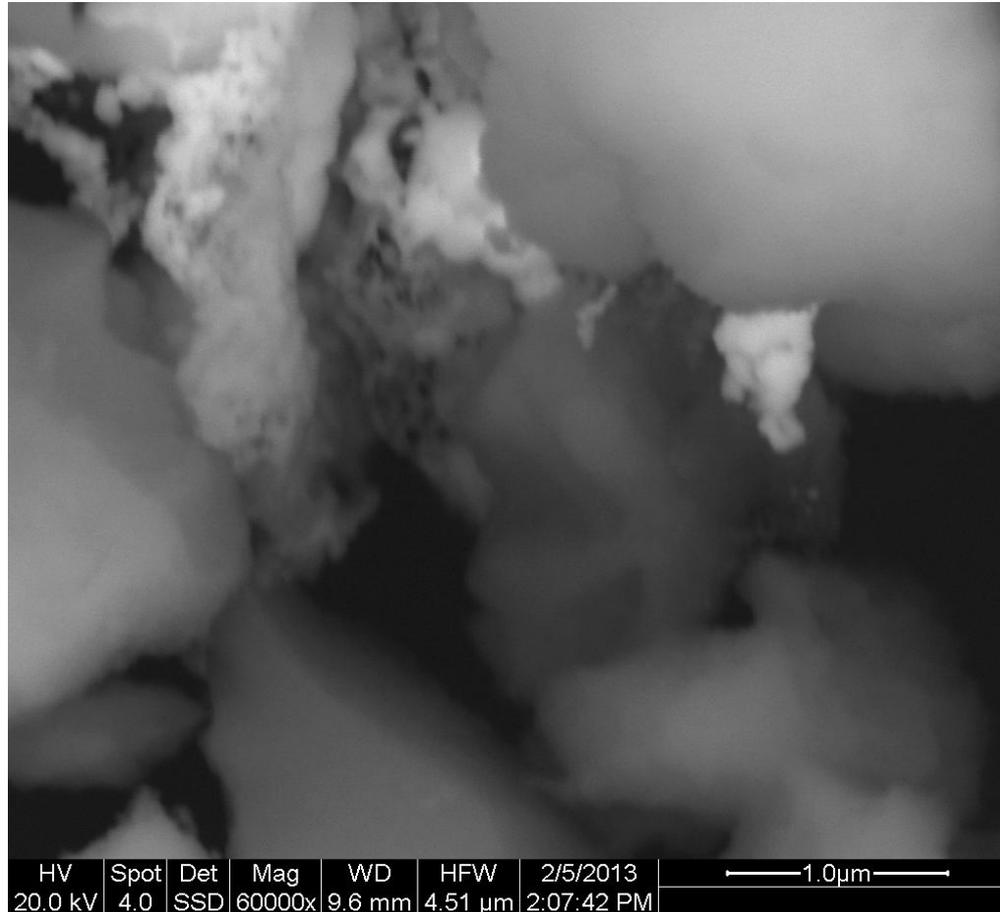


# Retention von Silbernanopartikeln in Böden



Martin Hoppe, Robert Mikutta, Jens Utermann,  
Wilhelmus Duijnsveld und Georg Guggenberger

- BMBF Verbundvorhaben „UMSICHT“
  - 16 Partner aus Industrie, Forschung und Regulierung
  - ganzheitliche Risikoabschätzung für Silbernanopartikel (AgNP)

- BMBF Verbundvorhaben „UMSICHT“
  - 16 Partner aus Industrie, Forschung und Regulierung
  - ganzheitliche Risikoabschätzung für Silbernanopartikel (AgNP)
- BGR und LUH untersuchen die Mobilität der AgNP in Böden
  - Stabilität bei Zugabe von Kationen und organischer Substanz
  - Retention der AgNP in Batch Tests (24 h)
  - Säulenelution von AgNP beladenen Böden (t = 3 d, t = 90 d)

- BMBF Verbundvorhaben „UMSICHT“
  - 16 Partner aus Industrie, Forschung und Regulierung
  - ganzheitliche Risikoabschätzung für Silbernanopartikel (AgNP)
- BGR und LUH untersuchen die Mobilität der AgNP in Böden
  - Stabilität bei Zugabe von Kationen und organischer Substanz
  - **Retention der AgNP in Batch Tests (24 h)**
  - Säulenelution von AgNP beladenen Böden (t = 3 d, t = 90 d)

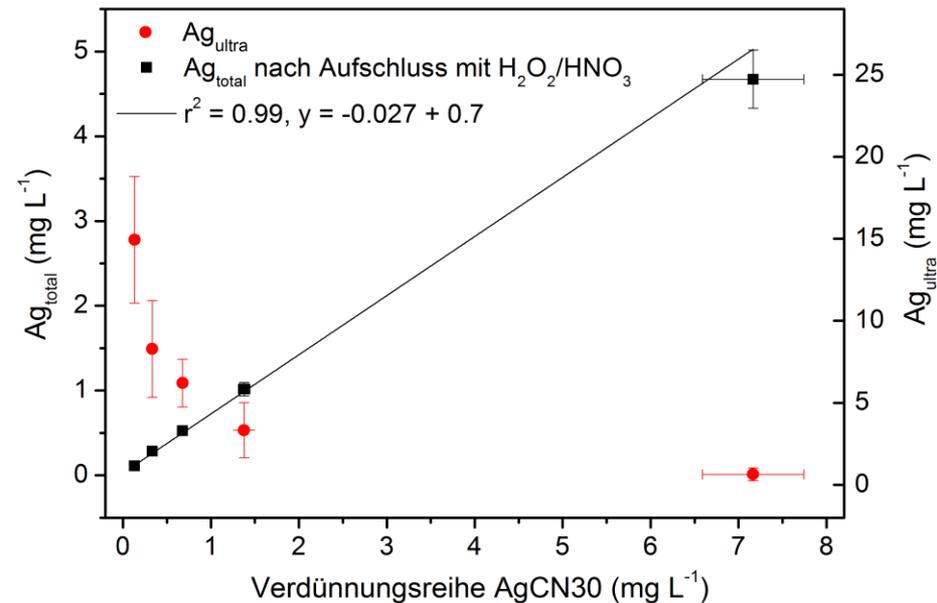
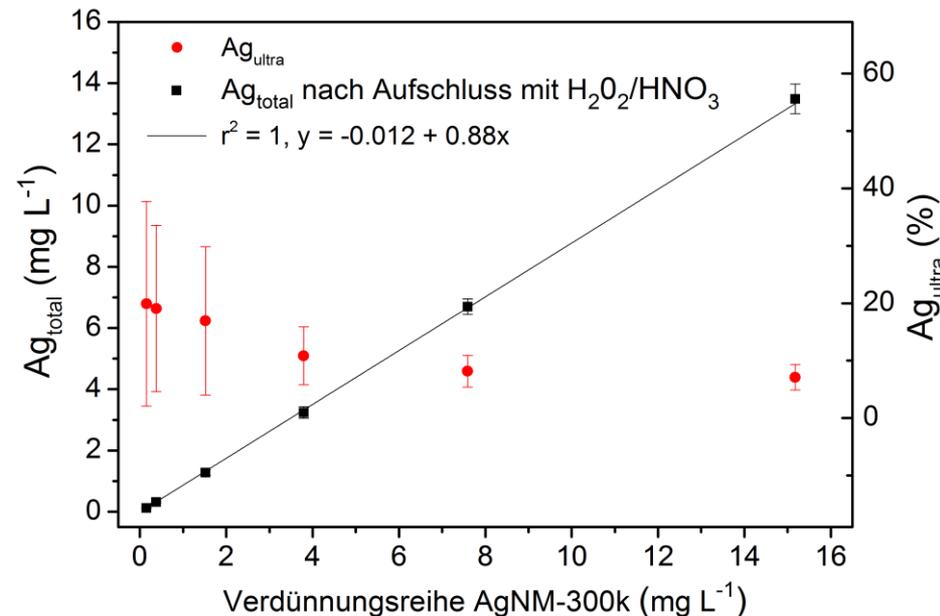
- Silberrnanopartikel
  - sterisch stabilisierte AgNP (AgNM-300k, OECD Standard, 20 nm)
  - durch negative Ladung stabilisierte AgNP (AgCN30, 30 nm, Citrat)

- Silbarnanopartikel (AgNP)
  - sterisch stabilisierte AgNP (AgNM-300k, OECD Standard, 20 nm)
  - durch negative Ladung stabilisierte AgNP (AgCN30, 30 nm, Citrat)
- Versuche mit Ober- und Unterböden von Ackerstandorten
  - 24 h Batch Tests bei Feststoff-Wasser-Verhältnis von 1:5
  - Zugabe an AgNP ( $Ag_{total} = 100 \mu\text{g L}^{-1} - 15 \text{ mg L}^{-1}$ )

- Silbernanopartikel (AgNP)
  - sterisch stabilisierte AgNP (AgNM-300k, OECD Standard, 20 nm)
  - durch negative Ladung stabilisierte AgNP (AgCN30, 30 nm, Citrat)
- Versuche mit Ober- und Unterböden von Ackerstandorten
  - 24 h Batch Tests bei Feststoff-Wasser-Verhältnis von 1:5
  - Zugabe an AgNP ( $Ag_{\text{total}} = 100 \mu\text{g L}^{-1} - 15 \text{ mg L}^{-1}$ )
- Analytik
  - ICP-OES und ICP-MS nach Aufschlüssen bzw. Ultrazentrifugation
  - DLS und REM/EDX

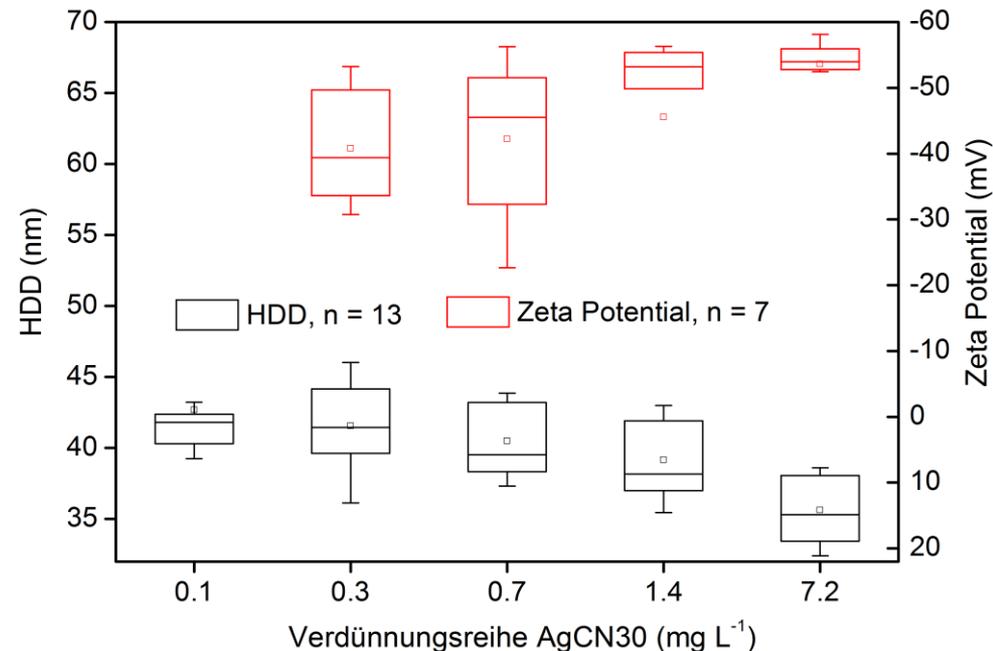
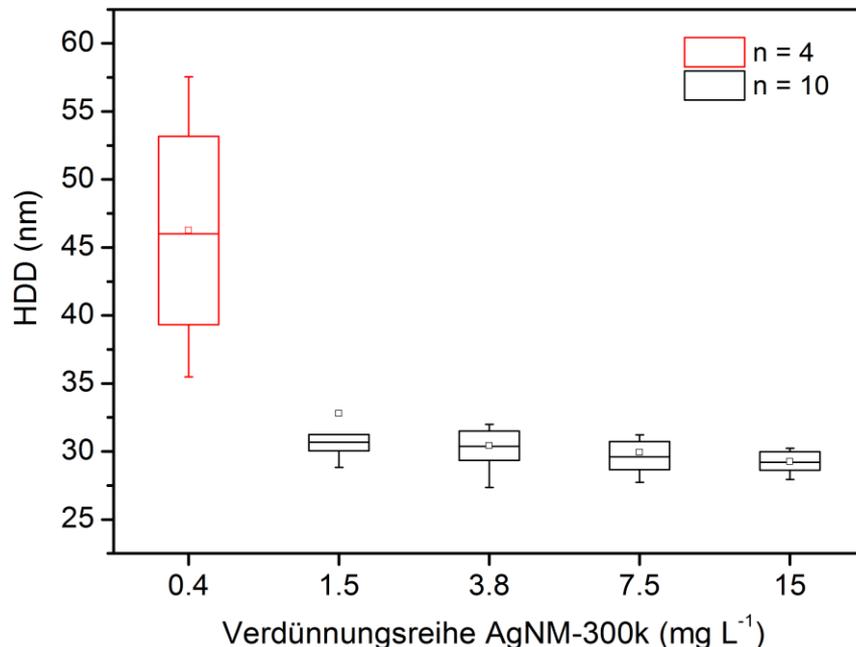
## Charakterisierung der AgNP nach Batch Tests

- AgNM-300k und AgCN30 mit hoher Wiederfindungsrate (n=11)
- Anteil an Ag<sup>+</sup> steigt mit zunehmender Verdünnung (n=11)



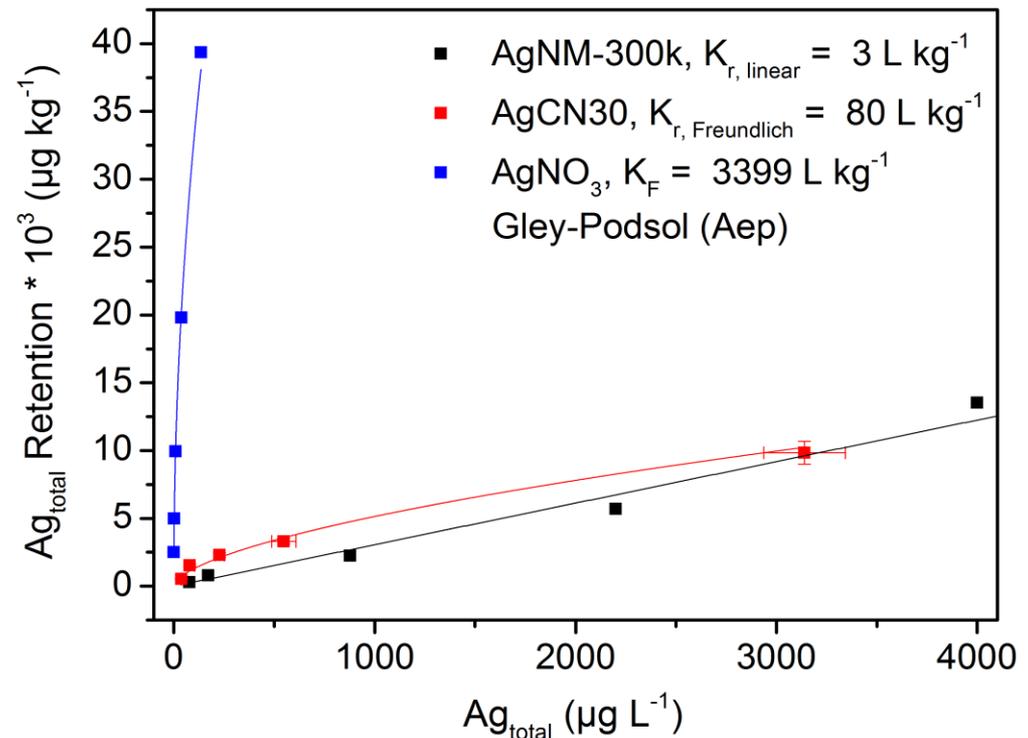
## Charakterisierung der AgNP nach Batch Tests

- AgNM-300k und AgCN30 mit konstanter Partikelgröße (HDD)
- Zetapotential messbar für AgCN30 (AgNM-300k sterisch stab.)



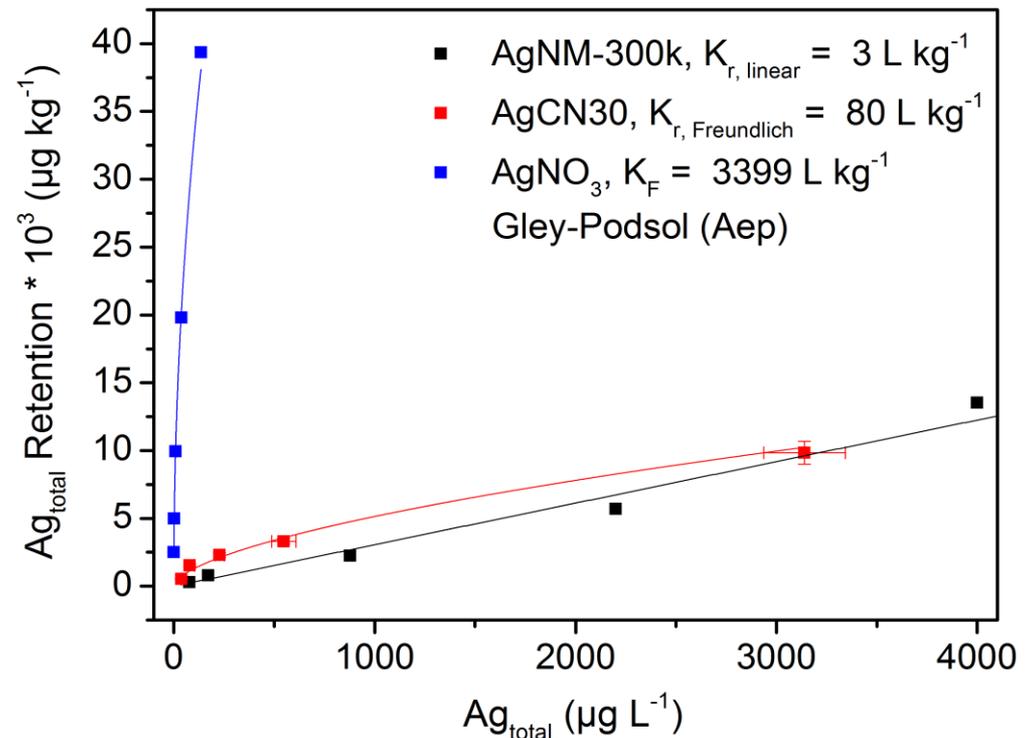
## Retention von AgNM-300k und AgCN30

- lineare  $K_{r, \text{linear}}$ -Werte für AgNM-300k
- $K_{r, \text{Freundlich}}$ -Werte nach Freundlich für AgCN30
- klassische  $K_F$ -Werte für Adsorption von  $\text{Ag}^+$



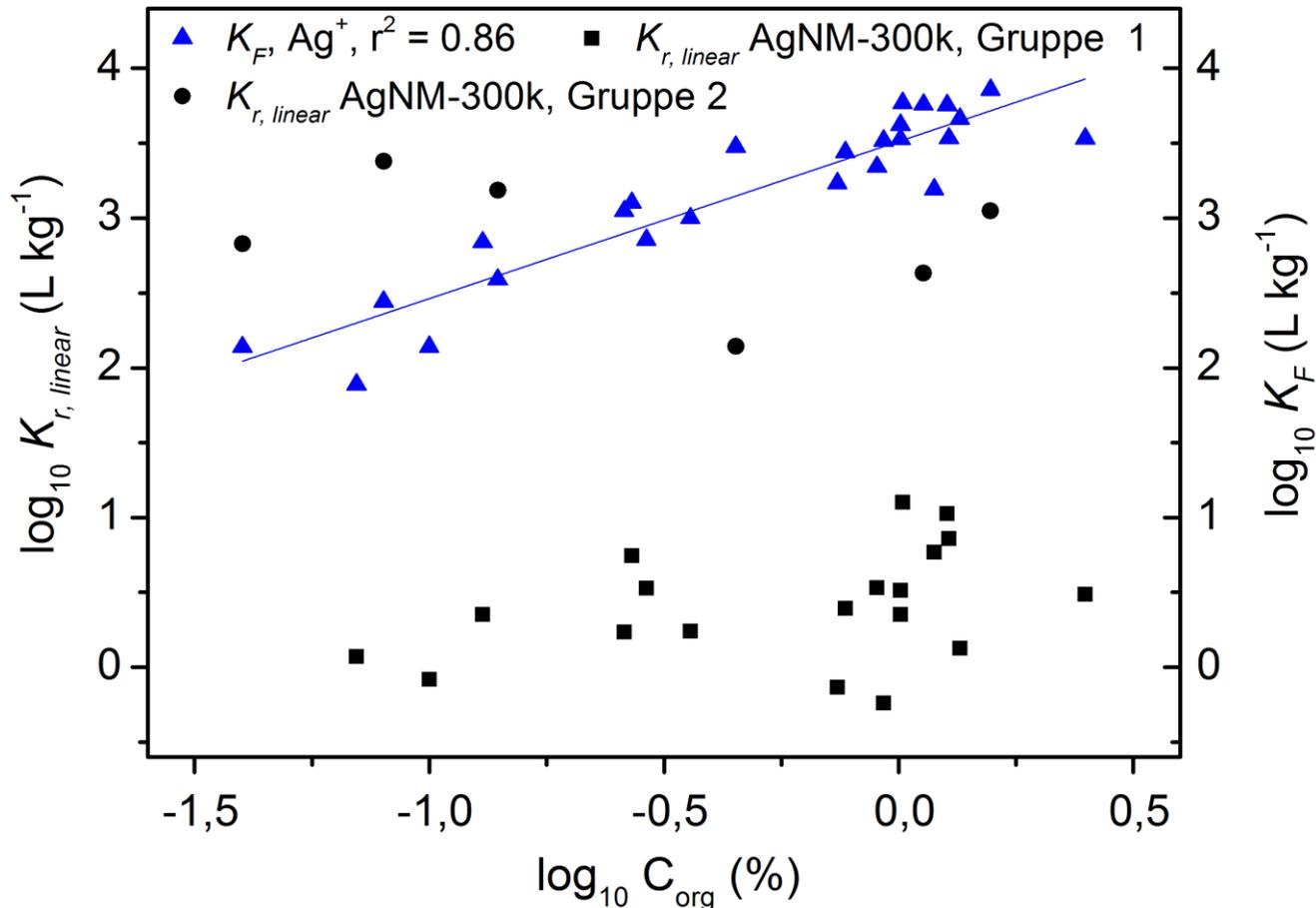
## Retention von AgNM-300k und AgCN30

- lineare  $K_{r, \text{linear}}$ -Werte für AgNM-300k
- $K_{r, \text{Freundlich}}$ -Werte nach Freundlich für AgCN30
- klassische  $K_F$ -Werte für Adsorption von  $\text{Ag}^+$

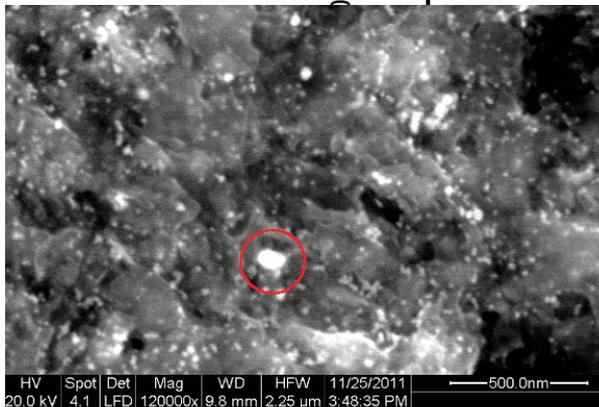
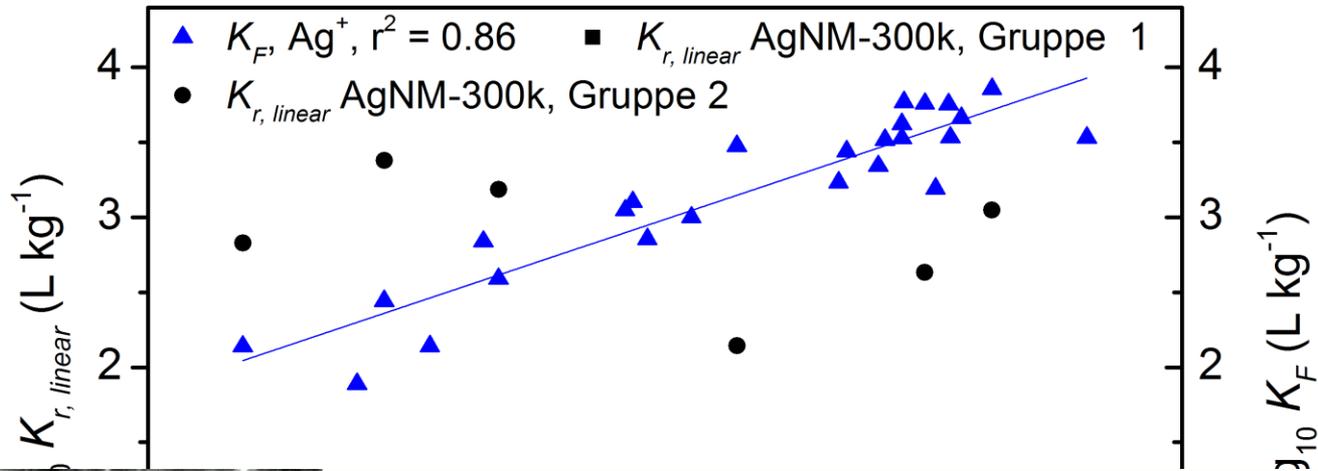


**=> Retention und Adsorption sind unterschiedliche Prozesse!**

## Retention von AgNM-300k im Boden

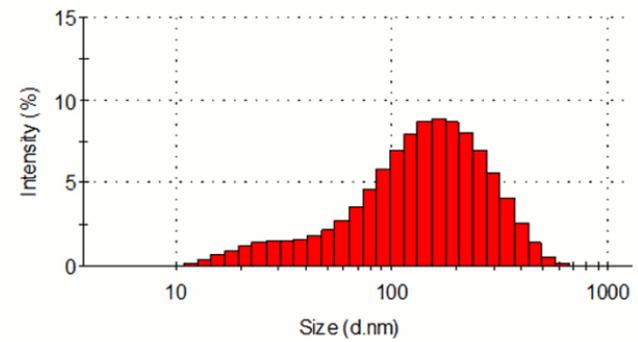


## Retention von AgNM-300k im Boden



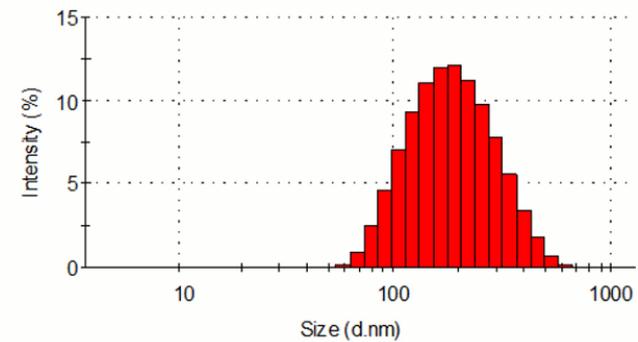
Bodenlösung mit AgNP

Size Distribution by Intensity

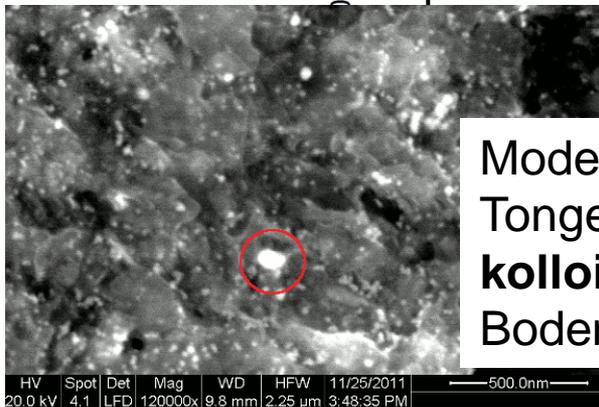
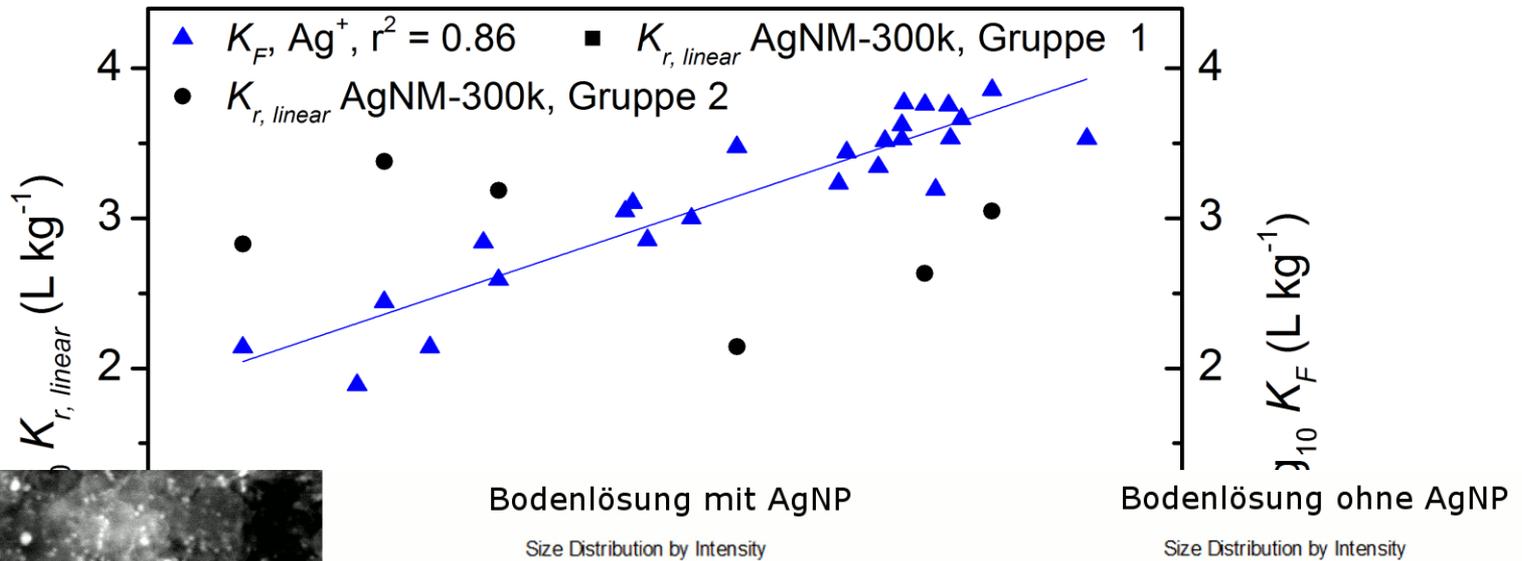


Bodenlösung ohne AgNP

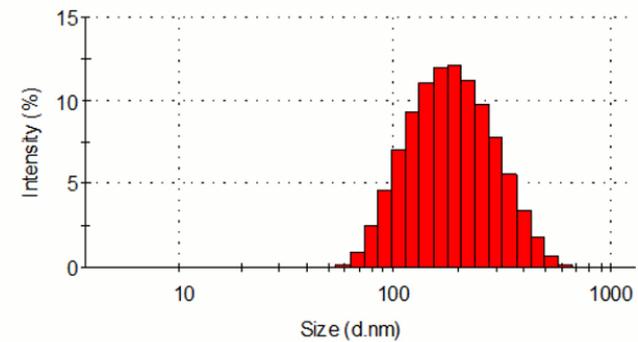
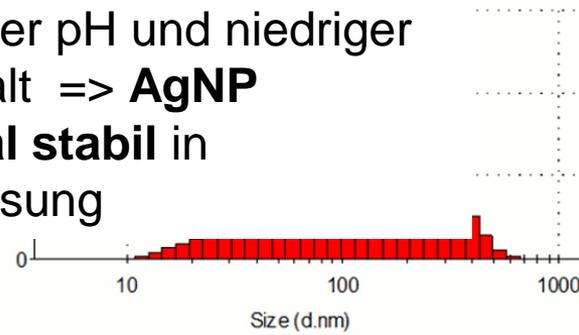
Size Distribution by Intensity



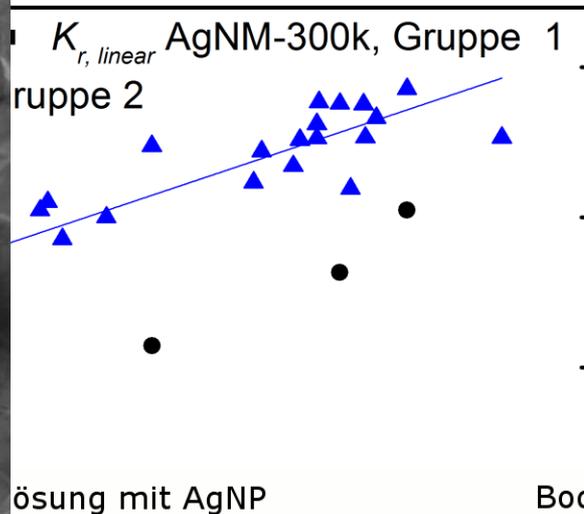
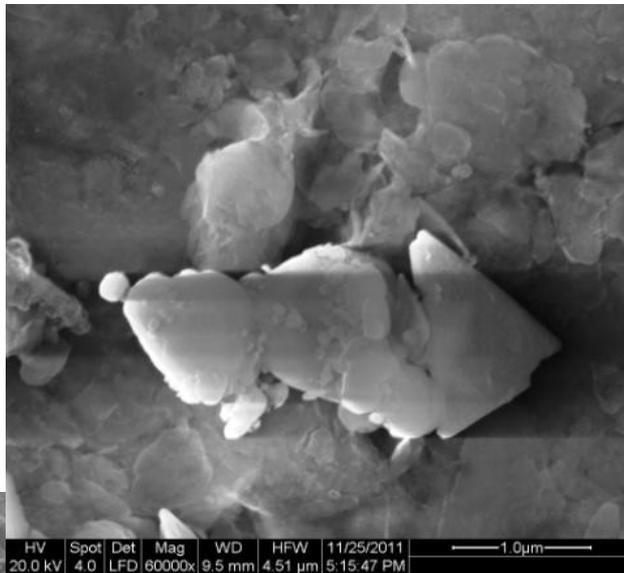
## Retention von AgNM-300k im Boden



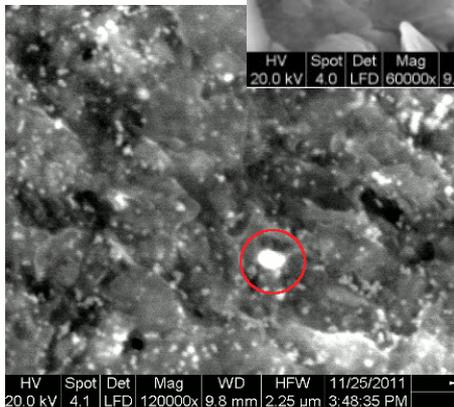
Moderater pH und niedriger Tongehalt => **AgNP** kolloidal stabil in Bodenlösung



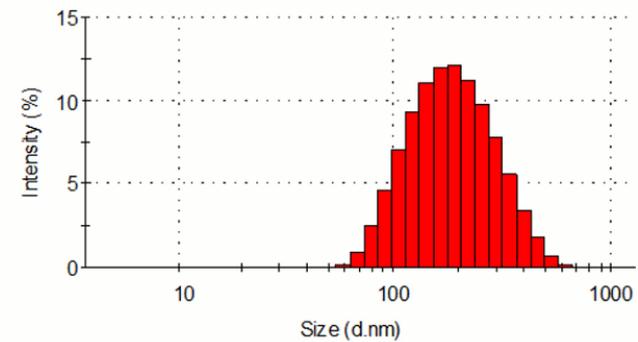
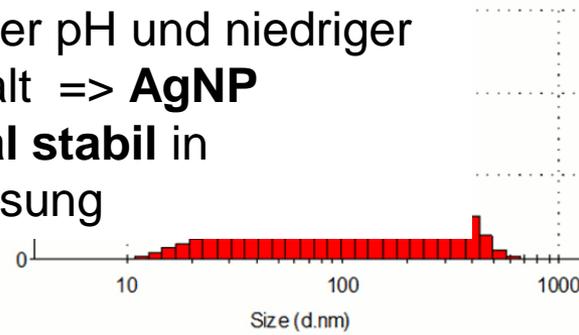
## Retention von AgNM-300k im Boden



Bodenlösung ohne AgNP

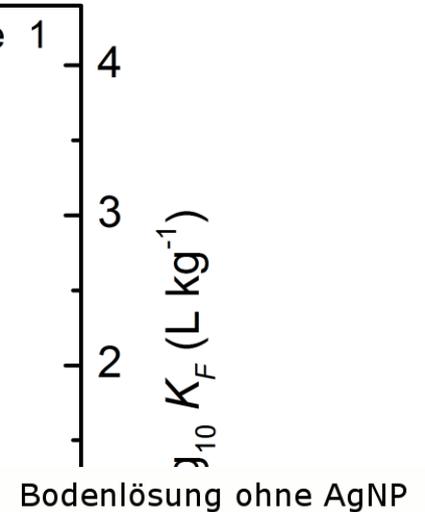
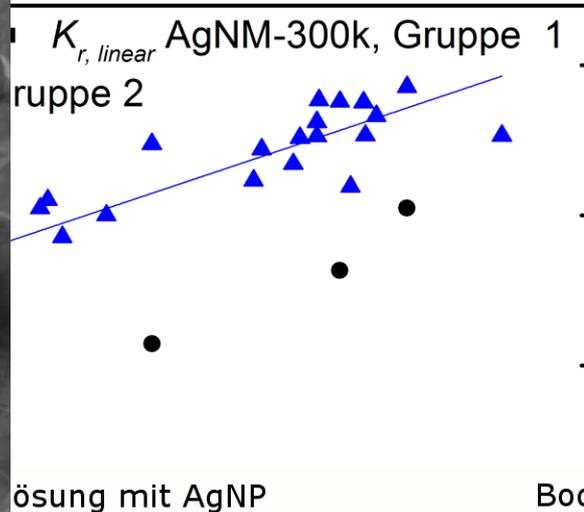


Moderater pH und niedriger  
Tongehalt => **AgNP**  
**kolloidal stabil** in  
Bodenlösung



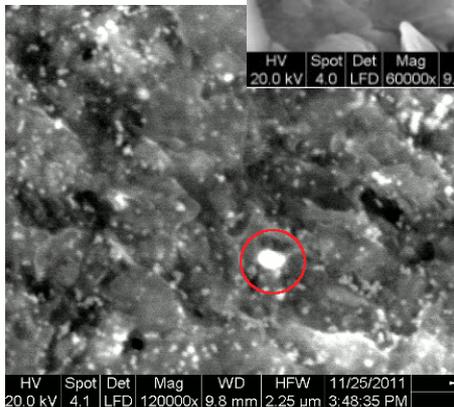
## Retention von AgNM-300k im Boden

Tiefer pH (<5,1) und hoher Tongehalt => **Homoaggregation** und Heteroaggregation

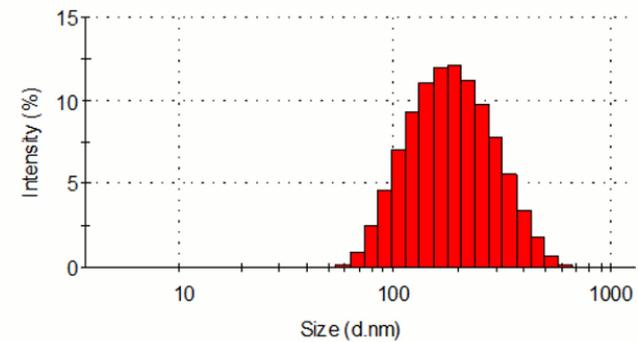
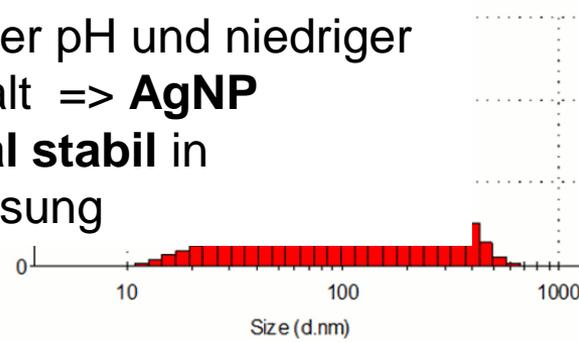


Bodenlösung mit AgNP

Bodenlösung ohne AgNP



Moderater pH und niedriger Tongehalt => **AgNP kolloidal stabil** in Bodenlösung

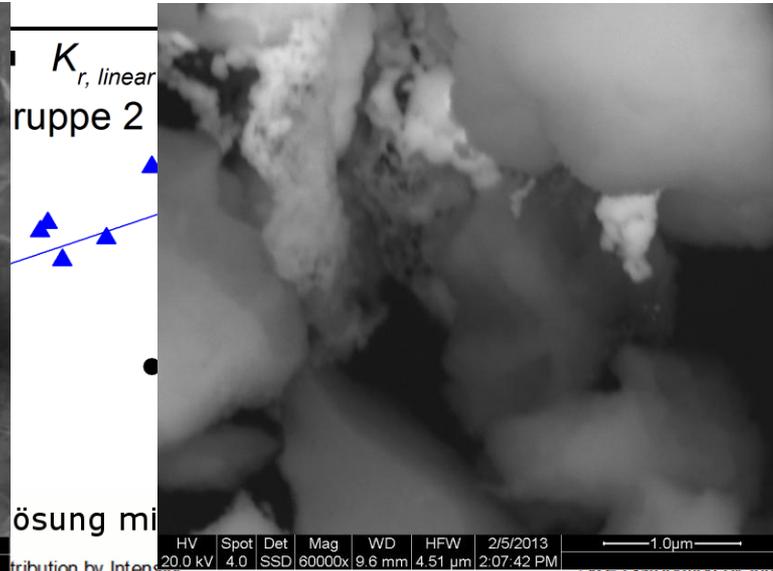


## Retention von AgNM-300k im Boden

Tiefer pH (<5,1) und hoher Tongehalt => **Homoaggregation** und **Heteroaggregation**

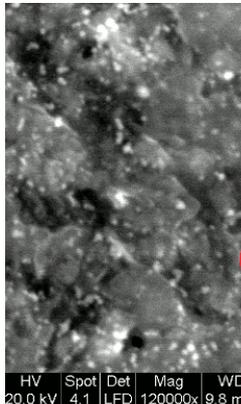


$K_r, linear$   
Gruppe 2

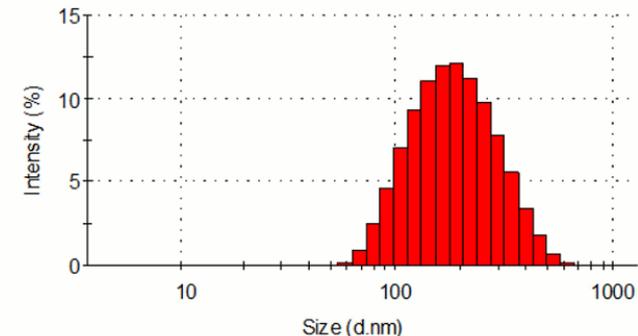
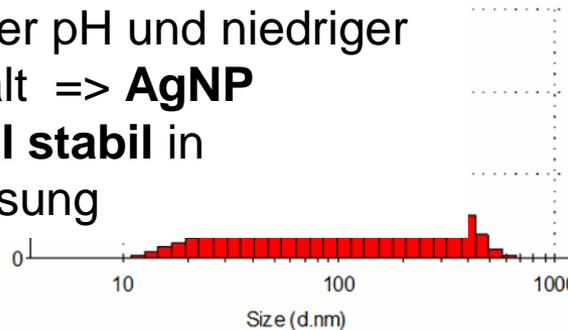


ösung mi

AgNP



Moderater pH und niedriger Tongehalt => **AgNP** **kolloidal stabil** in **Bodenlösung**

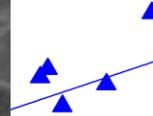


## Retention von AgNM-300k im Boden

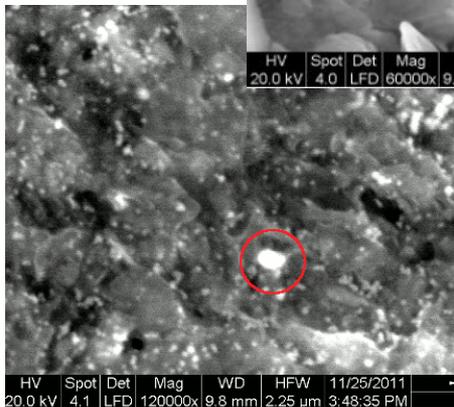
Tiefer pH (<5,1) und hoher Tongehalt => **Homoaggregation** und Heteroaggregation



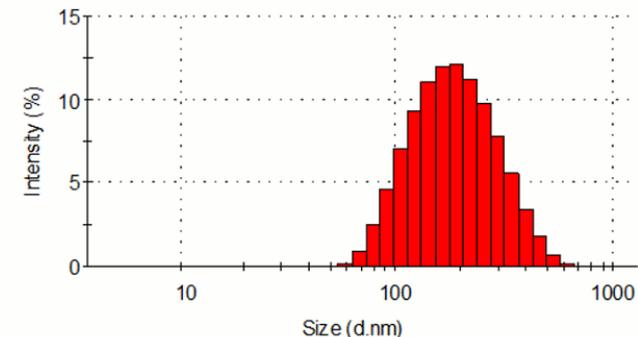
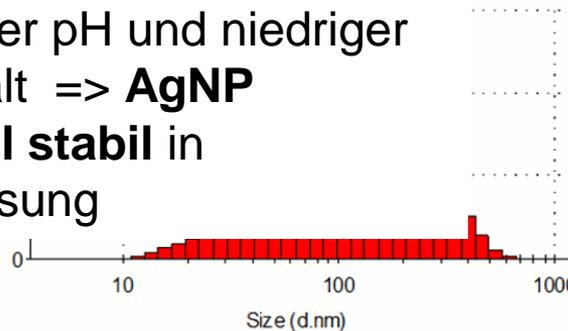
$K_r, linear$   
Gruppe 2



Hoher pH (>7) und hoher Tongehalt => **Heteroaggregation** und Homoaggregation



Moderater pH und niedriger Tongehalt => **AgNP kolloidal stabil** in Bodenlösung

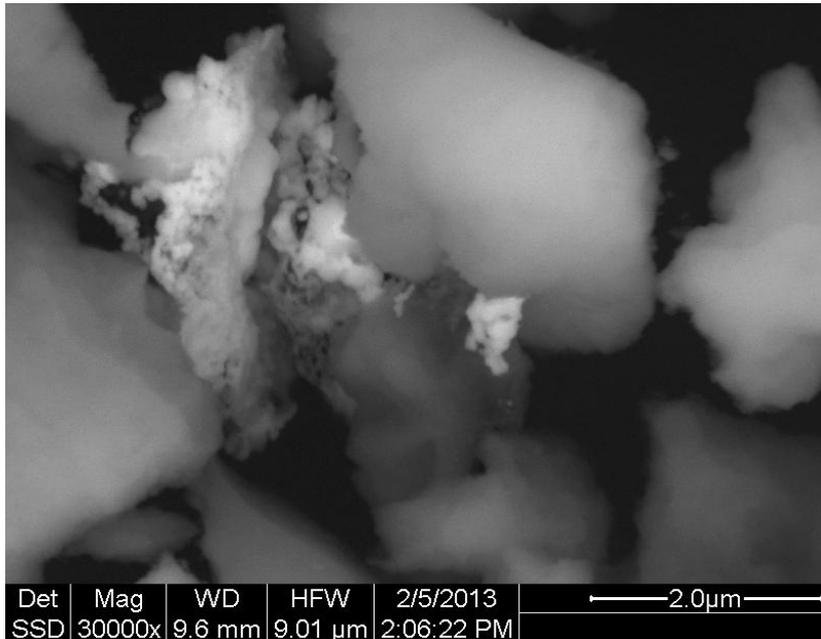


- Methoden (DLS, REM/EDX, Ultrazentrifugation) schon oberhalb von realistischen Umweltkonzentrationen limitiert

- Methoden (DLS, REM/EDX, Ultrazentrifugation) schon oberhalb von realistischen Umweltkonzentrationen limitiert
- Retention im Boden  $\Rightarrow$   $\text{AgNM-300k} < \text{AgCN30} \ll \text{Ag}^+$  (Gruppe 1)

- Methoden (DLS, REM/EDX, Ultrazentrifugation) schon oberhalb von realistischen Umweltkonzentrationen limitiert
- Retention im Boden  $\Rightarrow \text{AgNM-300k} < \text{AgCN30} \ll \text{Ag}^+$  (Gruppe 1)
- Steuergrößen der Retention in Gruppe 2 sind pH, Ton- und  $\text{Ca}^{2+}$ -Gehalte:
  - Auflösung ab  $\text{pH} < 5 \Rightarrow \text{Ag}^+$  Adsorption
  - Zerstörung des Stabilisators ab  $\text{pH} < 5 \Rightarrow$  Aggregation
  - $\text{pH} > 7$  ( $\text{Ca}^{2+}$ )  $\Rightarrow$  Aggregation durch Ladungsabschirmung
  - $\text{pH} > 7$  ( $\text{Ca}^{2+}$ )  $\Rightarrow$  Brückenbildung zwischen SOM und Coating

- Potential zur Mobilität in Böden vorhanden
  - Aufklärung von Mechanismen durch Versuche mit Mineralen
  - Inkubation von Böden mit AgNP und anschließender Säuleneelution



Vielen Dank an die Bodenkunde der BGR!



Vielen Dank an das BMBF!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Retention von AgNM-300k und AgCN30 im Boden

- Retention steigt mit zunehmendem Tongehalt

