

# Modulares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung mittels Kapazitiver Deionisierung – am Beispiel Vietnam: „WaKap“

## Der Hintergrund

- Bis 2025 werden etwa 1,8 Milliarden Menschen an Wasserarmut leiden.
- Die Wasserversorgung in Ländern in Südostasien wie z. B. Myanmar, Kambodscha und Vietnam ist durch stark ansteigende Bevölkerungszahlen und den Klimawandel bedroht.
- Da Meerwasser in viele küstennahe Regionen eindringt, weist dort das Grundwasser einen hohen Salzgehalt auf.
- Zudem weisen Grundwasserquellen z. T. hohe Konzentrationen von Arsen auf, das aus natürlichen Sedimentgesteinen ausgewaschen wird.

## Die Lösung

- Die Entwicklung eines innovativen und energieeffizienten modularen Systems zur Entsalzung und Arsenentfernung von Grund-, Meer- und Brackwasser.
- Für arsenhaltiges Grundwasser ist zuvor eine In-Situ-Behandlung vorgesehen: Arsen und andere für die CDI problematische Stoffe werden im Rahmen einer unterirdischen Enteisenung/Entmanganung entfernt.
- Durch die Kombination von Kapazitiver Deionisierung (Capacitive Deionisation, CDI) und Umkehrosmose soll im Vergleich zu bestehenden Entsalzungsverfahren der Energieverbrauch deutlich reduziert und die Trinkwasser- ausbeute erhöht werden.

## Die Innovation

Der gesamte modulare Prozess soll durch die Nutzung regenerativer Energiequellen wie Sonne und Wind nachhaltig betrieben werden. Für den Betrieb des CDI Moduls ist Photovoltaik ideal geeignet, da hierbei die erzeugte elektrische Energie direkt zur Entsalzung verwendet werden kann.

## Das Verfahrenskonzept

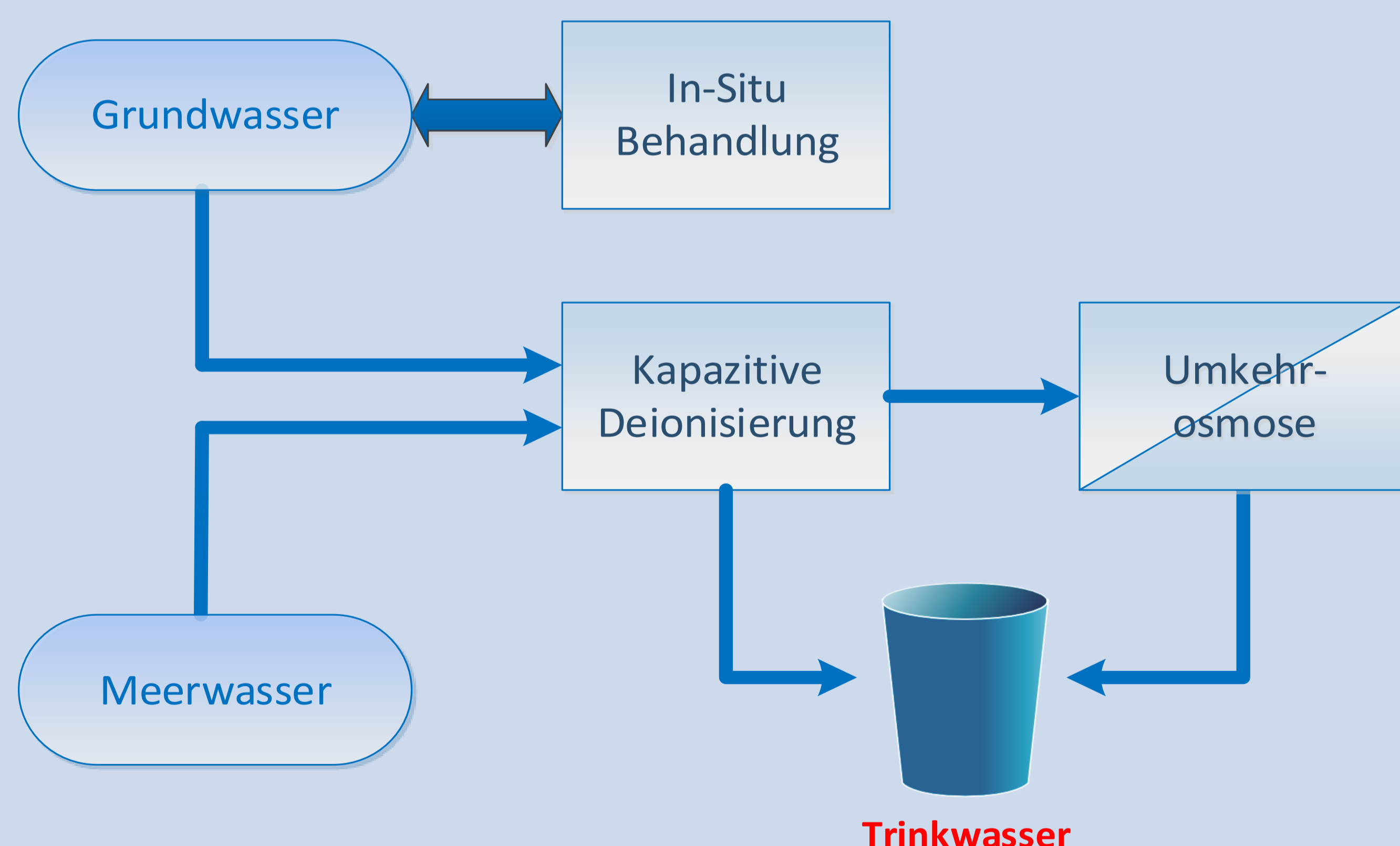


Abb. 1. Schematische Darstellung des modularen Konzeptes

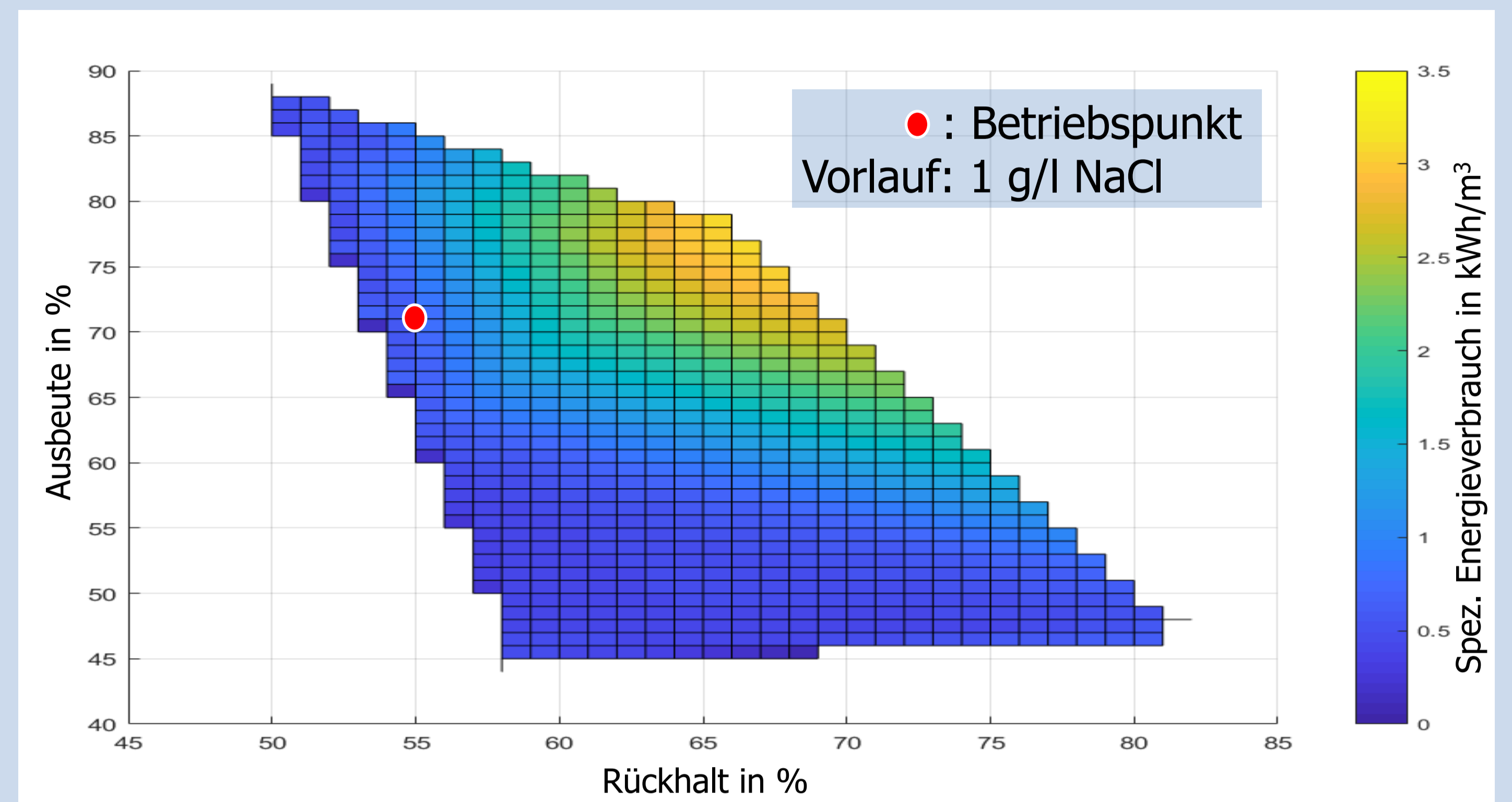
Die Anlage wird für die Aufbereitung von Grund-, Brack- und Meerwasser konzipiert:

**Grund- und Brackwasseraufbereitung:** CDI Prozess mit In-Situ Aufbereitung von arsenhaltigem Grundwasser.

**Meerwasserentsalzung:** CDI/UO Kombinationsprozess.

## Bisherige Ergebnisse

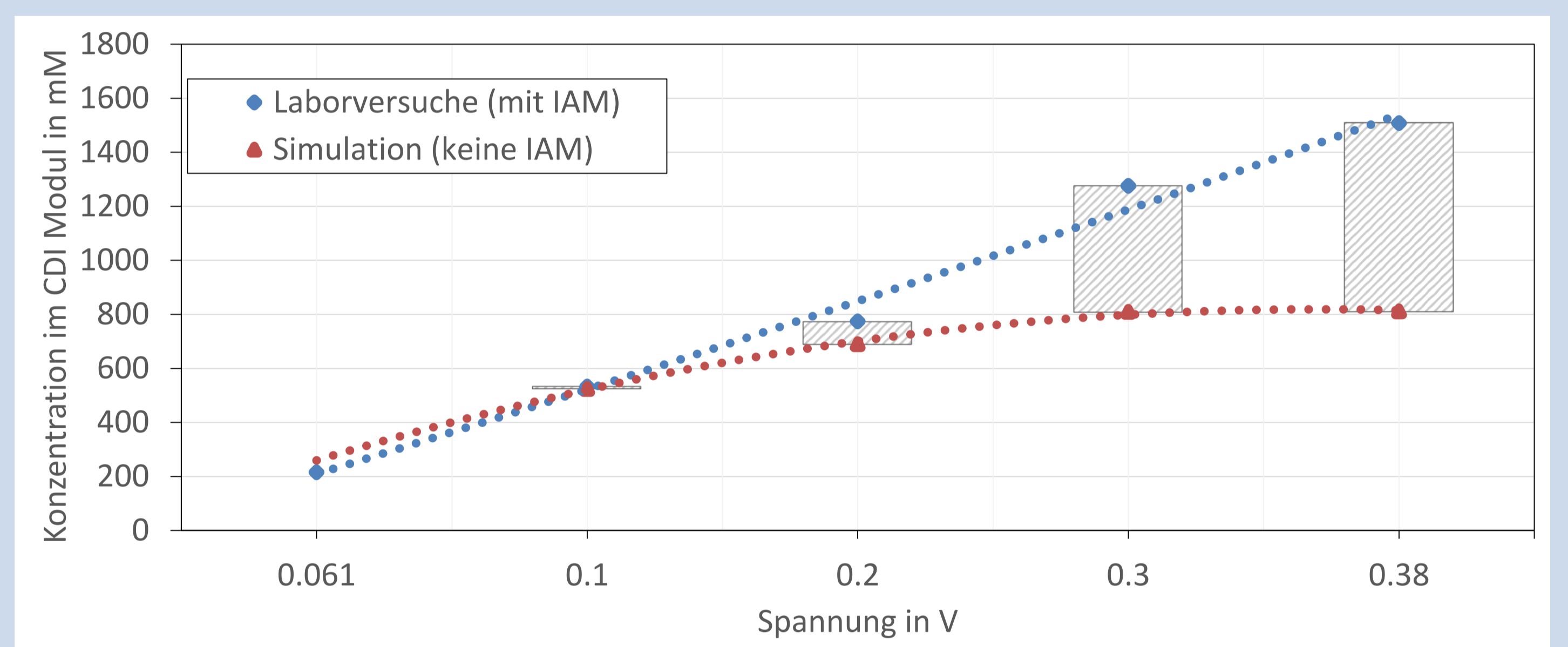
### Entsalzungsversuche CDI



- Spezifischer Energieverbrauch = 0.6 kWh/m<sup>3</sup>
- 55 % Entfernung – 71% Ausbeute  
→ Entsalzung auf NaCl < 450 mg/l  
→ 1 m<sup>3</sup>/Tag erzeugtes Diluat

### Modellierung der CDI

Migration, Diffusion, Konvektion	Spannungsverteilung über Spacer
Nernst-Planck Gleichung	Poisson Gleichung



## 1. Pilotierung zur Grundwasseraufbereitung mittels In-Situ Behandlung



Abb. 2. Pilotanlage zur In-Situ Behandlung

- Arsen und Eisen können bis unter die Trinkwassergrenze entfernt werden.
- Mn-Entfernung benötigt viel Zeit. Der mikrobiologische Prozess ist langsamer.

- Eisen fällt nach wenigen Tagen gegen Null
- As-Konzentration nach 15 Tagen unterhalb der WHO Grenze von 10 µg/l
- Trinkwasserqualität noch nicht erreicht: [Mn<sup>2+</sup>] > 0,3 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

## Kontaktinformation

Verbundkoordinator ist die Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis, [jan.hoinkis@hs-karlsruhe.de](mailto:jan.hoinkis@hs-karlsruhe.de)

## Partner:

# Modulares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung mittels Kapazitiver Deionisierung – am Beispiel Vietnam

Dr. Inga Boie, Claudia Hohmann, Dr. Frank Marscheider-Weidemann, Dr. Felix Tettenborn, Fraunhofer ISI  
Competence Center Energiepolitik und Energiemärkte und Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme

## ENERGIEKONZEPT ZUM AUTARKEN BETRIEB DES KOMBINATIONSPROZESSES MITTELS REGENERATIVER ENERGIEQUELLEN

### Hintergrund

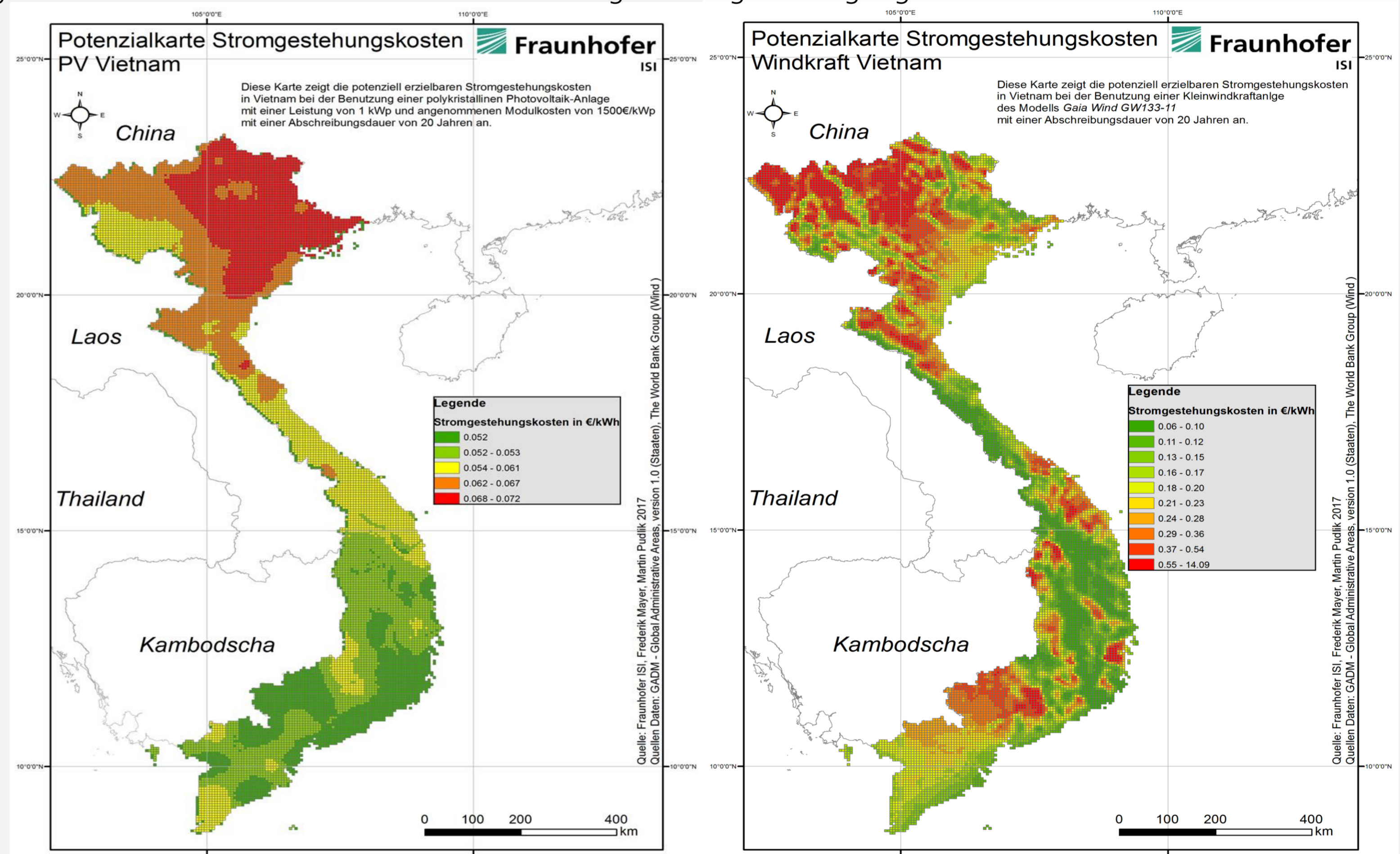
- Weltweit steigende Bedeutung von Wasseraufbereitung und Wasserentsalzung zur Bereitstellung von Trinkwasser und Brauchwasser. Gleichzeitig steigender Energiebedarf für damit verbundenen Prozesse.
- Häufig keine oder nur unzuverlässige Anbindung an das öffentliche Stromnetz mit regelmäßigen Stromausfällen in ländlichen Gebieten.
- Autarke Energieversorgung erfolgt häufig über Dieselgeneratoren. Führt zu höherem Schadstoffausstoß und oftmals Boden- und Gewässerverunreinigungen.
- Umweltschonendere und nachhaltigere Energieversorgung von Wasseraufbereitungsanlagen kann auf Basis von erneuerbaren Energiequellen realisiert werden.
- Solar- und Windenergie als gängigste Erzeugungstechnologien für Kombination mit kleinen bis mittelgroßen Wasseraufbereitungsanlagen (Mathioulakis et al. 2007; Charcosset 2009; Tzen & Morris 2003; IRENA 2012; Papapetrou et al. 2010).
- Untersuchung alternativer Wasseraufbereitungsanlagen in Vietnam auf Basis erneuerbarer Energiequellen im Rahmen des WaKap-Projekts.

### Vorgehen

- Räumlich differenzierte Analyse der Potenziale für Solarenergie (PV) und Kleinwindkraftanlagen (KWA) und Abschätzung der resultierenden Stromgestehungskosten.
- Analyse des Energiesystems und der Rahmenbedingungen für den Einsatz von erneuerbaren Energien.
- Abgleich mit den technischen Anforderungen der Wasseraufbereitungsanlagen.

### Ergebnisse

- Umfangreiche und kostengünstige Potenziale für Erzeugung von Strom mit PV-Anlagen insbesondere im Süden Vietnams. Stromgestehungskosten von ca. 5 Cent€/KWh möglich. Für KWA aufgrund höherer spezifischer Investitionen und geringerer Potenziale höhere Erzeugungskosten von 10 bis > 55 Cent€/KWh (siehe Abbildung).
- Strompreise liegen umgerechnet zwischen 3 und 11 Cent€/KWh (je nach Verbrauchssegment). Speziell subventionierte Tarife von 3 bis 7 Cent€/KWh für Bewässerungspumpen (MOIT 2013).
- Energieversorgung von Wasseraufbereitungsanlagen mittels PV-Modulen oder KWA grundsätzlich möglich, derzeit im Vergleich zu den regulierten Strompreisen nicht rentabel.
- Finanzielle Förderung und Abbau von Subventionen nötig, um diese Systeme zu etablieren.
- Ersatz weit verbreiteter Dieselgeneratoren zum Betrieb von Bewässerungspumpen durch PV-Anlagen durch gezielte Politikmaßnahmen sinnvoll für nachhaltigere Energieversorgung.



Ergebnis der Potenzialanalyse: Stromgestehungskosten für PV (links) und Kleinwindkraftanlagen (rechts)

## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG

### Ziele

- 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 andere Anwendungsfälle und Regionen im Sinne einer breiten Umsetzung.

### Vorgehen

- Entwicklung eines angepassten Kriterienkatalogs.
- Abgleich der Bewertungskriterien und -ergebnissen mit den Zielsetzungen der Sustainable Development Goals (SDG).
- Datenerhebung (inkl. Recherche vor Ort und Interviews) sowie Überprüfung der Daten.
- Validierung der Ergebnisse und Anpassung sowie ggf. Erweiterung des Kriterienkatalogs für weitere Bewertungsfälle.
- Bewertung der Einzelprozesse und des Gesamtsystems.
- Ableitung von Optimierungsmöglichkeiten sowie Aufzeigen der für eine Übertragbarkeit auf andere Anwendungsfälle relevanten Randbedingungen.

### Kriterien für eine multikriterielle Bewertung von Trinkwasseraufbereitungsanlagen

Ökologische Kriterien	Sicherheitsrelevante Kriterien	Ökonomische Kriterien	Soziale Kriterien	Technische Kriterien
Ökotoxische Stoffe/Wasser	Verkeimung/Hygiene	(Netto) Kosten	Bequemlichkeit	Trinkwassermenge/-qualität
Emission Treibhausgase	Geruch/Trübung	Flexibilität, Systemwechselbereitschaft	Wirtschaftliche Belastung	Störungsanfälligkeit
Ressourcenverbrauch		Profitabilität/Wirtschaftlichkeit	Belästigung	Auswirkungen bei Versagen
Energieeffizienz		Beschäftigung	Soziale Akzeptanz	Flexibilität bzgl. Rahmenbedingungen
Flächenverbrauch		Betriebs-/Instandhaltungskosten	Flächen- und Ressourcennutzung	Abhängigkeit von anderen Infrastrukturen
Entstehung von Abfällen			Politische Legitimierung	Lebensdauer & Möglichkeiten zur Instandhaltung
Wasserfußabdruck			Erschwinglichkeit	Versorgungssicherheit
			Gleichberechtigung zwischen sozioök. Gruppierungen	Sicherheit der Konstruktion
			Mitbestimmung, Technologietransfer	Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel

basierend auf Kaltschmitt und Schebek 2015; Nyga et al. 2016; Lüninck et al. 2014; Willetts et al. 2013; van Leeuwen et al. 2012

### Literatur

- Charcosset, C. 2009. A review of membrane processes and renewable energies for desalination. Desalination (245): 214–231.
- IRENA 2012. International Renewable Energy Agency. Water Desalination Using Renewable Energy - Technology Brief.
- Kaltschmitt, M.; Schebeck, L. (2015): Umweltbewertung für Ingenieure. Methoden und Verfahren. Heidelberg: Springer Verlag.
- Lüninck, B. Frh. v.; Berg, L.; Hirzel, S.; Tettenborn, F. (2014): Sustainability Assessment of Hydropower Plants: A Review of Applications and Methods. Conference proceedings of International Conference on Operations Research September 2-5, 2014, Aachen, Germany.
- Mathioulakis, E., Belessiotis, V., Delyannis, E. 2007. Desalination by using alternative energy. Review and state-of-the-art. Desalination 203 (1-3): 346–365.
- MOIT 2013. The Ministry of Industry and Trade (MOIT). Circular No. 19/2013/TT-BCT "Circular promulgating the electricity selling price and guidance on the implementation, Ha Noi, July 31, 2013.

- Nyga, I.; Sartorius, C.; Léval, P. (2016): Multikriterielle Bewertung, twist Transitionswege Wasserinfrastruktursysteme, zuletzt geprüft am 09.02.2017.
- Papapetrou, M., Wieghaus, M., Biercamp, C. (2010). Roadmap for the Development of Desalination Powered by Renewable Energy. Fraunhofer Verlag
- Tzen, E. & Morris, R. 2003. Renewable energy sources for desalination. Solar Energy 75 (5): 375–379.
- Willetts, J.; Paddon, M.; Nam, Nguyen Dinh Giang; Trung, Nguyen Hieu; Carrard, N. (2013): Sustainability assessment of sanitation options in Vietnam. Planning with the future in mind. In: Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development 3 (2), S. 262–268.
- van Leeuwen, C. J.; Dan, N. P.; Dieperink, C. (2016): The challenges of water governance in Ho Chi Minh City. In: Integrated environmental assessment and management 12 (2), S. 345–352. DOI: 10.1002/ieam.1664.

### Ansprechpartner

Felix Tettenborn (felix.tettenborn@isi.fraunhofer.de)  
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI  
www.isi.fraunhofer.de

### Projektkoordination



### Partner



GEFÖRDERT VOM

