



Nanotechnology for Contaminant Land Remediation - Ziele und Herausforderungen des EU-Projekts NanoRem

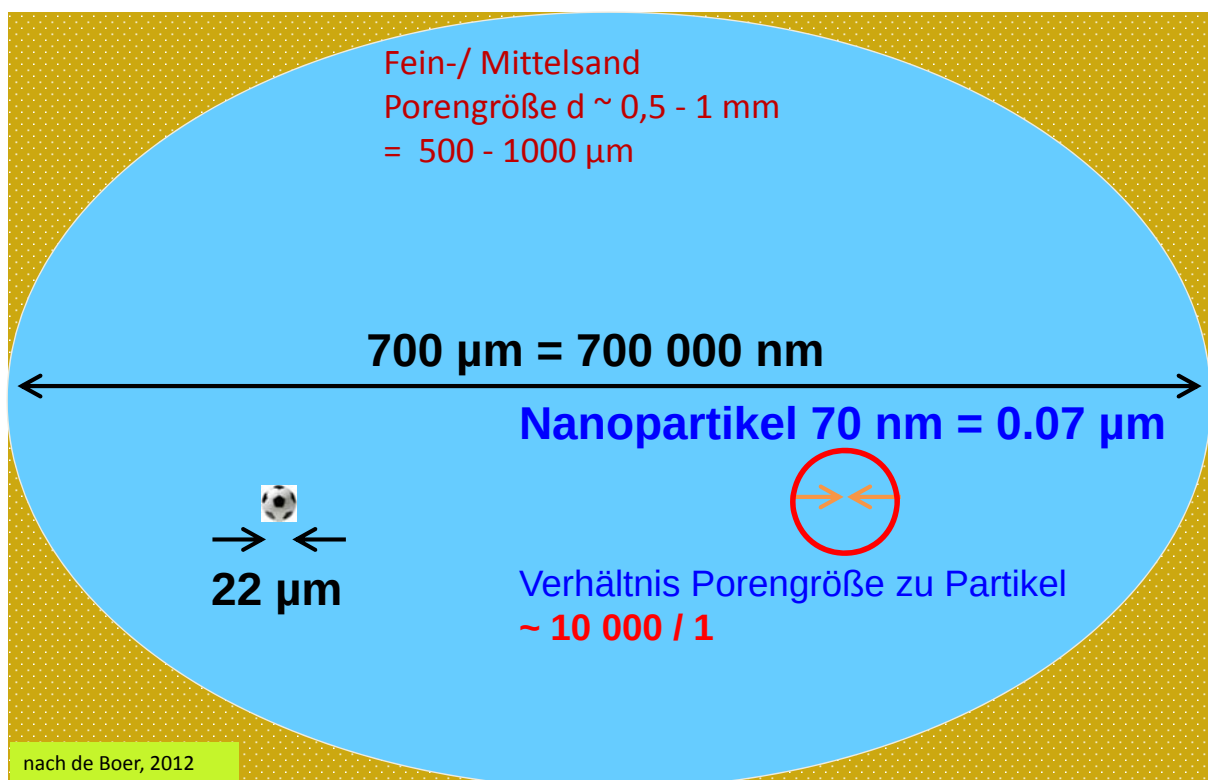
Hans-Peter Koschitzky, VEGAS, Universität Stuttgart



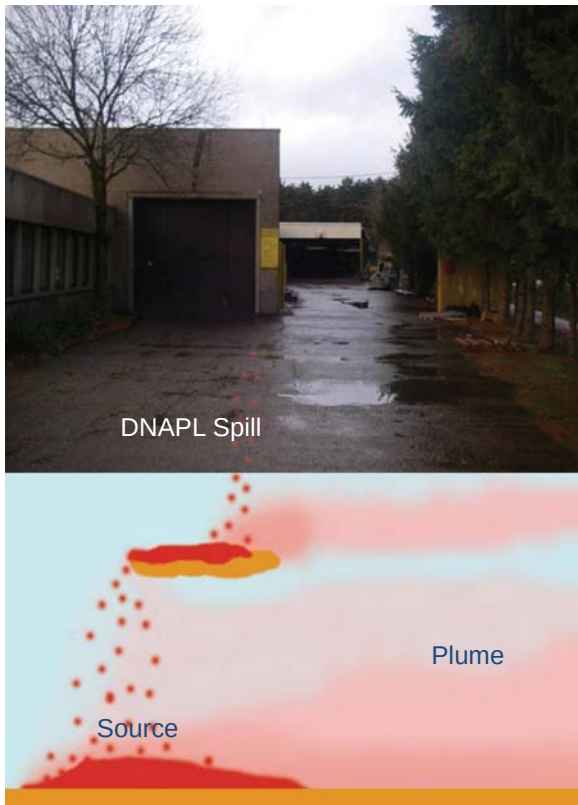
Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

USTUTT - IWS/VEGAS

nano im „Boden“



Nanopartikel für die In-situ-Sanierung



- „Fokus Reinigung von Schadensquellen
- Unter Bauwerken möglich
- Prinzipiell in „beliebige“ Tiefen möglich
- „Semi-Passives“ Verfahren
- Z.B. Nano-Eisen ($\text{Fe}(0)$)
- Innovatives Verfahren



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
3

Rückblick – wie es begann



- Große Unterschiede zwischen Nano-Eisen-Suspension und Tracer
- Eisen zeigt deutliche Retardierung
- ➔ **Maximale Ausbreitung ist begrenzt**



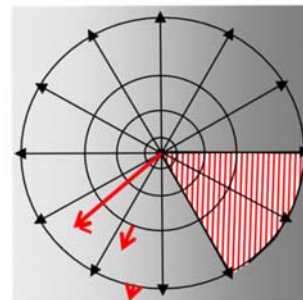
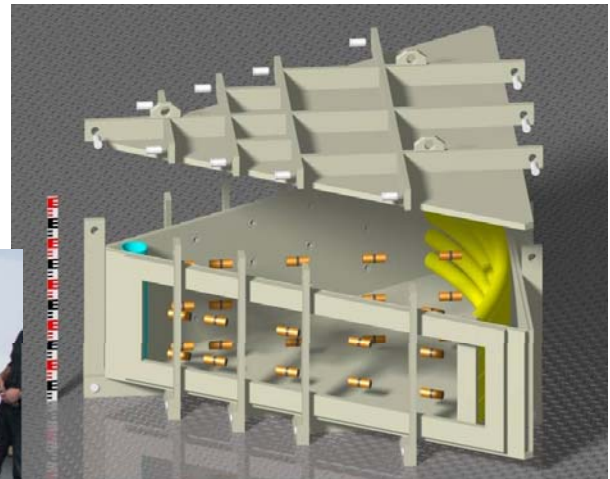
Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
4

Großskaliger Versuch

Kunststoffbehälter für
zerstörungsfreie Messung
mittels neuer Messtechnik



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
5

Ergebnisse



← t = 200 s, Uranin-Front knapp vor Eisenfront → 2 m

→ Ausbreitung bis 2 m
nachgewiesen



t = 700 s, Uranin-Front (grün) nahe Auslauf, Eisenfront retardiert



t = 3600 s, Eisenfront nahe Auslauf



t = 6300 s, Eisenfront quasi stationär



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
6

Offene Fragen / Klärungsbedarf → Nano-Forschung

• Transport

Erzielbare Transportweiten in der Natur

→ Abstand der Injektionsbrunnen

Einflussfaktoren / Kontrollmechanismen / erzielbare Partikelkonzentrationen ?

→ Vorkonditionierung, Injektionsraten, Injektionsdauer, Injektionszyklen

• Reaktivität

Langzeitstabilität / Langzeitreaktivität (Wirkungsdauer)

→ Wieviele Partikel sind erforderlich, wie oft ?

• Monitoring / Überwachung

Kurzzeitig: Nachweis der Partikel / Injektionsdauer-/menge, Konzentrationen

Langzeit: (Sanierung): Injektionsraten

Verbleib in der Umwelt (geringe Konzentrationen, Spuren?)



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
7

Forschungsaktivitäten national / EU

Laufende Projekte

- ▶ DaNa - Über uns
- ▶ CarbonBlack
- ▶ CarboTox
- ▶ Fe-NANOSIT
- ▶ NADINE
- ▶ NanoExpo
- ▶ NanoGEM
- ▶ NanoKon
- ▶ NanoMed
- ▶ NanoMembrane
- ▶ NanoPharm
- ▶ NanoPurification
- ▶ NanoSan
- ▶ Nano-SCR
- ▶ Nanosilberpartikel
- ▶ NanoTrack
- ▶ NAPASAN
- ▶ UMSICHT
- ▶ Inno.CNT

Abgeschlossene Projekte

- ▶ NanoFlow
- ▶ NanoKiesel
- ▶ InnoCNT-CarboSafe
- ▶ InnoCNT-CarboAir
- ▶ NanoCare
- ▶ INOS

Wissensplattform Nanomaterialien • Projekte

Projekte

Industriell hergestellte Nanopartikel bieten Potenzial für eine Vielzahl unterschiedlichster Produkte. Zu den Auswirkungen dieser Nanopartikel auf Mensch und Umwelt besteht Forschungsbedarf. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert zusammen mit der Industrie Projekte um Wissenslücken zu schließen und Maßnahmen zur Risikoerkennung und -minimierung einzuleiten. Ergebnis sollen neue Methoden zur frühzeitigen Bewertung der Auswirkungen von Nanomaterialien auf Gesundheit und Umwelt sein.

**EU 7th Framework Programme
FP7 ENV 2008.3.1.1.1.**

Projekten von ca. 36 Mio. € durch das BMBF gefördert.

NanoCare

Ziel der Fördermaßnahme **NanoCare** ist es, die humantoxikologischen Aus- und Wechselwirkungen bei der Herstellung, Verarbeitung und Anwendung von synthetischen Nanomaterialien systematisch weiter zu

Ihre Fragen an unsere Experten

Wissensplattform Nanomaterialien
DaNa-Flyer zum Download

Nano-Risikoforschung
Chancen und Risiken von Nanomaterialien
BMBF-Flyer zum Download

Gesundheitsrelevante



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
8

Status quo – Kenntnisstand

- Nanotechnologien zur **In-situ-Sanierung von Grundwasserleiter geeignet**
- Für die **ungesättigten Zone (Böden) nicht geeignet**, die meisten NP werden in Gegenwart von Luft (-sauerstoff) rasch inaktiviert
- **Zwei Entwicklungsschienen**
 - (1) Nullwertige Eisen Nanopartikel – „Nano Zero Valent Iron, nZVI“
 - (2) Nicht-Eisen- und Composite-Nanopartikel „Non-ZVI-and Composite-nP“ (z.B. Carbo-Iron)



Bisherige Anwendungen „Nanosanierung“ in Europa

- Bisher wenige großtechnische Anwendungen von NP bei In-situ-Sanierungen
- 58 Anwendungen weltweit von nullwertigem Nano-Eisen (nZVI) auf der Feldskala (Bardos et al. 2011)
- **17 Anwendungen in Europa** (Tschechien und Deutschland)
- Bisherigen In-situ-Anwendungen weitestgehend auf chlorierte Lösungsmittel beschränkt



Prognose Sanierungsmarkt

Prognose für Anwendungen der **Nanotechnologien im Umweltbereich** ca. **4,7 Mrd. € / Jahr** (JRC Ispra 2007)
für vier Bereiche:

(1) Sanierung/ Reinigung

(2) Schutz/ Sicherung/ Konservierung

(3) Wartung/ Unterhalt

(4) Verbesserung/ Erweiterung

➔ **größte Wachstumspotential für Sanierung**



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
11

Realität Sanierungsmarkt - Defizite

- **optimistische Prognose** für die Anwendung der Nanotechnologie (JRC Ispra 2007) d.h. die Marktentwicklung für den Bereich der Sanierung nicht erreicht
- ➔ **Durchbruch fand bis heute nicht statt**

Gründe

- Wissenslücken beim Einsatz der Nanomaterialien unter „Feldbedingungen“
- zu hohen Herstellungskosten der Nanomaterialien
- aufkommende Diskussionen und Bedenken hinsichtlich der Gefährdung von Mensch und Umwelt durch NP



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
12

Reaktion der EU

→ 7. Forschungsrahmenprogramm

EU 7. Rahmenprogramm Ausschreibung (Juli 2011):

Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and new Production Technologies – NMP

Unterpunkt NMP 2012.1.2-1:

Nanotechnology solutions for in-situ soil and groundwater remediation



- Verschiedenartige Nano-Partikel vom Labor **zur Feldanwendung** führen
- **Einsatzmöglichkeiten, Auswirkungen, Nachweis der Unbedenklichkeit**, Entwicklung bzw. Optimierung von Nachweis- und Messverfahren für NP im Labor und im Feld bis hin zu Akzeptanzfragen (Genehmigungsfähigkeit)
- Schaffung von Grundlagen für den Markteintritt und für eine verbreitete Anwendung der NPs bei der Sanierung



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
13

Quo vadis – das EU-Projekt NanoRem



*Taking **Nanotechnological Remediation** Processes from Lab Scale to End User Applications for the Restoration of a Clean Environment)*

- ganzheitlichen Ansatz für die Entwicklung und die **Anwendung von Nano-Partikel bei der In-situ-Sanierung**
- Entwicklung und Optimierung **verschiedener Nano-Partikel für verschiedene Schadstoffe**



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
14



- **11 Arbeitspakete:**
Koordination, Produktion, Anwendung, Kommunikation und Verbreitung
 - **28 Partner aus 13 Ländern:**
AT 1, CH 1, CZ 4, DE 8, DK 1, ES 2, FR 2, IL 1, IT 1, NL 1, NO 1, PT 1, UK 4
 - 9 Industriepartner und Dienstleister
 - eine Organisation mit politischen und regulatorischen Zielen
 - Laufzeit 4 Jahre
- ➔ Projektstart (Förderbeginn) **01. Februar 2013**



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
15

Ziele von NanoRem



- Identifizierung der am **besten geeigneten technologischen Ansätze**, die eine deutliche Veränderung/Verbesserung bei der In-situ-Sanierung in der Praxis erzielen können
- **Weiterentwicklung und Optimierung** von Nano-Partikel, **kostengünstiger, großtechnische Herstellungsverfahren** für eine wirtschaftliche Produktion von größeren Mengen an Nanopartikeln
- Untersuchung der **Mobilität, der Reaktivität, der Langzeitstabilität** und des **Migrationspotenzial** von Nanopartikeln im Untergrund einschließlich ihrer **potentiell negativen Auswirkungen** auf das Ökosystem und möglicher Akzeptoren bis hin zu Oberflächengewässern



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
16

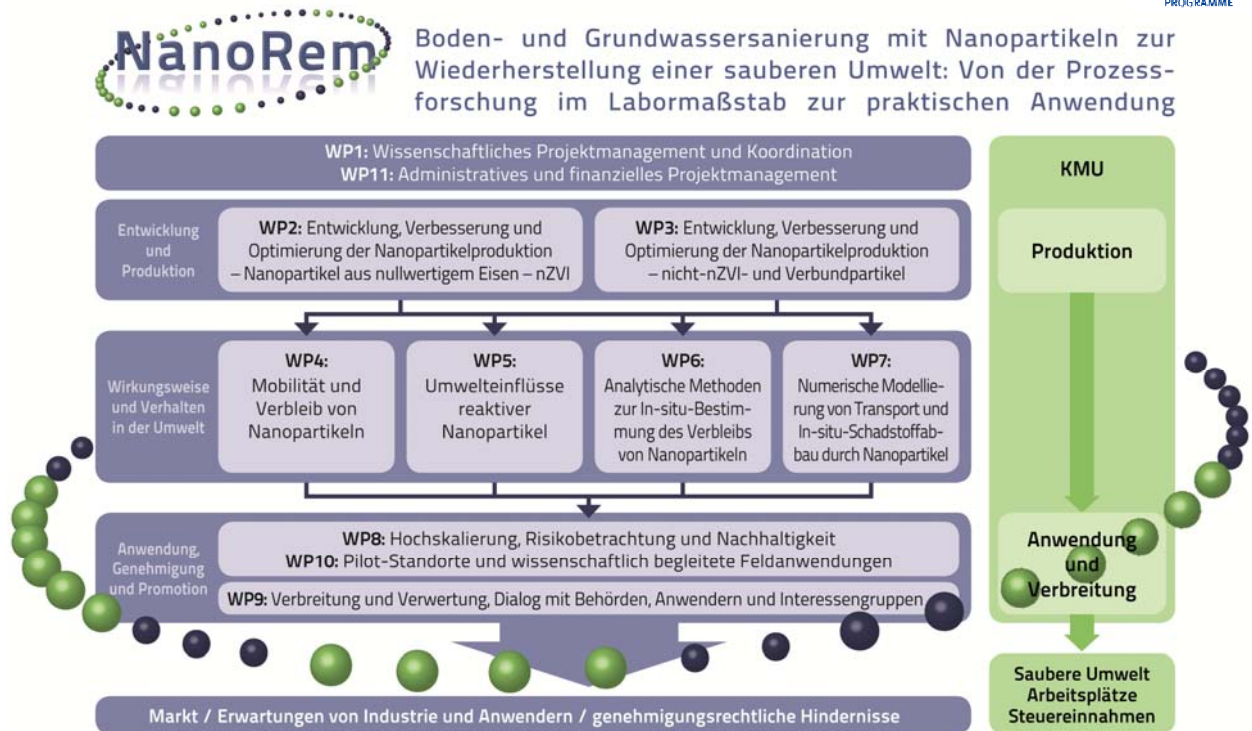


- Entwicklung eines umfassenden „**Werkzeugkastens**“ für die Ausführung und die **Überwachung von In-situ-Sanierungen mit NP**. Messmethoden/Messtechniken für den In-situ-Nachweis der Partikelverteilung und des -abbaus, **DSS**, Entscheidungsunterstützungssysteme und **numerische Modelle** zur effizienten Sanierungsplanung und Überwachung
- Einsatz NP-Technologie auf verschiedenen Skalen bis zu Pilot-sanierungen auf Standorten in der EU, Validierung der F&E Ergebnisse
- Anwendung von Nanopartikeln in der EU auszubauen.



- **Kommunikation mit allen beteiligten Akteuren** (Stakeholder) einer Sanierung (Eigentümer / Pflichtiger, Planer, Gutachter, Behörde, ...), um die Anforderungen der Behörden zu berücksichtigen
- **Abbau potentielle Vorbehalte** der Öffentlichkeit
- **Verbreitung der Ergebnisse** um die Fortschritte und Entwicklungen zeitnah für Sanierungsprojekte nutzbar zu machen und die Anwendung von Nanopartikeln in der EU auszubauen



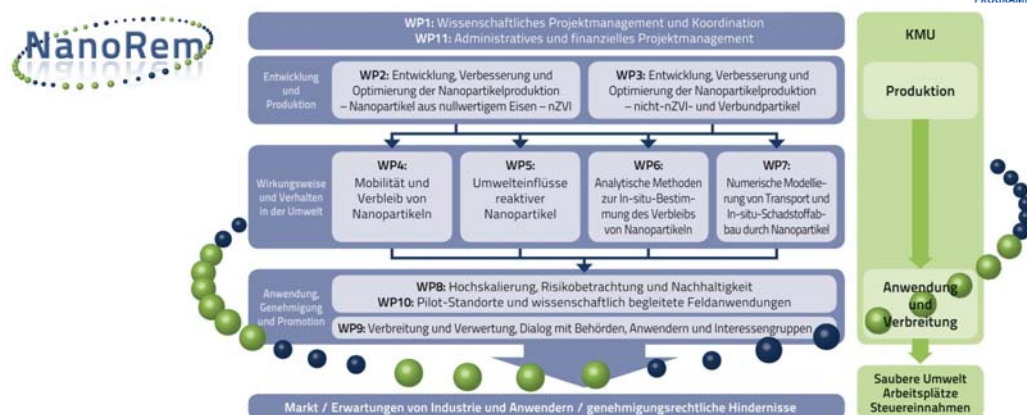


Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
19

NanoRem Ansatz



Der Ansatz von NanoRem erstreckt sich über drei Ebenen

- I Entwicklung und Produktion: WP2 und WP3
- II Wirkungsweise und Verhalten in der Umwelt: WP4 bis WP7
- III Anwendung, Genehmigung und Promotion
 - Großversuche und Pilotstandorte: WP8 und WP10
 - Verbreitung, Kommunikation und Verwertung: WP9

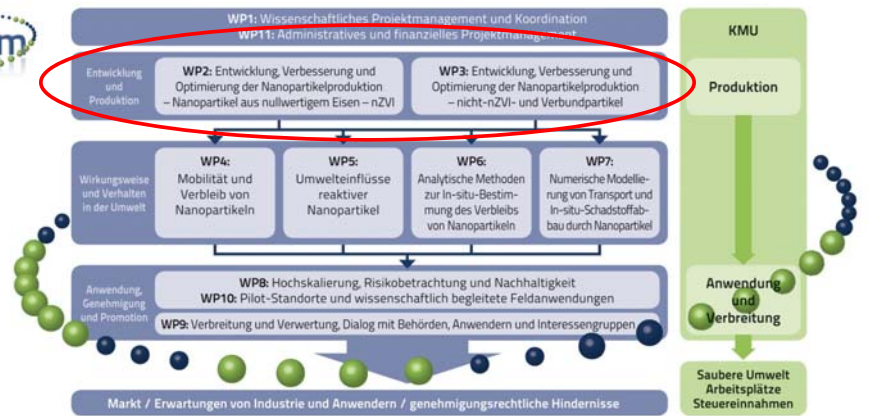


Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
20

Entwicklung und Produktion



- **Produktion neuer nZVI Partikel** mit Oberflächenstabilisierung
- Produktion und Verbesserung **gemahlener nZVI Partikel**
- Untersuchung und Produktion von **nicht-nZVI Partikeln**
- Optimierung der **Partikeleigenschaften**
- Chemische und physikalische **Charakterisierung der Partikel**
- Bereitstellung von Partikeln und **Entwicklung ökonomischer Herstellungsprozesse**
- Untersuchungen zur **Erweiterung potentieller Anwendungsbereiche**

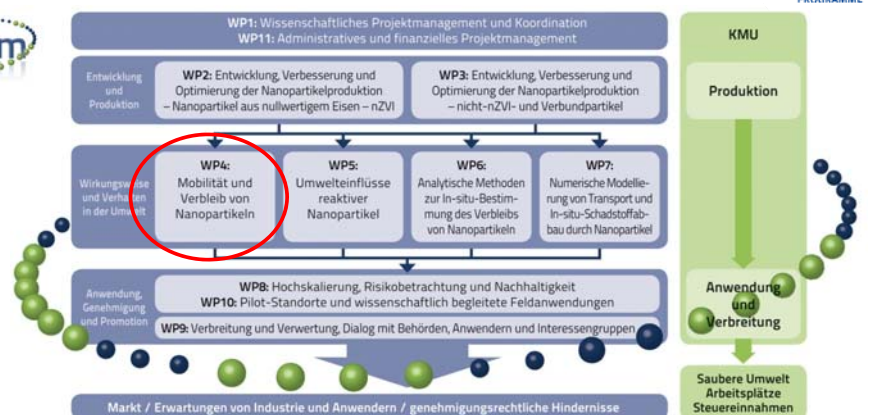


Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
21

Transport / Reaktivität



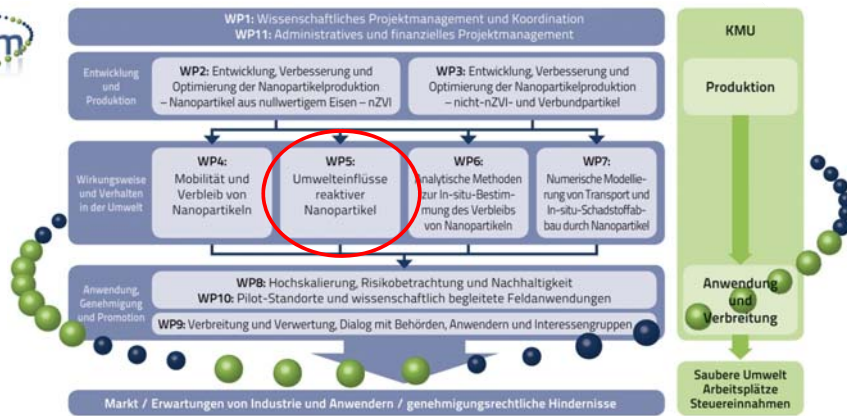
- Untersuchung der entwickelten / optimierten NP
- **Standardisierung der Untersuchungen** zum direkten Vergleich verschiedener NP
- **Verbesserung des Partikeltransports** und Ableitung **optimaler Transportvoraussetzungen**
- Bereitstellung relevanter Informationen zur **Reaktivität der Partikel im Feldeinsatz**
- Bereitstellung von **Transport- und Reaktionsparametern** zur Entwicklung eines **numerischen Modells**
- Untersuchung zum **Abbau, zur Abbauleistung** und zur **Lebensdauer** von Partikeln



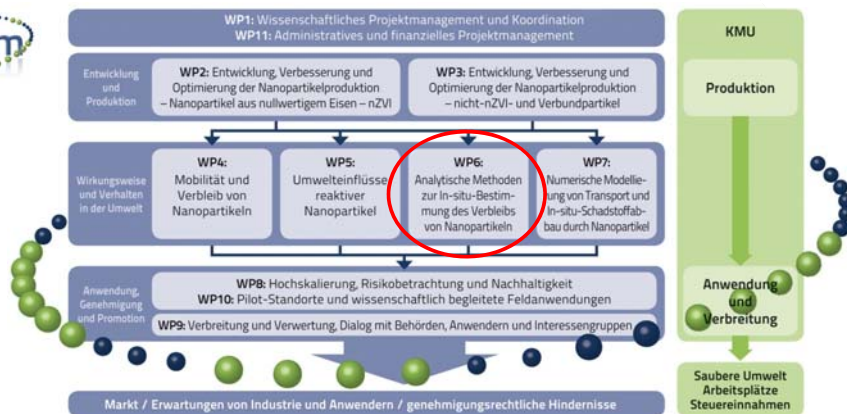
Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
22



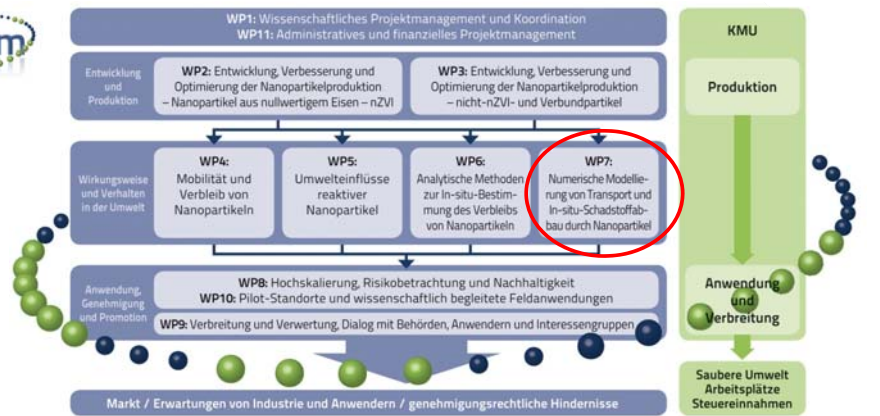
- Untersuchung der **Ökotoxikologie von NP**, möglichen **Transformationsprodukten** und **Schadstoffmetaboliten**
- Untersuchung potentieller **Ökotoxizität nach Transport, Reaktion und Alterung** der NP beim Kontakt im Boden
- Beschreibung der **Interaktion zwischen NP und Mikrobiologie** im Aquiferwährend und nach der Sanierung



- **Weiterentwicklung und Optimierung** von Überwachungs- und Nachweismethoden
- Anwendung moderner Analytik für die **On-Site-Messung** und **In-Situ-Charakterisierung** natürlicher und hergestellter NP
- **Überprüfung der Methoden** in Labor und Feld
- Vorschlag **anwendungsorientierter Nachweisgrenzen**



Numerische Modellierung



- Entwicklung eines **benutzerfreundlichen Simulationstools** (RT3D Modul) zur Vorhersage von **Transport und Verbleib der NP** im Aquifer während und nach der Sanierung
- Beispielhafte **Anwendung bei Demoprojekten**

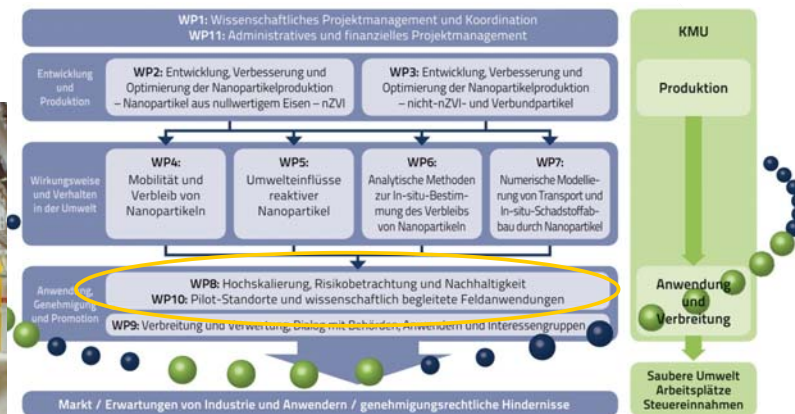


Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
25

Up-Scaling → Feldanwendungen



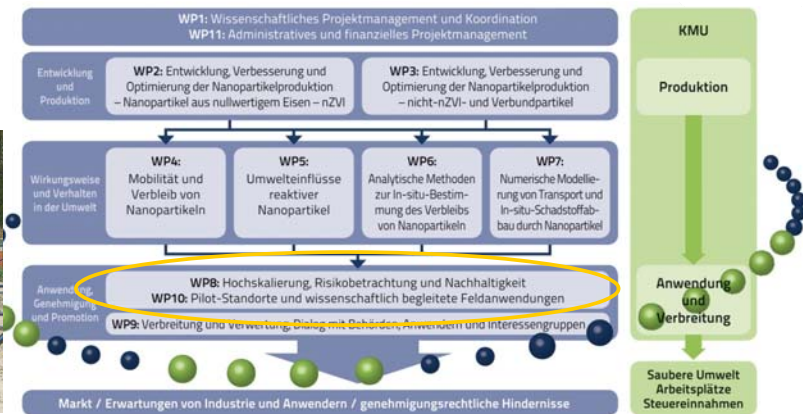
- Untersuchung neuer, erfolgversprechender NP in **kontrollierten Großversuchen**
- **Rückmeldung an Hersteller** von NP und von Überwachungs- und Nachweismethoden → Verbesserung von NP und Methoden
- Untersuchung der Bildung von **Abbauprodukten unter realitätsnahen Bedingungen**
- Entwicklung und Test **geeigneter Injektionstechniken**



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
26



- Einsatz und Test erfolgversprechender **NP auf Pilotstandorten**
- Test von **Injektionstechniken, Überwachungs- und Nachweismethoden**
- **Untersuchung der Wirksamkeit / Effektivität der Sanierungsmethode** (Bereitstellung relevanter Informationen zum Transport, Reichweite, Reaktivität der Partikel)
- Bereitstellung von **Leistungsdaten der Sanierungstechnologie** für potentielle Anwendern und Behörden
- **Nachweis der Einsatzfähigkeit**



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
27

NanoRem Pilot Sites



Site	Country	Primary Investigator	Target Cont.	NP-Type	Reaction Principle	Aquifer
Zurzach	CH	Solvay	CHC	Carbo-Iron	Reduction/ Sorption	alluvial
Spolchemie 1	CZ	Aquatest	CHC	air-stable nZVI	Reduction	alluvial
Spolchemie 2	CZ	Aquatest	BTEX	Iron-Oxide	Oxidation/ microbial Enhancement	alluvial
Barreiro	PO	GeoPlano	HM	milled nZVI	Immobilisation	alluvial
Besor-Secher	IS	Negev, BGU	CHC	air-stable nZVI	Reduction	fractured
Balassagyarmat	H	Golder	CHC	milled nZVI	Reduction	coarse alpine
Bizkaia	ES	Tecnalia	HM	air-stable nZVI	Reduction/ Immobilisation	alluvial

NanoRem Demonstration and Pilot Sites

Chlorinated Hydrocarbons (CHC), Hydrocarbons (HC), Heavy Metals (HM), Benzene, Ethylbenzene, Toluene and Xylenes (BTEX)

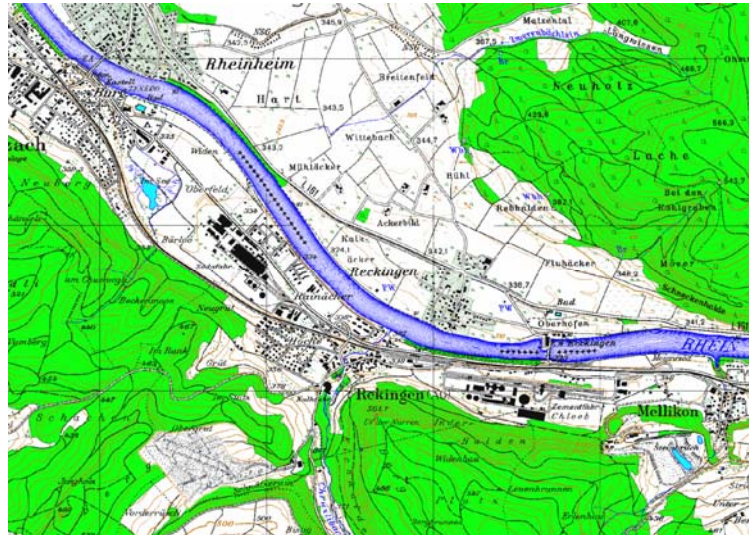


Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
28

Feldstandort (1)



- Schweiz
- Porengrundwasserleiter, Rheintal
- Chemische Industrie
- PCE / TCE Schadensfall



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
29

Feldstandort (2)



- Israel
- Arides Klima, Kluftgrundwasserleiter
- Ehemalige chemische Industrie
- Schadstoff - Cocktail



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
30

Feldstandort (3)



- Tschechien
- Porengrundwasserleiter, urbanes Industriegebiet
- Chemische Industrie
- DNAPL / LNAPL



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
31

Feldstandort(4)



- Portugal
- Porengrundwasserleiter, urbanes Industriegebiet, Küste
- Großindustrie
- Schwermetalle



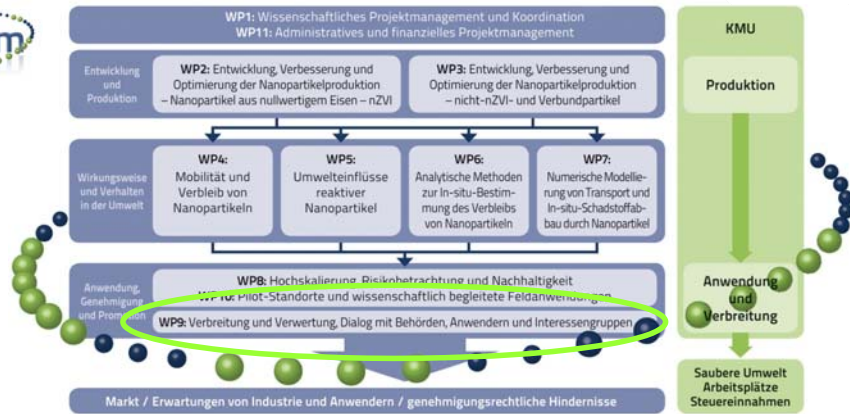
Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
32

Verbreitung der Ergebnisse

→ Vermarktung



- **Kommunikation und Dialog mit den „Stakeholder“** um Anforderungen / relevante Fragen in den Arbeitspaketen berücksichtigen zu können
- Sicherstellung der **Verbreitung der Ergebnisse**
- Aufbau von **Kommunikationsstrategien** zur Erarbeitung „weicher“ Anwendungskriterien → **Akzeptanz schaffen** (Risikobewertung)
- Kosten-Nutzen-Analyse zur **Verbesserung des Vermarktungspotentials**



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
33

Erwartungen



- EU hat hohe Erwartungen an NanoRem
- Mittel- und langfristig wird der Erfolg des Vorhabens daran gemessen werden, ob die Ergebnisse erfolgreich vermarktet werden.
- Durch Projektkonstellation wird erwartet, dass auf dem Gebiet der In-situ-Sanierung unter Einsatz von Nanopartikeln ein erheblicher Fortschritt erzielt und der „Altlastensanierungsbranche“ ein zusätzliches In-situ-Sanierungsverfahren zur Verfügung gestellt wird zur Lösung zahlreicher Problemfälle.



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
34

NanoRem Kick-Off Meeting 10.-12. April 2013



...danke für Ihre Geduld
und Ihr Interesse

Fragen ?

koschitzky@iws.uni-stuttgart.de
<http://www.vegas.uni-stuttgart.de>

Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky,
Coordinator NanoRem



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
35

Acknowledgement



This project is co-funded by
the European Union



This project received funding from the European Union Seventh Framework Programme (FP7 / 2007-2013) under Grant Agreement No. 309517.

This presentation reflects only the author's views and that the European Union is not liable for any use that may be made of the information contained therein.



Einsatz von Nanopartikeln in der In-situ-Grundwassersanierung
Informationsveranstaltung, KPC Wien 26. Februar 2014

www.nanorem.eu

Kos
36