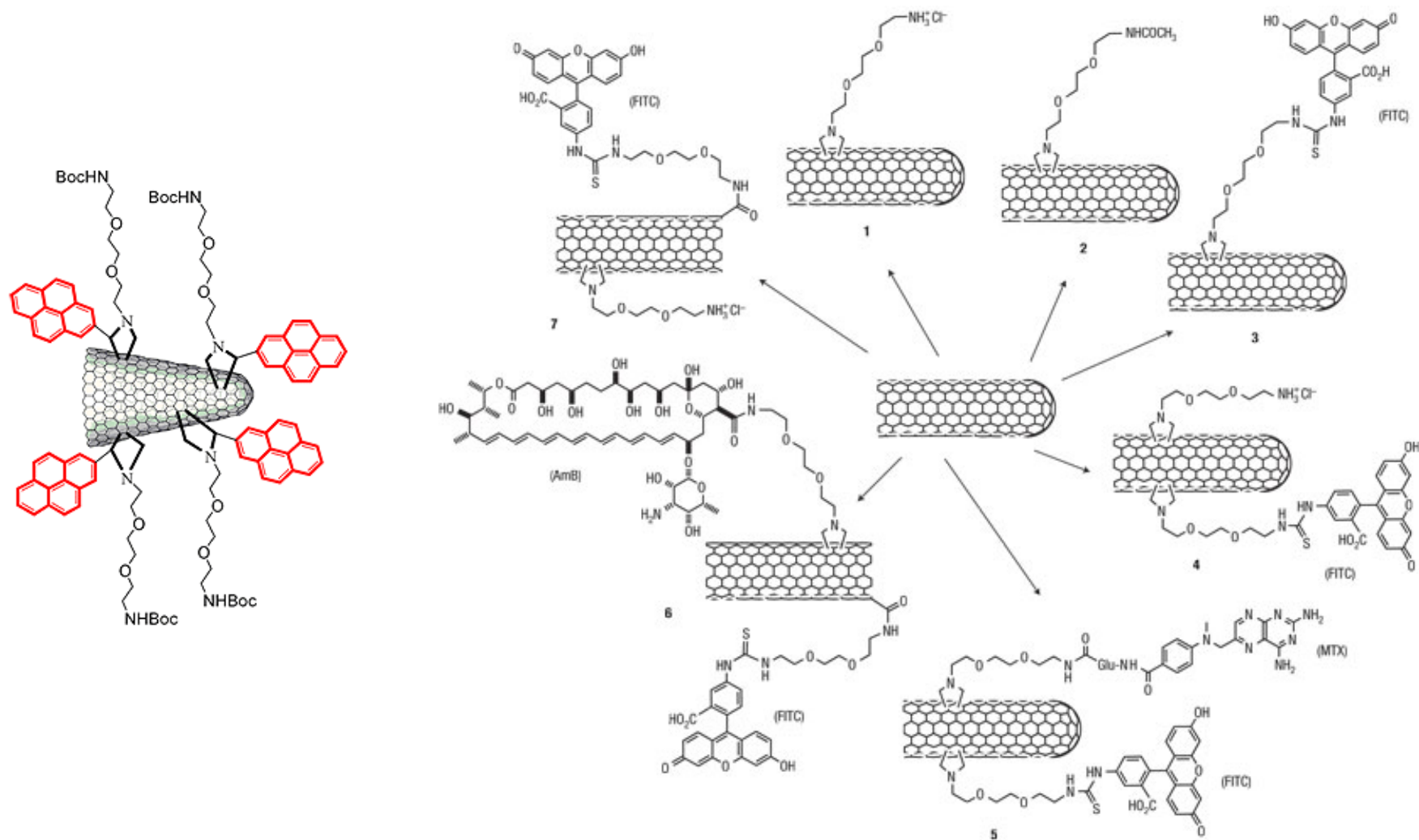


Zunehmende Eigenschaftsvielfalt Carboxylierung von Fullerenen

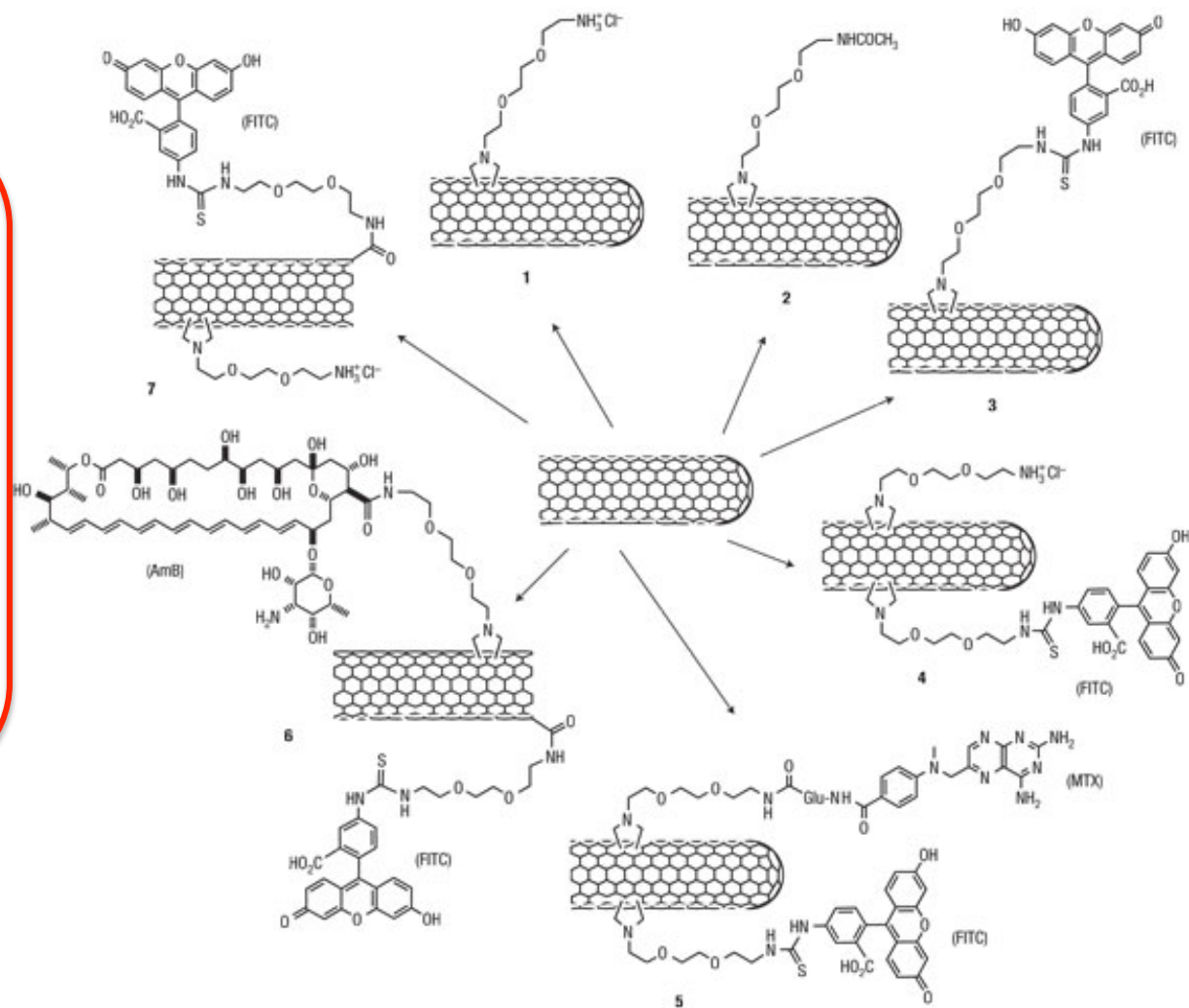
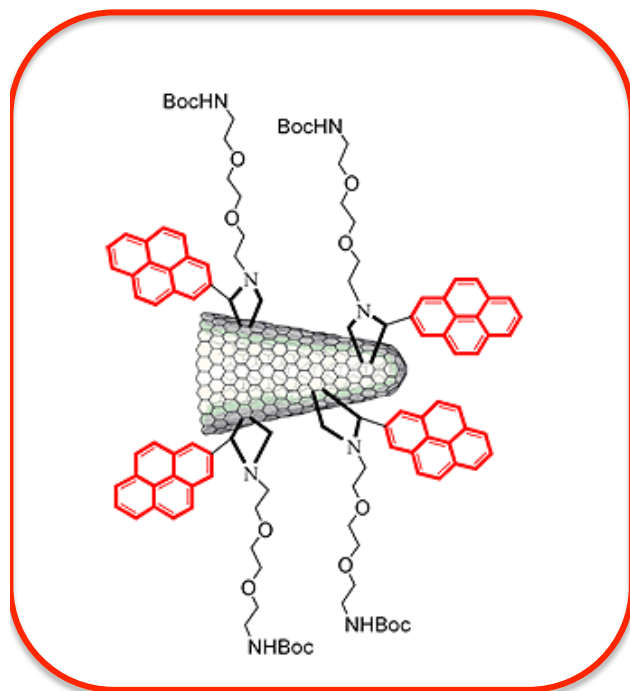


📖 Kümmerer K., Menz J., Thielemans W., Chemosphere 2011

Zunehmende Produktvielfalt

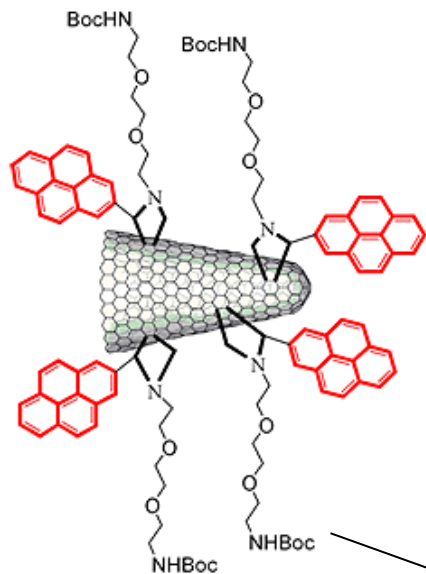


Zunehmende Produktvielfalt

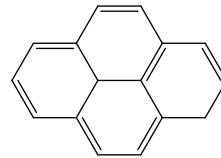


Alte und neue Schadpotentiale

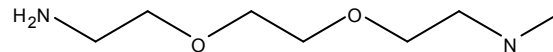
(biologisch)
abbaubar?



reizend
mutagen
persistent



Wechselwirkung mit
biologischem
Material, Transport
nach Sorption,
akkumulierend?



persistent
fischtöxisch?

Sustainable Chemistry

Produktkomplexität und -vielfalt

**Komplexität und Vielfalt der Produkte
möglichst gering halten**

Green Chemistry = Sustainable Chemistry ?

Nachhaltig?

Chemical products should be designed to preserve efficacy of function while reducing toxicity.

Paul Anastas und John Warner
4. Prinzip Green Chemistry

Sustainable Chemistry

Nachhaltige Funktionalität

- Umfasst gesamten Lebenszyklus
- Verbesserte Funktionalität
- Nullalternative/Dienstleistung
kommen auch ins Bild!

Silbernanopartikel Nachhaltig?

Nutzen und Notwendigkeit umstritten,

- Nur bakteriostatosch, nicht bakterizid
- Können zur Antibiotikaresistenz beitragen
- Intendierte Dissipation eines wertvollen Rohstoffs

- dennoch umfangreich vermarktet
- dennoch viel Forschung

Sustainable Chemistry

Gesamtstoffströme

Nicht nur in Einzelmolekülen oder Produkten
denkend:

**Gesamtstoffströme nicht aus dem Blick
verlieren!**

Effizienzfalle/Reboundeffekte vermeiden

Was können wir von Green Chemistry für die Nanopartikel lernen?

Nicht nur in Einzelmolekülen oder Produkten denkend: Gesamtstoffströme (Art und Menge), Lebenszyklus, lokal, regional und global in zeitlicher Perspektive nicht aus dem Blick verlieren!!!

 Kümmerer K., in: Kümmerer K., Hempel M. "Green and Sustainable Pharmacy", Springer, 2010

Nachhaltigkeit

Nicht 3-Säulen, sondern 4 Dimensionen

– Basis: Natur und Umwelt / Mitwelt

- Ressourcenfunktion
- Pufferfunktion
- kulturelle Funktion ...

– Ökonomie und Soziales eingebettet

– Ökonomie nachgelagert

– Zeit

- Chronos: Zeitskalen
- Kairos: „windows of opportunity“

Anstatt einer Zusammenfassung!

Eine kluge Person löst ein Problem, eine weise vermeidet es.

Albert Einstein zugeschrieben