

Modulares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung mittel Kapazitiver Deionisierung - am Beispiel Vietnam (WaKap)

WavE - Statusseminar in Frankfurt

17. April 2018

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Ulrich Hellriegel

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft (HsKA)



Inhalt

I. „WaKap“ Projektübersicht

- Hintergrund
- Konzepte
- Technologien

II. Bisherige Ergebnisse

- Entsalzungsversuche
- Pilotanlage in Vietnam
- Modellierung
- Energiekonzept
- Nachhaltigkeitsbewertung

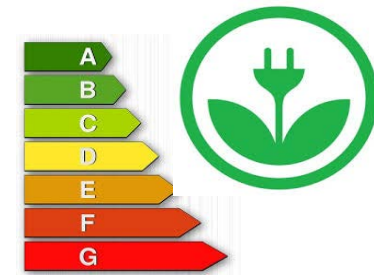
III. Zusammenfassung und Ausblick



Das Konzept in ‚WaKap‘

Die Ziele

- Entwicklung eines nachhaltigen energieeffizienten und robusten Prozesses zur **Wasserentsalzung** und **Arsenentfernung**
- Der Prozess soll dezentral und autark betrieben und durch **erneuerbaren Energien** versorgt werden
- Das Konzept wird hinsichtlich **Ökologie**, **Ökonomie** und **gesellschaftlicher Aspekte** bewertet



Quelle: Opensource

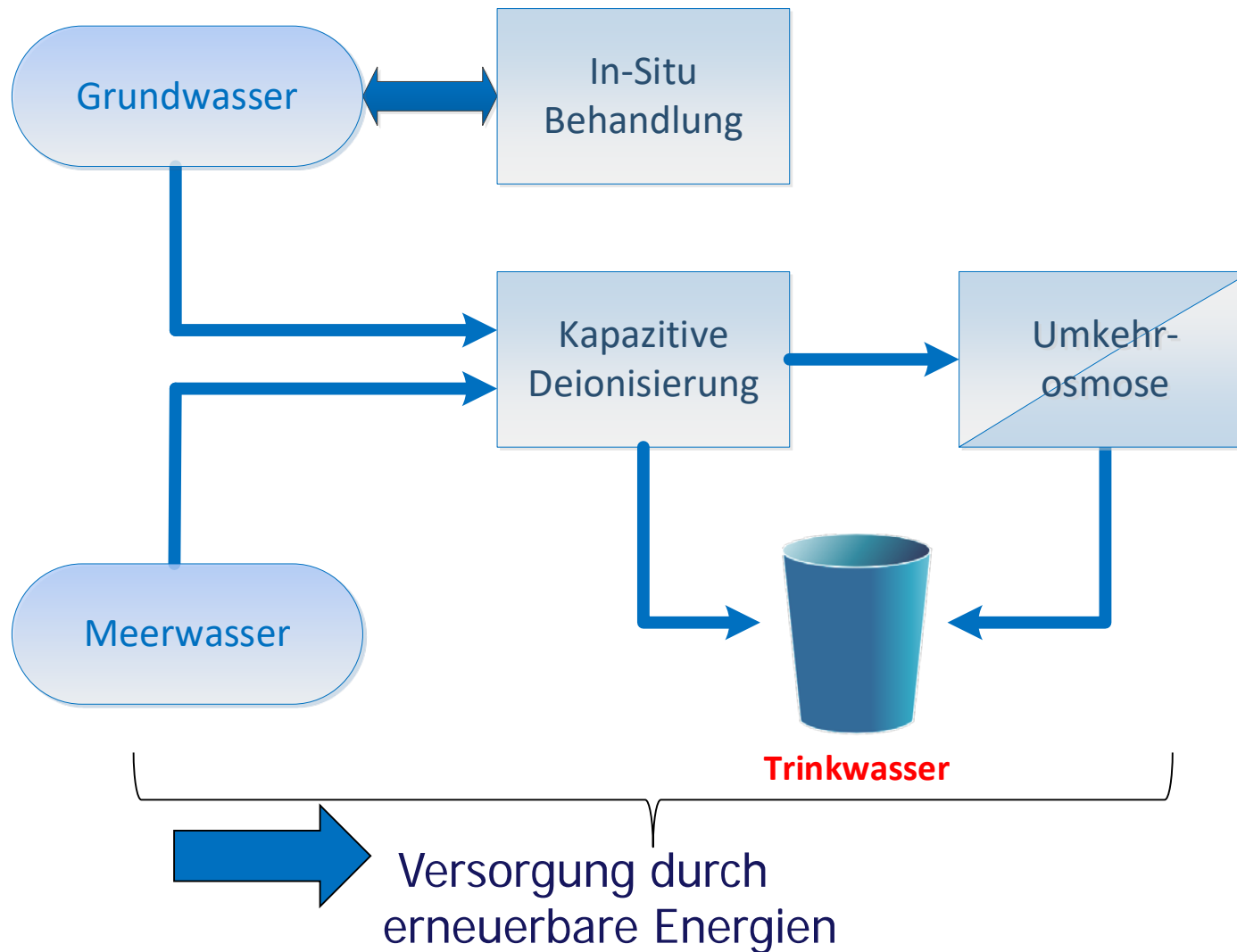


Quelle: Intel Vietnam





Modulares Konzept





Übersicht

I. Verbundprojekt „WaKap“

- Projekt Übersicht
- Konzepte
- **Technologien**

II. Bisherige Ergebnisse

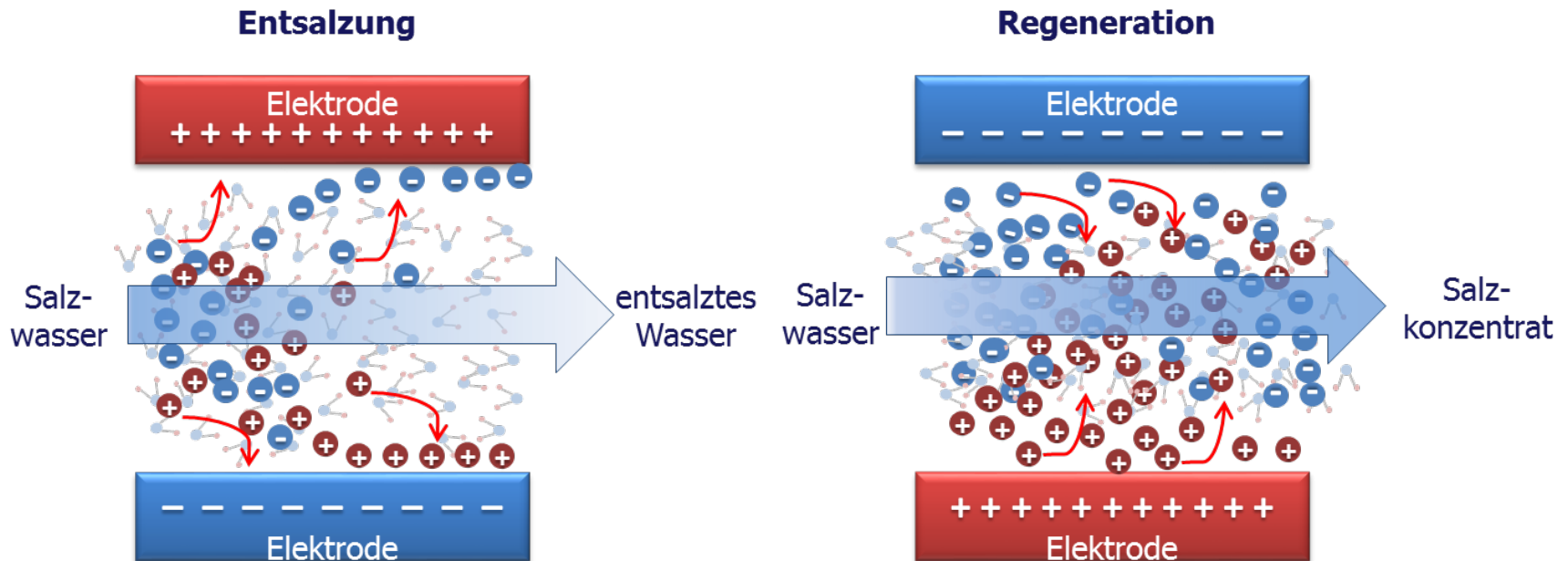
- Entsalzungsversuche
- Pilotanlage in Vietnam
- Modellierung
- Energiekonzept
- Nachhaltigkeitsbewertung

III. Diskussion und Ausblick

Nachhaltige Technologien

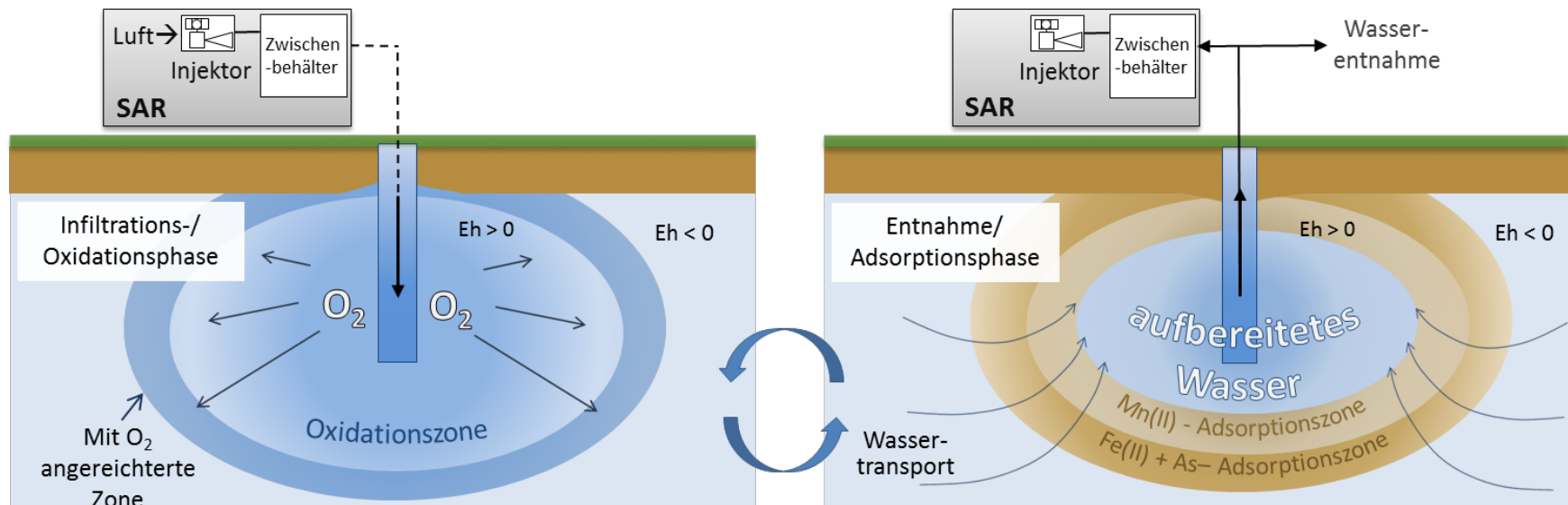
1) Kapazitive Deionisierung (CDI)

- Salzhaltiges Wasser fließt zwischen zwei poröse Elektroden aus Aktivkohle, an denen eine Spannung anliegt
- Ionen werden dabei von den geladenen Elektroden angezogen
- Nach der Entsalzungsphase erfolgt die Regeneration der Elektroden



2) In-Situ Aufbereitung

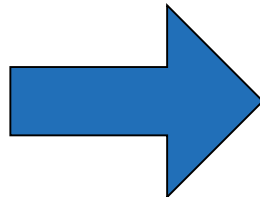
- Infiltration von O_2 -reichen Wasser in den Grundwasserleiter
- Bildung von Oxidationszonen für Fe(II), As(III) und Mn(II)
- Arsen adsorbiert an Fe-(hydr)oxide und bleibt in der Oxid-Matrix eingebunden
- Aufbereitetes Wasser entsteht im Bereich des Brunnens





Vorteile des Konzepts

- Energieeffizienz
 - Energieautarker Betrieb möglich
- Chemikalien- und weitgehend abfallfreier Prozess
- Wartungsarme Anlagen



Modulares Konzept:

Anpassungsfähig an unterschiedliche Anforderungen



Übersicht

I. Verbundprojekt „WaKap“

- Projekt Übersicht
- Konzepte
- Technologien

II. Bisherige Ergebnisse

- Entsalzungsversuche
- Pilotanlage in Vietnam
- Modellierung
- Energiekonzept
- Nachhaltigkeitsbewertung

III. Diskussion und Ausblick



1. WaKap-Workshop in Karlsruhe



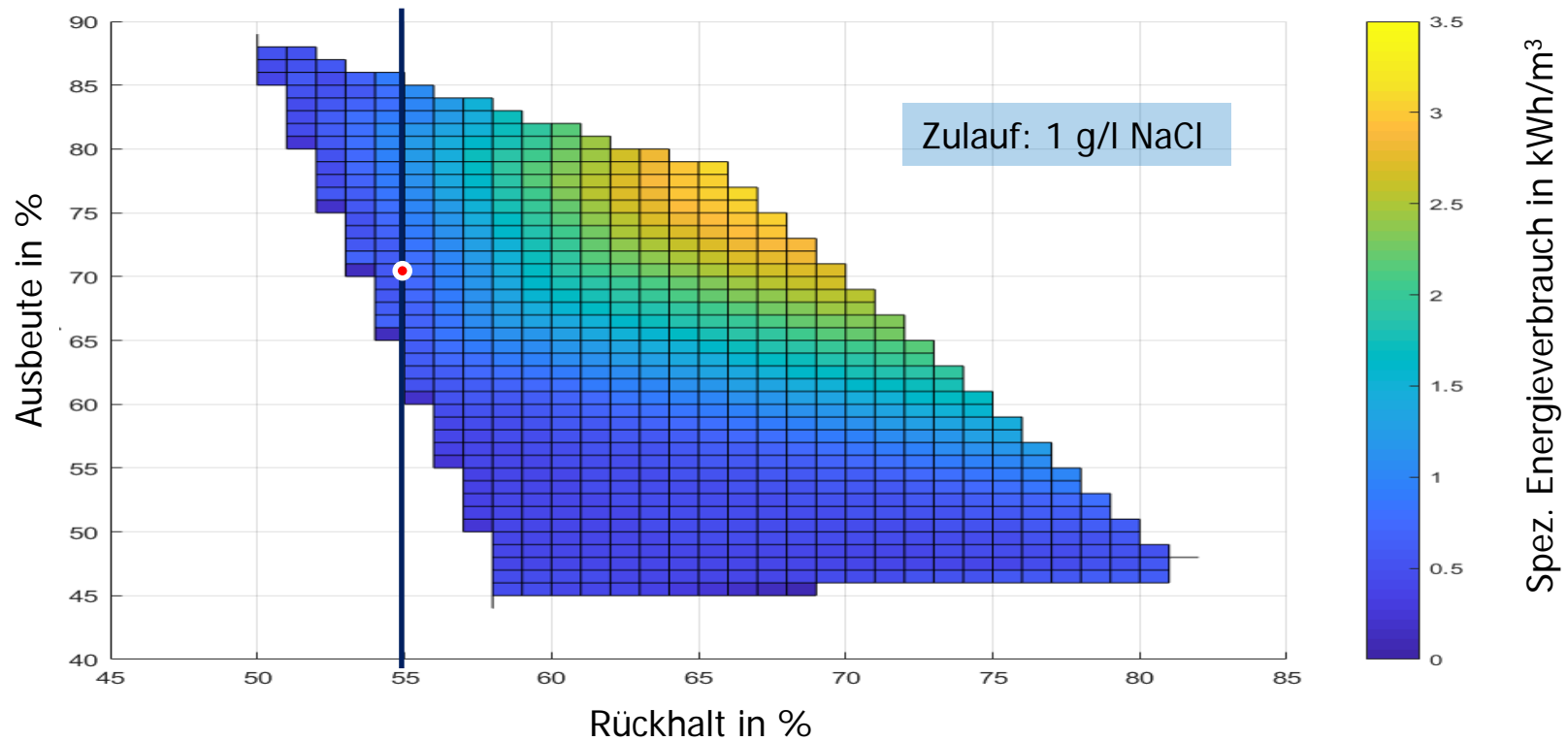
Versuchsaufbau:

- MCDI Modul im Labormaßstab (+ Entwicklungs-Kit)
 - Kommerzielles Modul
 - Poröse Aktivkohle Elektroden
 - Ionen-Austauschermembranen
 - Durchfluss zwischen den Elektroden
- Netzteil
 - Spannung: 0 – 2 V
 - Stromstärke: 0 – 60 A
- Membranpumpe
 - Förderleistung: 0,25 – 6 L/min





Entsalzungsverfahren mit der MCDI



- Spez. Energieverbrauch = 0.6 kWh/m³
- 55 % Entfernung – 71% Ausbeute
→ NaCl < 0,450 g/l; 1 m³/Tag Diluat



Übersicht

- I. Verbundprojekt „WaKap“
 - Projekt Übersicht
 - Konzepte
 - Technologien
- II. Bisherige Ergebnisse**
 - Entsalzungsversuche
 - Pilotanlage in Vietnam**
 - Modellierung
 - Energiekonzept
 - Nachhaltigkeitsbewertung
- III. Diskussion und Ausblick



Ergebnisse der 1. Pilotanlage

1. FERMANOX Anlage zur
Arsenentfernung in der An Giang
Lage im Mekong-Delta

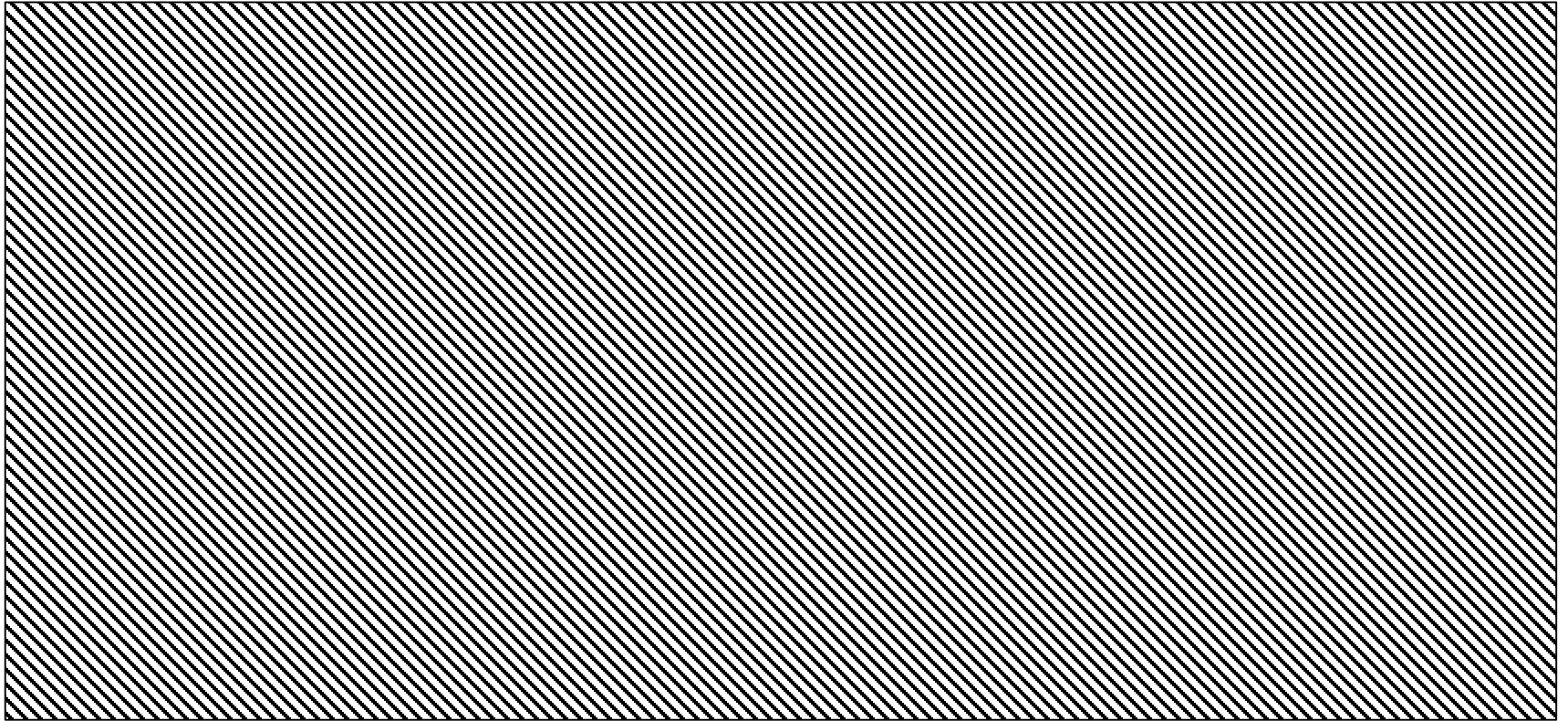
Start der Pilotierung:
10.06.2017

310 Tage in Betrieb

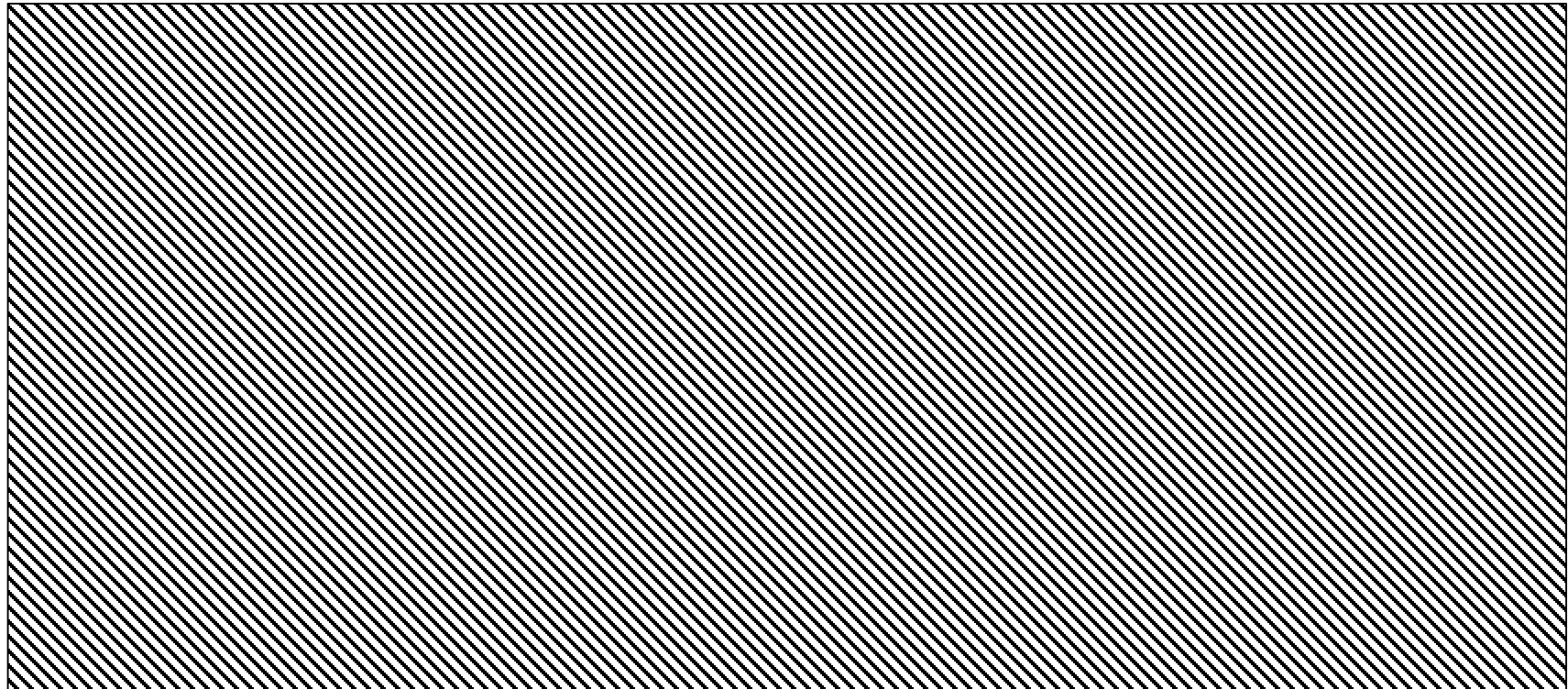
Kapazität: 2 m³/Tag



Foto: Tan Vu Luong



- Eisen fällt nach wenigen Tagen gegen Null
- As-Konzentration nach 15 Tagen unterhalb der WHO Grenze von $10 \mu\text{g/l}$



- Trinkwasserqualität noch nicht erreicht: $[Mn^{2+}] > 0,3 \text{ mg/l}$
- Alle anderen Parameter unterhalb des **vietnamesischen** TWG
- Mn-Werte müssen noch beobachtet werden → i.d.R. mehrere Monate bis sich Oxidations-/bzw. Adsorptionszonen stabilisieren
- Option: Mn-Filter



Wasserqualität in Bildern



vorher



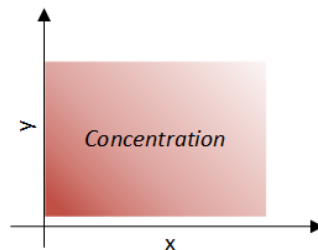
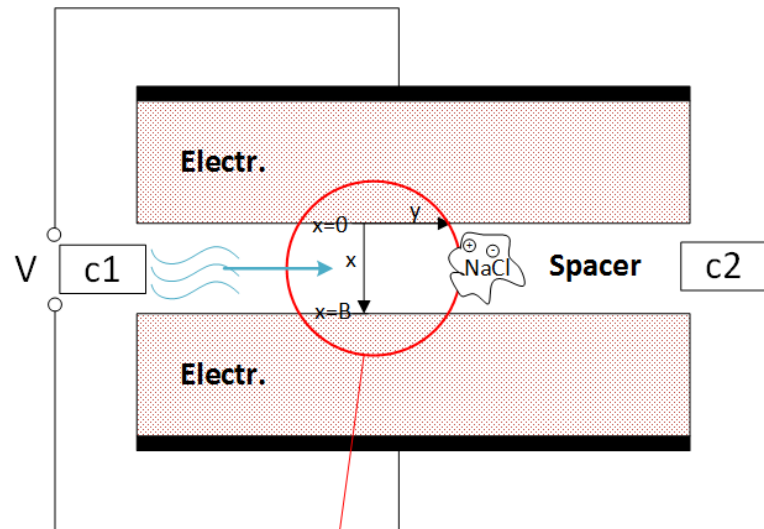
nachher



Übersicht

- I. Verbundprojekt „WaKap“
 - Projekt Übersicht
 - Konzepte
 - Technologien
- II. Bisherige Ergebnisse**
 - Entsalzungsversuche
 - Pilotanlage in Vietnam
 - Modellierung**
 - Energiekonzept
 - Nachhaltigkeitsbewertung
- III. Diskussion und Ausblick

2D-Modell (Raum zwischen den Elektroden):



▪ Verwendete physikalische Modelle:

- Laminare Strömung durch den *Spacer*:
➤ **Navier-Stokes Gleichungen**

Solver: stationär

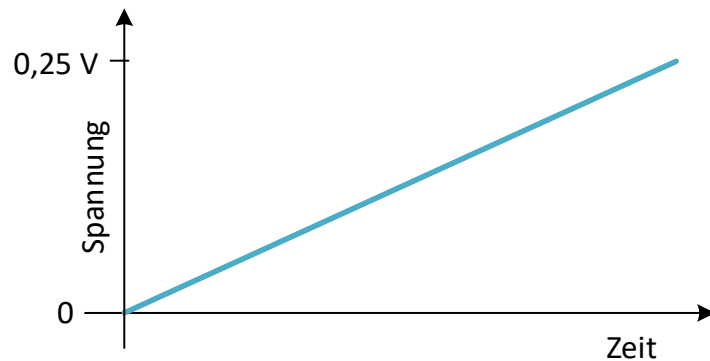
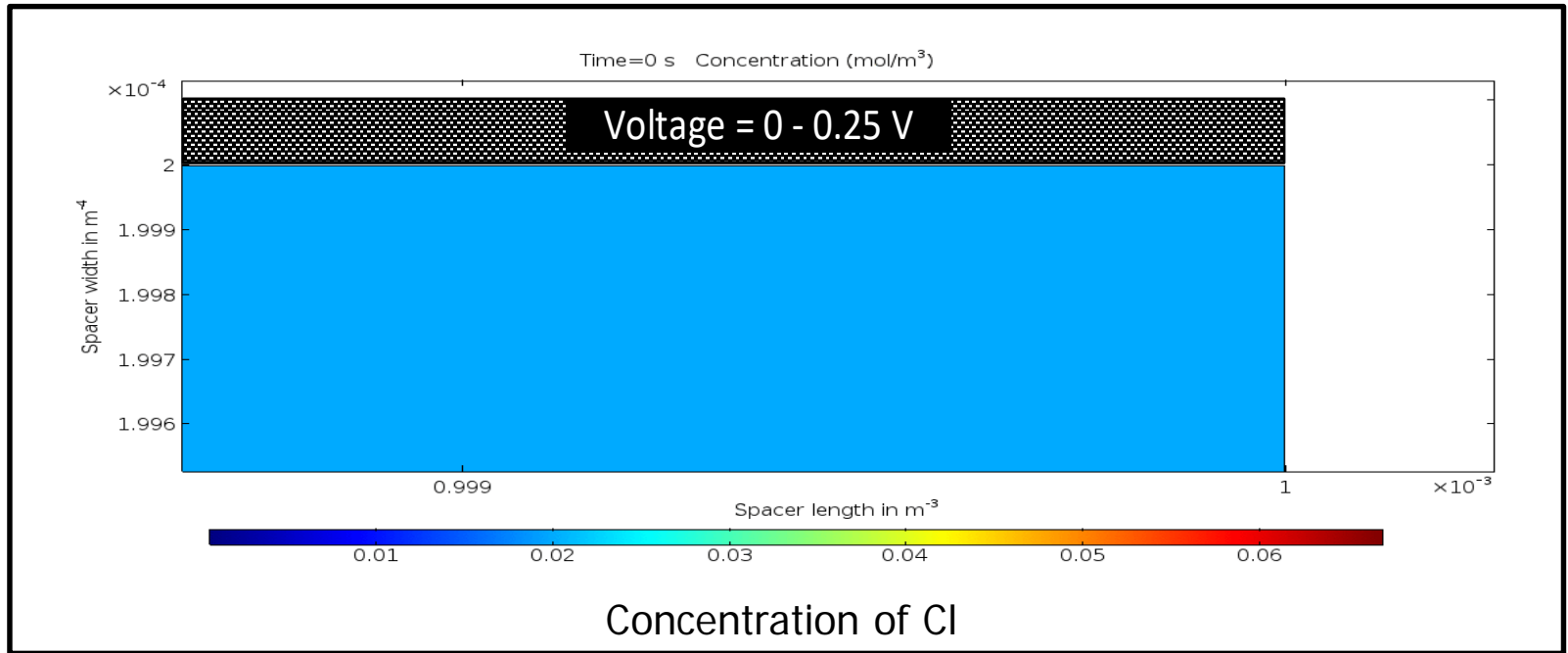
- Migration, Diffusion und Konvektion:
➤ **Nernst-Planck Gleichung**
- Spannungsverteilung über den *Spacer*:
➤ **Poisson Gleichung**

Solver:

- zeitabhängig
- coupled / direct

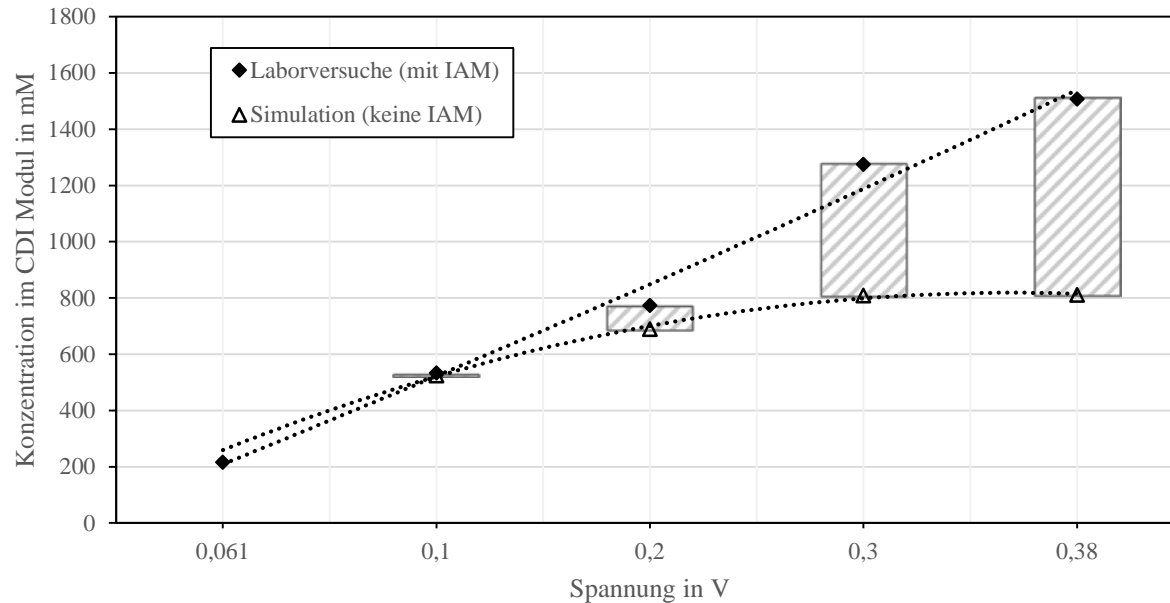


Modellierung der CDI



- Ionen sammeln sich an Elektrode und werden zurückgehalten

Modellierung der CDI



- Für kleine Spannungen stimmen Simulationenwerte mit Laborversuchen überein
- Differenz bei höheren Spannungen kann durch vorhandene Ionenaustauschermembran (IAM) im Labormodell entstehen

Übersicht

- I. Verbundprojekt „WaKap“
 - Projekt Übersicht
 - Konzepte
 - Technologien
- II. Bisherige Ergebnisse**
 - Entsalzungsversuche
 - Pilotanlage in Vietnam
 - Modellierung
 - **Energiekonzept**
 - Nachhaltigkeitsbewertung
- III. Diskussion und Ausblick

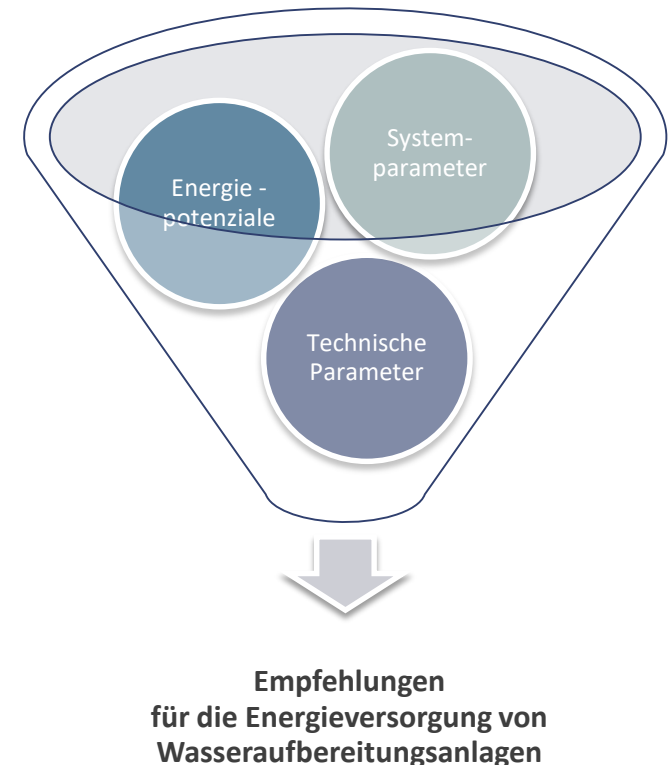
Energiekonzept Zielsetzung und Vorgehen

ZIEL

Entwicklung eines Energiekonzepts zum Betrieb der Wasseraufbereitungsanlagen mittels erneuerbarer Energiequellen (EE)

VORGEHEN

- Analyse der Potentiale für erneuerbare Energien:
 - Räumlich differenzierte (GIS-basierte) Analyse der Potentiale für Kleinwindkraftanlagen (KWA) und Solarenergie (PV)
 - Abschätzung der Stromgestehungskosten
- Systemanalyse:
 - Elektrifizierungsgrad, Stabilität der Stromversorgung, Strompreise, Energiestrategie, Ziele & Rahmenbedingungen für den Ausbau erneuerbarer Energien
- Abgleich mit technischen Anforderungen der Anlagen
- Ableitung von Empfehlungen



Energiekonzept

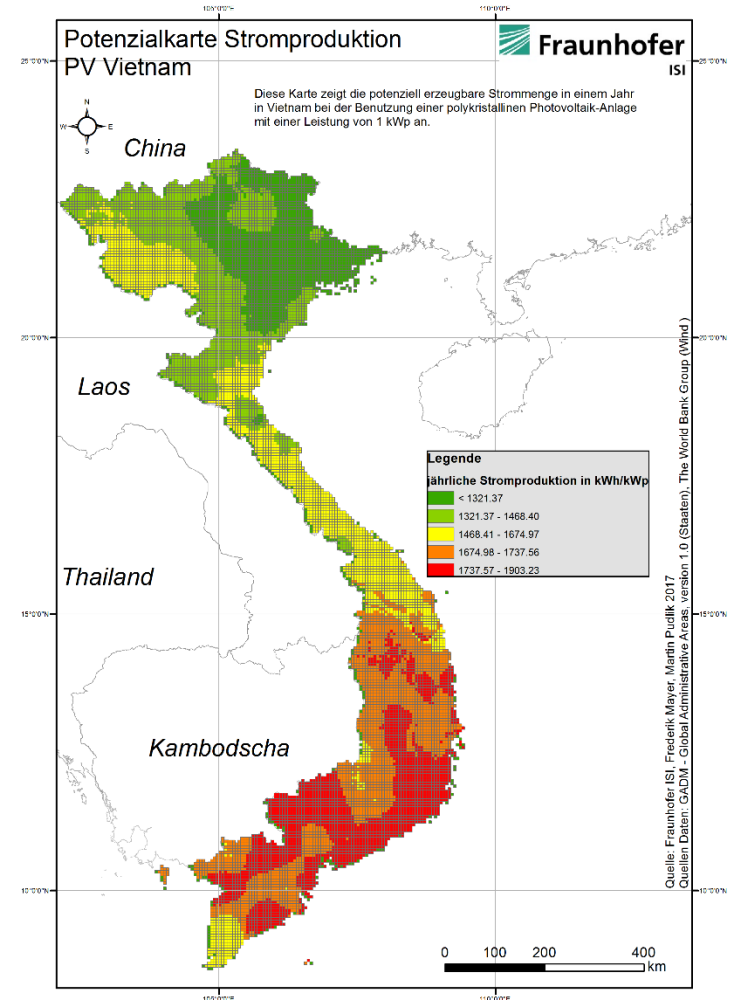
Stand und nächste Schritte

STAND

- Potentialanalyse: abgeschlossen ✓
 - Kostengünstige Potenziale im südlichen Vietnam vor allem für PV, KWA deutlich teurer
- Systemanalyse: Weitestgehend abgeschlossen ✓
 - Derzeit eingeschränkte Wettbewerbsfähigkeit von Stromerzeugung aus EE durch subventionierte Strompreise, steigender Energiebedarf und instabile Stromnetze unterstreichen Relevanz nachhaltiger Energieversorgung, Politikmaßnahmen notwendig
- Technische Analyse: Abgeschlossen ✓
- Ableitung von Empfehlungen: Erste Empfehlungen werden nach Pilotierung weiter ausgearbeitet (✓)

NÄCHSTE SCHRITTE

- Validierung der bisherigen Ergebnisse
- Ableitung finaler Handlungsempfehlungen



Übersicht

- I. Verbundprojekt „WaKap“
 - Projekt Übersicht
 - Konzepte
 - Technologien
- II. Bisherige Ergebnisse**
 - Entsalzungsversuche
 - Pilotanlage in Vietnam
 - Modellierung
 - Energiekonzept
 - **Nachhaltigkeitsbewertung**
- III. Diskussion und Ausblick

Nachhaltigkeitsbewertung Zielsetzung und Vorgehen

ZIEL

- Identifikation relevanter Randbedingungen unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Aspekte zur Ermittlung von Grenzen der Einsetzbarkeit und Abschätzung möglicher Auswirkungen der WaKap-Lösungen.
- Beitrag zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf anderen Anwendungsfälle und Regionen im Sinne einer breiten Umsetzung.

VORGEHEN

- Bewertung der Einzelprozesse und des Gesamtsystems
 - unter Berücksichtigung von relevanten Kriterien zur Ökologie, Ökonomie und zu sozialen/gesellschaftlichen Aspekten,
 - sowie technischen und sicherheitsrelevanten Kriterien, da Anforderungen an Trinkwasseraufbereitung sehr hoch sind.

Nachhaltigkeitsbewertung Stand und nächste Schritte

STAND

- Entwicklung eines angepassten Kriterienkatalogs ✓
- Datensammlung (Recherche vor Ort, Interviews) und Überprüfung der Daten für die erste Pilotanlage in Chợ Vàm, An Giang (Pagoda)
 - Technische, sicherheitsrelevante und ökonomische Daten ✓
 - Soziale und ökologische Daten (laufend, teilweise ✓)
- Abgleich der Bewertungskriterien und -ergebnissen mit den Zielsetzungen der Sustainable Development Goals (SDG) (laufend)

NÄCHSTE SCHRITTE

- Validierung der bisherigen Ergebnisse
- Anpassung und ggf. Erweiterung des Kriterienkatalogs für weitere Pilotanlagen
- Datenerhebung an den weiteren Standorten und Bewertungsdurchführung
- Ableitung von Optimierungsmöglichkeiten sowie Aufzeigen der für eine Übertragbarkeit auf andere Anwendungsfälle relevanten Randbedingungen



Übersicht

- I. Verbundprojekt „WaKap“
 - Projekt Übersicht
 - Konzepte
 - Technologien

- II. Bisherige Ergebnisse
 - Entsalzungsversuche
 - Pilotanlage in Vietnam
 - Modellierung
 - Energiekonzept
 - Nachhaltigkeitsbewertung

- III. Diskussion und Ausblick



Zusammenfassung

- Gute Arsenentfernung mit 1. Pilotanlage in Vietnam
- Kein Arsen-haltiger Abfall wird produziert
- Up-Scale Versuche zeigen das Potential der CDI
- Erste Simulationswerte zum Rückhalt eines CDI-Moduls

Ausblick (1/2)

- 2. Pilotanlage zur in-Situ Behandlung + MCDI-Einsatz (im Aufbau)
 - Höhere TDS-Konzentrationen ($> 1,5$ g/l)
 - Höhere Kapazität (ca. 10 m³/Tag)
 - Mit regenerativen Energiemodul



Ausblick (2/2)

- 3. Pilotanlage zur Meerwasserentsalzung (Ende 2018)
- Modellierung: Kombination von
 - Massentransportmodell (Spacer)
 - Donnanmodell (Poren)
 - Energiegleichung (RC-Modell des Gesamtsystems)



Abbildungen: 2. Pilotstandort

Fotos: Edgardo Canas-Kurz



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

17.04.2018



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Literatur

- [1] Amini, Manouchehr; Abbaspour, Karim C.; Berg, Michael; Winkel, Lenny; Hug, Stephan J.; Hoehn, Eduard et al. (2008): Statistical modeling of global geogenic arsenic contamination in groundwater. In: *Environmental science & technology* 42 (10), S. 3669–3675.
- [2] British Association of Dermatology (BAD) (1888): The British journal of dermatology: London H.K. Lewis.
<https://archive.org/stream/britishjournalof32brit/britishjournalof32brit#page/n217/mode/1up>
- [3] Fan, Chen-Shiuan; Liou, Sofia Ya Hsuan; Hou, Chia-Hung (2017): Capacitive deionization of arsenic-contaminated groundwater in a single-pass mode. In: *Chemosphere* 184, S. 924–931
- [4] Ghaffour, N.; Missimer, T.M.; Amy, G.L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, pp. 197-207
- [5] Green, Timothy R.; Taniguchi, Makoto; Kooi, Henk; Gurdak, Jason J.; Allen, Diana M.; Hiscock, Kevin M. et al. (2011): Beneath the surface of global change. Impacts of climate change on groundwater. In: *Journal of Hydrology* 405 (3-4), S. 532–560.
- [6] IPCC (2015): AR5 Synthesis Report - Climate Change 2014. Online verfügbar unter http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf, zuletzt geprüft am 2015.
- [7] James, Katherine A.; Meliker, Jaymie R.; Nriagu, Jerome O. (2017): Arsenic. In: Katherine James, Jaymie Meliker und Jerome Nriagu (Hg.): *International Encyclopedia of Public Health*: Elsevier, S. 170–175.
- [8] Merola, R. B.; Hien, T. T.; Quyen, D. T. T.; Vengosh, A. (2015): Arsenic exposure to drinking water in the Mekong Delta. In: *The Science of the total environment* 511, S. 544–552.
- [9] Sarkar, Arpan; Paul, Biswajit (2016): The global menace of arsenic and its conventional remediation - A critical review. In: *Chemosphere* 158, S. 37–49.
- [10] Zhao, R.; Porada, S.; Biesheuvel, P. M.; van der Wal, A. (2013): Energy consumption in membrane capacitive deionization for different water recoveries and flow rates, and comparison with reverse osmosis. In: *Desalination* 330, S. 35–41



Danksagung

WaKap wird vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 02WAV1413A finanziert

Fördermaßnahme:

"Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (**WavE**)"

Mehr Informationen über das Projekt unter

www.wakap.de

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

WaKap
Ein Projekt zur Wasseraufbereitung mittels Kapazitiver Deionisierung

Aktuelles Projekt Partner Pressemitteilungen Bilder Kontakt Englisch Tiếng Việt

BEARBEITEN

Nachhaltige Wasserversorgung: Wasserentsalzung mittels Kapazitiver Deionisierung „WaKap“

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

NaWaM WavE

FKZ: 02WAV1413A

Impressionen

Das Verbundprojekt „Modulares Konzept zur Wasserentsalzung mittels Kapazitiver Entionisierung am Beispiel Vietnam – WaKap“ ist ein Projekt der BMBF-Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)“ im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes „Nachhaltiges Wassermanagement – NaWaM“ unter der Projekttürgerschaft des PTKA.

WaKap wird im Zeitraum vom 01.09.2016 bis zum 30.08.2019 unter dem Förderkennzeichen 02WAV1413A gefördert.