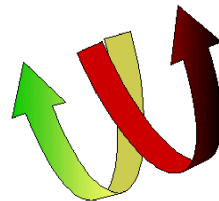


**WASSERVERFÜGBARKEIT SOWIE ÖKOLOGISCHE, KLIMATISCHE UND
SOZIOÖKONOMISCHE WECHSELWIRKUNGEN IM SEMIARIDEN
NORDOSTEN BRASILIENS**



WAVES

**Verbundprojekt WAVES
Statusbericht der ersten Hauptphase**

**Fachbereich Wasser
Arbeitsgruppe Großskalige Wassermanagementmodellierung**

Zuwendungsempfänger: Universität Gesamthochschule Kassel

Projektleiter: Prof. Dr. Joseph Alcamo und Dr. Petra Döll

Förderkennzeichen: 01 LK 9705

Vorhabenbezeichnung: Modellierung von Wasserbedarf und Wasserversorgung als Grundlage des Wassermanagements in Piauí und Ceará im Verbundprojekt WAVES

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.1997 - 31.07.2000

Berichtszeitraum: 01.08.1997 - 31.12.1999

Bearbeitung: Dr. Petra Döll
Dipl.-Geoökol. Maike Hauschild

Kassel, den 1. Februar 2000
Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung (WZ III)
Universität Gesamthochschule Kassel, Kurt-Wolters-Str. 3, 34109 Kassel

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung / Summary	1
2 Stand des Vorhabens	2
2.1 Ziele des Teilprojekts	2
2.2 Methodisches Vorgehen	2
2.2.1 Wassernutzungs- und Wassermanagementmodell NoWUM	2
2.2.2 Wassernutzungsszenarien für das Jahr 2025	4
2.2.3 Quantitative Indikatoren zur Beschreibung der zukünftigen Situation.....	5
2.2.3.1 Wasserknappheitsindex	5
2.2.3.2 Stickstoffeintrag durch häusliche Abwässer	5
2.3 Ergebnisse	5
2.3.1 Wassermanagement in Ceará und Piauí.....	5
2.3.1.1 Gesetzliche und institutionelle Grundlagen.....	5
2.3.1.2 Planungsziele	6
2.3.2 Ist-Zustand der Wassernutzung 1996-1998	7
2.3.2.1 Eingangsdaten	7
2.3.2.2 Ergebnisse der Simulationen.....	9
2.3.3 Wassernutzungsszenarien	12
2.3.3.1 Parametrisierung der Szenarien.....	12
2.3.3.2 Ergebnisse der Simulationen.....	14
2.3.4 Ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren	21
2.3.4.1 Wasserknappheitsindex	21
2.3.4.2 Stickstoffeintrag	22
2.4 Diskussion	23
2.5 Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten und brasilianischen Wissenschaftlern.....	24
2.6 Bibliographie	25
2.6.1 Eigene Publikationen	25
2.6.2 Zitierte Literatur.....	25
3 Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen Planung und Ausblick	27
4 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind	28
5 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten	28
6 Abkürzungen	28

1 Zusammenfassung / Summary

Die AG Großskalige Wassermanagementmodellierung entwickelte das Wassernutzungsmodell NoWUM (**N**ordeste **W**ater **U**se **M**odel), das die Wasserentnahme sowie die konsumptive Wassernutzung in allen 332 Munizipien der brasilianischen Bundesstaaten Piauí und Ceará für die fünf Wassernutzungssektoren Bewässerung, Vieh, Haushalte, Industrie und Tourismus berechnet. NoWUM ist sowohl ein eigenständiges Modell als auch ein Modul des Integrierten Modells SIM. Mit NoWUM wurde erstmalig eine umfassende und konsistente munizipspezifische Zusammenstellung des Ist-Zustands der Wassernutzung in Ceará und Piauí erreicht, die eine unabdingbare Voraussetzung für die Beurteilung der heutigen Wassersituation ist. Des Weiteren ist NoWUM so konzipiert, dass damit anhand von Szenarien der Einfluss des globalen Wandels (Klima, Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt, Preise usw.) auf die Wassernutzung abgeschätzt werden kann. Es wurden verschiedene Wassernutzungsszenarien für das Jahr 2025 entwickelt und simuliert. Eine erste Bewertung der Szenarien unter Nachhaltigkeitsaspekten erfolgte anhand wasserbezogener Indikatoren, die von der AG definiert wurden. Schließlich wurde mit dem Wassernutzungsmodell die Grundlage für ein Wassermanagement in Piauí und Ceará geschaffen, dass sich, um nachhaltig werden zu können, verstärkt dem Management der Wassernutzung zuwenden muss. Die Arbeitsergebnisse können Teil der bundesstaatlichen Wasserinformationssysteme werden, die beide Bundesstaaten früher oder später entsprechend dem brasilianischen Wassergesetz einrichten werden. Ein Transfer der Arbeitsergebnisse wurde bereits während der Reisen im Untersuchungsgebiet durch Kontakte mit zahlreichen Planungsorganisationen sowie Universitäten vorbereitet.

Aufbauend auf NoWUM und dem hydrologischen Modell der AG Großskalige Hydrologische Modellierung kann in Zukunft — unter Berücksichtigung von Wasserqualitäts- und Kostenaspekten — mit Hilfe des integrierten Modells SIM eine Modellierung des Wassermanagements erfolgen. Damit die modellierten Wassermanagementszenarien die Regionalplanung der Bundesstaaten unterstützen können, sollte die Erstellung und Bewertung der Szenarien in enger Kooperation mit dortigen Planungsinstitutionen erfolgen.

The working group Large-Scale Water Management Modeling developed the water use model NoWUM (**N**ordeste **W**ater **U**se **M**odel), which computes water withdrawal and consumptive water use in the 332 municipalities of the Brazilian federal states Piauí and Ceará. The water use sectors irrigation, livestock, households, industry and tourism are differentiated by the model. NoWUM is both a stand-alone model and a module of the integrated model SIM. With NoWUM, a comprehensive and consistent municipality-specific compilation of water use in Piauí and Ceará was achieved for the first time, such a compilation being the necessary prerequisite for an assessment of the current water situation. Besides, NoWUM is designed such that the impact of global change (climate, population, gross domestic product, prices, etc.) on water use can be estimated with the help of scenarios. A first scenario evaluation under sustainability aspects was performed applying water-related indicators developed by our working group. Finally, with the water use model, we created the basis for a water management in Piauí and Ceará that, in order to become sustainable, must be more strongly directed towards the management of water use. Our results can become part of water information systems that, obeying the federal water law, both states are likely to establish. The transfer of the results of our working group has already been prepared by contacts with various planning organizations and universities in Piauí and Ceará.

Based on NoWUM and the hydrological model of the working group Large-Scale Hydrological Modeling, and taking into account water quality and cost aspects, modeling of the water mana-

gement in Piauí and Ceará can be performed in the future by using the integrated model SIM. In order to achieve that the modeled water management scenarios support the regional planning of the two federal states, scenario development and evaluation should be done in close cooperation with state planning organizations.

2 Stand des Vorhabens

2.1 Ziele des Teilprojekts

Ziele des Teilprojekts sind,

- Informationen zur Wassernutzung und zum Wassermanagement in den brasilianischen Bundesstaaten Piauí und Ceará zusammenzutragen, zu analysieren und zu integrieren,
- ein großskaliges Wassernutzungsmodell zu erstellen (räumliche Auflösung: Municipien), das als Teilmodul des integrierten Modells zur Modellierung von Wassermanagement genutzt werden kann,
- unter Verwendung des Wassernutzungsmodells und in Kooperation mit anderen Teilprojekten Wassernutzungs- bzw. Wassermanagementszenarien zu erstellen, anhand derer die Nachhaltigkeit wasserwirtschaftlicher Maßnahmen beurteilt werden kann.

2.2 Methodisches Vorgehen

2.2.1 Wassernutzungs- und Wassermanagementmodell NoWUM

Das Wassernutzungsmodell NoWUM (**N**ordeste **W**ater **U**se **M**odel) berechnet die Wasserentnahme und die konsumptive Wassernutzung in Municipien. Unter "Wasserentnahme" versteht man die von ihrem natürlichen Ort entnommene und unter "konsumptive Wassernutzung" die durch Verdunstung verlorengene Wassermenge. Zur Einschätzung von Wasserknappheit ist hingegen am besten der Wasserverbrauch geeignet. Dies ist die Wassermenge, die nach Gebrauch nicht mehr von einem anderen Nutzer genutzt werden kann, sei es durch Evapotranspiration, Verschmutzung sowie Transport in Senken (z.B. saline Grundwässer) hinein. Der Wasserverbrauch ist größer als die konsumptive Wassernutzung, aber kleiner als die gesamte Wasserentnahme. Wegen fehlender Informationen über Wasserqualität wird der Wasserverbrauch in der vorliegenden Modellversion nicht berechnet. Innerhalb von NoWUM werden folgende fünf Wassernutzungssektoren unterschieden: Bewässerung, landwirtschaftlicher Viehbestand, Haushalte, Industrie und Tourismus. Im folgenden wird NoWUM kurz beschrieben; eine detailliertere Darstellung bietet die Modellbeschreibung zu NoWUM Version 1 im Hyper-WAVES (Hauschild und Döll, 1999).

Bewässerung: Die konsumptive Wassernutzung der Bewässerung wird nach der CROPWAT-Methode (FAO, 1992) berechnet. Der anbaufruchtspezifische Netto-Bewässerungswasserbedarf I_c innerhalb einer Wachstumsperiode pro Munizip m berechnet sich wie folgt:

$$I_c = \sum_{i=1}^n K_{c,i} E_{p,i} - P_{eff,i} \quad (1)$$

i : 10-Tages-Zeitschritt

n : Anzahl der Zeitschritte in der Wachstumsperiode (anbaufruchtspezifisch)

K_c : Pflanzenkoeffizient (anbaufruchtspezifisch) [-]

E_p : Potentielle Evapotranspiration [mm/d]

P_{eff} : Effektiver Niederschlag [mm/d]

I_c multipliziert mit der Bewässerungsfläche der einzelnen Anbaufrucht ergibt die konsumptive Wassernutzung dieser Anbaufrucht im Munizip m . Die Summe der Wassernutzungen aller neun in NoWUM berücksichtigten Fruchtclassen (Banane, Bohne, Baumwolle, Obstbaum, Gras, Mais, Reis, Zuckerrohr und Gemüse) bildet die konsumptive Wassernutzung im Munizip m . Die Pflanzenkoeffizienten und Länge der Wachstumsphasen wurden von der FAO (1992) übernommen, das Pflanzdatum pro Frucht wurde aus Bewirtschaftungsplänen der DNOCS-Bewässerungsprojekte 1994-96 und dem Agrarzensus (IBGE 1998a, 1998b) abgeschätzt.

Zur Bilanzierung des Ist-Zustands wurde die bewässerte Fläche pro Feldfrucht pro Munizip (Feldfruchtmix) für Ceará aus dem Bewässerungskataster der COGERH und dem Kataster der SRH für Bewässerungslizenzen (Stand 1998) entnommen. Für Piauí wurden die entsprechenden Flächen 1996 aus dem Agrarzensus (IBGE, 1998b) zugrunde gelegt und die prozentuale Verteilung der Feldfrüchte pro Munizip übernommen. Die Gesamtbewässerungsfläche wurde auf 13170 ha herunterskaliert, da die im Agrarzensus angegebene Fläche von 18148 ha piauiensischen Experten deutlich überschätzt erscheint. Die vorgenommene Skalierung stützt sich auf brasilianisches Expertenwissen. Dazu wurde die Größe der Bewässerungsflächen in den marknahen Munizipen Floriano, Miguel Alves, Oeiras, Parnaíba, Picos, Piripiri, São Raimundo Nonato, Teresina, und União beibehalten (insgesamt 8628 ha) und die aller anderen Munizipen um Faktor 3 reduziert. Die Größe der Bewässerungsfläche und Zusammensetzung des Feldfruchtmix pro Munizip für die Zukunftsszenarien im Jahr 2025 wurden in den Wassernutzungsszenarien definiert (Beschreibung siehe Tab. 4).

Vieh: Die Wasserentnahme für den landwirtschaftlichen Viehbestand errechnet NoWUM pro Munizip als Summe der Anzahl der Tiere pro Tierspezies multipliziert mit dem artspezifischen Wasserverbrauch in Nordostbrasilien (EMPRAPA-CPATSA/SUDENE, 1984).

Haushalte: Die Wasserentnahme der Haushalte berechnet sich als Produkt der Bevölkerung und der Wassernutzung pro Person. Dabei differenziert NoWUM pro Munizip die ans öffentliche Wasserversorgungsnetz angeschlossene und die selbstversorgte Bevölkerung. Der Ist-Zustand der Wassernutzung der angeschlossenen Bevölkerung im Jahr 1997 wurde munizipspezifisch aus Monatsdaten der Anzahl der angeschlossenen Haushalte und der gelieferten Wassermengen ermittelt. Der zukünftige Pro-Kopf-Verbrauch der angeschlossenen Bevölkerung V wird als Funktion des Wasserpreises und des mittleren Einkommens (Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt) munizipspezifisch wie folgt berechnet:

$$V_{j+1} = \left[\left(\varepsilon_{Preis,j+1} * r_{Preis,j+1} + \varepsilon_{Einkommen,j+1} * r_{Einkommen,j+1} \right) + 1 \right] * V_j \quad (2)$$

j : Jahr

ε_{Preis} : Preiselastizität im Jahr $j+1$

r_{Preis} : Preissteigerungsrate im Jahr $j+1$

$\varepsilon_{Einkommen}$: Einkommenselastizität im Jahr $j+1$

r_{Preis} : Änderungsrate des Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukts im Jahr $j+1$

Dabei wird der Einfluss des technologischen Wandels implizit über die Preiselastizität berücksichtigt. Für die selbstversorgte Bevölkerung wird jeweils eine konstante Wasserentnahme von 50 l/p-d angenommen. Diesen Wert definiert Gleick (1996) als menschlichen Grundbedarf.

Industrie: Zur Abschätzung der Größenordnung der Industriewassernutzung wird diese auf zwei verschiedene Arten berechnet. Option 1 stellt die beste Abschätzung der industriellen Wassernutzung durch Addition aller verfügbarer Daten zur industriellen Wassernutzung 1998 dar:

- a) Industriewasser, welches die Wasserwerke AGESPISA (1998) und CAGECE (1998) über das öffentliche Netz abgeben,
- b) Rohwasser, das die COGERH (1998) an industrielle Großabnehmer liefert und

c) industrielle Eigenversorgung durch eigene Brunnen und Stauseen, abgeschätzt nach Marwell Filho (1995).

Die so ermittelte Wassernutzung wird mit dem industriellen Bruttoinlandsprodukt (IBIP) des Ist-Zustands in Beziehung gesetzt, so dass die Wassernutzungsintensität der Industrie als Wassermenge pro IBIP ausgedrückt wird.

Die zweite Methode berücksichtigt den Industriemix von 19 verschiedenen Industriezweigen, deren jeweilige Wasserentnahme das Produkt aus IBIP und der Wassernutzungsintensität [$\text{m}^3/1000 \text{ US\$}$] pro Industriezweig ist. Die Wassernutzung pro Industriezweig wurde aus deutschen industriezweigspezifischen Zahlen des in Betrieben eingesetzten Wassers und des IPIBs pro Industriezweig ermittelt. Option 1 beschreibt die Mindestnutzung, Option 2 die maximale Nutzung im jeweiligen Munizip.

Ähnlich wie der Pro-Kopf-Verbrauch in den Haushalten berechnet sich die zukünftige industrielle Wassernutzungsintensität eines Munizips für Option 1 und 2 in Abhängigkeit vom Vorjahresvolumen, der jährlichen Preisänderung und Preiselastizität (siehe Formel 2). Der die zukünftige industrielle Wasserentnahme beeinflussende technologische Wandel wird in NoWUM über die Preiselastizität berücksichtigt. Ein struktureller Wandel der Industrie kann durch Änderung des Industriemixes abgebildet werden (Option 2).

Tourismus: Die munizipspezifische Wassernutzung des Tourismus errechnet sich als Produkt der Anzahl der Touristen, ihrer Aufenthaltsdauer und der Wasserentnahme pro Tourist, die von 100 l/p/d für Pilger, über 300 l/p/d für Touristen im Interior bis zu 500 l/p/d für Touristen an der Küste (Stephenson, 1998) variiert.

Die Wasserentnahme multipliziert mit der sektorspezifischen Wassernutzungseffizienz ergibt die konsumptive Wassernutzung eines Sektors. Bislang rechnet NoWUM mit konstanten Effizienzen pro Sektor: 0,6 für den Bewässerungs-, 1,0 für den Tier- und 0,2 für den häuslichen, industriellen und touristischen Wasserbedarf (USGS, 1998). Eine lokalspezifischere Unterscheidung vor allem für die Wassernutzung durch Bewässerung und Haushalte ist wünschenswert, doch wegen fehlender Daten nicht realisiert. In der Zukunft für das Jahr 2025 wird eine erhöhte Bewässerungseffizienz von 0,7 verwendet, die den technologischen Wandel ausdrückt, da für die Bewässerung keine Preissteuerung in NoWUM berücksichtigt wird.

Die Berechnungen werden für alle Munizipien Cearás und Piauís in der für WAVES festgelegten Munizipienaufteilung für das Referenzjahr 1996 durchgeführt. Dabei besteht der Staat Ceará aus 184 und Piauí aus 148 Munizipien. NoWUM berechnet Monatswerte der Wasserentnahme und der konsumptiven Wassernutzung für alle Sektoren in jedem der 332 Munizipien.

2.2.2 Wassernutzungsszenarien für das Jahr 2025

Es wurden verschiedene Szenarien der Wassernutzung im Jahr 2025 berechnet, zwei Referenzszenarien sowie ein Interventionsszenario, in dem ein erhöhter Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung simuliert wird. Die Wassernutzungsszenarien sind eingebunden in die WAVES-Referenzszenarien (RS) A und B, die ausführlich im Kapitel 7, Band I des Statusberichts beschrieben sind. Dort findet sich auch eine Karte (Abb. 1, Kapitel 7, Band I) der acht Szenarioregionen, Teresina Großraum Fortaleza, Küstenregion, Süden von Piauí, Gebiete mit großen potentiellen Wasserressourcen in Piauí und Ceará sowie Gebiete mit geringen potentiellen Wasserressourcen in Piauí und Ceará. Über die in Kapitel 7, Band I beschriebenen Szenarios der treibenden Kräfte hinaus mussten Szenarien von wassernutzungsspezifischen treibenden Kräften definiert werden sowie Szenarioparameter abgeschätzt werden (siehe Kap. 2.3.3.1 Parametrisierung der Szenarien).

2.2.3 Quantitative Indikatoren zur Beschreibung der zukünftigen Situation

Indikatoren beschreiben quantitativ den Zustand eines Systems und sind daher auch geeignet, Zustandsänderungen anzuzeigen. Sie sind die Grundlage für eine Situationsbewertung und deswegen für politische Entscheidungen sowie deren Bewertung notwendig. Hier wird eine Auswahl der wasserbezogenen Indikatoren beschrieben, die innerhalb dieses Berichts unter Ergebnissen dargestellt sind. Sie wurden für alle 332 Munizipien berechnet und ermöglichen eine Beurteilung des Systems im Hinblick auf Lebensqualität und Nachhaltigkeit.

2.2.3.1 Wasserknappheitsindex

Als Index für Wasserknappheit wird der Quotient der Gesamtwasserentnahme und der mittleren langjährigen Wasserverfügbarkeit in jedem Munizip pro Zeiteinheit (Jahr, Monat) definiert. Wasserverfügbarkeit im Munizip meint hier die Wasserverfügbarkeit eines Munizips inklusive der Zuleitung aus höher gelegenen Munizipien über das Gewässernetz, abzüglich der konsumptiven Wassernutzung aller oberstrom gelegenen Munizipien:

$$Index_Wasserknappheit_i = \frac{Gesamtwasserentnahme_i}{Abfluss_i - \sum_1^n konsumptiveGesamtnutzung_j} \quad (3)$$

- i: Munizip, für das Index der Wasserknappheit berechnet wird
j: Munizip, welches oberstrom von Munizip i liegt
n: Gesamtzahl aller Munizipien, die oberstrom von Munizip i liegen

Ein Schwellenwert des Wasserknappheitsindex, ab dem ein kritischer Zustand vorliegt, ist bislang nicht wissenschaftlich abgesichert. Im Rahmen der global angelegten World Water Vision, die zur Zeit von der World Water Commission erstellt wird, wurde vereinbart, dass der kritische Wert (für große Einzugsgebiete) bei 0.4 angesetzt wird.

2.2.3.2 Stickstoffeintrag durch häusliche Abwässer

Zur Beurteilung der Wasserqualität gibt es zahlreiche Indikatoren. Einer davon ist die Belastung der Gewässer durch Stickstoffeintrag aus häuslichen Abwässern. Der Stickstoffeintrag berechnet sich wie folgt:

$$N - Eintrag_i = P_i * k_N * (1 - F_i * w_s) \quad (4)$$

- i: Munizip, für das der Index berechnet wird
P_i: Anzahl Personen im Munizip i
k_N: Einwohnergleichwert für Stickstoff (Eintrag von 15 g N/p/d (de Wit und Schmoll, 1999))
F_i: Anteil geklärten Abwassers
w_s: Wirkungsgrad der Klärstufe (1. Stufe: 15% N weniger, 2. Stufe 30% N weniger)

2.3 Ergebnisse

2.3.1 Wassermanagement in Ceará und Piauí

2.3.1.1 Gesetzliche und institutionelle Grundlagen

Gesetzliche Grundlage des Umganges mit der Ressource Wasser in Brasilien ist das brasilianische Wassergesetz 9.433 vom 8.1.1997. Es enthält folgende Prinzipien: 1) Wasser ist ein öffentliches Gut, 2) Wasser ist eine begrenzte Ressource und hat einen ökonomischen Wert, 3) in Situationen der Wasserknappheit hat die Versorgung von Mensch und Tier Priorität, 4) eine multiple Nutzung des Wassers soll jederzeit durch effektives Wassermanagement gewährleis-

tet werden, 5) Wassermanagement soll dezentralisiert in den jeweiligen Wassereinzugsgebieten unter Partizipation von Fachbehörden, Nutzern und Gemeinden erfolgen. Ziel des Gesetzes ist es, allen einen Zugang zu Wasser zu gewähren und die Qualität und Quantität der Ressource nachhaltig sicherzustellen. Das Bundesgesetz propagiert eine komplementäre Gesetzgebung der einzelnen Bundesstaaten, um regionalen Besonderheiten gerecht zu werden. Während in Piauí derzeit dem Parlament der Gesetzesentwurf für ein bundesstaatliches Gesetz zur Abstimmung vorliegt, hat der Staat Ceará bereits seit 1992 ein eigenes Wassergesetz. Die Exekutive ist in Piauí noch im Aufbau begriffen. In Ceará hingegen koordiniert das Wassermministerium SRH¹ bereits ein Netz von Institutionen, die für unterschiedliche Aspekte des Wassermanagements zuständig sind.

2.3.1.2 Planungsziele

Ceará verfügt über ein etablierteres und weiter verzweigtes Netz von Organisationen, die für Planungen zuständig sind. In Ceará koordiniert das Planungsministerium SEPLAN die gesamtstaatlichen Planungen und delegiert konkretere Umsetzungen an untergeordnete Institutionen wie das Wassermministerium SRH, das Ministerium für urbane Entwicklung SDU und den staatlichen Wasserversorger CAGECE. Ceará bemüht sich zudem um staatliche Unterstützung und internationale Zusammenarbeit; so sind bereits mehrere von der Weltbank geförderte Programme (PROGERIRH, PROURB) in Ceará etabliert. Konkrete wasserwirtschaftliche Planungen in Ceará sind die Erhöhung der gesamten Wasserverfügbarkeit durch Bau weiterer großer Staudämme und Verringerung der Anzahl der viel verdunstenden kleinen Açudes. Mit der Fertigstellung des bislang größten Stausees Castanhão soll die Wasserversorgung bis 2050 gesichert sein. Die Wasserverfügbarkeit in bestimmten Regionen soll durch Überleitung und Vernetzung von Stauseen vergrößert werden. Das SDU mit CAGECE als ausführendem Organ plant bis zum Jahr 2003 100% der Muniziphauptstädte an die öffentliche Wasserversorgung anzuschließen. Durch den cearensischen Gouverneur Tasso wird die Ausdehnung der Bewässerungslandwirtschaft zum Anbau von cash crops stark propagiert. Zu diesem Zweck wurde im Januar 1999 das Ministerium für Bewässerung SEAGRI gegründet. Zur Planung der COGERH (Behörde für Wassermanagement) gehören die Ausdehnung des Bewässerungskatasters und die Vergabe von Wasserrechten sowie die Einrichtung weiterer Einzugsgebietskomitees.

In Piauí gibt es mehrere nebeneinander stehende Institutionen wie den öffentlichen Wasserversorger AGESPISA, das Umweltministerium SEMAR, Planungsministerium SEPLAN, COMDEPI (Behörde für Entwicklung Piauí's), denen aber die übergeordnete Koordination fehlt. Die wenigen existierenden Stauseen in Piauí wurden von der DNOCS (Nationales Ministerium für Arbeiten gegen die Dürre), dem Militär oder von der COMDEPI als lediglich ausführendes Organ gebaut. Außer für den Stausee Boa Esperança, der zur Energieerzeugung genutzt wird, existiert keine nennenswerte Nutzung der Stauseen. Es wird immer von großem Potential für die Bewässerung gesprochen, jedoch existieren keine konkrete Planung zur Nutzung der vorhandenen Stauseen.

In beiden Bundesstaaten wird bislang fast ausschließlich eine Steuerung der Wasserbereitstellung (water supply management) durchgeführt. Insbesondere wird angestrebt, noch nicht erschlossene Wasservorkommen zu identifizieren, zu erschließen und zu nutzen. Ebenso wird die Optimierung des Betriebs und der Instandhaltung von Stauseen und untergeordnet auch Brunnen zur Bereitstellungssteuerung gerechnet. Eine Nachfragesteuerung (water demand management) ebenso wie ein Wasserqualitätsmanagement wird bislang kaum durchgeführt. Dabei ist spätestens seit der Konferenz in Dublin 1992 allgemein anerkannt, dass eine Nachfragesteuerung eine wesentliche Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung ist (Wolff,

¹ Bedeutung der Abkürzungen siehe Kapitel 7

1996). Sie versucht, durch Aufklärung, Anreize insbesondere finanzieller Art und andere Mechanismen den sparsamen und effizienten Umgang mit der Ressource Wasser zu fördern, u.a. auch durch Reallokation von Wasser zwischen Nutzern. Schließlich fehlen in beiden Bundesstaaten Informationen zur Grundwasserentnahme (Fördermengen, Wasserspiegel, teilweise auch Lage der Brunnen), mit denen eine nachhaltige Grundwassernutzung sichergestellt werden könnte.

2.3.2 Ist-Zustand der Wassernutzung 1996-1998

2.3.2.1 Eingangsdaten

Tab. 1 listet alle Modellvariablen und verwendeten Daten getrennt nach Wassernutzungssektoren auf, die für alle 332 Municipien benötigt wurden, um den Ist-Zustand der Wassernutzung 1996-98 zu berechnen. Erheblichen Aufwand erforderte die Zusammenstellung einzelner Daten auf Munizipebene, zumal die Datengrundlage in Ceará und Piauí sehr heterogen ist. Insgesamt ist das Wassernutzungsmodell NoWUM datenorientiert aufgebaut worden, da von der Verfügbarkeit potentieller Eingangsparameter die Komplexität der Modellierung abhängt. Eine genauere Beschreibung der Datenzusammenstellung kann in Hauschild und Döll (1999) nachgelesen werden.

Tab. 1: Variablen, benutzte Daten und Quellen aller Wassernutzungssektoren für die munizipspezifische Berechnung des Ist-Zustandes der Wassernutzung 1996-98.

Sektor	Variable	Munizipspezifische Werte und Anmerkungen	Organisation
Bewässerung	Klimadaten	Klima-Normale 1951-1980 als neueste verfügbare Daten genutzt	AG Klima
	Bewässerungsfläche	Bewässerungsfläche 1998 pro Feldfrucht für Ceará aus Bewässerungskataster COGERH und SRH-Kataster für Bewässerungslizenzen Bewässerungsfläche 1996 pro Feldfrucht für Piauí aus Agrarzensus 95/96; herunterskaliert auf plausiblen gesamtstaatlichen Wert nach Expertenbefragung.	SRH, 1998 COGERH, 1995 COGERH, 1998a IBGE, 1998b
	Feldfruchtmix	9 Feldfruchtklassen: Banane, Baumwolle, Bohne, Gemüse, Gras, Mais, Obstbaum, Reis, Zuckerrohr.	SRH, 1998 IBGE, 1998b
	Pflanzzeitpunkt	Auswertung des Agrarzensus und Bewirtschaftungspläne der DNOCS-Bewässerungsprojekte in Ceará und Piauí: Banane, Gras, Obstbaum, Zuckerrohr sind ganzjährige Früchte; Subsistenzfrüchte: Bohnen, Mais, Reis am 20. Tag im Jahr gepflanzt; Baumwolle am 52. und Gemüse am 152. Tag gepflanzt	DNOCS 1994a,b DNOCS 1995a,b DNOCS 1996a,b IBGE 1998a,b
	Kc-Werte und Länge der Wachstumsperiode pro Fruchtklasse	da Übereinstimmung mit Erntezeitpunkten in Piauí und Ceará aus DNOCS-Studien und Agrarzensus 95/96 vorliegt, Übernahme der CROPWAT-Parameter	FAO, 1992
	Bewässerungseffizienz	0,6, entsprechend brasilianischer Experten	
Vieh	Anzahl Tiere pro Spezies	Zahlen für 1996 für 8 Spezies: Kuh, Schwein, Pferd, Esel, Maultier, Schaf, Ziege, Geflügel	IBGE, 1998a und 1998b
	Speziesspezifischer Wasserverbrauch	Kuh: 68 l/d/Tier Pferd, Esel, Maultier: 54,5 l/d/Tier Schwein: 11 l/d/Tier Schaf, Ziege: 8.5 l/p/Tier Geflügel: 0.3 l/p/Tier	EMBRAPA-CPATSA/SUDENE, 1984

Sektor	Variable	Munizipspezifische Werte und Anmerkungen	Organisation
Haushalte	Gesamtbevölkerung	ausgehend von den Daten des Bevölkerungszensus (Stichtag 1.8.1996) linear ansteigend mit munizipspezifischen Wachstumsraten für die Monate 1997 berechnet, da die Angaben der Wasserversorger zur angeschlossenen Bevölkerung sich darauf beziehen	IBGE, 1997
	ans öffentliche Wasser- netz angeschlossene Bevölkerung	wie von den öffentlichen Wasserversorgern und Projekten der öffentlichen Wasserversorgung im ländlichen Raum FUNASA, SISAR, Projeto São José für 1997 angeben.	AGESPISA, 1997, CAGECE, 1997, FNS, 1997, FUNASA, 1998, SISAR, 1998, SOHIDRA, 1999
	produziertes Volumen für das öffentliche Wasser- netz	innerhalb NoWUMs wird für jedes Munizip aus dem jeweiligen Volumen und Anzahl angeschlossener Personen der Pro-Kopf-Verbrauch pro angeschlossener Person 1997 berechnet	AGESPISA, 1997, CAGECE, 1997, FNS, 1997, FUNASA, 1998, SISAR, 1998, SOHIDRA, 1998
	Pro-Kopf-Verbrauch der nicht angeschlossenen Bevölkerung	Grundbedarf von 50 l/p/d	Gleick, 1996
	Effizienz der Wassernut- zung	0,2	USGS, 1998
Industrie	<i>Option 1</i>		
	industriell genutztes Wasser der öffentlichen Wasserversorgung	Angaben der öffentlichen Wasserversorger für 1998	AGESPISA, 1998, CAGECE, 1998
	industrielles Rohwasser	Angaben der COGERH	COGERH, 1998b
	industrielle Eigenwasser- versorgung	aus den für piauiensischen Einzugsgebieten angegebenen Werten Skalierungsfaktor zwischen Eigenwasserversorgung und Versorgung durch öffentliche Wasserversorger ermittelt. Damit wird in zugehörigen Munizipien aus Industrierwasser der öffentlichen Versorgung die industrielle Eigenwasserversorgung berechnet; für cearensische Munizipien wurde der mittlere Skalierungsfaktor Piauí verwendet.	Marwell Filho, 1995
	<i>Option 2</i>		
	IPIB pro Industriezweig	Für cearensische Munizipien von IPLANCE angegeben. Für piauiensische Munizipien berechnet: 1) Zuweisung eines Industriellen Bruttoinlandsprodukts (IBIP) aufgrund Anzahl der Betriebe pro Industriezweig unter der Annahme, dass das betriebsspezifische IBIP (ermittelt aus CE-Zahlen) in Piauí und Ceará gleich ist.	IPLANCE, 1999, FIEPI, 1991
	Industriemix	Berücksichtigung von 19 Industriezweigen: Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Lebensmittel, Getränke, Tabak, Textil und Bekleidung, Ledergewerbe, Holz, Papier- Verlags- u. Druckgewerbe, Kokerei u. Mineralölverarbeitung, Chemische Industrie, Gummiwaren, Kunststoffwaren, Glas Keramik, Metallerzeugung und -bearbeitung, Maschinenbau, Herstellung Elektrotechnik, Fahrzeugbau, Sonstige	IPLANCE, 1999, FIEPI, 1991
Wassernutzungsintensi-	ermittelt aus deutschen industriezweigspezifi-	Statistisches	

Sektor	Variable	Munizipspezifische Werte und Anmerkungen	Organisation
	tät pro Industriezweig	schen Zahlen des in Betrieben eingesetzten Wassers und des IPiB pro Industriezweig [m ³ /1000 US\$ 1995], umgerechnet in US\$	Bundesamt, 1998, 1999
	Wassernutzungseffizienz	0,2	USGS, 1998
Tourismus	Anzahl Touristen	Ceará: Auswertung und Disaggregation der Zahlen diverser Studien: Aufteilung der Touristen nach Verteilungsschlüsseln wie 1) Häufigkeit besuchter Munizipien von Fortaleza aus, vor allem Küstenmunizipien, 2) Cariri-Besucher nach Bettenanzahl in den Cariri-Munizipien, 3) Ibiapaba-Besucher gleich verteilt auf Ibiapaba-Munizipien und 4) restliche Touristen gleich verteilt auf touristische Munizipien und Munizipien mit Tourismuspotential (Details siehe Modellbeschreibung); zuzüglich Pilger in Canindé im Oktober und in der Cariri in vier Monaten im Jahr Piauí: Werte für touristische Munizipien und Munizipien mit Tourismuspotential	*T1 EMBRATUR, 1997 Hauschild, Döll, 1999 *T2 PIEMTUR, 1998
	Mittlere Aufenthaltsdauer der Touristen	8 Tage in Küstenmunizipien, 9 Tage in der Ibiapaba-Region und 5 Tage im restlichen Interior	*T1
	Touristischer Pro-Kopf-Verbrauch	300 l/d/p für Touristen im Interior 500 l/p/d für Küsten-Tourismus 100 l/p/d für Pilger	Stephenson, 1998
	Wassernutzungseffizienz	0,2	USGS, 1998

*T1: SETUR/CE (1997a, 1997b, 1997c, 1998a, 1998b, 1998c, 1998d, 1998e), SEBRAE/CE/SETUR (1998), SEBRAE/CE (1998), EMBRATUR (1997)

*T2: O Povo (1998), Diario do Nordeste (1998a, 1998b)

2.3.2.2 Ergebnisse der Simulationen

In Tab. 2 sind die mit NoWUM berechneten Wasserentnahmen und konsumptiven Wassernutzungen pro Wassernutzungssektor für die beiden Bundesstaaten gegenübergestellt. In absoluten Kubikmetermengen ist die Wassernutzung in Ceará doppelt so hoch wie in Piauí, auf die Fläche bezogen fast viermal so hoch (vgl. Kapitel Systemanalyse Wasser, Band I). Dies erklärt sich durch die größere Bewässerungsfläche, die höhere Bevölkerung, die größeren Tierpopulationen und die höhere ökonomische Aktivität im Industrie- sowie im Tourismussektor (Tab. 3). Auf gesamtstaatlicher Ebene dominieren in beiden Staaten die Bewässerung und nachfolgend die Versorgung der Haushalte die Wasserentnahme. An dritter Stelle steht die Entnahme für die Viehbestände, die prozentual in Piauí bedeutsamer ist als in Ceará. Die konsumptive Wassernutzung der Viehbestände ist dagegen die zweithöchste nach der Bewässerung. Industrie und Tourismus spielen eine geringe bis untergeordnete Rolle in der gesamtstaatlichen Wassernutzungsbilanz. Allerdings konzentrieren sich diese beiden Sektoren auf bestimmte Munizipien und erreichen dort eine deutlich höhere Bedeutung, z.B. in den Küstenmunizipien und in der Cariri.

Tab. 2: Mit NoWUM berechnete jährliche und monatliche Wasserentnahme und konsumptive Wassernutzung für die einzelnen Wassernutzungssektoren in Ceará und Piauí 1996-1998

[10 ⁶ m ³] Sektor	Ceará		Piauí	
	Wasserentnahme	konsumptive Nutzung	Wasserentnahme	konsumptive Nutzung
Bewässerung ¹	324.0	194.4	127.5	76.5
Viehbestand	81.2	81.2	65.1	65.1
Haushalte	225.5	45.1	123.6	24.7
Industrie Option 1	25.6	5.1	0.9	0.2
Industrie Option 2	46.2	9.2	4.1	0.8
Tourismus	16.7	3.3	2.1	0.4
minimaler und maximaler Jahreswert ²	673.0 - 694.0	329.1 - 333.2	319.1 - 322.4	166.9 - 167.6
minimaler und maximaler Monatswert ³	28.9 - 91.9	15.4 - 36.4	9.6 - 41.2	5.8 - 16.1

¹ berechnet mit Bewässerungsflächen 1996/98 für langjähriges klimatisches Mittel 1951-1980

² minimaler Wert mit Industrie Option 1 und maximaler Wert mit Industrie Option 2

³ Angaben für den Monat mit geringstem bzw. mit höchstem Wert, die Variation ist durch die unterschiedliche Bewässerungswassernutzung im Jahresverlauf bedingt.

Tab. 3: Kennzahlen pro Wassernutzungssektor für Ceará und Piauí 1996-1998

	Ceará	Piauí
Bewässerungsfläche [ha]	43024	13170
Rinder / Schweine / Schafe [Mio.]	2.4 / 1.1 / 1.6	1.7 / 1.4 / 1.3
Bevölkerung [Mio.]	6.7	2.7
Industrielles Bruttoinlandsprodukt [Mio. US\$ 1995]	2843	363
Touristische Übernachtungen [Mio.]	36.3	3.8

Abb. 1 zeigt die räumliche Verteilung der jährlichen Wasserentnahme in 1996-1998 für alle Wassernutzungssektoren auf der Skala der 332 Municipien. Die räumlichen Unterschiede der Entnahme für die Bewässerung (Abb. 1a) spiegeln drei Ursachen wider: a) die Größe der Bewässerungsfläche im Verhältnis zur Municipienfläche, b) der Anteil ganzjährig bewässerter Früchte mit hohen kc-Werten an der Bewässerungsfläche (Bananen, Obstbäume, Gras, Zuckerrohr) und c) die interpolierten Klimadaten, die jedoch im Süden Piauí, in der Serra de Ibiapaba und in der Cariri mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Es zeichnen sich die großen Bewässerungsgebiete mit Obst- und Gemüseanbau in und um Teresina, in der Serra de Ibiapaba, im Curu-Einzugsgebiet, entlang des Jaguaribe und in der Cariri ab (Abb. 1a). Bei Betrachtung des Wasserbedarfs für den landwirtschaftlichen Viehbestand zeichnet sich deutlich die Sertão-Region mit hoher Bestockungsdichte ab (Abb. 1b). Die höchste Wassernutzung der Haushalte tritt in den urbanen Zentren Teresina, Parnaíba, Picos sowie im Großraum Fortaleza, der Serra Ibiapaba und der Cariri auf (Abb. 1c). Auch die Industrielwassernutzung erreicht die höchsten Werte in den urbanen Zentren. Die mit Option 2 berechnete Industrielwassernutzung ist in fast allen Municipien größer als die mit Option 1 simulierte (Abb. 1d und 1e). Zudem wird mit Option 2 in 23 Municipien eine Industrielwassernutzung berechnet, in denen in Option 1 die Industrielwassernutzung null ist. Im räumlichen Muster der touristischen Wassernutzung treten die attraktivsten Küstenmunicipien, die Metropole Fortaleza und das Pilgerzentrum Juazeiro do Norte (Cariri) hervor (Abb. 1f). Der Gesamtwasserbedarf bzw. die gesamte konsumptive Nutzung aller Sektoren pro Municipien sind in den Abb. 1g und 1h zusammengefasst. In allen Sektoren zeigt sich in Ceará eine intensivere Wassernutzung als in Piauí.

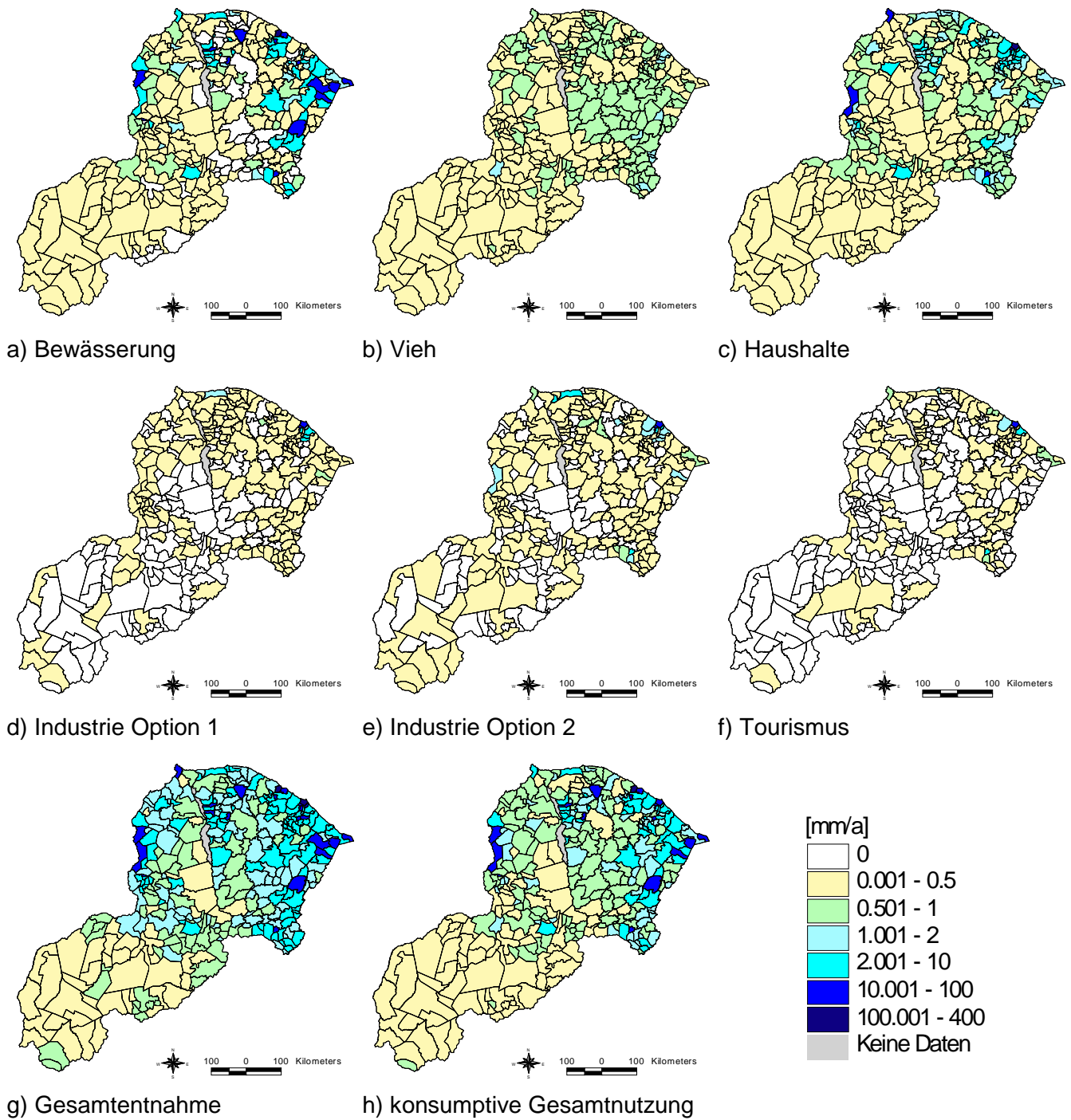


Abb. 1: Mit NoWUM berechnete Wasserentnahme 1996-1998 [mm/a] pro Munizip für die einzelnen Wassernutzungssektoren: Bewässerung im langjährigen klimatischen Mittel 1951-1980 (a), landwirtschaftlicher Viehbestand (b), Haushalte (c), Industrie Option 1 (d), Industrie Option 2 (e), Tourismus (f), Gesamtwasserentnahme mit Industrie Option 2 (g) und konsumptive Gesamtnutzung 1996-98 mit Industrie Option 2 (h).

2.3.3 Wassernutzungsszenarien

2.3.3.1 Parametrisierung der Szenarien

In Tab. 4 sind die treibenden Kräfte der für die Referenz- und Interventionsszenarien verwendeten Parameter pro Wassernutzungssektor zusammengestellt. Im allgemeinen wurden die für die acht Szenarioregionen definierten Änderungen der treibenden Kräfte als prozentuale Änderungen für alle Munizipien der jeweiligen Szenarioregion gleich angenommen.

Tab. 4: Treibende Kräfte pro Wassernutzungssektor in den Wassernutzungsszenarien

Sektor	Treibende Kraft	Munizipspezifische Werte und Anmerkungen	Quelle																																				
Bewässerung	Klimadaten	Klima-Normale 2011-2040 im Vergleich zur Klima-Normale, die für Ist-Zustand verwendet wurde.	Klima-Szenarien AG Klima																																				
	Bewässerungsfläche	Für das Jahr 2025 wird angenommen, dass alle im Jahr 1998 geplanten Großbewässerungsprojekte (Lopes Neto, 1998) implementiert sein werden. Zusätzlich wird ein Wachstum der privaten Bewässerungsfläche pro Szenarioregion angenommen. Zusammen ergeben sich daraus die folgenden Änderungen der gesamten Bewässerungsfläche pro Szenarioregion: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Szenarioregion</th> <th>Bewässerungsfläche 1996/98</th> <th>2025</th> <th>Änderung [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Teresina</td> <td>1018</td> <td>4072</td> <td>+300</td> </tr> <tr> <td>Großraum Fortaleza</td> <td>695</td> <td>4170</td> <td>+500</td> </tr> <tr> <td>Küstenregion</td> <td>10476</td> <td>41904</td> <td>+300</td> </tr> <tr> <td>Süden von Piauí</td> <td>1470</td> <td>11760</td> <td>+700</td> </tr> <tr> <td>Wasserreiches Piauí</td> <td>10402</td> <td>62412</td> <td>+500</td> </tr> <tr> <td>Wasserreiches Ceará</td> <td>28138</td> <td>112552</td> <td>+300</td> </tr> <tr> <td>Wasserarmes Piauí</td> <td>103</td> <td>309</td> <td>+200</td> </tr> <tr> <td>Wasserarmes Ceará</td> <td>3964</td> <td>15856</td> <td>+300</td> </tr> </tbody> </table> Die Zuteilung der öffentlichen Bewässerungsflächen geschieht in die in Lopes Neto spezifizierten Munizipien; die zusätzliche private Bewässerungsfläche einer Szenarioregion wird auf alle Munizipien innerhalb der Region gleich verteilt. Die Veränderung der Bewässerungsfläche ist in beiden Referenzszenarien gleich.	Szenarioregion	Bewässerungsfläche 1996/98	2025	Änderung [%]	Teresina	1018	4072	+300	Großraum Fortaleza	695	4170	+500	Küstenregion	10476	41904	+300	Süden von Piauí	1470	11760	+700	Wasserreiches Piauí	10402	62412	+500	Wasserreiches Ceará	28138	112552	+300	Wasserarmes Piauí	103	309	+200	Wasserarmes Ceará	3964	15856	+300	Wassernutzungsszenarien
	Szenarioregion	Bewässerungsfläche 1996/98	2025	Änderung [%]																																			
	Teresina	1018	4072	+300																																			
Großraum Fortaleza	695	4170	+500																																				
Küstenregion	10476	41904	+300																																				
Süden von Piauí	1470	11760	+700																																				
Wasserreiches Piauí	10402	62412	+500																																				
Wasserreiches Ceará	28138	112552	+300																																				
Wasserarmes Piauí	103	309	+200																																				
Wasserarmes Ceará	3964	15856	+300																																				
Feldfruchtmix	50% der neuen Bewässerungsfläche pro Munizip wird die prozentuale Flächenverteilung der Feldfrüchte von 1996-98 zugewiesen. Die verbleibende Fläche wird nach den Standardfruchtmixen 2025 bepflanzt. Diese beschreiben die mittlere bundesstaatliche Feldfruchtverteilung und sind daher unterschiedlich für Ceará und Piauí. Die Standardmixe 2025 ergeben sich aus den umgesetzten erwarteten Änderungen gegenüber dem jeweiligen Standardmix 1996-98. Brasilianische Experten gehen davon aus, dass in Zukunft die Flächenanteil von Bananen, Obst, Gemüse und Baumwolle zunehmen, von Bohnen, Mais und Gras gleich bleiben sowie von Reis und Zuckerrohr abnehmen werden.	Wassernutzungsszenarien																																					
Pflanzeitpunkt	wie Ist-Zustand																																						
Kc-Werte und Länge der Wachstumsperiode pro Fruchtklasse	wie Ist-Zustand																																						

Sektor	Treibende Kraft	Munizipspezifische Werte und Anmerkungen	Quelle
	Bewässerungs-effizienz	Erhöhung von 0,6 auf 0,7, entsprechend brasilianischer Experten; höhere Bewässerungseffizienz drückt technologischen Wandel aus, da für die Bewässerung keine Preissteuerung im Modell berücksichtigt wird.	Wasser-nutzungs-szenarien
Vieh	Anzahl Tiere pro Spezies	Tierpopulationen pro Region mit gleichen Raten anwachsend wie Bevölkerung (siehe Kapitel 7, Band I)	Referenz-szenarien
	Speziesspezifischer Wasserverbrauch	wie Ist-Zustand	
Haushalte	Gesamtbevölkerung	Bevölkerungswachstum pro Szenarioregion (siehe Kapitel 7, Band I)	Referenz-szenarien
	ans öffentliche Wassernetz angeschlossene Bevölkerung	die angeschlossene Bevölkerung wird als prozentualer Anteil der Gesamtbevölkerung pro Region angenommen (siehe Kapitel 7, Band I); somit ergibt sich für alle Munizipien eine angeschlossene Bevölkerung. In den Interventionsszenarien ISA und ISB wird die öffentliche Wasserversorgung noch stärker ausgedehnt als in dem jeweiligen Referenzszenario, so dass die gesamte städtische und 15% der ländlichen Bevölkerung ans öffentliche Leitungsnetz angeschlossen werden.	Wasser-nutzungs-szenarien zu Referenz- und Interventions-szenarien
	Pro-Kopf-Verbrauch angeschlossene Person	wird modellintern jährlich mittels Preisänderung, Preis- und Einkommenselastizität und Pro-Kopf-Verbrauch im Vorjahr berechnet. Mit gewählten Parametern ergibt sich eine Abnahme des Pro-Kopf-Verbrauchs. Der mittlere Pro-Kopf-Verbrauch einer angeschlossenen Personen sinkt in Ceará von 137 l/p/d (1997) auf 114 bzw. 106 l/p/d (2025 RSA bzw. RSB); in Piauí von 144 (1997) auf 120 bzw. 112 (2025 RSA bzw. RSB).	Wasser-nutzungs-szenarien
	Pro-Kopf-Verbrauch nicht angeschlossene Person	Grundbedarf von 50 l/p/d	
	Effizienz der Wassernutzung	0,2	
	Preisänderung	Preise beinhalten den technologischen Wandel, jährliche Anstieg der Preise um 6%; der Wert wurde aus 10 jähriger Zeitreihe der Preisentwicklung der CAGECE abgeleitet	Wasser-nutzungs-szenarien CAGECE, 1999
	Preiselastizität	von 1997 bis 2025 wird eine sich jährlich linear verändernde Preiselastizität von -0.55 (Wert für NO-Brasilien) auf -0.3 (mittlerer Wert für Europa und USA) angenommen.	BNB/PBLM, 1997; Young, 1998
	Einkommens-elastizität	es wird eine konstante Einkommenselastizität von 0,7 angenommen nach Gomez. Der Wert für Brasilien wurde von 0,78 auf 0,70 erniedrigt, da in den Szenarien explizit Hausanschlüsse berücksichtigt werden.	Gomez, 1987
Industrie	<i>Option 1</i>		
	beste Schätzung der Industriewassernutzung 1998	wie Ist-Zustand	
	Gesamt-IPIB	Das IPIB pro Munizip wird anhand des gesamten PIB berechnet, unter der Annahme dass der Anteil des IPIB am PIB in 2025 gleich ist wie heute. Das Gesamt-PIB pro Munizip ergibt sich aus der sich verändernden Bevölkerungszahl und des jährlich steigenden Pro-Kopf-PIBs (siehe Kapitel 7, Band I). Die Industriewassernutzung ändert sich proportional zum IPIB von 1997 auf 2025 und abhängig von der jährlichen Änderung des	Referenz-szenarien, Wasser-nutzungs-szenarien

Sektor	Treibende Kraft	Munizipspezifische Werte und Anmerkungen	Quelle
		Preises sowie der Preiselastizität (siehe unten).	
	<i>Option 2</i>		
	IPIB pro Industriezweig	Wachstum des IPIBs ergibt sich aus dem Wachstum des Gesamt-PIBs bis 2025 (siehe oben). Unter Beibehaltung des prozentualen Anteils des IPIBs am PIB sowie der Aufteilung des IPIB auf die einzelnen Industriezweige wurde das IPIB pro Industriezweig berechnet.	Referenzszenarien, Wassernutzungsszenarien
	Industriemix	prozentuale Aufteilung des Ist-Zustands wird beibehalten; beliebige Variation des Industriemixes in NoWUM wäre möglich, um strukturellen Wandel zu modellieren	
	Wassernutzungsintensität pro Industriezweig	wie Ist-Zustand	
	Wassernutzungseffizienz	0,2	
	Preisänderung	der technologische Wandel bis 2025 wird durch einen jährlichen Preisanstieg von 6%, wie bei Haushalten (siehe oben), ausgedrückt.	Wassernutzungsszenarien
	Preiselastizität	von 1997 bis 2025 wird eine jährlich sich linear verändernde Preiselastizität von -0,74 (Wert für NO-Brasilien) auf -0,4 (mittlerer Wert für Europa) angenommen	BNB/PBLM, 1997;
Tourismus	Anzahl Touristen	RSA: die Anzahl der Touristen wächst in allen Munizipien um Faktor 3 sowie um Faktor 5 in den Munizipien des Litorals und des Großraums Fortaleza. RSB: die Anzahl der Touristen wächst in allen Munizipien um Faktor 3. Damit wird eine Größenordnung von Touristen erreicht, die mit Zahlen brasilianischer Szenarien für das Jahr 2020 konsistent sind.	Wassernutzungsszenarien SETUR, 1998e
	Mittlere Aufenthaltsdauer der Touristen	wie Ist-Zustand	
	Touristischer Pro-Kopf-Verbrauch	RSA: in Munizipien der Regionen Teresina, Großraum Fortaleza und Litoral 500 l/p/d; sonst 300 l/p/d und Pilger 100 l/p/d. RSB: wie Ist-Zustand	Wassernutzungsszenarien
	Wassernutzungseffizienz	0,2	

2.3.3.2 Ergebnisse der Simulationen

Die Ergebnisse der Modellierung der Referenz- und Interventionsszenarien werden nachfolgend jeweils als absolute Differenzen der Wassernutzung des jeweiligen Szenarios gegenüber dem Ist-Zustand dargestellt. Eine Abnahme der Wassernutzung in Zukunft ist grün, eine Zunahme in gelb bis rot dargestellt.

Bewässerung: Der konsumptive Bewässerungswasserbedarf nimmt in 2025 gegenüber 1996-98 in allen bis auf vier Munizipien zu (Abb. 2a). Dabei überlagern sich der Effekt des Klimawandels und der Effekt der vergrößerten Bewässerungsfläche. Um lediglich den Effekt des Klimawandels zu zeigen, wurde der Bewässerungswasserbedarf mit dem Klima 2011-2040 und den Bewässerungsflächen 1996-98 berechnet. Gegenüber dem Lauf mit dem Klima 1951-1980 nimmt der Bewässerungsbedarf 2025 in zahlreichen Munizipien ab, lediglich in 11 Munizipien steigt er (Abb. 2b). Dies korreliert in den meisten der entsprechenden Munizipien mit der Zunahme des langjährigen Jahresniederschlags von 1951-1980 im Vergleich zu 2011-2040 (Abb. 2c). Die Änderung des Klimas in dem betrachteten Zeitraum (Klima-Normale um 2025) hat nur einen sehr geringen Effekt auf die Änderung des zukünftigen Bewässerungswasserbedarf; do-

minant ist die Zunahme der Anbaufläche und die prozentuale Zunahme permanenter Kulturen wie Obstbäume am Feldfruchtmix. Das räumliche Muster des konsumptiven Bewässerungsbedarfs korreliert sehr gut mit dem Karte der Zunahme der Bewässerungsflächen von 1996-1998 bis 2025 (Abb. 2d). Die größten Zunahmen der Bewässerungsfläche zeigen die Munizipien, in denen neue öffentliche Großbewässerungsprojekte implementiert werden. Alle diese Munizipien, bis auf Cristino Castro im Süden Piauí und Crateus im Sertão Ceará, liegen in den Gebieten, die sich durch eine erhöhte Bewässerungsaktivität gegenüber den Regionen mit geringem potentiellen Wasserressourcen auszeichnen: am Parnaíba, in der Serra de Ibiapaba, an der Küste, im mittleren und unteren Jaguaribe-Tal sowie in der Cariri.

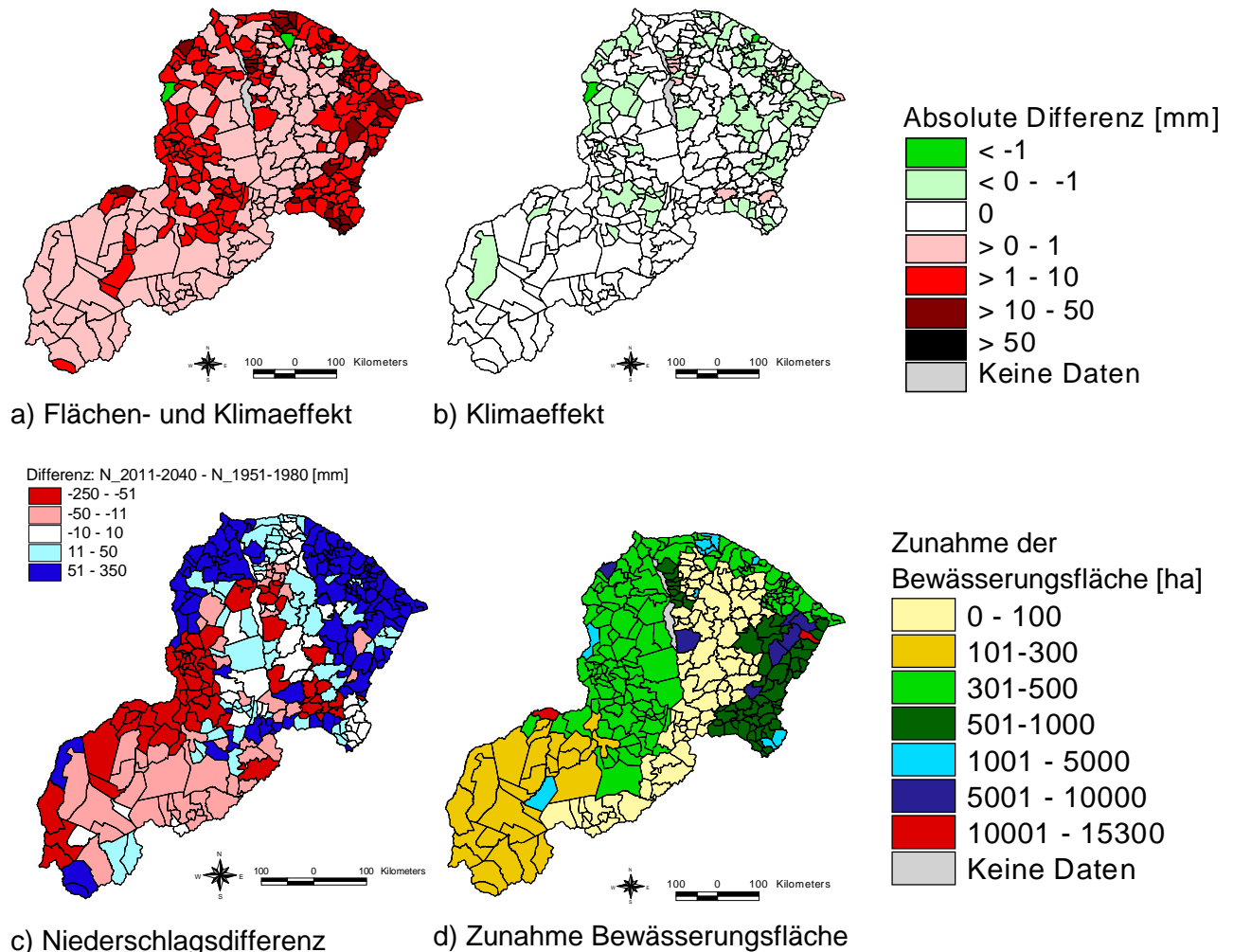


Abb. 2: Absolute Differenz des konsumptiven Bewässerungsbedarfs zwischen 2025 und dem Ist-Zustand [mm]. Der Zustand 2025 wurde mit den Flächen 2025 und den Klimadaten 2011-2040, der Ist-Zustand mit Flächen 1996-1998 und den Klimadaten 1951-1980 simuliert (a). Differenz des konsumptiven Bewässerungsbedarfs zur Verdeutlichung des Klimaeffekts [mm]: beide Simulationen mit gleicher Bewässerungsfläche 1996-1998, aber jeweils unterschiedlichem Klima 2011-1040 bzw. 1951-1980 (b). Differenz des mittleren langjährigen Jahresniederschlags zwischen 2011-2040 und 1951-1980 [mm] (c). Zunahme der Bewässerungsfläche von 1996-1998 bis 2025 [ha] (d).

Vieh: Abb. 3 zeigt die absolute Differenz der Wasserentnahme für den landwirtschaftlichen Tierbestand zwischen 2025 und dem Ist-Zustand. Die räumliche Verteilung spiegelt die Änderung der Verteilung der (menschlichen) Bevölkerung wider, da in beiden Referenzszenarien angenommen wird, dass sich die Viehzahlen in gleichem Maße wie die Bevölkerung ändert. Die

gemachten Annahmen über die Populationsentwicklung sind leider sehr vereinfacht, aber durch eine fehlende Tierproduktion innerhalb der Regionalökonomie bislang nicht anders realisierbar. Im Referenzszenario A nimmt die Wasserentnahme in den Munizipien der Regionen mit geringen potentiellen Wasserressourcen ab, in allen anderen Munizipien zu (Abb. 3a). Die höchsten Zunahmen (> 0.1 mm) treten konzentriert in Teresina, an der Küste und im Großraum Fortaleza auf. Im Referenzszenario B (Abb. 3b) nimmt der Wasserbedarf in allen Munizipien zu, im Vergleich zu RSA allerdings dezentraler mit größerer Zunahme in den Regionen mit großen potentiellen Wasserressourcen und geringerer Konzentration an der Küste.

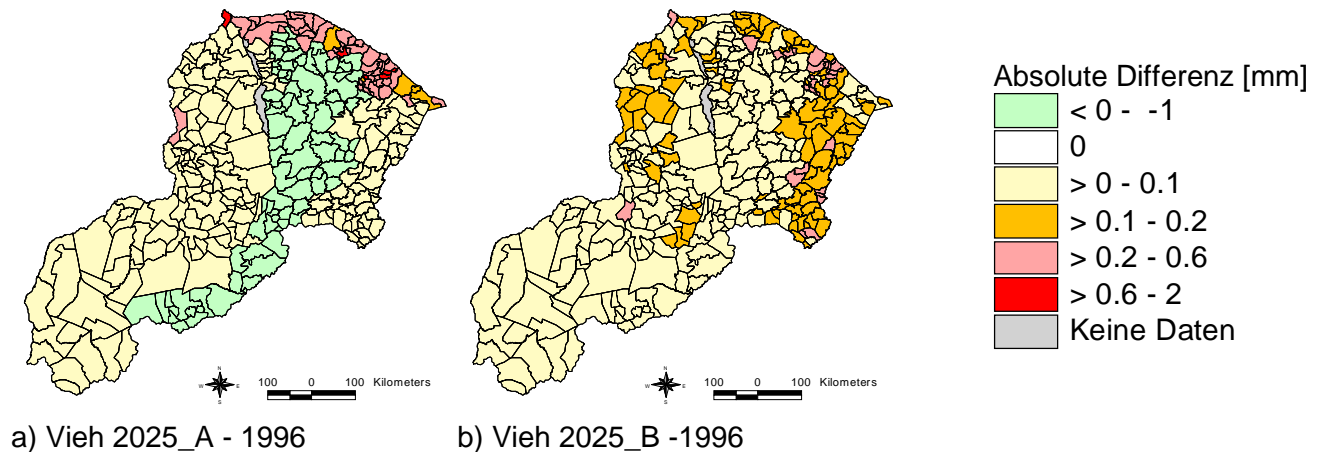


Abb. 3: Differenz der Wasserentnahme für den landwirtschaftlichen Tierbestand zwischen 2025 und dem Ist-Zustand für die Referenzszenarien A (a) und B (b).

Haushalte: Abb. 4 stellt die absolute Differenz der häuslichen Wasserentnahme in beiden Referenzszenarien gegenüber dem Ist-Zustand dar. Die Veränderungen in der Zukunft ergeben sich munizipweise aus der Veränderung der totalen Bevölkerung, einer Zunahme der angeschlossenen Bevölkerung und einer Abnahme des Pro-Kopf-Verbrauchs der angeschlossenen Bevölkerung in Abhängigkeit von Preis- und Einkommenssteigerungen. Im RSA nimmt in 44% der Munizipien die Entnahme in Zukunft ab und in 55% der Munizipien zu (Abb. 4a). Die höchsten Zunahmen (bis zu 10 mm) zeigen sich konzentriert in Teresina, an der Küste und im Großraum Fortaleza, wohingegen die Abnahmen großflächig in den Munizipien der Regionen Ceará's und Piauí's mit geringen potentiellen Wasserressourcen sowie im Süden von Piauí auftreten. Im RSB nimmt zukünftig die Wasserentnahme der Haushalte nur in 25% der Munizipien ab und steigt in 74% aller Munizipien (Abb. 4b). Die höchsten Zunahmen treten, wie im RSA, im Großraum Fortaleza auf. Ansonsten ist das räumliche Muster im RSB disperser als im RSA, so verzeichnen alle Regionen im RSB Munizipien mit Zunahme und Munizipien mit Abnahme in der Wassernutzung. In beiden Referenzszenarien bleibt die Wasserentnahme der Haushalte in 1% der Munizipien unverändert gegenüber dem Ist-Zustand.

Die Ergebnisse spiegeln die Unterschiede der für beide Referenzszenarien pro Region differenzierten Annahmen der treibenden Kräfte wider (Tab. 4). Das Bruttoinlandsprodukt wächst pro Region im Küstenboomszenario A stärker an als im Dezentralisierungsszenario B. Für die Bevölkerungsentwicklung wurde im RSA eine starke Zunahme in Teresina, im Großraum Fortaleza und an der Küste sowie eine starke Abnahme im Hinterland angenommen; im RSB eine gemäßigte Zu- bzw. Abnahme. Der Anschlussgrad der Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung nimmt in allen Regionen zu; RSA und RSB unterscheiden sich lediglich in einer starken Zunahme im RSA und einer gemäßigten Zunahme im RSB für die Küstenregion.

Die verstärkte Ausdehnung der öffentlichen Wasserversorgung auf die gesamte städtische und 15% der ländlichen Bevölkerung in den Interventionsszenarien (IS), führt zu einer Zunahme der Wasserentnahme für die Haushalte gegenüber dem jeweiligen Referenzszenario in 99% aller

Munizipien sowohl in ISA (Abb. 4c) als auch in ISB (Abb. 4d). Allerdings ist die Zunahme in beiden Interventionsszenarien in den meisten Munizipien gering (≤ 1 mm). Eine Zunahme von bis zu 10 mm tritt in 11 im ISA bzw. in 12 Munizipien des Litorals, des Großraums Fortaleza sowie Juazeiro do Norte im ISB auf. Die stärkste Zunahme zeigt sich in beiden Interventionsszenarien im Munizip Fortaleza, die absolute Differenz zwischen ISA und RSA beträgt dort 46 mm und 36 mm zwischen ISB und RSB.

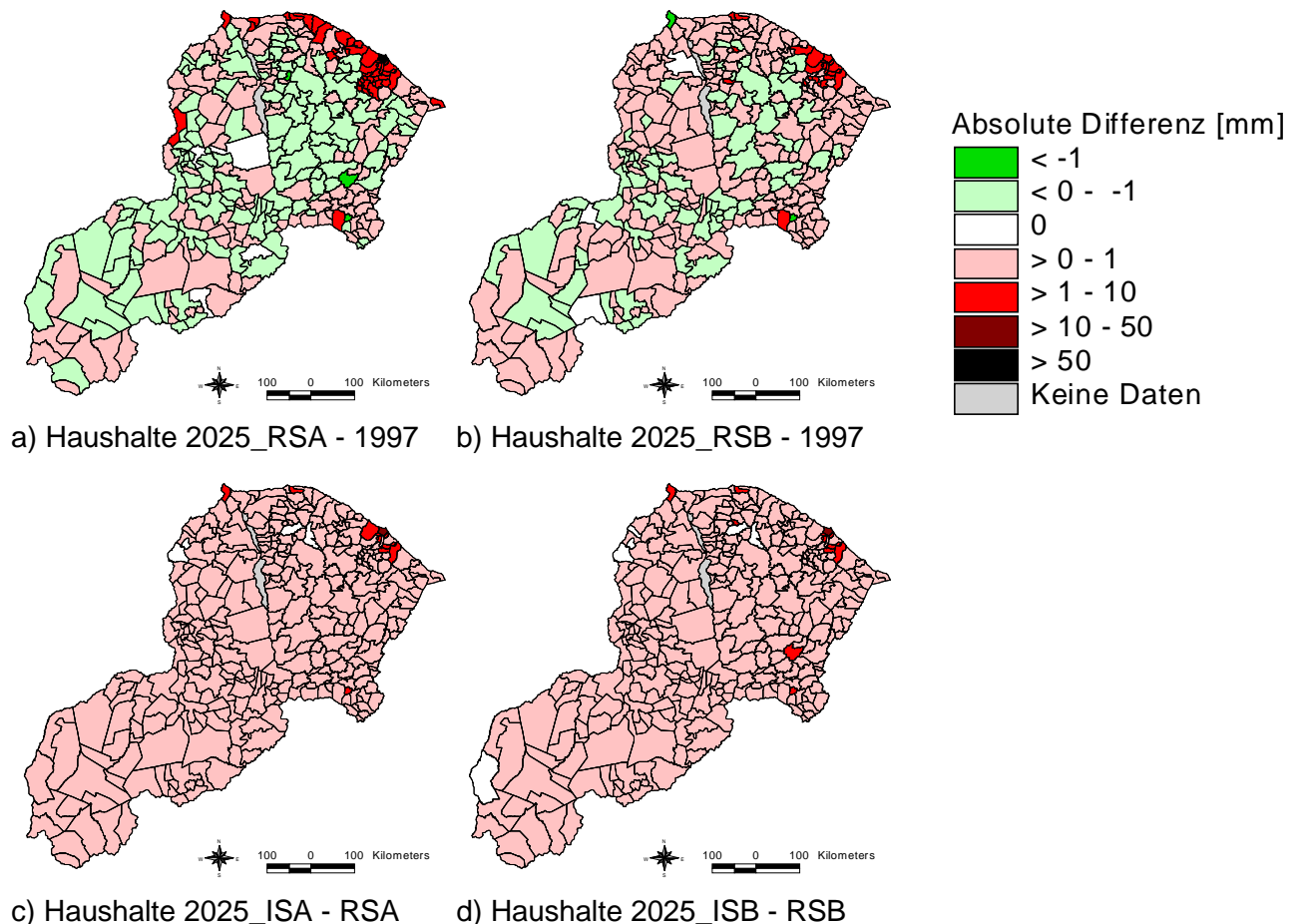


Abb. 4: Differenz der Wasserentnahme für die Haushalte zwischen 2025 und dem Ist-Zustand für die Referenzszenarien A (a) und B (b). Differenz der Wasserentnahme für die Haushalte im Jahr 2025 zwischen dem Referenz- und Interventionsszenario A (c) sowie dem Referenz- und Interventionsszenario B (d).

Industrie: Die Veränderung der munizipspezifischen Industriewassernutzung in Zukunft in beiden Referenzszenarien gegenüber dem Ist-Zustand zeigt Abb. 5 (Berechnung nach Option 2). Einerseits steigt in der Mehrheit der Munizipien die industrielle Wasserentnahme gegenüber dem Ist-Zustand (213 im RSA und 218 im RSB), in einigen Munizipien bleibt sie gleich (16 im RSA und 12 im RSB). Andererseits steigt auch die Anzahl der Munizipien mit signifikanter flächenbezogener Industriewassernutzung (Wert $> 0,001$ mm). Dies gilt für flächenmäßig große Munizipien, z.B. Tauá, die 1996-1998 nur eine sehr geringe absolute Wassernutzung hatten, so dass sie in der gewählten Darstellung in Millimetern ($= l/m^2$) als nicht signifikant erscheinen (Abb. 1e). Im RSA (Abb. 5a) erhöht sich die Anzahl der Munizipien mit flächenmäßig signifikanter Industriewassernutzung um 14 und im RSB (Abb. 5b) um 15 auf 230 Munizipien gegenüber 215 Munizipien im Ist-Zustand. Lediglich Industrieneugründungen konnten wegen fehlender Datengrundlage in den Szenarien nicht berücksichtigt werden, es tritt nur dort industrielles Wachstum auf, wo schon im Ist-Zustand ein industrielles Bruttoinlandsprodukt existiert. Dies gilt sowohl für die mit Option 1 als auch mit Option 2 berechnete industrielle Wasserentnahme. Die

größte Zunahme der Industriewassernutzung in Zukunft konzentriert sich in beiden Referenzszenarien auf Teresina, Munizipien im Großraum Fortaleza sowie Camocim, Itapagé, Crato und Barbalha. Im RSA ist gegenüber RSB die Zunahme in diesen Munizipien insgesamt stärker als auch die Anzahl der Munizipien mit hoher Zunahme der industriellen Wasserentnahme größer. Dies erklärt sich durch die stärkere Zunahme des industriellen Bruttoinlandprodukts (IPIB) im RSA gegenüber RSB. Das für die Szenarien angenommene Wachstum des IPIBs ist an das allgemeine Wirtschaftswachstum unter Beibehaltung des Anteils des IPIBs am gesamten PIB und des Industriemixes gekoppelt. Speziellere Szenarien zum Wirtschaftswachstum wären nur durch eine makroökonomische Modellierung möglich, die im WAVES-Projekt leider fehlt.

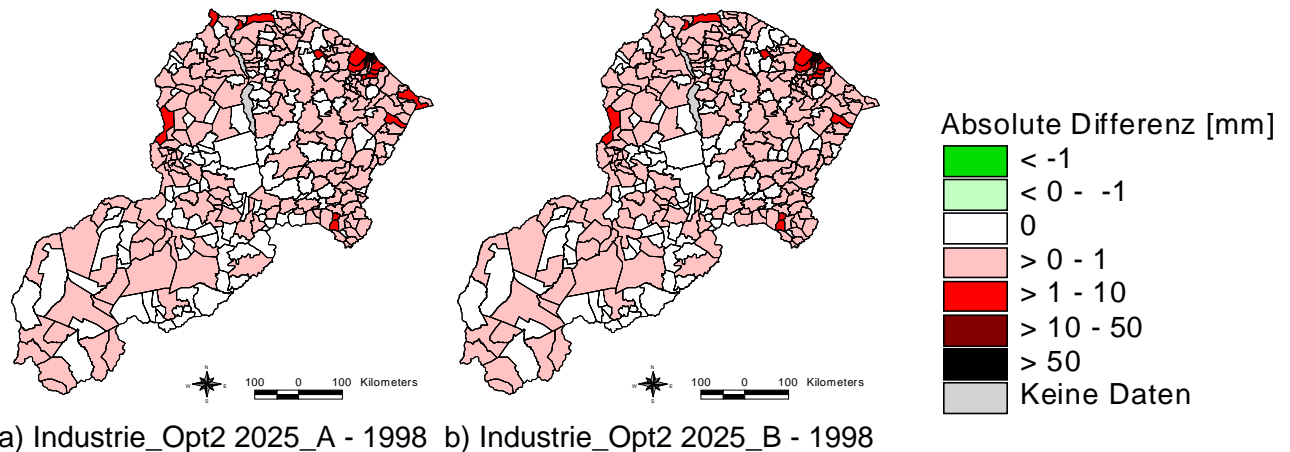


Abb. 5: Differenz der industriellen Wasserentnahme, berechnet mit Option 2, zwischen 2025 und dem Ist-Zustand für die Referenzszenarien A (a) und B (b).

Tourismus: Die touristische Wassernutzung nimmt in beiden Referenzszenarien gegenüber dem Ist-Zustand in allen touristischen Munizipien zu (Abb. 6). Im Küstenboomszenario A (Abb. 6a) ist der Anstieg größer als im Dezentralisierungsszenario RSB und stärker auf die Küstenmunizipien konzentriert als im RSB (Abb. 6b). Von einer Einführung von Tourismus in bislang nicht touristischen Munizipien und Munizipien ohne Tourismuspotential, klassifiziert nach EMBRATUR (1997), wurde in den Wassernutzungsszenarien abgesehen, da die touristische Wassernutzung im Vergleich zu der dort ansässigen Bevölkerung vernachlässigbar wäre.

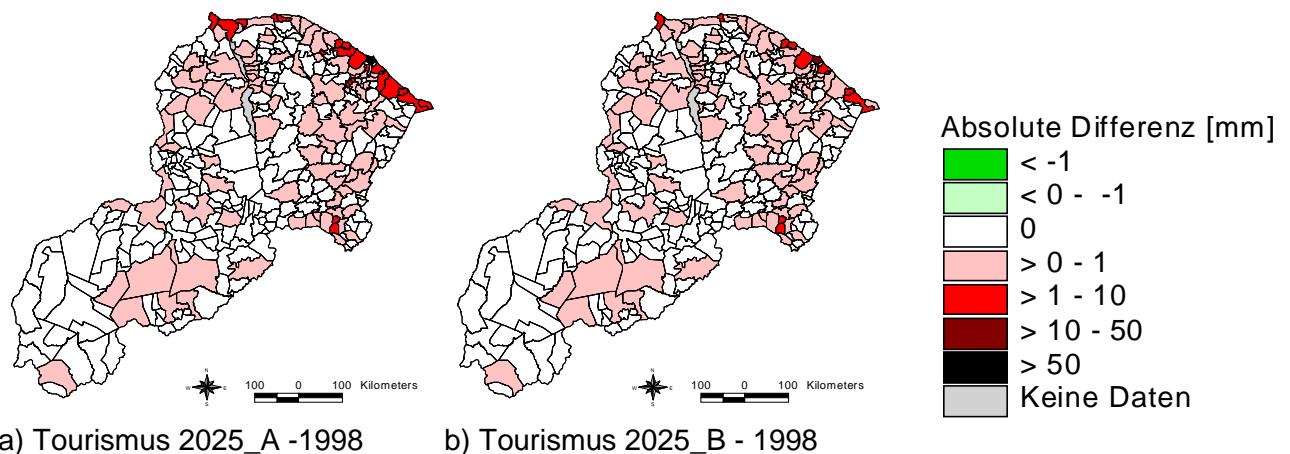


Abb. 6: Differenz der touristischen Wasserentnahme zwischen 2025 und dem Ist-Zustand für die Referenzszenarien A (a) und B (b).

Gesamtwasserentnahme: Abb. 7 zeigt die Differenz der Gesamtwasserentnahme aller fünf Wassernutzungssektoren zwischen dem Ist-Zustand und den beiden Referenzszenarien. Die Differenzkarten für RSA (Abb. 7a) und RSB (Abb. 7b) zeigen ähnliche räumliche Muster für Teresina, den Großraum Fortaleza, die Küstenregion und die Gebiete in Ceará und Piauí mit großen potentiellen Wasserressourcen. Dieses Muster zeigt eine hohe Übereinstimmung mit der Bewässerungswassernutzung in den einzelnen Munizipien (Abb. 2a), was belegt, dass die Bewässerungswasserentnahme in vielen Munizipien die Gesamtwasserentnahme dominiert, gefolgt von der Haushaltswassernutzung. Die größte Abnahme der Gesamtwassernutzung (< -1 mm) tritt in den Munizipien União, Ubajara, Santana do Acaraú, Apuiarés, Pentecoste und Jaguaribe auf, in denen die Bewässerungsnutzung (Abb. 2a) und/oder die Wasserentnahme der Haushalte (Abb. 4a,b) in den Szenarien stark zurückgeht. Den maximalen Wert hat União im RSA mit $-19,5$ mm und im RSB mit $-19,3$ mm. Die größten Zunahmen in Zukunft (> 50 mm) zeigen die Munizipien mit starkem Wachstum der Bewässerungsfläche bis 2025 sowie die urbanen Zentren, wo neben der Bevölkerung auch die anwachsenden industriellen und touristischen Aktivitäten die steigende Wassernutzung verursachen. Maximal nimmt die Gesamtwasserentnahme in Fortaleza im RSA um 320 mm zu, am zweitstärksten um 176 mm im Industriegebiet Maracanaú südlich von Fortaleza. Im RSB beträgt die Zunahme für Fortaleza 151 mm und für Maracanaú 121 mm.

In den zukünftigen Änderungen in den Gebieten mit geringen potentiellen Wasserressourcen in Ceará und Piauí unterscheiden sich die beiden Referenzszenarien grundlegender. Im RSA (Abb. 7a) kommt es in 25 Munizipien zu einer Abnahme der Wassernutzung, wohingegen es im RSB (Abb. 7b) zu einer Zunahme kommt. In diesen Sertão-Munizipien dominiert offensichtlich die Wassernutzung des landwirtschaftlichen Viehbestands die Gesamtwasserentnahme.

Zu beachten ist, dass in allen Munizipien mit Bewässerung die konsumptive Wassernutzung stärker zunehmen wird bzw. weniger stark abnehmen wird als die Wasserentnahme, da in beiden Referenzszenarien von der Zunahme der Bewässerungseffizienz von $0,6$ auf $0,7$ ausgegangen wird. Dadurch verringert sich der Anteil des für die Bewässerung entnommenen Wassers, der nicht wieder ins Gewässer zurückfließt und dem nächsten Nutzer unterstrom zur Verfügung steht, um 14% .

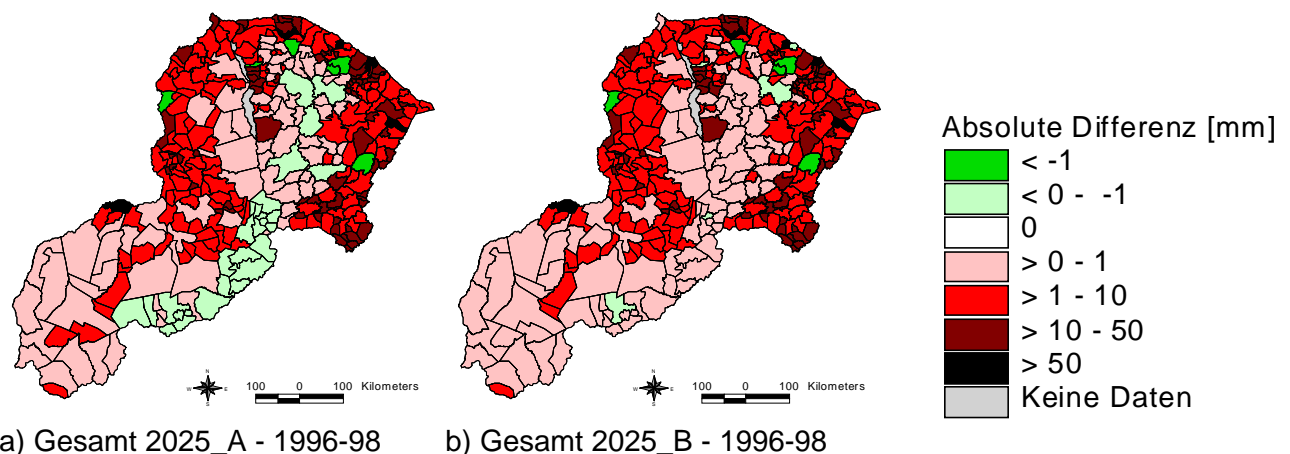


Abb. 7: Differenz der gesamten Wasserentnahme, mit Industrie Option 2, zwischen 2025 und dem Ist-Zustand für die Referenzszenarien A (a) und B (b).

Tab. 5 stellt die Ergebnisse aller berechneter Wassernutzungsszenarien für die einzelnen Wassernutzungssektoren, aggregiert nach Bundesstaaten und nach den acht Szenarioregionen, als prozentuale Änderung zur absoluten Wasserentnahme pro Nutzungssektor im Ist-Zustand gegenüber. Die regionale Aggregation der absoluten Wasserentnahmen [m^3] ver-

deutlich, welcher Wassernutzungssektor in welcher Region die bedeutendste Rolle spielt und dass es in den Zukunftsszenarien zu einer Verschiebung der Bedeutung einzelner Sektoren pro Region kommt. Der größte Entnahme hat in Teresina und im Großraum Fortaleza jeweils der Haushaltssektor; an der Küste und in den Regionen mit großen potentiellen Wasserressourcen die Bewässerung; die Entnahme für das Vieh dominiert im Süden von Piauí und in den Regionen mit geringen potentiellen Wasserressourcen. Eine Verdrängung der Spitzenposition tritt im Süden von Piauí auf. Während 1996-1998 dort noch die Entnahme für das Vieh dominiert, wird es in den Szenarien von der Bewässerungswassernutzung auf Platz 2 verdrängt. In fast allen Regionen nimmt die Bedeutung des Industrie- und des Tourismussektors zu und die des Viehs ab.

Tab. 5: Wasserentnahme [10^6 m^3] für die einzelnen Wassernutzungssektoren 1996-98 und 2025 in Ceará, Piauí und den Szenarioregionen sowie die prozentuale Veränderung [in % des Werts 1996-98] für alle Wassernutzungssektoren in Ceará, Piauí und den acht Szenarioregionen für die Referenz- und Interventionsszenarien A und B

1996-1998 [10^6 m^3]	Bewässerung		Vieh		Haushalte				Industrie 2		Tourismus		Gesamt	
	CE	324		81		226				46		17		694
PI	128		65		124				4		2		323	
R1	11,8		0,8		52,1				1,9		0,4		69,1	
R2	5,8		2,6		109,6				32,0		6,7		159,0	
R3	120,8		12,0		36,7				7,0		5,4		221,0	
R4	10,2		14,0		10,1				0,3		0,0		34,3	
R5	103,0		38,1		45,2				1,4		0,3		202,5	
R6	167,7		33,0		56,1				5,5		4,5		340,2	
R7	0,8		11,1		6,6				0,1		0,1		18,8	
R8	31,2		34,7		32,8				2,1		1,2		109,9	
2025 [10^6 m^3]	RSA	RSB	RSA	RSB	RSA	RSB	ISA	ISB	RSA	RSB	RSA	RSB	RSA	RSB
CE	1160	1160	82	94	298	260	339	305	147	114	66	42	1756	1673
PI	553	553	64	75	130	127	139	138	10	10	9	7	766	753
R1	31	31	1	1	62	53	63	53	6	5	2,0	2,0	101	91
R2	31	31	4	4	156	124	174	137	109	82	34,0	20,0	334	261
R3	297	297	20	16	70	45	81	55	25	17	28,0	16,0	440	389
R4	99	99	14	17	10	11	11	13	0,6	0,7	0,0	0,0	125	112
R5	412	412	39	46	43	48	47	56	3	3	0,9	0,9	498	510
R6	731	731	34	40	57	65	67	79	12	13	7,0	7,0	840	854
R7	3	3	8	12	5	6	5	7	0,1	0,2	0,3	0,3	16	21
R8	105	105	25	36	25	35	30	42	3	4	1,2	1,2	159	180
2025 [%]	RSA	RSB	RSA	RSB	RSA	RSB	ISA	ISB	RSA	RSB	RSA	RSB	RSA	RSB
CE	358	358	101	116	132	115	150	135	319	247	386	248	253	241
PI	432	432	99	115	105	102	112	111	261	237	460	343	237	233
R1	259	259	146	132	119	101	120	102	294	243	500	500	146	132
R2	534	534	159	137	142	113	159	125	341	256	505	300	210	164
R3	246	246	170	130	191	122	221	150	360	239	515	300	199	176
R4	974	974	102	123	98	111	107	127	216	226	300	300	363	325
R5	400	400	102	121	94	107	103	123	216	236	300	300	246	252
R6	436	436	102	121	101	115	119	141	209	228	162	162	247	251
R7	311	311	73	104	70	97	79	112	146	191	300	300	83	112
R8	335	335	73	104	77	107	90	127	146	192	101	101	145	164

R1: Teresina
R2: Großraum Fortaleza
R3: Küstenregion
R4: Süden von Piauí

R5 Gebiet mit großen potentiellen Wasserressourcen in Piauí
R6: Gebiet mit großen potentiellen Wasserressourcen in Ceará
R7: Gebiet mit geringen potentiellen Wasserressourcen in Piauí
R8: Gebiet mit geringen potentiellen Wasserressourcen in Ceará

Die Gesamtwasserentnahme im Jahre 2025 wird laut den Referenzszenarien um ca. 150% in Ceará und um ca. 135% in Piauí größer sein als 1996-98. Die Differenzen zwischen den RS sind vernachlässigbar. Die Sektoren Bewässerung, Tourismus und Industrie weisen in allen Szenarioregionen ein weitaus stärkeres Wachstum der Wassernutzung auf als die Sektoren Haushalte und Vieh. Der Anteil der Bewässerungswassernahme an der Gesamtentnahme steigt in Ceará von 47% heute auf 66-69% 2025 (je nach Referenzszenario), in Piauí von 40% auf 72-73%, im wasserreichen Teil von Ceará sogar von 49% auf 85%. Der Anteil der Industrierwassernutzung an der Gesamtentnahme bleibt gering und erhöht sich z.B. im RSA in Ceará von 6.6 auf 8.4%. Lediglich in Teresina, Fortaleza und der Küstenregion erhöht sich der Anteil beträchtlich im RSA. Die Haushaltswassernutzung steigt zwar absolut an, ihr Anteil an der Wassernutzung fällt jedoch von 32% (Ceará) bzw. 38% (Piauí) auf ca. 17%. Dies erklärt sich durch die für die Szenarien verwendeten Preissteigerungen und Preiselastizitäten (Tab. 4), die eine Absenkung des Pro-Kopf-Verbrauchs der angeschlossenen Personen in Ceará von 137 l/p/d (1997) auf 114 bzw. 106 l/p/d (2025 RSA bzw. RSB) und in Piauí von 144 (1997) auf 120 bzw. 112 (2025 RSA bzw. RSB) verursachen. Daher ist auch der Einfluss eines erhöhten Anschlussgrads der Haushalte an die öffentliche Wasserversorgung (Interventionsszenario) auf die Gesamtwasserentnahme gering (Steigerung dadurch < 2.4% im Untersuchungsgebiet).

2.3.4 Ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren

2.3.4.1 Wasserknappheitsindex

Abb. 8 zeigt den Wasserknappheitsindex heute und im Jahr 2025 unter den Bedingungen des Referenzszenarios A (RSA). Dabei wurde munizipspezifisch für den Ist-Zustand der Wasserknappheit die Wasserentnahme der Jahre 1996-98 sowie der langjährige mittlere Abfluss der Jahre 1951-1980 verwendet, und für das Jahr 2025 die Wassernutzung in diesem Jahr sowie der langjährige mittlere Abfluss im Zeitraum 2011-2040. Für die Berechnung der Bewässerungswassernutzung wurden dieselben Klimaperioden verwendet wie für die Berechnung des Abflusses. Allerdings wird der Abfluss des Parnaibas, Grenzfluss im Westen Piauí's, bislang zu gering modelliert, da die Abflussbildung außerhalb Piauí's nicht berücksichtigt wird. In den meisten Munizipien ist im Jahresmittel sowohl heute (Abb. 8a) als auch im Jahre 2025 (Abb. 8b) der Wasserknappheitsindex kleiner als 0.1, d.h. die jährliche Wassernutzung beträgt weniger als 10% der jährlichen Wasserverfügbarkeit. In wenigen Munizipien übersteigt die Wasserentnahme die Wasserverfügbarkeit an Oberflächenwasser; dies ist wohl zumindest im sedimentären Bereich auf die nicht-nachhaltige Nutzung von Grundwasser zurückzuführen. 2025 ist der Wasserknappheitsindex in 80% der Munizipien größer als heute. In den meisten Munizipien kann die Steigerung der Wassernutzung nicht durch eine klimabedingte Steigerung des Abflusses ausgeglichen werden (in 90% der Munizipien steigt die Wassernutzung, in 53% der Abfluss). Für das Referenzszenario B (RSB) ergibt sich ein fast identisches räumliches Muster wie für RSA.

Saisonale Engpässe innerhalb eines Jahres verdeutlicht der für einen Monat der Trockenzeit berechnete Wasserknappheitsindex. Im September ist der Wasserknappheitsindex für den Ist-Zustand in allen Munizipien größer als 1 (Abb. 8c); im September 2025 in 99% der Munizipien (Abb. 8d). Im RSA nimmt der Index gegenüber dem Ist-Zustand in 20 Munizipien zu und in acht Munizipien ab. In zwei von den acht Munizipien ist er sogar kleiner als 1 in 2025. Hier dominiert die klimabedingte Zunahme des Abflusses gegenüber der Wassernutzungssteigerung. Ansonsten steigt im September 2025 gegenüber dem Ist-Zustand der Anteil der Munizipien, in denen eine Wasserentnahme erfolgt, ohne dass Oberflächenabfluss vorhanden ist, noch um 1% auf 93% an. Dieses sehr negative Bild ergibt sich dadurch, dass die vorliegende Berechnung der Wasserverfügbarkeit nur den natürlichen Abfluss aber keine Speicher berücksichtigt. Die Wasserentnahme erfolgt in der Trockenzeit aus größeren Stauseen, die während der Regen-

zeit gefüllt wurden, aus durch Stauseebewirtschaftung perennisierten Fließgewässern und aus dem Grundwasser.

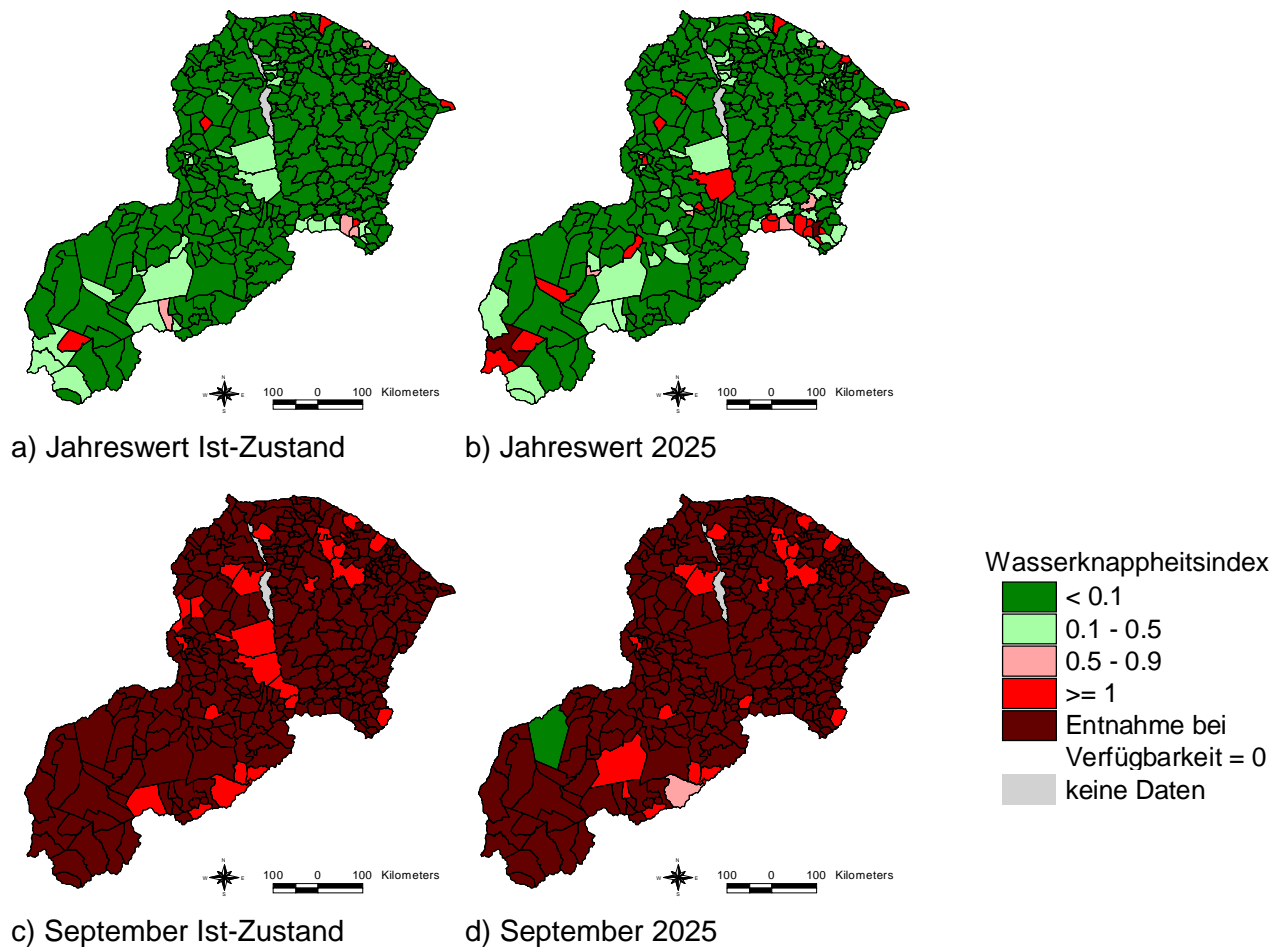


Abb. 8: Munizipspezifischer Wasserknappeitsindex unter heutigen Verhältnissen und in 2025 laut dem Referenzszenario A: Jahreswert Ist-Zustand (a), Jahreswert 2025 (b), Monatswert im Trockenmonat September Ist-Zustand (c), Monatswert im Trockenmonat September 2025 (d). Für die Berechnungen wurden für den Ist-Zustand die Klimadaten von 1951-1980 und für das Jahr 2025 von 2011-2040 der WAVES-Klimaszenarien verwendet.

2.3.4.2 Stickstoffeintrag

Abb. 9 zeigt die Änderungen des Stickstoffeintrags in die Gewässer der Szenarien für das Jahr 2025 gegenüber dem Ist-Zustand. Im Jahr 1997 waren in nur 11 Munizipien Kläranlagen vorhanden. Für das Referenzszenario B (RSB) wurde angenommen, dass alle Muniziphauptstädte in 2025 eine Kläranlage haben und 30% des Abwassers geklärt wird. Für das Interventionsszenario B (ISB) wurde von einer 70-prozentigen Klärung der anfallenden Abwässer ausgegangen. Je nach dem welches Klärverfahren verwendet wird, werden 15% des Stickstoffs bei primärer Klärstufe bzw. 30% bei sekundärer Klärstufe entzogen (de Wit und Schmol, 1999). Der Stickstoffeintrag pro Region steigt mit Zunahme der Bevölkerung an (Abb. 9). Wegen der angenommenen Zunahme der Kläranlagen nimmt der Stickstoffeintrag weniger stark zu als die Bevölkerung. Die Reduzierung des Eintrags durch die Klärung ist umso größer je besser das Klärverfahren (Unterschied zwischen Klärstufe 1 und 2) und je höher der Anteil der geklärten Abwässer ist (Unterschied zwischen RSB und ISB). Es zeigt sich, dass der Nutzen eines besseren Klärverfahrens bei 30% Kläranteil (RSB 2. Stufe) ähnlich dem der Klärstufe 1 bei 70% Kläranteil der Abwasser (ISB 1. Stufe) ist. Interessant dazu wäre eine entsprechende Kostenrechnung. Das ISB 2. Stufe zeigt, dass mit hohem technischen Aufwand sogar eine Reduzierung des

Stickstoffeintrags gegenüber dem Ist-Zustand in fünf von acht Regionen erreicht werden kann.

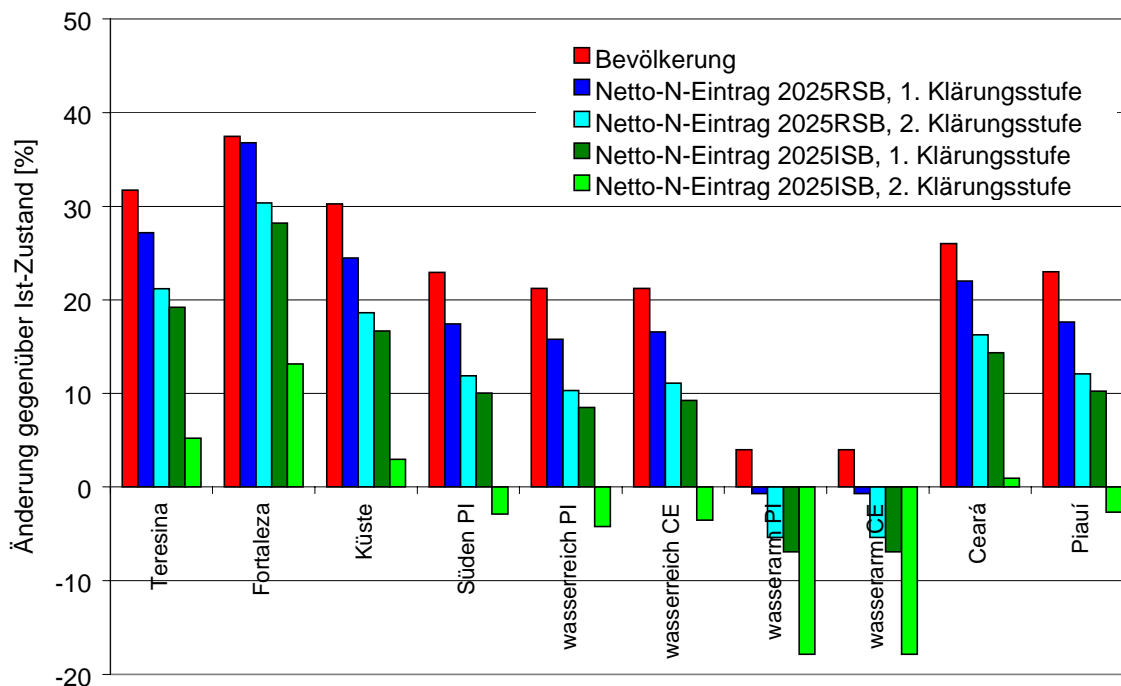


Abb. 9: Prozentuale Veränderung [in % der Werte 1997] der Bevölkerung und des Stickstoffeintrags in die Gewässer im Referenzszenario B sowie im Interventionsszenario B pro Szenarioregion und für die beiden Bundesstaaten. Der Stickstoffentzug durch Kläranlagen wurde 1997 für eine primäre Klärstufe (15% N weniger), für die 2025er Szenarien jeweils für eine primäre sowie für eine sekundäre Klärung (30% N weniger) berechnet.

2.4 Diskussion

Mit NoWUM wurde erstmalig eine umfassende und konsistente munizipspezifische Zusammenstellung des Ist-Zustands der Wassernutzung in Ceará und Piauí erreicht, die eine unabdingbare Voraussetzung für die Beurteilung der heutigen Wassersituation ist. Des Weiteren ist NoWUM so konzipiert, dass damit anhand von Szenarien der Einfluss des globalen Wandels (Klima, Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt, Preise usw.) auf die Wassernutzung abgeschätzt werden konnten. Es wurden verschiedene Wassernutzungsszenarien für das Jahr 2025 entwickelt und simuliert. Der Hauptunsicherheitsfaktor bei der Berechnung des Ist-Zustands sind die Bewässerungsflächen in Piauí, die lediglich durch ein Bewässerungsflächenkataster behoben werden könnte, welches bislang noch nicht existiert. Für die Szenarien wäre eine Kopplung des Wassernutzungsmodells mit dem regionalökonomischen Modells sinnvoll, um zu überprüfen, ob die angenommene zukünftige Ausdehnung der Bewässerungsflächen wirtschaftlich effizient ist. Durch eine Einbindung von Arbeiten zur Tierproduktion in das WAVES-Projekt könnten die Annahmen des Wachstums der Tierpopulationen in den Szenarien wesentlich verbessert werden. Weiterhin erfordern komplexere Annahmen zur zukünftigen Entwicklung des industriellen Bruttoinlandsprodukts einen makroökonomischen Beitrag. Die hier gezeigten Indikatoren der Wasserknappheit sind noch nicht geeignet, um sie Entscheidungsträgern vorzustellen und zwar nicht nur wegen der beschriebenen Unsicherheiten bei der Nutzungsberechnung, sondern auch weil bei der Berechnung der Wasserverfügbarkeit bislang die Speicherbewirtschaftung unberücksichtigt ist.

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten und brasilianischen Wissenschaftlern

Innerdeutsche Kooperation

- *AG Großskalige Hydrologische Modellierung:* Bereitstellung von Niederschlags- und Verdunstungsdaten; gemeinsame Geländebegehungen, Datenerhebungen, Behördenbesuche, Literaturrecherchen zum Thema Wasser in Nordostbrasilien; Verknüpfung der Modellergebnisse beider großskaligen Modelle zur Berechnung von Wasserknappheitsindizes
- *AG Wassermanagement/-ressourcen:* Vergleich von Wassernutzungsdaten im Fokusgebiet Picos
- *FB Agrarökosysteme:* Bereitstellung von Daten über potentielle Bewässerungsflächen sowie zur Stickstoffdüngung und zum Stickstoffaustrag in den Tropen
- *AG Regionalökonomie:* Austausch digital aufgearbeiteter Daten (Viehzahlen, Bewässerungsflächen); vergleichende Modellanwendungen des regionalökonomischen und des Wassernutzungsmodells zum landwirtschaftlichen Wasserbedarf
- *AG Sozioökonomische und -kulturelle Analysen:* Austausch analoger und digitaler ökonomischer Daten
- *AG Integrierte Modellierung:* Bereitstellung des Wassernutzungsmodells und einer munitzipspezifischen Zuordnung der Entnahmekompartimente pro Wassernutzungssektor für das Integrierte Modell
- Intensive Mitarbeit in der *AG Szenarien:* Initiierung und Konzept der AG, Dateninput, gemeinsame Erstellung von Referenzszenarien

Internationale Kooperation

Im Rahmen der brasilianisch-deutschen Kooperation wurde jährlich eine Reise der AG Großskalige Wassermanagementmodellierung nach Ceará und Piauí durchgeführt, die die Teilnahmen an den bilateralen WAVES-Workshops in Fortaleza im März 1998 und April 1999 ermöglichten und denen sich in 1998 und 1999 jeweils ein mehrwöchiger Forschungsaufenthalt von M. Hauschild in den beiden Bundesstaaten zur Sammlung von Sekundärdaten anschloss. Die erste Reise im Oktober 1997 diente, um für das in der Hauptphase neu hinzugekommenes Teilprojekt erste Kontakte zum Aufbau einer Kooperation mit brasilianischen Forschern und Institutionen zu knüpfen. Hier fand bereits ein Kennenlernen und ein erster Austausch mit den späteren Kooperationspartnern Prof. Dr. J. C. de Araújo (UFC) und Prof. J. C. Vieira Pinheiro (UFC) statt. Zurück in Deutschland wurden Kontakte auch zu nicht an WAVES beteiligten deutschen und internationalen Forschern, Experten und Projekten aufgebaut, um Wissen über den Nordosten Brasiliens und existierende Daten zum Wasserbedarf, zur Wasserversorgung und zum Wassermanagement zusammengetragen. Daraus entwickelte sich die sehr fruchtbare Zusammenarbeit mit dem Projekt SISAR der KfW, welches eine dezentrale öffentliche Wasserversorgung in ländlichen Gemeinden aufbaut, die inzwischen auch andere brasilianische und deutsche WAVES-Teilprojekte nutzen. Ende 1997 konnte Dr. R. A. Young, emeritierter Professor der Colorado State University und Gutachter für die Weltbank, ein Experte für Wasserökonomie in Industrie- und Entwicklungsländern, gewonnen werden, um im Rahmen eines Werkvertrags aus wasserökonomischer Sicht, Strategien für ein verbessertes Wassermanagement in Piauí und Ceará auszuarbeiten. Grundlage dafür war die von der AG und Prof. Dr. de Araújo ausgearbeitete 10-tägige Exkursion, auf der öffentliche und private Bewässerungsprojekte, das Projekt SISAR sowie die für Wassernutzung und -management zuständigen Organisationen der beiden Bundesstaaten besucht wurden und die gemeinsam mit Dr. Young und Prof. Dr. de Araújo im März 1998 durchgeführt wurde. In Teresina wurde das Exkursionsteam um Prof. M. Airton de Sousa (UNIFOR) erweitert. Gemeinsam wurde in dieser Zeit das Konzept eines Projektes zu Kosten der Wasserversorgung und Wassernutzung erarbeitet, das direkt die Arbeit der AG Großskalige Wassermanagementmodellierung ergänzt. Dieses brasilianische Teilpro-

jekt von Prof. de Araújo hat seine Arbeit im September 1998 aufgenommen. Die ausgearbeiteten Kosten der Wassernutzung werden in den verbleibenden Monaten der ersten WAVES-Hauptphase in das Wassernutzungsmodell NoWUM zur Modellierung der zukünftigen Wassernutzung in Ceará und Piauí implementiert. Ebenso wird seit September 1998 das wasserökonomische Projekt von Prof. J. C. Vieira Pinheiro (UFC) vom CNPq gefördert. Während der Reise im März 1999 diskutierte die AG mehrfach seinen Fragebogen zur Erhebung der Zahlungsbereitschaft der Nutzer für eine öffentliche Wasserversorgung und begleitete die Felderhebung in einer Gemeinde im Munizip Tauá. Die gemeinsame einwöchige Exkursion der drei Teilprojekte, die auf großer Skala zum Thema Wasser arbeiten (Prof. de Araújo und Stipendiaten, AG Großskaliges Hydrologisches Modell (PIK) sowie AG Großskalige Wassermanagementmodellierung), die im März 1999 ins Jaguaribe-Einzugsgebiet und in die Cariri führte, diente dem intensiven Austausch, der Datenerhebung zu Wasserkosten, -nutzung und -qualität an ausgewählten Standorten sowie der Diskussion der WAVES-Referenzszenarien. Die Kooperation konnte durch einen 12-tägigen Besuch von Prof. de Araújo im Oktober 1999 in Kassel fortgesetzt werden, wo er die ersten Ergebnisse des Wasserkostenprojekts vorstellte. Weiterhin wurden zu den Referenzszenarien konsistente Wassermanagementszenarien gemeinsam diskutiert und quantifiziert. Abschließend wurden die weiteren Schritte der bilateralen Kooperation zwischen Kassel und UFC, innerhalb der ersten WAVES-Hauptphase und darüber hinaus, bzgl. Wasserkosten und Wasserqualität geplant. Eine Vielzahl der für die AG Großskalige Wassermanagementmodellierung benötigten Daten konnten von Organisationen erhalten werden, die keine Einbindung in WAVES haben. Kontakte zu diesen wurden durch Prof. de Araújo (UFC), Prof. M. Airton de Sousa (UNIFOR), M. Lopes Gil (DHME) und Prof. F. Veloso (UFPI) ermöglicht.

2.6 Bibliographie

2.6.1 Eigene Publikationen

- Bronstert, A., Jaeger, A., Güntner, A., Hauschild, M., Döll, P. & Krol, M. (1999): Integrated modelling of water availability and water use in the semi-arid Northeast of Brazil. In: Physics and Chemistry of the Earth, in press.
- Hauschild, M., Döll, P. (1999): Large Scale Water Use Model NoWUM for Modeling Water Management in Ceará and Piauí in Northeast of Brazil. Version 1.0. HyperWAVES, <http://www.usf.uni-kassel.de/WAVES>.

2.6.2 Zitierte Literatur

- AGESPISA (1997): Boletim estatístico mensal 01/97 - 12/97, unveröffentlichtes Manuskript.
- AGESPISA (1998): Relatório 49, unveröffentlichtes Manuskript.
- BNB/PBLM (1997): Execução de serviços técnicos sobre a demanda de água no Nordeste do Brasil, Relatório Final, Agosto 1997.
- CAGECE (1997): Auszug aus CAGECE-Datenbank. Fortaleza, unveröffentlicht.
- CAGECE (1998): Auszug aus CAGECE-Datenbank. Fortaleza, unveröffentlicht.
- CAGECE (1999): Relatório 12: Dados operacionais - consolidado 1989 - 1998. Unveröffentlichtes Manuskript.
- COGERH (1995): Cadastramento dos usuários de água bruta da bacia do rio Curu. VBA, Fortaleza.
- COGERH (1998a): Estudo preliminar da operação conjunta do sistema Jaguaribe e sistema Metropolitan. Fortaleza.
- COGERH (1998b): Projeção da demanda industrial de água bruta. Unveröffentlichtes Manuskript.
- de Wit, M., Schmoll, O. (1999): Emission estimates: rubbish in - rubbish out? In: Fohrer, N., Döll, P. (ed): Modellierung des Wasser- und Stofftransports in großen Einzugsgebieten. Kassel, kassel university press.

- Diário do Nordeste (1998a): Juazeiro lembra morte de Padre Cícero, Diário do Nordeste, 20.07.1998, Fortaleza.
- Diário do Nordeste (1998b): Juazeiro, 87 anos de emancipação, Diário do Nordeste, 22.07.1998, Fortaleza.
- DNOCS (1994a): Planejamento Agrícola - 1994, Calendário Geral de Ocupação da Área Irrigada. DNOCS DIRGA-GAP (Diretoria de Irrigação - Grupo de Apoio à Produção), Fortaleza.
- DNOCS (1994b): Relatórios Agropecuários 2º Semestre/94. DNOCS DIRGA-GAP (Diretoria de Irrigação - Grupo de Apoio à Produção), Fortaleza.
- DNOCS (1995a): Planejamento Agrícola - 1995, Calendário Geral de Ocupação da Área Irrigada. DNOCS DIRGA-GAP (Diretoria de Irrigação - Grupo de Apoio à Produção), Fortaleza.
- DNOCS (1995b): Relatórios Agropecuários 2º Semestre/95. DNOCS DIRGA-GAP (Diretoria de Irrigação - Grupo de Apoio à Produção), Fortaleza.
- DNOCS (1996a): Planejamento Agrícola - 1996, Calendário Geral de Ocupação da Área Irrigada. DNOCS DIRGA-GAP (Diretoria de Irrigação - Grupo de Apoio à Produção), Fortaleza.
- DNOCS (1996b): Relatórios Agropecuários 2º Semestre/96. DNOCS DIRGA-GAP (Diretoria de Irrigação - Grupo de Apoio à Produção), Fortaleza.
- EMBRAPA-CPATSA/SUDENE (1984): Projeto Sertanejo. Captação e Conservação de Água de Chuva para Consumo Humano - Cisternas rurais - Dimensionamento, Construção e Manejo. Circular Técnica, Numero 12.
- EMBRATUR (1997): Deliberação normativa N° 385 de 28 novembro de 1997. Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo.
- FAO (1992): CROPWAT - A Computer Program for Irrigation Planning and Management. FAO Irrigation and Drainage Paper 46, Rome.
- FIEPI (1991): Cadastro industrial do Piauí 1990/91. Federação das indústrias do estado do Piauí, Teresina.
- FNS (1997): Dados técnicos mês a mês do SAAE 1997. Fortaleza. Unveröffentlichtes Manuskript.
- FUNASA (1998): Quadro demonstrativo das obras trabalhadas. FUNASA - Coordenação regional do Piauí. Teresina. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Gleick, P.H. (1996): Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. Water International 21, 83-92.
- Gomez, C. (1987): Experience in predicting willingness to pay on water projects in Latin America. In: Monatanari, F. W. e. a. (ed): Resource Mobilization for Drinking Water and Sanitation in Developing Nations. New York, American Society of Civil Engineers, 242-254.
- IBGE (1997): Contagem da População 1996. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro.
- IBGE (ed) (1998a): Censos Economicos de 1995 - 1996. Censo Agropecuário Ceará. IBGE. No. 11. Rio de Janeiro.
- IBGE (ed) (1998b): Censos Economicos de 1995 - 1996. Censo Agropecuário Piauí. IBGE. No. 10. Rio de Janeiro.
- IPLANCE (1999): PIB municipal detalhado 1993-1996. Fortaleza. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Lopes Neto, A. (1998): Possibilidades de Modernização Rural do Ceará através da Agricultura Irrigada e da Fruticultura. CNPq, SECITECE, Fortaleza.
- Marwell Filho, P. (1995): Análise de Sustentabilidade do Estado do Piauí quanto aos Recursos Hídricos. Projeto ÁRIDAS: Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste, Tema 7, Governo do Estado do Piauí - Secretaria de Planejamento - Grupo Recursos Hídricos.
- O Povo (1998): Festa de São Francisco em Canindé reúne 600 mil romeiros em 10 dias, O Povo, 25.10.1998, Fortaleza.
- PIEMTUR (1998): Persönliche Mitteilung.
- SEBRAE/CE, SETUR (1998): Perfil do Turista Nacional de Fortaleza.
- SEBRAE/CE (1998): Relatório da Pesquisa de Demanda Hoteleira.
- SETUR/CE (1997a): Demanda Turística via Fortaleza Julho de 1997.
- SETUR/CE (1997b): Demanda turística mensal via Fortaleza 1996/1997

- SETUR/CE (1997c): Manual de Informações turísticas
- SETUR/CE (1998a): O Aeroporto e o Turismo no Ceará
- SETUR/CE (1998b): Síntese do Desempenho Recente do Turismo no Ceará.
- SETUR/CE (1998c): Demanda Turística a Ibiapaba, in: Agregados Turísticos do pólo Araripe.
- SETUR/CE (1998d): Pólo de Ecoturismo Araripe/Cariri, Agregados e Indicadores Turísticos.
- SETUR/CE (1998e): Cenários dos Agregados Turísticos: 1998-2020
- SISAR (1998): Resumo gerencial mensal 01/98 - 12/98. Unveröffentlichtes Manuskript.
- SOHIDRA (1998): Subprojetos liberados/não liberados por município e comunidade encaminhados à unidade técnica de coordenação do Projeto São José. Fortaleza. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Statistisches Bundesamt (1998): Wasserversorgung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe 1995. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (1999): Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen 1995. Wiesbaden.
- Stephenson, D. (1998): Water Supply Management, Kluwer Academic Publishers.
- USGS (1998): National Water Use Data 1995. U.S. Geological Survey.
- Wolff, P. (1996): Zur Nachhaltigkeit der Wassernutzung - eine kritische Betrachtung unter besonderer Berücksichtigung des Wasserbedarfs der Landwirtschaft. In: Journal of Applied Irrigation Science **31** (2), 129-154.
- Young, R. A. (1998): Water Management Options for Ceará and Piauí, Brazil in the Prospect of Global Changes. Colorado.

3 Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen Planung und Ausblick

Der Stand des Vorhabens im Teilvorhaben Großskalige Wassermanagementmodellierung entspricht der ursprünglichen Planung. Die zentralen Aufgaben des Berichtszeitraums wurden durchgeführt: die Erstellung eines großskaligen Wassernutzungsmodells, die Berechnung des Ist-Zustands der Wassernutzung, die Entwicklung von Wassernutzungs- und Wassermanagementszenarien für die Zukunft, die Durchführung von Prognoserechnungen der zukünftigen Wassernutzung sowie eine Beurteilung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen in Hinblick auf Nachhaltigkeit. In den verbleibenden Zeit der ersten Hauptphase sollen noch Kosten der Wasserbereitstellung in das Wassernutzungsmodell integriert und damit die Prognoserechnungen verfeinert werden. Die Modellversion NoWUM 1.0 wird im Februar 2000 an die AG Integrierte Modellierung überreicht werden. Die Arbeitsergebnisse der ersten Hauptphase werden der COGERH, dem SEMAR und den Wasserversorgern AGESPISA und CAGECE zum Ende der Vorhabenslaufzeit präsentiert werden.

Eine Fortführung des Vorhabens über die erste Hauptphase hinaus hätte das Ziel, mögliche zukünftige Wassermanagementmaßnahmen in Piauí und Ceará mit Hilfe der Szenariomethode und der multikriteriellen Analyse zu bewerten. Die Bewertung erfolgt anhand von Indikatoren, die mit Hilfe der flächendeckenden Wassermanagementmodellierung bestimmt werden. Dabei beinhaltet die Wassermanagementmodellierung die Berechnung von wichtigen wasserwirtschaftlichen Größen wie Wasserdargebot (durch AG Großskalige hydrologische Modellierung), Wassernutzung und Wasserqualität sowie die Abbildung von Entscheidungsprozessen. Arbeitsschwerpunkte der AG Großskalige Wassermanagementmodellierung wären die Erstellung eines großskaligen Wasserqualitätsmodells, die Verbesserung des Wassernutzungsmodells, sowie die Analyse und Modellierung wassermanagementbezogener Entscheidungsprozesse. Eine enge Kooperation mit Entscheidungsträgern der beiden Bundesstaaten wird angestrebt, um sie in den Bewertungsprozess einzubeziehen und um die Arbeitsergebnisse zur Unterstützung der Regionalplanung zu transferieren.

4 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind

Eine Vielzahl der zum Aufbau des Wassernutzungsmodells benötigten Daten konnten von Organisationen erhalten werden, die keine Einbindung in WAVES haben: AGESPISA, CAGECE, COGERH, DNOCS, FIEPI, FNS, FUNASA, IPLANCE, PIEMTUR, SDU, SEMACE, SEPLAN, SETUR, SISAR, SOHIDRA, SRH. Genaue Aufschlüsselung siehe Tab. 1 und Tab. 4.

5 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten

- keine -

6 Abkürzungen

AGESPISA	Águas e Esgotos do Piauí
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
COMDEPI	Companhia do Desenvolvimento do Piauí
DHME	Departamento de Hidrometeorologia (Teresina - PI)
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMBRATUR	Empresa Brasileira de Turismo
FIEPI	Federação das Indústrias do Estado do Piauí
FNS	Fundação Nacional de Saúde (Ceará)
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde (Piauí)
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPLANCE	Fundação Instituto de Planejamento do Ceará
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
PIEMTUR	Empresa de Turismo do Piauí
SDU	Secretario do Desenvolvimento Urbano
SEAGRI	Secretaria da Agricultura Irrigada
SEMACE	Secretaria do Meio Ambiente do Ceará
SEMAR	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SEPLAN	Secretaria do Planejamento
SETUR	Secretaria do Turismo
SISAR	Sistema Integrado de Saneamento Rural
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas do Ceará
SRH	Secretaria dos Recursos Hídricos
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UNIFOR	Universidade de Fortaleza