



hochschule  
coburg university  
of applied  
sciences

**Hochschule Coburg  
für angewandte Wissenschaften**

**Fakultät Design  
Studiengang Bauingenieurwesen**

Tobias Drehkopf

**Wasserver- und Abwasserentsorgung  
in Lima**

**Simulative Auswertung von  
Zukunftsszenarien**

**Bachelor-Thesis**

Im Sommersemester 2012

**Bachelor-Thesis**  
im Fach Siedlungswasserwirtschaft  
Studiengang Bauingenieurwesen

Prüfer:

Prof. Sitzmann

Bearbeitungszeitraum: 01.03.12 bis 29.06.12

Coburg, Juni 2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>1</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Einführung in den Standort Lima, Peru</b> .....	<b>5</b>
2.1 Peru .....	5
2.2 Hauptstadt Lima .....	5
2.3 Politische Lage .....	6
2.4 Wirtschaft .....	7
2.5 Wasserwirtschaft und -versorgung in Lima .....	8
2.5.1 Wasserquellen.....	8
2.5.2 Trinkwasser- und Sanitärversorgung .....	9
2.5.3 Tarifstruktur .....	9
2.6 Aufbereitung und Qualität .....	11
2.6.1 Politik und Organisationsstrukturen .....	12
<b>3 Das LiWa Projekt</b> .....	<b>13</b>
3.1 Ziele .....	13
3.2 Aufbau und Organisation .....	14
<b>4 Macrosimulation mit Hilfe des LiWa-Tools</b> .....	<b>16</b>
4.1 Methodik und Anwendung .....	16
4.2 Aussagekraft und Nutzen der Ergebnisse.....	17
4.3 Beschreibung der Deskriptoren .....	17
4.4 Szenarien-Bildung mit Hilfe des Cross-Impact-Verfahrens .....	22
4.5 Die Szenario-Bildung im Fall des LiWa-Projektes.....	23
<b>5 Simulation und Auswertung der Referenzszenarien der Szenario-Gruppen</b> ..	<b>23</b>
5.1 Gewählte Szenarien .....	24
5.2 Ausführung und Ergebnisse einer Simulation .....	24
5.2.1 Simulationsdurchführung mit Zeitreihenanpassung .....	24
5.2.2 Analyse der Simulationsergebnisse .....	27
5.3 Schlussfolgerungen aus allen Simulationen.....	28
<b>6 Sensitivitätsanalyse ausgewählter Maßnahmen</b> .....	<b>30</b>
6.1 Sparmaßnahmen durch Sparkampagnen .....	30

---

6.1.1 Zusammenfassung:.....	31
6.1.2 Ergebnisse: .....	31
6.2 Verlustreduzierung .....	33
6.2.1 Zusammenfassung:.....	33
6.2.2 Ergebnisse: .....	34
6.3 Tariferhöhungen.....	35
6.3.1 Zusammenfassung:.....	36
6.3.2 Ergebnisse: .....	36
6.4 Kritische Bewertung und Schlussfolgerung der Analyse .....	37
<b>7 Zusammenfassung und Aussicht .....</b>	<b>39</b>
<b>Anhang A: Szenariogruppen .....</b>	<b>41</b>
<b>Anhang B: Szenarienmatrix.....</b>	<b>42</b>
<b>Anhang C: Korrekturgrafiken der Basisszenarien .....</b>	<b>43</b>
<b>Anhang D: Korrekturgrafiken der Sparmaßnahmen .....</b>	<b>44</b>
<b>Anhang E: Korrekturgrafiken der Leckagereduktion.....</b>	<b>46</b>
<b>Anhang F: Korrekturgrafiken der Sparmaßnahmen .....</b>	<b>49</b>
<b>Anhang G: Rechercharbeit für die Sensitivitätsanalyse.....</b>	<b>51</b>
<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>54</b>
<b>Erklärung .....</b>	<b>58</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 13: Frei verfügbares Wasser in den Basiszenarien	29
Abbildung 15: Frei verfügbares Wasser der Szenario-Konfiguration 8 bei verschiedenen Trinkwasser-Sparmaßnahmen	32
Abbildung 16: Wasserkonsum bei verschiedenen Spareffekten durch Kampagnen	32
Abbildung 17: Der Trinkwasserbedarf bei unterschiedlichen Leckage-Reduktionen	34
Abbildung 18: Der Trinkwasserbedarf bei unterschiedlichen Leckage-Reduktion	35
Abbildung 19: Wasserkonsum bei verschiedenen Preissteigerungen in einem nicht- kostendeckenden Szenario	36
Abbildung 20: Tarifeinnahmen bei verschiedenen Preissteigerungen in einem nicht- kostendeckenden Szenario	37
Abbildung 21: Wasserkonsum bei verschiedenen Preissteigerungen in einem kostendeckenden Szenario	37

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Volumetrische Gebühr (Quelle: El Peruano (2010))	10
Tabelle 2-2: Zuweisung des Maximalkonsums (Quelle: El Peruano (2010))	11
Tabelle 3-1: Arbeitspakete des LiWa-Projektes (Quelle: LIWA o.A.)	15
Tabelle 6-1: Zusammenfassung der gewählten Szenariokonfigurationen	31
Tabelle 6-2: Zusammenfassung der gewählten Szenariokonfigurationen	34
Tabelle 6-3: Zusammenfassung der gewählten Szenariokonfiguration	36
Tabelle 6-4: Absolute Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bezogen auf Szenario 8	38

## Abkürzungsverzeichnis

BPB	Bundeszentrale für politische Bildung
BMBF	Bundesministeriums für Bildung und Forschung
EPS	Empresa Prestadora de Servicios
HC	household connections
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IZKT	Internationalen Zentrum für Kultur- und Technikforschung
JASS	Juntas Administradoras de Agua y Saneamiento
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
ZIRN	Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung am Internationalen Zentrum für Kultur- und Technikforschung

# 1 Einleitung

Zu Beginn meines einjährigen Auslandsaufenthaltes während meines Studiums im Jahr 2011 war mir sehr wohl bewusst, vor welchen großen Herausforderungen das Land Peru insbesondere Lima in Bezug auf die Wasserversorgung steht. Diese erfordern nicht nur technologisch höchst anspruchsvolle Lösungsstrategien sondern auch einen stark kooperativen, politischen Willen, um wirklich nachhaltig die Trinkwasserversorgung für die nächsten Generationen sicherzustellen.

Umso begeisterter war ich, als mir die Möglichkeit geboten wurde, in diesen Prozess Einblick zu erhalten und schließlich selbst mitwirken zu dürfen. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt „Lima Water“ (kurz: LiWa) war Bestandteil der Forschungsprojekte „Future Megacities“. Mit den persönlichen Erfahrungen von Klima, Wasser und der Stadt selbst, die ich während meiner Zeit in Lima sammelte, begann ich nach meiner Rückkehr nach Deutschland meine Arbeit am Institut für Automation und Kommunikation in Magdeburg unter der Leitung von Herrn Dr. Schütze.

Der Ansatz dieses Projektes beruht auf der Idee, zukünftigen Entscheidungsträgern in Lima fundiertes Wissen über mögliche Lösungsstrategien zur Verfügung zu stellen und besonders ökologisch und ökonomisch Nachhaltigkeit und Sozialverträglichkeit besser abschätzen zu können. Dies soll über die Simulation verschiedener Zukunftsszenarien und verschiedenen vorgeschlagenen Lösungswegen erfolgen. Hierfür sollen sämtliche Einflussfaktoren wie beispielsweise Klimawandel und politische Situationen berücksichtigt werden, um aus deren möglichen Kombinationen in sich schlüssige Szenarien zu bilden. Diese sollen im Anschluss mit einer speziell dafür entwickelten Simulationssoftware berechnet und evaluiert werden können.

In dieser Arbeit habe ich mich speziell mit dieser sich noch in der Entwicklung befindlichen Software befasst, habe erste Simulationsanalysen durchgeführt und Verbesserungen vorgeschlagen, potentielle Anwendungsfälle analysiert und erste grobe Schlüsse zu den gewählten Zukunftsszenarien gezogen, sofern es der Rahmen dieser Arbeit zuließ.

Zu guter Letzt stellt das Projekt so gesehen nicht nur für Lima einen Lösungsansatz zukünftiger Sanitärprobleme dar, gibt es doch weltweit viele ähnliche Millionenstädte, die auf Grund gleicher Problematiken in Zukunft zum Handeln gezwungen sind. Daher kann das LiWa-Projekt auch als Pilotprojekt angesehen werden, welches in Zukunft auch weltweit in der Siedlungswasserwirtschaft größeren Anklang finden könnte.

## 2 Einführung in den Standort Lima, Peru

*Die peruanische Bevölkerung umfasst eine Vielzahl verschiedener ethnischer und kultureller Gruppen, die sie zu einer der heterogensten Gesellschaften auf dem amerikanischen Kontinent macht. In seiner gesamten Geschichte hat das Land tiefgreifende politische und soziale Konflikte erlebt, wodurch eine Situation der chronischen Instabilität hervorgerufen wurde, die die Entstehung einer echten nationalen Identität verhinderte.*

- EUROPÄISCHE KOMMISSION 2007

### 2.1 Peru

Peru ist nach Brasilien und Argentinien das drittgrößte Land Südamerikas und ist mit einer Fläche von 1,285 Mio km<sup>2</sup> dreieinhalbfach so groß wie Deutschland (DROUVE A. (o.A)). Es liegt im zentralen Westen Südamerikas und besteht aus den drei Klimazonen. Diese sind die *Costa* (Küste, Wüste; 11%), die *Sierra* (Gebirge; 30%) und der flächengrößten *Selva* (Dschungel; 59%), welche gespeist durch die Andengletscher und den Amazonas, 5% der weltweiten Frischwasser Ressourcen besitzt (MINISTERIO DE DEFENSA 2005).

Doch vor allem die Andengletscher, von denen vor allem die bevölkerungsreichen Küstenregionen in Bezug auf Frischwasser besonders abhängig sind, verschwinden allmählich als eine Folge des Klimawandels, was Peru somit zum drittsensibelsten Land bezogen auf den Klimawandel macht.

Das Land ist in 24 *departamentos* (Verwaltungsbezirke), 156 *provincias* (Provinzen), der konstitutionellen Provinz Callao (unabhängige Hafenstadt Lima's) und ist in 2.010 *distritos* (Bezirke) aufgeteilt (RIOFRÍO ET AL. 2003).

Laut INEI 2007a betrug die Bevölkerung Perus 28.220.764 Menschen. War ursprünglich der Großteil der Bevölkerung noch auf dem Land angesiedelt (64,6% im Jahre 1940), so lebt die Mehrheit mittlerweile in Städten (75,9% im Jahre 2007).

Betrachtet man die drei Klimazonen Perus (*Costa*, *Sierra*, *Selva*), zeigt sich eine Verschiebung der Bevölkerung von den Andenregionen (*Sierra* 52,3% im Jahre 1961) in Richtung der wasserarmen Küstenregionen (*Costa* 54,6 % im Jahre 2007), während im wasserreichen, jedoch infrastrukturell ungünstigen Dschungelgebiet eine geringe Zunahme zu verzeichnen ist von 8,7% (1961) auf 13,4% (2007).

### 2.2 Hauptstadt Lima

Die Hauptstadt Lima liegt im mittleren Süden an der knapp 2000km langen peruanischen Pazifikküste. Das Andengebirge, das sich im Osten nach weniger als 100km auftürmt, trennt den regenreichen Urwald von der meist stark ariden Küste [RIOFRÍO ET

AL. 2003]. Die gesamte Metropolenregion erstreckt sich über eine Fläche von 2.817 Quadratkilometer (CONAM ET AL. 2005).

Die Metropole *Lima Metropolitana* (kurz Lima), bestehend aus der Hafenstadt Callao und der Hauptstadt Lima, umfasst mit seinen 8.455.211 Einwohnern ca. 31% der Gesamtbevölkerung Perus (INEI 2007b). Lebten Anfang der 40er Jahre noch 60% der Bevölkerung Perus auf dem Land, kam es vor allem in den 50er und 60er Jahren und Anfang der 80er Jahren begründet durch den aufkeimenden Terrorismus, durch die Bewegung des *Sendero Luminoso* (Leuchtender Pfad), zu einer explosionsartigen Zuwanderung nach Lima. Diese Landflucht lies Lima in kürzester Zeit enorm wachsen. So entstanden abseits vom Stadtkern die meist von Armut geprägten, informelle Siedlungen, sogenannte *pueblos juvenes* (wörtl. junge Dörfer) (DIETERLE ET AL., 2004). Im Verhältnis zu anderen lateinamerikanischen Großstädten ist die Bevölkerungsdichte von 2857 Einwohnern pro Quadratkilometer hoch und durch die extrem horizontale Stadtentwicklung zu erklären. Unter diesen Bedingungen litt ebenso der adäquate Ausbau des Trink- und Abwassersystems (CONAM ET AL. 2005).

### 2.3 Politische Lage

Anfang der 80er Jahre durchlebte Peru über mehr als ein Jahrzehnt den politischen Terrorismus seitens gewalttätiger Gruppen namens *Sendero Luminoso* (Leuchtender Pfad) und *Movimiento Revolucionario Tupac Amarú* (Revolutionäre Bewegung Tupac Amarú). Diese Zeit beeinflusste das Land negativ in seiner Entwicklung in Form von Infrastrukturzerstörungen, Armut und sozialer Ausgrenzung bestimmter Gruppen. Erst durch Alberto Fujimori und seinen radikalen Reformen zur Bekämpfung des Terrorismus konnte sich das Land langsam wieder in die internationale Wirtschaft eingliedern. Da dieser jedoch unter anderem in Korruption und gezielte Mordaktionen verwickelt war, trat Fujimori im Jahr 2001 zurück und wurde später im Jahr 2005 festgenommen. Ab dem Zeitpunkt des Rücktrittes Fujimoris begann der Übergang zur Demokratie und Alejandro Toledo (2001 – 2006), Alan García (2006 – 2011) und zuletzt der als nationalistisch, linksgerichtet angesehene Ollanta Humala ( ab 2011) wurden als Präsidenten gewählt.

Das aktuelle Regierungsprogramm Ollanta's fasst STOLL (2011) folgendermaßen zusammen:

*Angestrebt wird ein radikaler Wechsel vom neoliberalen Modell zu einer sogenannten »Nationalen Marktwirtschaft« (Economía Nacional de Mercado) mit einem starken Staat, der die Entwicklung des Landes vorantreibt, die Marktwirtschaft reguliert und grundlegende Dienstleistungen erbringt (Bildung, Gesundheit, soziale Sicherheit, Wasserver- und -entsorgung).*

## 2.4 Wirtschaft

Lima ist neben dem administrativen und politischen auch zum kulturellen Zentrum Perus gewachsen. Der Großteil aller wirtschaftlichen Aktivitäten wird hier getätigt. Der Unterschied zwischen anderen Landesteilen und der Hauptstadt ist gewaltig. Sind viele andere Landesteile noch stark rückständig ist Lima das Zentrum wichtiger Wirtschaftsfaktoren wie dem Im- und Export, Dienstleistungen und der Industrie. Außerhalb Limas nimmt vor allem die Landwirtschaft, die Fischerei und der Bergbau im Hochland einen großen, industriellen Stellenwert ein. Vor allem seit 2002 befindet sich das Land im Aufschwung und erlebt einen jährliche Wachstum des BIP von bis zu 6,9% (INEI 2011a). Die Brutto-Schuleinschreibungsrate liegt bei 98,5%, wobei die Analphabeten Quote Ende 2010 bis auf 7,2% sank (INEI 2010). Auch das Bruttoinlandsprodukt Perus steigt tendenziell (5.614 USD im Jahre 2011) und stellt ebenfalls einen positiven Trend dar (WEOD 2011).

Trotz aller Prognosen muss jedoch weiterhin auf die extreme Ungleichheit hingewiesen werden, die das Land erfährt. Laut der BPB (o.A.) ist Peru vor allem von einer starken Ungleichheit, mit einer zahlenmäßig dünnen, enorm reichen Oberschicht, einer seit den Sechzigerjahren langsam wachsenden, aber oft vom sozialen Abstieg bedrohten (urbanen) Mittelschicht geprägt, sowie einer riesigen Anzahl von Bedürftigen, die sowohl in den Armenvierteln der Städte als auch auf dem Land wohnen. Letztere sind oft indigener Herkunft.

## 2.5 Wasserwirtschaft und -versorgung in Lima

Das für die Trinkwasserver- und die Abwasserentsorgung in der Metropolenregion Lima zuständige Unternehmen heißt SEDPAL. Es ist ein staatliches Unternehmen des privaten Rechts und ganz im Besitz des Staates. Es konstituiert sich als eine Kapitalgesellschaft und untersteht dem Ministerium für Wohnungs-, Bau- und Sanitärwesen. In seinem Handeln ist es jedoch technischen, administrativ, wirtschaftliche und finanziell unabhängig (SEDAPAL 2009).

### 2.5.1 Wasserquellen

Der jährliche Niederschlag liegt im Vergleich zu anderen südamerikanischen Großstädten mit 1-50 mm jährlich extrem niedrig, so dass er in der Wasserbilanz keine entscheidende Rolle spielt. Die wichtigste Versorgungsquelle der Küstenregionen stellt das Wasser aus den Andenregionen dar, welches über die Flüsse in Richtung Pazifik geleitet wird. Lima befindet sich im Einzugsgebiet der Flüsse *Rio Chillón*, *Rio Rimac* und *Rio Lurin* (Nord nach Süd) die durch das Schmelzwasser und den Niederschlag in der Region der Andengletscher gespeist werden (LEAVELL 2008). Vor allem die zwei Flüsse *Rio Chillón* und *Lurin* sind starken saisonalen Schwankungen im Jahresverlauf ausgesetzt. Letzterer ist auf Grund dessen und seiner exponierten Lage mehr von landwirtschaftlichen Nutzen, als dass er der Trinkwasserversorgung zu Gute kommt. Nach ZEEB (2010) werden 79% des aktuellen Bedarfes Limas aus dem *Rio Rimac* an der Entnahmestelle *La Atarjea* entnommen. Der Rest verteilt sich auf den Fluss *Chillon* (7%) und die Grundwasserbrunnen (14%). Neben den offiziellen SEDAPAL Grundwasserentnahme existieren viele weitere unkontrollierte private Brunnen, die das Grundwasser belasten und die nachhaltige Nutzung dieser Ressource gefährden (LEAVELL 2008).

Ein ambitioniertes und kostspieliges Projekt SEDAPALs, mit den Bezeichnungen Marca I-IV, soll über eine Reihe von Kanälen und Tunneln Wasservorräte aus Stauseen von der Atlantikseite über die kontinentale Wasserscheide leiten (ZEEB 2010). Das Wasser ostwärts dieser Scheide speißt den wasserreichsten Fluss der Welt, den Amazonas mit einer Abflussmenge von ca. 210.000 m<sup>3</sup>/s (Vergleich Rhein 2.330 m<sup>3</sup>/s). Während Marca I (1965), III (1999) und IV (2012) schon fertiggestellt worden sind bzw. gerade fertig gestellt werden, steht die Umsetzung von Marca II (2018) noch aus.

Vor allem jedoch der Klimawandel wird nach DRENKHAN (2010) die Situation gravierend beeinflussen und auf Grund des Abschmelzen der Gletscher und den veränderten Niederschlagsbedingungen für Überschwemmungen und Dürren im Einzugsgebiet der Metropole sorgen.

## 2.5.2 Trinkwasser- und Sanitärversorgung

Im Folgenden ein kurzer Überblick über die Trinkwasserversorgung in Lima, mit drei typischen Varianten:

Bei der **household connections** (HC) handelt es sich um Hausanschlüsse die direkt über Rohre des öffentlichen Wassernetzes bis in die Wohnräume versorgt werden. Die wohl in den meisten westlichen Ländern als Standardversorgung verbreitete Form ist die sicherste und hygienischste, aber mitunter auch die teuerste Variante.

Als zweite Versorgungsart findet man die ‚öffentlichen‘ Wasserhähne/becke. In Lima sind dies die sog. **pilones**, welche nur für autorisierte Parteien zugänglich sind. Die Entnahme erfolgt über Schläuche oder Behälter, bei denen die Gefahr der nachträglichen Verschmutzung besteht.

Die letzte Variante sind die **camiones cisternas** (Tankwagen). Die meist in den ärmsten Vierteln, den Außenbezirken Limas, eingesetzte Variante, besitzt einen deutlich höheren Preis pro Kubikmeter, als beispielsweise die der HCs. Hier steht man vor der gleichen Problematik wie bei den *pilones*, da oft unzureichend hygienische Tanks und Schläuche verwendet werden. Neben der Versorgung des öffentlichen Wasserversorgers SEDAPALs existiert eine Vielzahl weiterer privater Unternehmen, die nur über mangelnden Qualitätskontrollen über ihr Wasser und Tankwagen verfügen.

Für die Abwasserentsorgung gibt es in Lima ein öffentliches Abwassernetz, welches ebenfalls nicht wie das Trinkwassernetz die komplette Stadt abdeckt. Für die restlichen Gebiete finden sich sog. *pozos sépticos* (Latrinen mit Fäkalientrennsystem), welche offiziell zur Schmutzwasserentsorgung gezählt werden, sowie Latrinen (ohne Fäkalientrennsystem) und Silos (Gruben, für 2-3 Jahre), welche offiziell nicht als Schmutzwasserentsorgung angesehen werden.

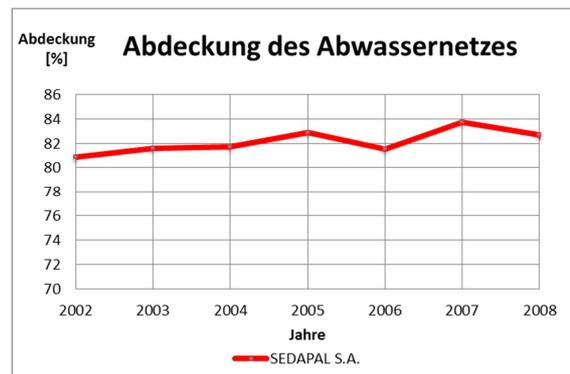
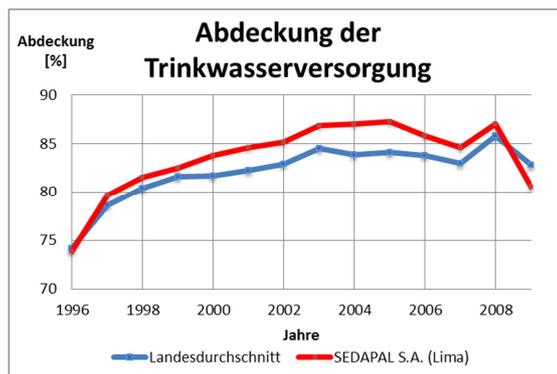


Abbildung 2: Abdeckung der Trinkwasserversorgung in Peru und Lima (Quelle: INEI 2011b)

Abbildung 1: Abdeckung des Abwassernetzes in Lima (Quelle: INEI 2011b)

## 2.5.3 Tarifstruktur

Die Tarifstruktur für Lima SEDAPAL EPS wurde durch den Vorstandsbeschluss Nr. 6-034-200-CD5 SUNASS genehmigt und in der offiziellen Peruanischen Zeitung *El Peru-*

ano im Juli 2006 erstmals veröffentlicht (SUNASS 2009). Bestehend aus zwei Teilen bildet sich im ersten Block für die an Wasserzähler angeschlossene Abnehmer ein sogenannter zweistufiger Tarif mit einem Kategorie unabhängigen Festpreis und einem volumenbezogenen Tarif. Der zweite Teil, der sich auf die Abnehmer ohne Wasserzähler bezieht berechnet sich an Hand einer zugewiesenen Verbrauchsmenge. Dieses Verbrauchsvolumen hängt von Typ des Konsumenten, dessen Bezirk und der Kontinuität des Dienstes ab.

**1. Feste Gebühr:** S/. 4.44 / Monat

**2. Volumetrische Gebühr:**

Kategorie	Verbrauch [m3/Monat]	Tarif [S/. /m3]	
		Trinkwasser	Abwasser*
<b>Wohnen</b>			
sozial	≥ 0	0,881	0,385
häuslich	0-10	0,881	0,385
	10-25	1,023	0,447
	25-50	2,263	0,989
	> 50	3,839	1,677
<b>Gewerbliche Einrichtungen</b>			
Geschäfte	0 - 1000	3,839	1,677
	> 1000	4,117	1,799
Industrie	0 - 1000	3,839	1,677
	> 1000	4,117	1,799
Regierungseinrichtungen	≥ 0	2,151	0,940

Tabelle 2-1 Volumetrische Gebühr (Quelle: El Peruano (2010))

\*Beinhaltet Sammeln und Behandlung der Abwässer

**3. Zuweisung des Maximalkonsums**

<b>Privatkunden</b>			
Distrikt Kategorie	Entnahmezeiten		
	7 bis 24 Stunden	4 bis 6 Stunden	Bis zu 3 Stunden
	M3	M3	M3
häuslich			
Distrikt Kat. I	30	30	17
Distrikt Kat. II	21	21	15
sozial	12	7	4

<b>Nicht-Privatkunden</b>			
<b>Kategorie</b>	<b>Verbrauch [m<sup>3</sup>/Monat]</b>		
	<i>7 bis 24 Stunden</i>	<i>4 bis 6 Stunden</i>	<i>Bis zu 3 Stunden</i>
	<i>M3</i>	<i>M3</i>	<i>M3</i>
<i>häuslich</i>	18	18	15
<i>Industrie</i>	27	27	27
<i>staatlich</i>	34	34	34
<b>Distriktkategorie</b>	<b>Provinz / Distrikt</b>		
<i>I</i>	<i>Provincia de Lima: Barranco, Breña, Cercado de Lima, Chorrillos, Cieneguilla, Jesús María, La Molina, La Victoria, Lince, Los Olivos, Magdalena del Mar, Miraflores, Pueblo Libre, Rimac, San Borja, San Isidro, San Luis, San Miguel, Santiago de Surco y Surquillo.</i>  <i>Provincia del Callao: Bellavista, Callao, La Perla y La Punta.</i>		
<i>II</i>	<i>Provincia de Lima: Ancón, Ate, Carabayllo, Comas, Chaclacayo, El Agustino, Independencia, Lurigancho, Lurín, Pachacámac, Puente Piedra, Pucusana, San Martín de Porres, San Juan de Lurigancho, San Juan de Miraflores, Santa Anita, Surco Viejo, Villa María del Triunfo, Villa El Salvador y Santa Rosa.</i>  <i>Provincia del Callao: Carmen de la Legua y Ventanilla. También se considera en esta clasificación a los Asentamientos Humanos que se ubiquen en el Grupo Distrital I.</i>		

Tabelle 2-2: Zuweisung des Maximalkonsums (Quelle: El Peruano (2010))

## 2.6 Aufbereitung und Qualität

Neben der Bereitstellung von ausreichendem Trinkwasser spielt die zur Verfügung gestellte Wasserqualität eine wichtige Rolle. Im Jahr 2007 untersuchte die Institution für Meteorologie- und Hydrologie SENAMHI die Wasserqualität am Río Rímac. Während in den Bergregionen der Bergbau die Flusszuläufe teils stark verunreinigt (Blei, Kupfer, Zink, Silber, Gold und Antimon), stellt in der Region um Lima die Einleitung von Industrieabwässern und Hausmüll eine Gefahr für die Wasserqualität dar (SENAMI 2007).

Zur Aufbereitung des Flusswassers verfügt SEDAPAL über die Aufbereitungsanlage *La Atarjea*. Die Wasseraufbereitungsanlage *Chillón* hingegen ist privat und verkauft ihre Leistungen an SEDAPAL.

Die größere Anlage *La Atarjea* am *Río Rimac* besitzt eine Kapazität von 20 m<sup>3</sup>/s, während an der Anlage *Chillon* am *Río Chillon* nur 1-2 m<sup>3</sup>/s aufbereitet werden. Zudem entnehmen die Grundwasserbrunnen SEDAPALs 9,8 m<sup>3</sup>/s und die Brunnen des System *Chillons* 1 m<sup>3</sup>/s Trinkwasser (SUNASS 2004).

## 2.6.1 Politik und Organisationsstrukturen

Das *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento* (Ministerium für Wohnungs-, Bau- und Sanitärwesen, MVCS) mit seinem Vize-Ministerium für Bauwesen und Sanitär (VMCS) und der nationalen Abwasserbehörde (DNS) sind das politische Kontrollorgan für nationale Wasser- und Abwasserprojekte. Das Ministerium formuliert, genehmigt, und überwacht die Anwendung der nationalen Wasser- und Sanitärversorgungspolitik.

Das sogenannte regulierende Kontrollorgan *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento* (SUNASS) dient zur Überwachung und Regulierung der in Auftrag gestellter Dienstleister ,sowie der Tarifstrukturkontrolle und deren Evaluierung, der Verhängung von Sanktionen und Strafen bei Gesetzesverstößen und ist erster Ansprechpartner und Konfliktlöser für Beschwerden der Abnehmer.

Die peruanische Verfassungsänderung im Jahre 1993 übertrug mit dem Gesetz N° 27972 die Verantwortung für die Trinkwasser- und Sanitätsversorgung den Gemeinden und Stadträten. Demnach existieren landesweit folgende Wasserversorgungsdienstleister:

Die Dienstleister des Landes sind:

- Lima, *Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima* (SEDAPAL)
- 53 kommunale Dienstleister (EPS) in anderen Städten
- ca. 11.800 kommunale Organisationen, *Juntas Administradoras de Agua y Saneamiento* (JASS)
- 490 kleine Gemeinden

Die JASS sind verantwortlich für ca. 29% der Bevölkerung, die vor allem in ländlichen Gebieten wohnen, während SEDAPAL und die EPS 62% der Bevölkerung des Landes abdecken. Die restlichen Gemeinden decken 9% der Gesamtbevölkerung ab. [MVCS 2006]

### 3 Das LiWa Projekt

Das LiWa-Projekt wurde auf Grund der Ausschreibung „Forschung für die nachhaltige Entwicklung in Megastädten von morgen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Jahre 2004 ins Leben gerufen. Der Förderungszeitraum wurde vom BMBF auf 7 Jahre mit einer zweijährigen Vorphase (2005-2007) und einer Hauptphase (2008-2013) gelegt. Der Fokus soll hier besonders auf Thematik „Energie- und klimaeffiziente Strukturen in urbanen Wachstumszentren“ liegen, mit dem Hintergedanken neben der „Hightech-Strategie“ im Bedarfsfeld „Klima und Energie“ „zusätzliche Strategien und Ansätze zu erarbeiten [BMBF o.A.]“.

Das LiWa-Projekt partizipiert mit 8 weiteren Projektteams, die sich diesem Thema annahmen und weltweit von Südafrika bis Vietnam über Teheran Forschungsarbeiten leisten. Für die Gesamtkoordination des LiWa-Projektes ist das an die Uni Magdeburg angeschlossene Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg (ifak) verantwortlich. Die zehn LiWa-Projektpartner sind aus den Bereichen Forschung und universitäre Bildung, Nichtregierungsorganisationen und dem KMU-Sektor. Beispielhaft kann hier das der Uni Stuttgart angehörige Forschungsteam am *Internationalen Zentrum für Kultur- und Technikforschung (IZKT)* mit dem *interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung (ZIRN)* genannt werden. Weitere wichtige Akteure unterstützen das Projekt vor Ort in Lima, wie beispielsweise das Wasserunternehmen SEDAPAL oder die *Universidad Nacional de Ingeniería* (Staatsuniversität für Ingenieurwesen).

#### 3.1 Ziele

Das Liwa-Projekt hat es sich unter anderem zur Aufgabe gemacht grundlegende Methoden und Verfahren zur partizipativen Entscheidungsfindung zu entwickeln, die mit dem Schwerpunktmedium Wasser im urbanen Wachstumszentrum Lima in Verbindung stehen, da dies besonders in Lima als ein Fall mit besonderer Herausforderung angesehen wird. Wichtige Eckpfeiler bilden hierbei die Betrachtung des Klimawandels und seine Folgen auf das gesamte System und der darauf basierenden, kompletten Modellierung und Simulation des Wasser- und Abwassersystems, einschließlich der Interaktion mit dem Energiesystem. Es sollen darüber hinaus Tarifstrukturen analysiert, entwickelt und vorgeschlagen werden, die aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Sicht sich in das System eingliedern lassen. Am Ende dieser Arbeitspakete sollen Methoden und Werkzeuge vorgestellt werden, um das gesamte Wassersystem, basierend auf unterschiedlichste Zukunftsszenarien (incl. verschiedenster Klimawandelfolgen), abbilden und lösen zu können. Im Anschluss sollen diese Ergebnisse als Hilfestellung für Entscheidungsträger zur Verfügung stehen.

Das Projekt dient als Pilotprojekt und soll nach erfolgreichem Abschluss weltweit Anwendung finden (LIWA o.A.)

## 3.2 Aufbau und Organisation

Um das Projekt übersichtlicher zu gestalten wurden Unterprojekte erstellt und verteilt. Diese sog. Arbeitspakete besitzen jeweils spezifische Projektziele, wie Tabelle 3-1 zeigt.

Beschreibung	Name	Arbeitspaket
<b>1. Entwicklung integrierter Szenarien</b>	Definition von Szenarien: Bedingt durch die Unsicherheit der Folgen des Klimawandels und der Variabilität in der Auswahl und Implementierung von Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel ist es zwingend, mit einem Set von Szenarien zu arbeiten, die die Breite der Entwicklungsmöglichkeiten abbilden und Orientierung für die Entscheidungsträger liefern.	2
<b>2. Klimaregionalisierung, Wasserhaushalts-, Wasserangebots- und Wasserkraft-Modellierung</b>	Downscaling der Szenarien des Klimawandels auf die lokale Ebene, Simulation der regionalen Wassereinzugsgebiete in den Klimaszenarien, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Verfügbarkeit von Wasserressourcen zur Nutzung für die Wasserversorgung, das Ökosystem und die Erzeugung von Wasserkraft zu untersuchen.	3
<b>3. Makro-Modellierung und Simulationssystem</b>	Entwicklung eines Simulators zur Visualisierung, Modellierung und Simulation des kompletten Wassersystems und anderer Ressourcenflüsse innerhalb des urbanen Wachstumszentrums Lima. Dieser Simulator wird verwendet für die Evaluation von Szenarien und Betriebsvarianten. Dies unterstützt die Langzeitplanung unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels und bezieht verschiedene Sets von Werten und Präferenzen mit ein.	4
<b>4. Partizipation und Governance</b>	Entwicklung geeigneter Verfahren zur Einbindung von Stakeholdern und der Öffentlichkeit, die die Ergebnisse der integrierten Modelle (analytische Komponente) mit deliberativen Methoden der Entscheidungsfindung und Beteiligung verknüpfen. Exemplarische Umsetzung zur Lösung besonders eklatanter Konflikte. Entwicklung eines integrierten Steuerungsmodells, das Vertreter von Regierung, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft einschließt.	5
<b>5. Ausbildung und Capacity Building</b>	Unterstützung bei Maßnahmen des Capacity Building und Capability Empowerment bezüglich erforderlicher Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel, inklusive Kooperationsstrukturen zwischen öffentlichen Stellen, Limas	6

	Wasserversorgungsunternehmen, Interessengruppen und zukünftigen Fachleuten.	
<b>6. Ökonomische Bewertung von Optionen der Wasserbepreisung</b>	Identifizierung und Bewertung von Optionen der Wasserbepreisung, um Wasserqualitäts- und Wasserquantitätsprobleme in Lima zu überwinden. Es wird untersucht, inwieweit verschiedene Optionen geeignet sind, die Kosten der Wasserversorgung zu decken, verteilungspolitische Ziele zu erreichen und institutionelle und polit-ökonomische Hindernisse zu überwinden. Zudem wird nher analysiert, ob gegebenenfalls Änderungen des institutionellen Rahmens notwendig sind, um eine Wasserpreisreform umzusetzen.	7
<b>7. Integrierte Stadtplanungsstrategien und Planungswerkzeuge</b>	Entwicklung wasser-sensitiver, multifunktionaler Strategien und Planungswerkzeuge für die Stadtplanung.	9

Tabelle 3-1: Arbeitspakete des LiWa-Projektes (Quelle: LIWA o.A.)

Die Abbildung 3 zeigt die Kernelemente und die zu erwartenden Ergebnisse des Liwa-Projektes.

Neben kurzfristigen Erfolgen (z.B die Erreichung öffentlicher Unterstützung durch die Politik und Bevölkerung Perus) ist es ebenso notwendig die entwickelten Konzepte und Ansätze nachhaltig zu etablieren. Vor allem jedoch für die längerfristigen Ziele wird großer Wert auf Bildung und Ausbildung gelegt (Capacity Building) um die Kontinuität der Projektziele zu sichern.

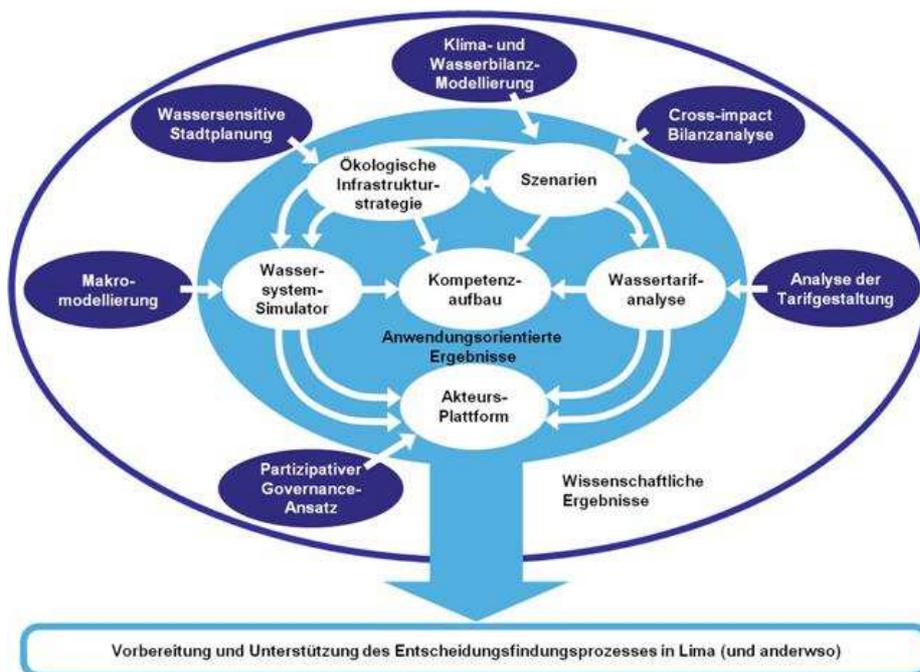


Abbildung 3: Aufgaben und Zusammenhänge zwischen den Arbeitspaketen (Quelle: LIWA o.A.)

## 4 Macrosimulation mit Hilfe des LiWa-Tools

Komplexe Infrastruktursysteme erfordern oft ein gründliches Verständnis. Besonders in Diskussionen von Entscheidungsträgern besitzen jedoch nicht immer alle Teilnehmer das gleiche Hintergrundwissen. Auf dieser Problematik aufbauend wurde im Arbeitspaket 4 ein Software entwickelt mit dem Arbeitstitel *LiWatool*, welche das gesamte urbane Wassersystem und seine Kreisläufe in einem Simulator vereinigt. Beruhend auf zuvor erstellten möglichen Zukunfts-Szenarien können Ergebnisse ausgeworfen, verglichen und diskutiert werden und bieten somit eine multikriterielle Bewertung potenzieller Handlungsoptionen.

Die Szenarien-Bildung geschieht mit Hilfe einer Kombination festgelegter Einflussfaktoren, sogenannten Deskriptoren wie Klimawandel, Demographie, Tarifstrukturen etc. (siehe Kapitel 4.3), die über das sog. Cross-Impact-Verfahrens (siehe Kapitel 0) aus der Fülle an Möglichkeiten zu wenigen in sich schlüssigen Kombinationen reduziert werden. Aus dieser Kombination von Deskriptoren entstehen die zu untersuchenden, möglichen Szenarien für die Zukunft.

Die Ergebnisse sollen im Anschluss Entscheidungsträgern als Grundlage dienen. So kann abgesehen werden, welche Einwirkungen unvorhersehbare Ereignisse, geplante Maßnahmen oder potentielle Verbesserungsmöglichkeiten auf das System haben können.

Die Erstellung der Simulationssoftware, die Modellierung und Simulation selbst sowie die Aufbereitung der daraus resultierenden Ergebnisse sind somit das Kernelement des LiWa-Projektes.

### 4.1 Methodik und Anwendung

Die Makromodellierung basiert auf den Konzepten der Stoffstrommodellierung und der Materialflussanalyse (vgl. Baccini und Bader, 2006). Dieses Konzept wurde unter anderem dahingehend erweitert, dass nun ebenfalls georeferenzierte Informationen dargestellt werden können. Die Software soll die Darstellung von Tendenzen verschiedener Einflussfaktoren auf das vorher definierte System ermöglichen.

Die Bedienung ist ebenso simpel gehalten, so dass Eingabemasken und ein Block-Baukasten-System mit Kernelementen des urbanen Wassersystems (z. B. Trinkwasseraufbereitungsanlagen, Grundwasserbrunnen, Trinkwassernetz, Stadtbezirke, Abwasserhauptsammler, Kläranlagen) den Einstieg erleichtern und die Adaption auf andere Projektgebiete vereinfachen (Schütze und Robleto, 2010). Diese Blöcke werden über Stoffstromverbindungen (Trinkwasser, Abwasser, Grad der Verschmutzung, Energie, etc.) miteinander verbunden. Besonders Statteile sind hierbei durch viele Parameter charakterisiert, wie z.B. Verbrauchsgewohnheiten, Leckageverluste, Einwohnerzahl und die Verteilung auf sozioökonomische Schichten.

Des weiteren bietet die Software bei der Betrachtung möglicher Handlungsoptionen, die Berücksichtigung von Betriebs- und Investitionskosten (und deren Untergruppen).

Das zu Grunde liegende Datenmaterial und die Ergebnisse können in bestimmten zeitlichen Abständen eingegeben bzw. ausgeworfen werden (sog. Zeitreihen, hier im Fall dieses Projektes: jährlich), so dass sich ein Verhalten über die Zeit nachvollziehen lässt. Um neben den Zeitreihenkurven alle Ergebnisse verständlicher präsentieren zu können, ist eine Ausgabe über Sankey-Diagramme, als numerische und textuelle Ausgabe oder kartenbasiert über GoogleEarth möglich.

## 4.2 Aussagekraft und Nutzen der Ergebnisse

Durch diese starken Vereinfachungen leidet natürlich dementsprechend die Aussagekraft der Ergebnisse. Somit steht das LiWa-Tool primär zum Prognostizieren von Tendenzen und Größenordnungen als zur Ausgabe verwertbarer absoluter Zahlenwerte. Die Software sollte daher als Marko-Simulator betrachtet werden, jedoch ist der Detailgrad der Simulation von der Rekonstruktion des zu untersuchenden Systems abhängig und von der Genauigkeit der Informationen, mit dem dieses gespeist wird.

Das Programm bietet eine hohe Flexibilität und kann je nach Benutzerwunsch konfiguriert werden. Im Falle des LiWa-Projektes wurden beispielsweise spätestens bei der Versorgungsnetzstruktur auf weitere Detailtreue verzichtet, indem diese zusammengefasst nur noch als Blöcke (mit Verlustwerten, Kostenwerten etc.) angegeben werden.

Das hier in dieser Arbeit angewendete Simulationsmodell vereinfachte unter anderem die Situation in Lima dahingehend, dass die verschiedenen Distrikte in einen „Stadt“-Block mit Hilfe von Mittelwerten zusammengefasst worden sind, um nicht für jeden der 43 Stadtbezirke Annahmen treffen zu müssen. Da jedoch die Bezirke stark unterschiedliche Eigenschaften in Punkto Versorgungsrate, Netzabdeckung oder Verbrauch aufweisen, muss dies in der anschließenden Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Durch dieses noch recht grobe Simulationsmodell liegt der Nutzen eher in der Ausgabe qualitativer statt quantitativer Prognosen.

Beim erstellen dieser Arbeit wurde die Version *LiWa\_020412* des LiWa-Tools verwendet. Eine neue Version von LiWatool, mit erweitertem Simulations- und Visualisierungskern befindet sich derzeit in Entwicklung und wird viele der in dieser Arbeit angesprochenen Mängel beheben.

## 4.3 Beschreibung der Deskriptoren

Im Folgenden soll ein Überblick über die Szenario-Deskriptoren gegeben werden. Die aktuellen Beschreibungen wurden mit Hilfe der Deskriptor-Essays (Stand: Mai 2012)

beschrieben, welche durch das ZIRN im Arbeitspaket 2 erstellt wurden. Es werden folgende Deskriptoren beschrieben und bestimmt inwiefern diese in der Simulation mit Zahlenwerten hinterlegt sind (direkter, numerischer Einfluss).

### **A Form der Regierung**

*A1 (Regierung mit Entscheidungsfähigkeit und Vision)*

*A2 (Regierung ohne Entscheidungsfähigkeit und Vision)*

Der Deskriptor beschreibt die Form der Regierung welche sich auf die Fähigkeit der Zentralregierung, Regionalregierungen und den örtlichen Regierungen bezieht, Entscheidungen zu treffen, deren Förderungs- und Verwaltungsbeteiligung in verschiedenen Sektoren sowie auf die Entwicklung und Umsetzung für kurz-, mittel- und langfristig Pläne.

Diesem Deskriptor wird eine große Bedeutung beigemessen, da dieser auf fast alle Deskriptoren Einfluss nimmt. Die Entscheidungsfähigkeit der Regierung ist je nach Situation ein starkes Hemmnis bzw. ein großer Beschleuniger für wirtschaftliche, soziale und kulturelle Entwicklung und kann bei infrastrukturellen Maßnahmen starken Einfluss haben.

Trotzdem nimmt der Deskriptor keinen direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

### **B Form des Managements des Wasser-Unternehmens**

*B1 (privat)*

*B2 (staatlich, mit Autonomie)*

*B3 (staatlich, ohne Autonomie)*

Der Deskriptor definiert das Management des Wasser-Unternehmens über 3 Kriterien:

1. Grad der Autonomie durch politische Einflussnahme.
2. Leitfaden für die Leitung des Unternehmens (im Auftrag des Kunden oder der Regierung).
3. Soziale Verantwortung.

Die Unternehmensleitung ist zum einen wichtig, weil durch sie Ausbauprojekte geplant werden und die Wartung der hydraulischen Infrastruktur der Stadt und die Einführung von effizienten Technologien und Informationskampagnen für Kunden abhängig sind.

Das Unternehmensmanagement ist ebenso beeinflussend für die Stadtentwicklung, da es festlegt, wo und wie benötigte Infrastrukturprojekte installiert werden.

Der Deskriptor nimmt ebenfalls keinen direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

### **C Trink- und Abwassertarife**

*C1 (nicht kostendeckend)*

*C2 (kostendeckend)*

Der Deskriptor C definiert die Tarifstruktur für die Trinkwasser- und Abwassernutzung für den Abnehmer. Dieser Deskriptor deckt die Dienstleistungen SEDAPAL's über das öffentliche Netz ab. Tank-LKWs werden in der aktuellen Version noch nicht berücksichtigt.

Der Deskriptor nimmt direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

### **D Demographie**

*D1 hohes Bevölkerungswachstum*

*D2 mittleres Bevölkerungswachstum*

*D3 geringes Bevölkerungswachstum*

Dieser Deskriptor beschreibt die Wachstumsrate der Bevölkerung und wird durch die drei Faktoren Fertilität, Mortalität und den Wanderungssaldo bestimmt.

Der Deskriptor nimmt direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

### **E Städtische Armut**

*E1 steigende Armut*

*E2 gleichbleibende Armut*

*E3 sinkende Armut*

Der Deskriptor städtische Armut definiert sich an Hand zweier Aspekte: der Einkommensarmut und durch unbefriedigte Grundbedürfnisse (*necesidades básicas insatisfechas* = NBI).

Die Einkommensarmut kann von einer Vor-Armutsgrenze genauer festgelegt werden. Diese vergleicht statistisch notwendige Konsumgüter- (*Canasta Básica de Consumo* = CBC) und Nahrungsmittelkosten (*Canasta Básica de Alimentos* = CBA) mit dem Einkommen. Ebenso kann Armut auch an Hand unbefriedigter Basisbedürfnisse gemessen werden. Das *Instituto Nacional de Estadística e Informática* INEI (Nationales Institut für Statistik und Information) hat fünf von ihnen identifiziert: (1) Unzumutbare Wohnverhältnisse, (2) überfüllten Wohnungen, (3) Häuser ohne Anschluss an das Abwassernetz, (4) Haushalte mit Kindern die nicht zur Schule gehen und (5) Haushalte mit hoher wirtschaftlicher Abhängigkeit.

Zusätzlich zur Messung der Armut nach diesen beiden Methoden gibt es auch die Qualifikation der Haushalte nach sozio-ökonomischer Ebene. Diese werden nach dem INEI nach Familieneinkommen in die Gruppen A, B, C, D und E unterteilt, wobei D und E arme Haushalte darstellen. Diese Definition wird in der Simulation verwendet.

## **F häusliche Pro-Kopf Wasserverbrauch**

*F1 steigender Verbrauch*

*F2 gleichbleibender Verbrauch*

*F3 sinkender Verbrauch*

Der "Wasserverbrauch" für den Deskriptor wird als der durchschnittliche Verbrauch pro Kopf und Tag pro Kopf definiert. Er berücksichtigt auch nur den häuslichen (domestic) Verbrauch für diese Berechnung und keinen industriellen Verbrauch. Die Bevölkerung die nicht an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen ist wird jedoch ebenso im Deskriptor mit Pauschalwerten eingeschlossen. So kann der häusliche Verbrauch nicht mit dem produzierten Wasser gleichgesetzt werden, da Netzverluste vom Versorger zum Abnehmer die Wassermenge schmälern.

Der Deskriptor nimmt direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

## **G Netzverluste**

*G1 Netzverluste steigen*

*G2 Netzverluste sinken*

Dieser Deskriptor legt die Verluste im Trinkwassernetz fest. Sie sind die Summe der mechanischen Verluste (für Bruchstellen / Leckagen im Netzwerk) und nicht-physische Schäden oder scheinbare Verluste (illegale Verbindungen, Rohrreinigung, Feuerlöschung, unerlaubte Bewässerung von Grünflächen, etc.). Annahmen dazu lassen sich anhand des *nicht abgerechneten Wassers* (agua no facturada = ANF) aus den Statistiken Sedapal's ableiten. Der prozentuale Verlust würd über eine Gegenüberstellung des ANF und des von Sedapal produzierten Wassers zum Ausdruck gebracht.

Der Deskriptor nimmt direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

## **H Einzugsgebiet Management**

*H1 Integriertes und geregeltes Management*

*H2 Von der Regierung abhängiges Management ohne Integration*

Der Deskriptor beschreibt das Einzugsgebiet Management. Dieses regelt, steuert und überwacht auf institutioneller Ebene die ordnungsgemäße Verwendung der Wasserressourcen gesteuert durch Beteiligte innerhalb einer Wasserscheide, durch eine Art von Institution. Kriterien zur Bestimmung des Wassereinzugsmanagements sind die Institutionen (Variation der Anzahl der Akteure und deren Einfluss), die Verteilung der Wasserressourcen und der Grad der Umweltverschmutzung (Ressourcen-Qualität).

Der Deskriptor nimmt ebenfalls keinen direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

## **I Art der Stadtentwicklung**

*I1 Stadt mit Schutz für Flusstäler und Grünflächen*

*I2 Stadt ohne Stadtplanung und mit wenig Grünflächen*

Bei diesem Deskriptor spielt die Art der Stadtentwicklung eine Rolle. So muss definiert werden ob die Stadt im Gesamten eher vertikal oder eher horizontal wächst und inwiefern bei der Stadtplanung, Rücksicht auf Flusstäler und Grünflächen genommen wird.

Der Deskriptor nimmt noch keinen direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

### **J Netzabdeckung**

*J1 sinkende Netzabdeckung*

*J2 gleichbleibende Netzabdeckung*

*J3 steigende Netzabdeckung*

Der Netzabdeckungs-Deskriptor beschreibt den Prozentsatz der Bevölkerung die an das öffentliche Trinkwassernetz angeschlossen sind. Dieser beinhaltet häusliche, innen- und außenliegende Wasseranschlüsse, sowie Sammelbecken und angeschlossene Brunnen.

Der Deskriptor nimmt direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

### **K Abwasserbehandlung und Wiederverwendung**

*K1 Behandlung bis zu 95% mit Wiederverwendung von 5%*

*K1 Behandlung bis zu 95% mit Wiederverwendung von 20-40%*

Dieser Deskriptor beschäftigt sich mit der Wiederaufbereitung des Schmutzwassers und dessen Wiederverwendung für die Bewässerung von Landwirtschaft und Grünflächen. Hierzu muss angemerkt werden, dass die 95%-ige Reinigung nur einer Primärreinigung entspricht. Der als „Wiederverwendung“ deklarierte Anteil entspricht den sekundär gereinigten Abwässern.

### **L Wasserversorgung (Infrastruktur)**

*L1 steigende Wasserquellen*

*L2 Wasserquellen wie im Jahre 2010*

*L3 sinkende Wasserquellen*

Der Deskriptor der verfügbaren Wasserquellen steht für die Menge an Trinkwasser (Reserven und Produktion), das aus verschiedenen Quellen gewonnen wird, wie z. B. Oberflächen- oder Grundwasser. Er bezieht sich ebenso auf die Wasserspeicherung, die Infrastruktur für die Sammlung und die Gewinnung des Trinkwassers.

Der Deskriptor steht direkt in Verbindung mit dem M-Deskriptor ("Klimawandel") und nimmt direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

### **M Auswirkungen des Klimawandels**

*M1 steigende Wasserdurchfluss (Überflutungen)*

*M2 steigende Wasserdurchfluss ohne Risiko*

*M3 sinkender Wasserdurchfluss (Dürren)*

Der letzte Deskriptor beschreibt die Effekte, die der Klimawandel auf die Wasserressourcen der Hauptbezugsquellen Limas hat. Als Indikator des Klimawandels gelten die Niederschläge in den oberen Flusseinzugsgebieten (natürliches Phänomen). Da die Niederschläge in direktem Zusammenhang mit der Wassereinleitung in Stauseen und Lagunen stehen, kann auch die Durchflussmenge der Flüsse, welche letztlich die Stadt erreichen, als Indikatoren dienen.

Da die natürlichen Effekte in Abhängigkeit von der Verwundbarkeit physischer-, sozialer-, ökonomischer- und institutioneller Art, in welcher sich Stadt und Einwohner befinden eine Gefahr darstellen und zu Katastrophen im mittleren und unteren Flusseinzugsgebiet führen können (z.B. durch Überschwemmungen, Erdbeben oder Dürren), beschränkt sich der Deskriptor nicht lediglich auf das obere Flusseinzugsgebiet, sondern betrachtet mögliche Effekte bis hin zur Mündung.

Der Deskriptor steht direkt in Verbindung mit dem L-Deskriptor ("Wasserversorgung") und nimmt somit auch direkten, numerischen Einfluss auf die Simulation.

#### **4.4 Szenarien-Bildung mit Hilfe des Cross-Impact-Verfahrens**

Die nun zuvor definierten Deskriptoren, die auf das gewählte System Einfluss nehmen stehen in Beziehung und beeinflussen sich gegenseitig stark bis weniger stark. Durch die große Anzahl der möglichen Kombinationen entsteht eine enorme Vielfalt an Deskriptor-Kombinationen und deren Wechselwirkungen untereinander. Um jedoch die Komplexität eines solchen Systems zu analysieren bedarf es an Hilfsmitteln, um die Anzahl der möglichen Szenarien nur auf die in sich stimmigen Deskriptor-Kombinationen zu reduzieren. Ein solches Hilfsmittel, welches im Fall des LiWa-Projektes ausgewählt wurde ist die sogenannte *Cross-Impact-Methode*. Das Ziel dieser verwendeten Szenario-Methode ist es also in sich konsistente und fachlich begründete mögliche Zukunftsszenarien aus einer Vielzahl möglicher Varianten herauszufiltern.

Wie das ZIRN (2003) beschreibt, ist im Gegensatz zu numerischen Rechenmodellen das Cross-Impact-Verfahren (CI-Verfahren) darauf ausgelegt, Szenarien, unter einer systematischen Verwertung von Experteneinschätzungen zu den Interdependenzen der relevanten Einflussgrößen (Deskriptoren), zu konstruieren. So wird ebenfalls angemerkt, dass das CI-Verfahren kein exaktes Berechnungsverfahren, sondern eine strukturierte Methode zur umfassenden Reflexion der eigenen Systemeinschätzungen ist, da es sich nur für die qualitativ orientierte Bearbeitung komplexer Systeme eignet, deren Wechselwirkungen nicht unmittelbar durchschaubar sind.

## 4.5 Die Szenario-Bildung im Fall des LiWa-Projektes

Das hier im LiWa-Projekt angewendete CI-Verfahren wurde unter der Leitung vom ZIRN der Uni Stuttgart weiterentwickelt, angepasst und durchgeführt (Arbeitspaket 2).

Dies erstellte anhand zahlreicher Experten-Diskussionen in Lima und Stuttgart eine Matrix, inwiefern sich die unterschiedlichen Deskriptoren gegenseitig beeinflussen. Aus dieser Matrix (siehe Anlage 2) konnten dann mögliche konsistente Szenarien gebildet werden.

Parallel dazu mussten für jeden dafür sinnvollen Deskriptor (Bsp. für den Deskriptor Tarife C: C0, C1, C2) Zahlenwerte recherchiert und abgestimmt werden, um die Deskriptor-Zustände für eine rechnerische Simulation des Systems nutzbar zu machen. Daraus resultierten die sogenannten Zeitreihen, welche für jeden Zeitschritt (hier: Jahre) einen Wert beinhalten.

*Beispielsweise: Inwiefern verhält sich die Bevölkerung jährlich bei stagnierendem, steigendem oder sinkendem Wachstum über den gewählten Zeitraum von 31 Jahren (2009 bis 2040) oder mit welchen Wasservolumina ist bei bestimmten Klimaszenarien oder Wassermanagementszenarien in den einzelnen Quellen zu rechnen.*

Dagegen können beispielsweise Deskriptoren wie das Verhalten der Regierung (A) oder das Management der Wasserfirma (B) nicht numerisch Erfasst werden und spielen für die Simulation nur sekundär eine Rolle, da sie zum einen das Gesamtsystem beeinflussen (CI-Verfahren) und zum anderen bei der Erarbeitung möglicher Maßnahmen im Nachhinein logisch stimmig sein müssen

*Beispielsweise: So wäre eine Leckage-Reduktion im Trinkwassernetz unwahrscheinlich wenn die Wasserfirma und/oder die Regierung nicht die Autonomie, die finanziellen Mittel und/oder die Durchsetzungskraft besitzt eine solche Maßnahme durchzusetzen.*

## 5 Simulation und Auswertung der Referenzszenarien der Szenario-Gruppen

Zum Zeitpunkt des Erstellens dieser Arbeit wurden mit den bis dato 20 in sich konsistente Szenarien über das Cross-Impact-Verfahren (siehe Kapitel 0) gebildeten Szenarien gearbeitet. Diese wurden auf Grund ähnlicher Randbedingungen zu fünf Szenario-Gruppen zusammengefasst (siehe Anlage 1). Diese fünf Prognosen reichen von stark pessimistisch (Gruppe A) bis zu stark optimistisch (Gruppe D) und besitzen jeweils ein repräsentatives Szenario. Zudem wurden für alle Szenario-Gruppen Begleittexte erstellt, welche die Prognose in Textform beschreiben.

Zur Vereinfachung ist eine Reduktion der Szenarien-Anzahl, orientiert an den fünf gebildeten Szenario-Gruppen, geplant (KOSOW 2012). Die Szenarien-Erstellung,

Szenario-gruppen und deren Analyse und Beschreibung erfolgte durch das ZIRN in Stuttgart (Arbeitspaket 2).

## 5.1 Gewählte Szenarien

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die fünf repräsentativen Szenarien der jeweiligen Szenario-Gruppen simuliert und ausgewertet. Anhand einer Simulation soll die Vorgehensweise erläutert und beschrieben werden. Im Anschluss werden die Ergebnisse aller fünf Szenarien dargestellt und diskutiert.

Die repräsentativen Szenarien, bezogen auf deren Konfigurationsnummer (nach Darstellung der Gruppen in Anhang A) sind:

8 (Gruppe D),9 (Gruppe B1),10 (Gruppe A),11 (Gruppe B2),12 (Gruppe C)

## 5.2 Ausführung und Ergebnisse einer Simulation

Im Folgenden wird die Simulation der Szenario Config. 10 der Gruppe A dargestellt.

Wie in Kapitel 4.1 erwähnt, wurde die zur Verfügung stehende, sich noch in der Entwicklung befindende Version *LiWatool\_020412* zur Simulation benutzt. Als Simulations-Model diente die stark vereinfachte Rekonstruktion des Stadtbildes Limas und dessen Trinkwasser- und Abwassernetz.

Die den Deskriptor-Zuständen zugehörigen Zahlenwerte wurden anschließend in die Software eingespeist.

### 5.2.1 Simulationsdurchführung mit Zeitreihenanpassung

Nach dem die Werte für die Deskriptoren definiert wurden, kann die Simulation erstmals durchgeführt werden. Da jedoch in der verwendeten Version der Software negative Stoffströme zugelassen werden, sofern die Kapazität einer Quelle oder Leitung überschritten wird, muss manuell „nachgeregelt“ werden. Diese „Stellschrauben“ für die Wasserverteilung sind ein Teil der zuvor erwähnten Zeitreihen und sind in

Scenario A Climate stress meets governance disaster			
Config. no. 10	Config. no. 3	Config. no. 2	Config. no. 6
A Form of government: A2 Government w ithout decision pow er and vision			
D Demography: D1 High population grow th			
E Urban poverty: E1 Increasing poverty			
G Water netw ork losses: G1 Increasing w ater netw ork losses			
I Form of urban development: I2 City w ithout uban planning and w ith few green areas			
J Coverage of the w ater netw ork: J1 Decreasing coverage rate			
B Form of w ater company: B3 Public w ithout autonomy from the government			
C Water and w astew ater tariffs: C1 Reduced (non cost-covering) tariffs			
F Water consumption per capita (domestic): F3 Decreasing w ater consumption per capita		F Water consumption per capita (domestic): F2 Stagnant w ater consumption per capita	
H Catchment management: H2 Management depending on the government w ithout integration			
K Wastew ater treatment and reuse: K1 Treatment of 95% w ith reuse of 5%			
L Water supply (infrastructure): L3 Decreasing w ater supply		L Water supply (infrastructure): L2 Water supply as in 2010 (constant)	
M Impacts of climate			

Abbildung 4: Szenariogruppe A mit seinen Unterszenarien

Abbildung 5 also sog. Korrekturgrafik farblich aufbereitet um die Vergleichbarkeit verschiedener Szenarien und Methoden zu verbessern.

Aufgelistet finden sich die „Stellschrauben“ mit denen im Falle einer Wasserknappheit Wasser entweder umgeleitet oder gedrosselt werden. Wie bereits erwähnt, war das auf Grund der noch begrenzten Möglichkeiten der vorliegenden Version von *LiWatool\_020412* nötig.

Als mögliche Korrekturmaßnahmen wurden in allen Szenarien folgende Anpassungen (nach Priorität aufgelistet) angewendet:

1. *Stadtversorgung: Umverteilung der Entnahme an den Quellen um vorhandene Kapazitäten voll auszunutzen*
2. *Grünflächen und Landwirtschaft: Umverteilung der Entnahme an den Quellen um vorhandene Kapazitäten voll auszunutzen*
3. *Drosselung der Grünflächen und Landwirtschaftsbewässerung*
4. *Drosselung der Stadtversorgung*

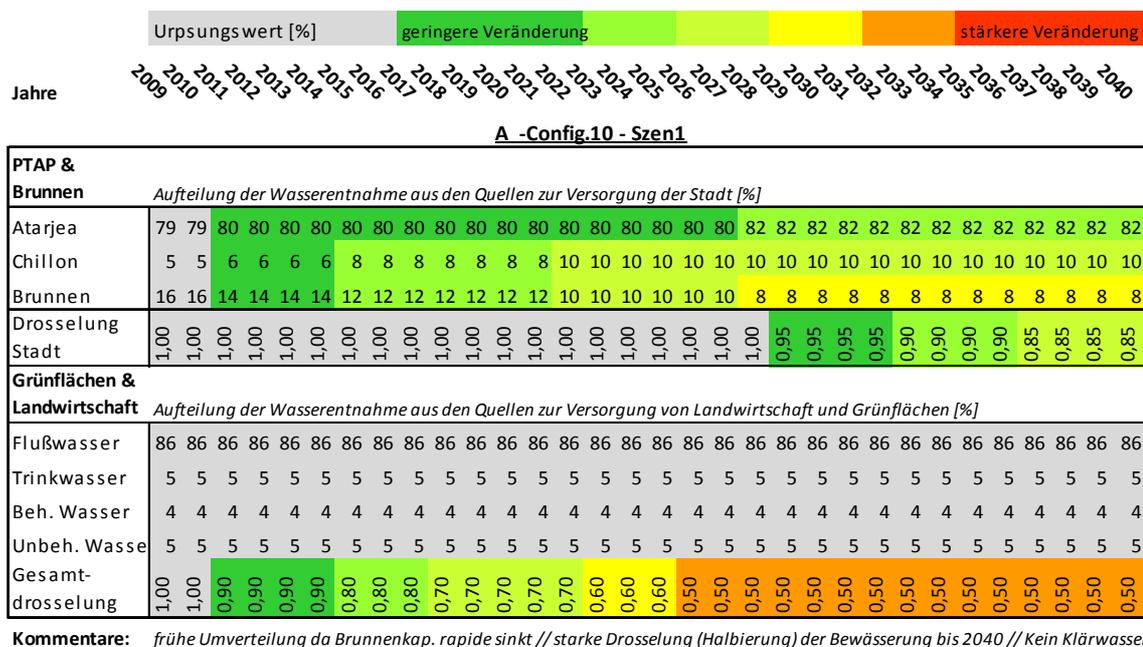
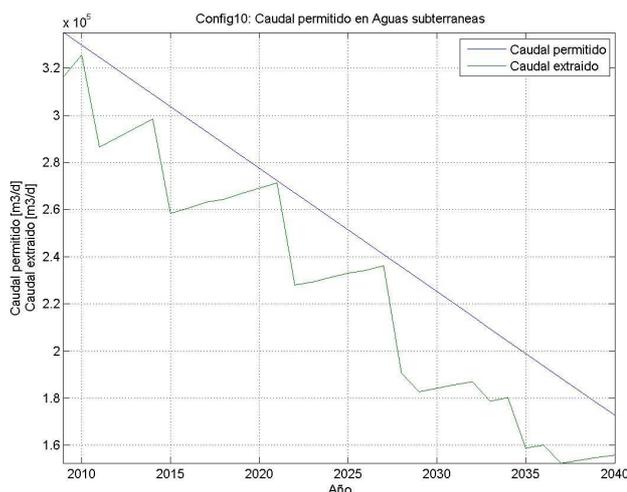


Abbildung 5: Korrekturgrafik, gewählte Maßnahmen nach eigener Darstellung für Szenario 10

**Beschreibung der Korrekturgrafik:**

Der erste Block steht für die Trinkwasserquellenregulierung während der zweite Block die Abwasserwiederverwendung bzw. Bewässerung von Landwirtschaft und Grünflächen beschreibt.



Grau hinterlegte Felder stehen für die ursprüngliche Ausgangskonfiguration, welche bei allen

Szenarien identisch ist. Die farbliche Rasterung stellt die schrittweise Änderung der Werte da (Grün nach Rot), falls das System angepasst werden musste.

War kein Eingreifen erforderlich um das System in sich stimmig zu halten, wurde keine Änderungen vorgenommen (alles grau).

#### Rasterung der Korrekturmaßnahmen:

Die angewendeten Korrekturen wurden vorgenommen um das System „stimmig“ einzustellen, was bedeutet, dass negative Volumenströme oder Kapazität-Maxima vermieden bzw. nicht überschritten werden. Daher unterliegen die dargestellten Änderungen einer Rasterung. Diese könnte theoretisch feiner ausfallen (statt beispielsweise von 5% auf 6%: 5%, 5,2%, 5,4%...6%).

Abbildung 6 zeigt beispielsweise anschaulich die 5 Schritte die zur Einhaltung der maximal erlaubten Grundwasserentnahme durchgeführt wurden.

#### Gewählter Ansatz:

Auf Grund dieser Rasterungswahl, den Umverteilungsmöglichkeiten und anderen Faktoren stellt der gewählte „Weg“ **EINE VON VIELEN MÖGLICHEN ANSÄTZEN** dar und soll daher nur Tendenzen widerspiegeln.

Im Jahr 2014 beginnt die Inbetriebnahme der Klär- und Wasseraufbereitungsanlage *La Taboada*. 95% aller Abwässer durchlaufen nun eine primäre Reinigung. Davon werden je nach Szenario-Definition (siehe Deskriptor K) 5-40% sekundär behandelt und zur Bewässerung in Landwirtschaft und Grünflächenbewässerung genutzt, so dass bei Bedarf immer zuerst der Anteil des geklärten Abwassers zur Grünflächen- und Landwirtschaftsbewässerung von 4 auf 8 erhöht wird, was ca. 20-40% des aufbereiteten Wassers entspricht, bevor anderweitig gedrosselt oder umverteilt wird.

Grundsätzlich kann ebenfalls gesagt werden, dass im Falle eines Überschusses an Flusswasser theoretisch immer auf die zuvor erwähnte Nutzung des geklärten Abwassers für Grünflächen- und Landwirtschaftsbewässerung zurückgegriffen werden kann.

## 5.2.2 Analyse der Simulationsergebnisse

Nach der Simulationsdurchführung können folgende Einflüsse beobachtet werden:

Abbildung 7 zeigt den Anstieg des gesamten täglichen Trinkwasserkonsums (*Consumo total de agua*). Folgende Deskriptoren beeinflussen diesen entscheidend:

*Netzabdeckung J (coverage rate): sinkt*

*Netzverluste G (network losses): steigend*

*Demographie D (demography): steigend*

*Trink- und Abwassertarife C (drink and wastewater rate): nicht-kostendeckend*

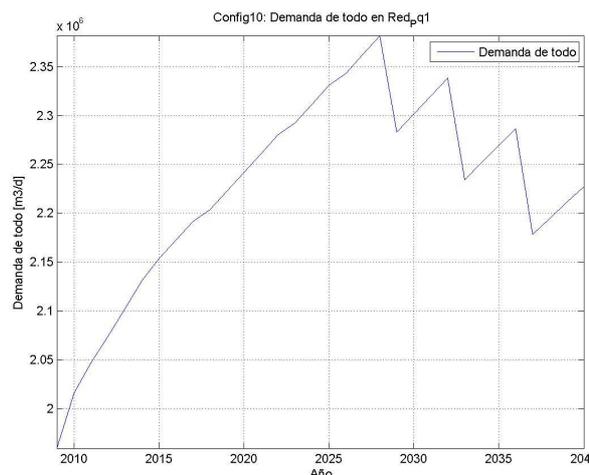


Abbildung 7: Gesamter Trinkwasserbedarf von Lima aus Szenario 10 (A)

Wie die Korrekturgrafik des Szenarios 10 (siehe Abbildung 5) zeigt, wird es ab dem Jahr 2029 notwendig sein, den Trinkwasserbedarf schrittweise zu senken, da alle Quellen ihre Kapazitäten voll ausschöpfen (siehe Abbildung 7).

Den Wasserspareffekt durch Tarifregulierung (grün) und Sparmaßnahmen (blau) jeglicher Form (Kampagne, allg. Bewusstseinsänderung, etc.) zeigt Abbildung 8 einzeln und in Kombination (rot).

Der Grundwasserspiegel sinkt zudem drastisch. Dies, sowie die notwendigen Regulierungsschritte können in Abbildung 6 nachgesehen werden.

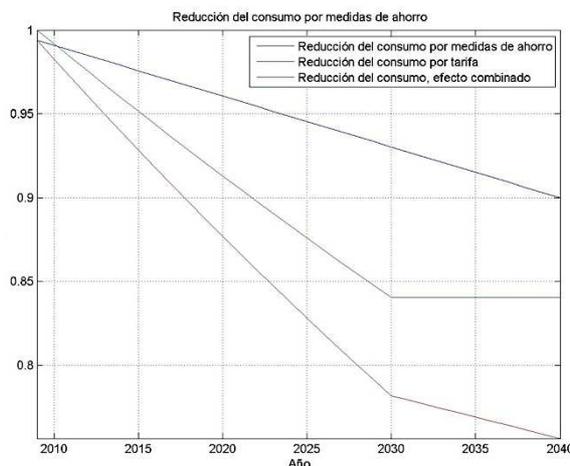


Abbildung 8: Trinkwasserkonsumreduktion durch Maßnahmen und Tariferhöhung aus Szenario 10 (A)

Des Weiteren muss die Bewässerung für Landwirtschaft und Grünanlagen bis zum Jahr 2026 halbiert werden, da laut Szenario-Beschreibung kein wieder aufbereitetes Wasser zur Verfügung steht und auf Grund des Klimawandels der Fluss immer weniger Wasser führt.

Tarifeinnahmen sind an den Trinkwasserverbrauch und an die Tarifstruktur gekoppelt. Letztendlich ist die steigende Bevölkerung für den Anstieg ausschlaggebend, obwohl

der sinkende Netzanschlussgrad, die steigende Armut und der allgemein sinkende Konsum pro Einwohner dem entgegen wirken (siehe Abbildung 10).

Der Knick im Jahr 2030 beruht letztendlich auf der im Deskriptor C1 festgelegten Tarifannahme, die ab dem Jahr 2030 keine weitere jährliche Tarifierhöhung von 3% vorsieht und somit konstant bleibt, so dass die gewählte jährliche Inflation von ebenfalls 3% die Einnahmen dämpfen.

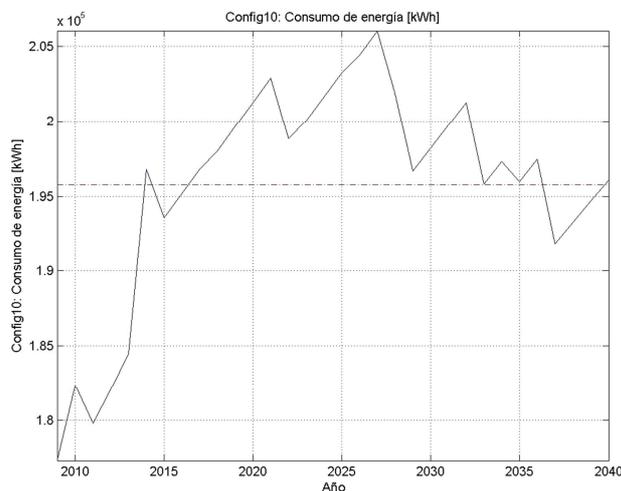


Abbildung 9: Energieverbrauch aus Szenario 10 (A)

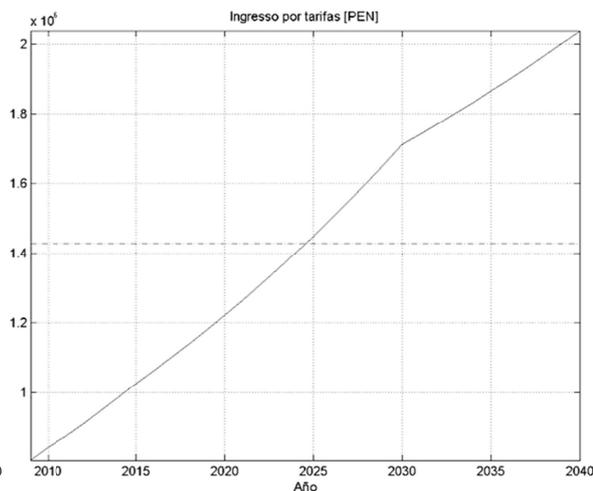


Abbildung 10: Tarifeinnahmen aus Szenario 10 (A)

Am Energieverbrauch (vgl. Abbildung 9) sind die getroffenen Umverteilungs- und Reduktionsmaßnahmen zu erkennen (vgl. Abbildung 5), mit dem Verbrauchsmaxima im Jahr 2026.

### 5.3 Schlussfolgerungen aus allen Simulationen

Konzentriert man sich auf den reinen Trinkwasserverbrauch so sind die Szenarien A und B1 identisch, da sie sich letztendlich nur in den Deskriptoren des Einzugsgebietsmanagements und den Auswirkungen des Klimawandels unterscheiden (Abbildung 11 und Abbildung 12).

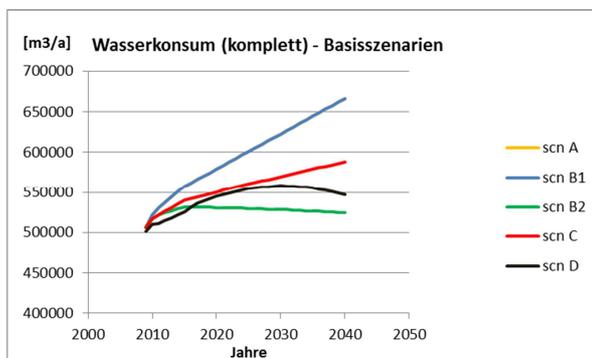


Abbildung 11: Wasserkonsum in den Basisszenarien

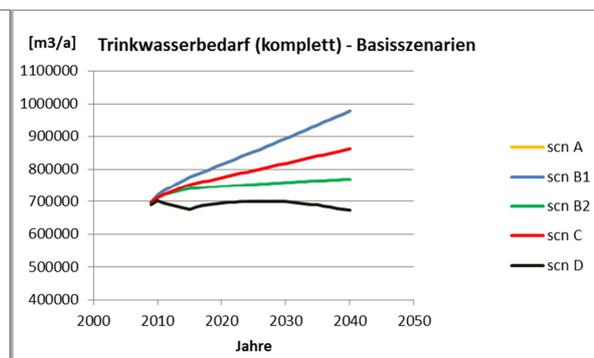


Abbildung 12: Trinkwasserbedarf in den Basisszenarien

Es fällt zum einen auf, dass das Szenario B2 „gutmütiger“ ist als das als subjektiv positiver eingestufte Szenario C. So ist in Szenario C der Handlungsbedarf größer und

der Wasserkonsum bzw. -bedarf geringer als in Szenario B1. Spannend ist ebenfalls der in Szenario A auftretende Effekt, dass auf Grund des starken Bevölkerungswachstums der tägliche Wasserkonsum steigt, obwohl der sinkende Netzanschlussgrad, die steigende Armut und der allgemein sinkende Konsum pro Einwohner dem widersprechen. In Abbildung 13 wird das freie, zur Verfügung stehende Wasser dargestellt. Am Szenario D ist gut zu erkennen, dass immer freies Wasser zur Verfügung steht. Jeder Zacken steht für eine am System vorgenommene Korrektur welche aus den Korrekturmaßnahmen stammen (Anhang C).

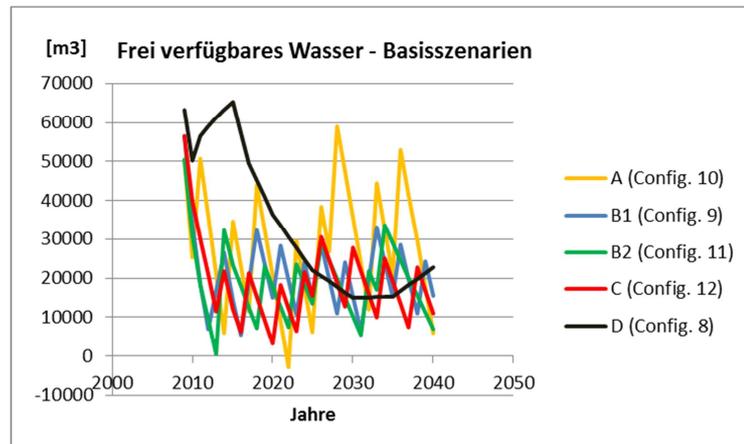


Abbildung 13: Frei verfügbares Wasser in den Basiszenarien

## 6 Sensitivitätsanalyse ausgewählter Maßnahmen

Zur genaueren Untersuchung und Evaluierung verschiedener Regulierungsmaßnahmen wurde eine (simple) Sensitivitätsanalyse durchgeführt um Maßnahmen zur Trinkwasserverbrauchsreduzierung besser bewerten zu können. Die gewählten Maßnahmen stellen Vorschläge da. Die verwendeten Werte basieren zudem auf Recherchedaten von Anderer ähnlicher, erfolgreicher Projekte weltweit. Inwiefern diese in Lima ähnlich durchsetzbar sind, soll hier zunächst nicht diskutiert werden.

Der Fokus dieser Untersuchung liegt daher eher auf dem Abschätzen der Einsparwirkung bezogen auf den Trinkwasserverbrauch sowie deren Einfluss auf andere Faktoren. Dabei werden verschieden erfolgreiche Maßnahmen angenommen und verglichen.

Um die Sensitivitätsanalyse in die aus Arbeitspaket 2 erstellten Szenarien zu integrieren, wurden die Untersuchung auf Szenarien angewendet, welche mit den gewählten Maßnahmen stimmig sind.

Vor allem die Freiheit die es für die Wahl des fiktiven Kampagnen-Zeitraums gibt, verdeutlicht die mögliche Varianz der Ergebnisse. Damit soll ausgesagt werden, dass die untersuchten Fälle eine Auswahl vieler, möglicher Varianten darstellen, die simuliert werden könnten. Daher stellen



Abbildung 14: Bewässerung von Grünflächen mit Trinkwasser im Stadtteil Miraflores (Quelle: Autor)

letztendlich die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse eher die Möglichkeiten der Simulations-Software

als ihre tatsächlichen Aussagen in den Vordergrund. Das liegt vor allem an den noch in der Ausarbeitung befindlichen Lösungsstrategien, die anstatt persönlicher Problemlösungsstrategien genutzt und simuliert werden müssten.

### 6.1 Sparmaßnahmen durch Sparkampagnen

Sparkampagnen stellen eine Möglichkeit dar, das Konsumverhalten der Verbraucher nachhaltig zum Positiven hin zu verändern. Da der Wasserverbrauch teilweise, jedoch vor allem in den wohlhabendenden Schichten, enorm ist (bis zu 460 l/d<sup>1</sup>), bestünde vor allem hier nach Meinung des Autors großes Einsparpotential. Aus eigener Erfahrung

<sup>1</sup> Bezogen auf den vom Wasserversorger SEDAPAL angenommenen, täglichen Verbrauch der Sozialschicht A (ohne Wasserzähler)

während des einjährigen Aufenthaltes in Lima und dem Kennenlernen vieler verschiedenartiger Haushalte verschiedener sozialer Schichten, entstand ebenfalls der Eindruck, dass ein Bezug zum Wassersparen kaum vorhanden ist (Abwasch bei laufendem Wasserhahn etc.). Ebenso zeigte sich der rücksichtslose Umgang mit Trinkwasser, welches zur Bewässerung der Grünflächen zur Mittagszeit (hohe Verdunstungsrate) genutzt wurde.

Für die Annahme potentieller Wassersparkampagnen wurden ähnliche Projekte weltweit untersucht (Siehe Anhang G). Anhand deren Erfolg und Einsparquote wurden 5 fiktive Erfolgsquoten festgelegt und simuliert. Die Durchführung der angenommenen Sparkampagne wurde auf einen Zeitraum von 5 Jahren (2015-2020) festgelegt.

Die Simulation wurde auf die Szenariokonfigurationen 8 und 13 angewendet.

Dies begründet sich auf der Annahme, dass eine potentielle Sparkampagne nur von einer „Regierung mit Vision und Handlungsfähigkeit“ (Deskriptor A) durchgeführt werden könnte (Szen. Config. 8). Als Gegenmodell sollte ein beliebiges Szenario gegenübergestellt werden, welche diese Bedingungen nicht erfüllt.

Die gewählte, angenommene Einsparung wurde über den im LiWa-Tool implementierten Parameter *savfactor* (Sparfaktor) reguliert.

### 6.1.1 Zusammenfassung:

Szenario-Konfiguration	Anwendungszeitraum	Prognostizierte Einsparung des Verbrauchs
8 (Mit durchsetzfähiger Regierung, Deskriptor A)	5 Jahre von 2015 bis 2020 (stufenweise Einstellung der prognostizierten Einsparung)	-10, -15, -20, -30, -40%
13 (Ohne durchsetzfähiger Regierung, Deskriptor A)		

Tabella 6-1: Zusammenfassung der gewählten Szenariokonfigurationen

### 6.1.2 Ergebnisse:

Die angewendeten Drosselungen bzw. Regulierungen zeigen die Korrekturgrafiken (siehe Anhang D).

Aus einer Reduzierung des Wasserkonsums in Szenario 8 von 10% resultieren ca. 70.000 m<sup>3</sup>/a an zusätzlich freiem Wasser.

In der als „gutmütiger“ geltenden Szenario-Konfiguration 8 würde dies bedeuten, dass mehr Wasser für Bewässerung und Landwirtschaft zur Verfügung stünde, da auch ohne Maßnahmen der Trinkwasserbedarf über den gesamten, untersuchten Zeitraum

gedeckt ist. Jedoch ist zu erkennen, dass vor allem ab dem Jahr 2025-2030 der Vorrat an freiem Wasser bezeichnend knapp wird (siehe Abbildung 15).

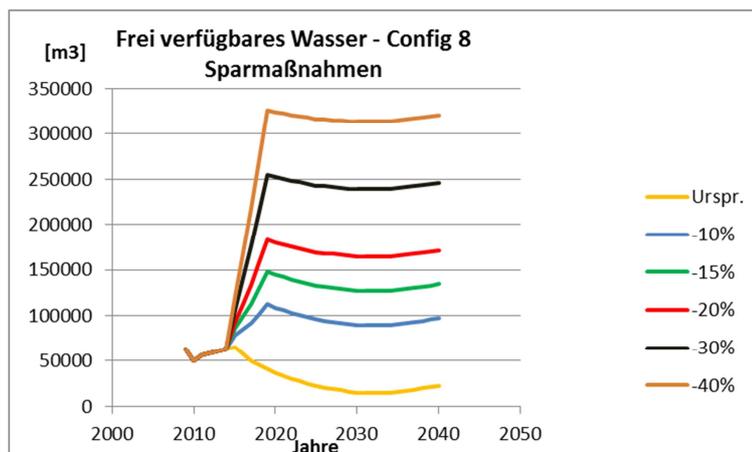


Abbildung 15: Frei verfügbares Wasser der Szenario-Konfiguration 8 bei verschiedenen Trinkwasser-Sparmaßnahmen

Im pessimistischen Szenario 13 ist ein Blick auf die frei verfügbaren Wasserreserven weniger sinnvoll (da auf Grund von Korrekturen ähnlich Abbildung 13). Im Wasserkonsum-/bedarf erkennt man jedoch, dass im Ursprungsszenario zweimal gedrosselt werden muss, da nicht ausreichend Quellwasser verfügbar bzw. *La Atarjea* an seine Grenzen stößt (siehe Korrekturgrafik Anhang D). Des Weiteren muss die Grünflächen- und Landwirtschaftsbewässerung um bis zu 50% heruntergefahren werden.

Aus den Ergebnissen ist zu sehen, dass eine Verbrauchsreduzierung um 10% im Jahr 2040 annähernd ähnlich im Ergebnis zur Ursprungsvariante ist, fällt hierbei doch die Notwendigkeit einer Drosselung weg. Dieser Effekt entsteht jedoch wegen einer freiwillig durchgeführten Verbrauchsreduzierung (durch eine Kampagne) und nicht durch eine Drosselung SEDAPALs (Abbildung 16).

Ab einer Einsparung von 30% des aktuellen Wasserkonsums ist kein Einschreiten mehr notwendig.

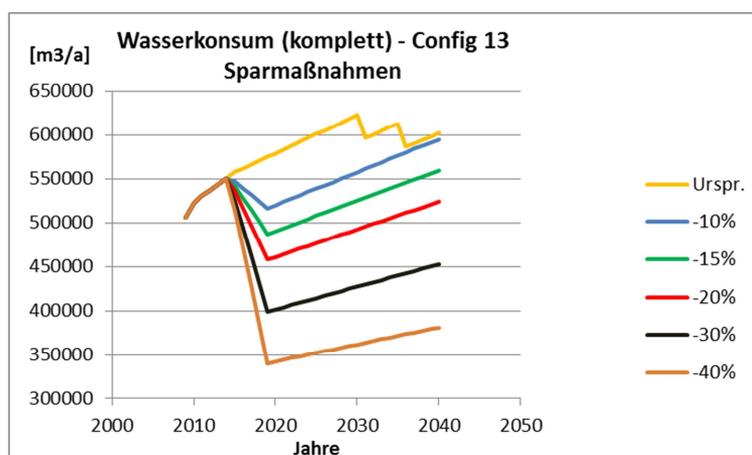


Abbildung 16: Wasserkonsum bei verschiedenen Spareffekten durch Kampagnen

## 6.2 Verlustreduzierung

Bei der Wasserversorgung in der Metropolenregion Lima gehen über ein Viertel des transportierten Wassers verloren (27% nach LiWa, bis 35% nach Peru21 (2011)) gemessen anhand der Differenz des ausgegebenen und der des abgerechneten Wassers. Gründe hierfür sind vor allem schadhafte Rohre. Weitere Verluste sind durch illegalen Entnahmen, das Fehlen von Wasserzählern (Pauschalabrechnung weniger als realer Verbrauch) und rückständigen Turbinen zu verzeichnen. Häufig fehlendes Druckwassermanagement in den Leitungen erhöht die Verlustrate in konsumschwachen Tageszeiten weiter [GIZ o.A].

Aufgrund dessen sieht der Autor auch in diesem Bereich einen wichtigen Faktor, der bei der Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs eine entscheidende Rolle spielt. Wie bei den Sparmaßnahmen sind internationale Maßnahmenerfolge Grundlage der Annahmen (Siehe Anhang G). Betrachtet wurden hier primär Maßnahmen die gegen die realen Verluste im Netz gerichtet waren (Sanierung des Netzes, Druckwassermanagement, etc.). Anhand deren Erfolg und Einsparquote wurden 5 fiktive Erfolgsquoten festgelegt und simuliert. Die Durchführung der angenommenen Sparkampagne wurde auf einen Zeitraum von 5 Jahren (2015-2020) festgelegt.

Die Simulation wurde auf die Szenariokonfigurationen 8, 14 und 15 angewendet.

Als Kriterium hierbei diente, dass das Wasserunternehmen, aus der Szenariobeschreibung, eigenständig in seinem Handeln oder zumindest privat sein sollte (Deskriptor B) und kostendeckend Tarife die Durchführung größtenteils decken müssten (Deskriptor C). Die Unterscheidung unter den 3 gewählten Szenarien dient dem nachträglichen Vergleich mit den dazu nötigen Investitionskosten zum tatsächlichen Nutzen, da unterschiedliche Netzabdeckungsraten (Deskriptor J) einen größeren Sanierungsaufwand darstellen (beziehen sich doch die angenommenen Erfolgsquoten auf das komplette Netz).

Hierbei sind vor allem die Verfügbarkeit der Daten über die Aufwandskosten relevant, um solch einen Vergleich sinnvoller nutzen zu können. Da mir diese Daten im Bearbeitungszeitraum dieser Arbeiten jedoch nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung standen, muss dieser Vergleich zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden.

Die gewählte, angenommene Einsparung wurde über den im LiWa-Tool implementierten Parameter *PAfactor* (Verlustfaktor) reguliert.

### 6.2.1 Zusammenfassung:

Szenario-Konfiguration	Anwendungszeitraum	Progn. Reduzierung der Verluste
8 (steigender Netzabdeckungsrate,	5 Jahre von 2015 bis 2020 (stufenweise Einstellung der	-10, -15, -20, -30, -40%

Deskriptor J)	prognostizierten Reduzierung)	
14 (konstanter Netzabdeckungsrate, Deskriptor J)		
15 (sinkender Netzabdeckungsrate, Deskriptor J)		

Tabelle 6-2: Zusammenfassung der gewählten Szenariokonfigurationen

### 6.2.2 Ergebnisse:

Die angewendeten Drosselungen bzw. Regulierungen zeigen die Korrekturgrafiken (siehe Anhang E).

Aus einer Reduzierung der Netzleckagen in Szenario 8 um 10% resultieren ca. 10.000 man 3/a zusätzlich freiem Wasser. Schlussfolgerungen zu Szenario 8 können ähnlich der Ergebnisse in Abschnitt 0 gezogen werden.

Da es sich um eine Verlustreduzierung handelt bleibt das Konsumverhalten unter allen Varianten identisch. Ein Vergleich lohnt daher in der Trinkwasserbedarfsanalyse der Stadt. Hier zeigt sich im Szenario 14, dass im ursprünglichen Fall ebenfalls im Jahr 2036 und 2040 eine Drosselung stattfinden muss, da die Wasserquellen an ihre Grenzen stoßen. Dies hat zur Folge, dass letztendlich ohne Einwirken auf das System der Wasserbedarf der Stadt sich zwischen den Varianten einer Leckage-Reduktion von 20-30% wiederfindet (siehe Abbildung 17: Der Trinkwasserbedarf bei unterschiedlichen Leckage-Reduktionen). Was letztendlich positiv erscheint, stellt sich dennoch negativ heraus, bleibt doch bei einer Leckage-Reduktion das Konsumverhalten der Verbraucher unangetastet, während eine Drosselung beispielsweise Wassersperrzeiten bedeuten würde.

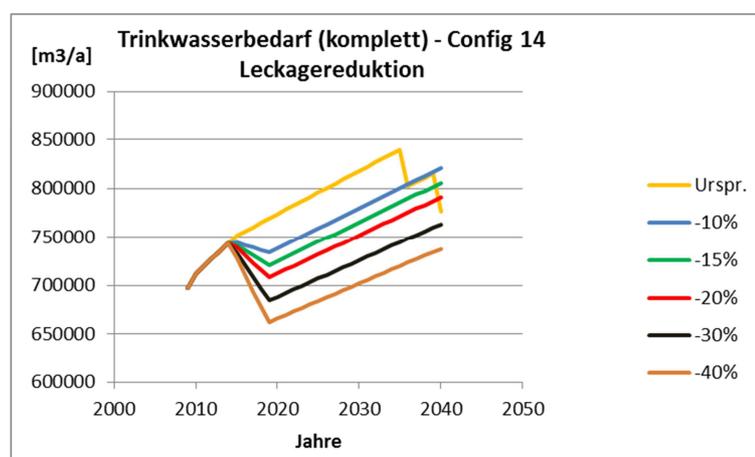


Abbildung 17: Der Trinkwasserbedarf bei unterschiedlichen Leckage-Reduktionen

Im Gegensatz zeigt sich das Szenario 15 wenig spektakulärer. Hier ist festzustellen, dass vor allem 10% weniger Verluste im Leitungsnetz den größten, relativen Nutzen von ca. 35.000m<sup>3</sup>/a bringt, während es zwischen 10 und 20% nur noch ca. 25.000m<sup>3</sup>/a sind (siehe Abbildung 18: Der Trinkwasserbedarf bei unterschiedlichen Leckage-Reduktion).

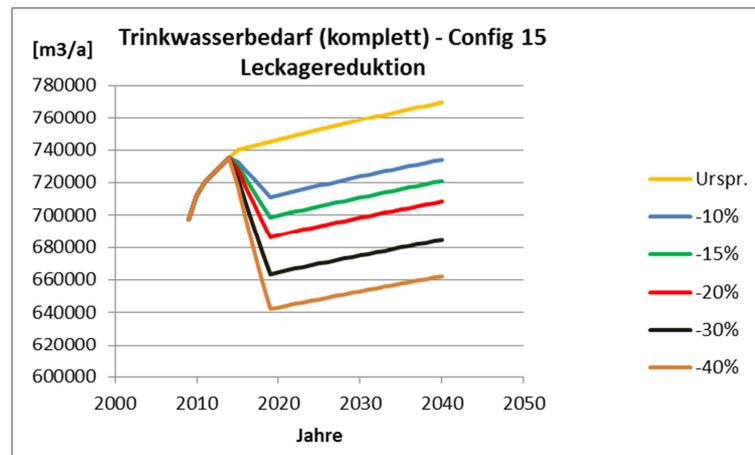


Abbildung 18: Der Trinkwasserbedarf bei unterschiedlichen Leckage-Reduktion

### 6.3 Tarifierhöhungen

Tarifregulierungen beeinflussen nachweislich das Konsumverhalten der Abnehmer (LEHMANN 2011). Zudem dienen (höhere) angepasste Tarife zur Kostendeckung für Sanierung, Instandhaltung und Neuinvestitionen im Trink- und Abwassernetz. In Bezug auf die Simulation dient der Deskriptor C zur Tarif-Beschreibung mit seinen zwei Klassifikationen (kostendeckend und nicht kostendeckend). Da sich eine genaue Prognose für die nächsten 30 Jahre, inkl. der Festlegung „kostendeckend“ im Allgemeinen als schwierig herausstellt, sollten verschiedene, gestaffelte Preiserhöhungen untersucht werden.

Die beiden existierenden Deskriptor-Klassifikationen C1/C2 (nicht kostendeckend/kostendeckend) werden ursprünglich wie folgt in der Simulation im Arbeitspaket 7 wie folgt festgelegt:

*C1: Erhöhung der Wassertarife um 3% p.a. bis zum Jahr 2030, dann konstant*

*C2: Erhöhung der Wassertarife um 6% p.a. bis zum Jahr 2040*

Die Simulation wurde auf die Szenariokonfigurationen 6 und 5 angewendet.

Ausschlaggebend für die Wahl dieser Szenarien ist die Annahme, dass ein Vergleich nur bei einem konstant bleibenden Konsumverhalten (Deskriptor F) sinnvoll ist. Untersucht wurde zum einen eine jeweils, schrittweise 1%-ige Erhöhung von 1 bis 4% p.a. im Szenario 6 statt der ursprünglichen 3% p.a. Zum anderen sollen im Szenario 5 die Tarife statt der ursprünglichen 6% p.a. um 4 und 5% p.a. erhöht werden. In beiden Szenarien soll jedoch, im Gegensatz zur Ursprungsvariante bei nicht-kostendeckenden Tarifen, die Tarifierhöhung über den gesamten Zeitraum erfolgen. Zusätzlich wurde

beschlossen, dass Tarifierhöhungen mit weniger als 3% p.a. keinen Einfluss auf den Wasserverbrauch besitzen, da die Erhöhung unter der Inflationsrate liegt.

### 6.3.1 Zusammenfassung:

Szenario-Konfiguration	Anwendungszeitraum	Tarifierhöhung p.a
6 (nicht kostendeckende Tarife, Deskriptor C)	Über den kompletten Zeitraum	1%, 2%, 4% (ursprünglich: 3%)
5 (kostendeckende Tarife, Deskriptor C)		4%, 5% (ursprünglich 6%)

Tabelle 6-3: Zusammenfassung der gewählten Szenariokonfiguration

### 6.3.2 Ergebnisse:

Die angewendeten Drosselungen bzw. Regulierungen zeigen die Korrekturgrafiken (siehe Anhang F). Man sieht, dass die mit 3% angenommene Inflationsrate bei einer Preiserhöhungen unter 3% p.a. nicht mehr dem Einspareffekt durch Wasserpreiserhöhungen unterliegt (vgl. Abbildung 19).

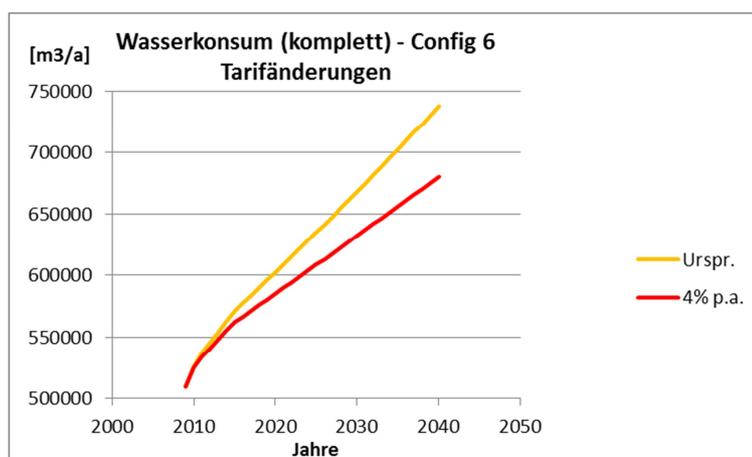


Abbildung 19: Wasserkonsum bei verschiedenen Preissteigerungen in einem nicht-kostendeckenden Szenario

Abbildung 20 hingegen zeigt die Tarifeinnahmen in PEN pro Jahr.

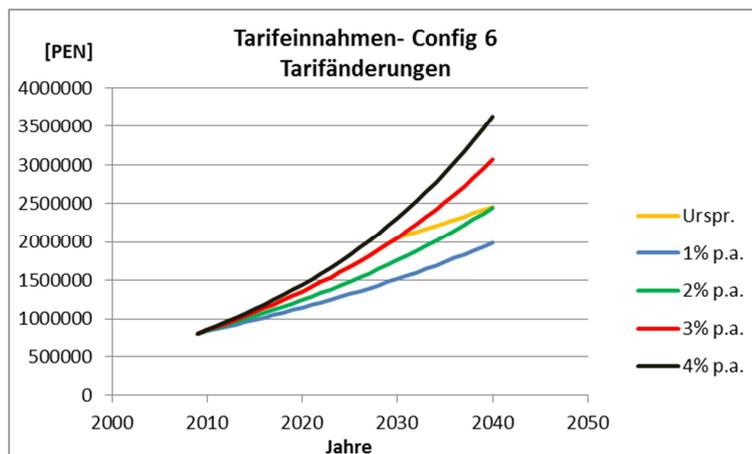


Abbildung 20: Tarifeinnahmen bei verschiedenen Preissteigerungen in einem nicht-kostendeckenden Szenario

Zu erkennen ist, dass in der Ursprungsvariante die jährliche Tarifierhöhung ab dem Jahr 2030 stagniert und nur noch auf Grund der sich erhöhenden Bevölkerung weiter steigt. In Szenario 7 zeigt sich, dass ein Tarifunterschied von 1% im Jahr 2040 ca. 45.000m<sup>3</sup> Differenz im Wasserkonsumverhalten entspricht bzw. jeweils einer Verdoppelung/Halbierung des Konsumunterschiedes zum jeweiligen Vorjahr (vgl. Abbildung 21).

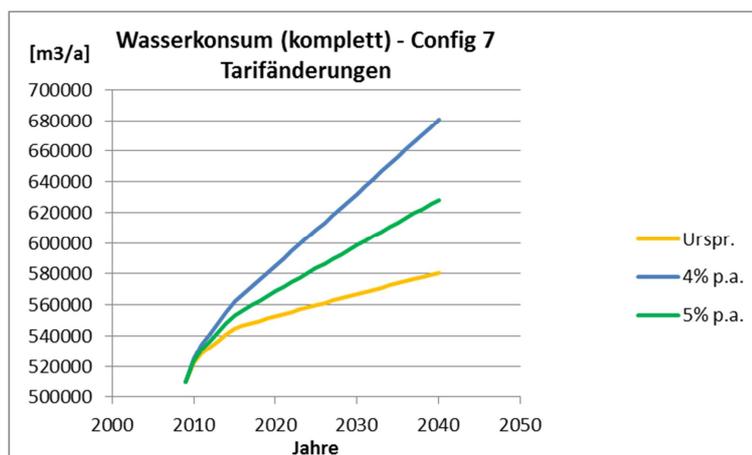


Abbildung 21: Wasserkonsum bei verschiedenen Preissteigerungen in einem kostendeckenden Szenario

## 6.4 Kritische Bewertung und Schlussfolgerung der Analyse

Wie bereits in Kapitel 4.2 erwähnt, bleiben bislang räumliche Zusammenhänge unberücksichtigt. Dies kann momentan nur durch eine kritische Überprüfung jeder gewählten Maßnahme vermieden werden. So wäre es vorstellbar, dass in einer überarbeiteten Version der Software eine Überprüfung der bestehenden Vernetzung, Distanzen und Höhenunterschiede und ein Faktor der vorhandenen Bebauung zusätzlichen Informationen über die Machbarkeit liefern. Auch wenn das hier genutzte Modell im gesamten sehr einfach gehalten wurde, erachtet der Autor es trotzdem für wichtig Prognosen für die Grünflächenentwicklung einzubauen, da diese bzgl. ihrer Bewässerung über den gesamten Zeitraum immer noch als konstant angenommen

werden. Des Weiteren bleiben industrielle Trinkwasserentnahme oder deren Abwässer noch komplett unberücksichtigt. Ebenso standen bei der Betrachtung der Leckagereduktionen die dazu nötigen Investitionskosten nicht zur Verfügung. Diese wichtigen Entscheidungsfaktoren sind jedoch unabdingbar, sofern man den Nutzen solcher Maßnahmen vergleichbar machen will. Zusammenfassend zeigt Tabelle 6-4 die absoluten Ergebnisse der Simulationen.

Sparmaßnahmen:	-10% des urspr. Trinkwasserkonsums entsprechen ca. 70.000m <sup>3</sup> /a
Leckagereduktion:	-10% des urspr. Leckagen-Anteils entsprechen ca. 10.000m <sup>3</sup> /a
Tariferhöhung:	+1% p.a. auf 30 Jahre entsprechen bis zu 45.000m <sup>3</sup> /a

*Tabelle 6-4: Absolute Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bezogen auf Szenario 8*

## 7 Zusammenfassung und Aussicht

Die Untersuchung der Basisszenarien und Sensitivitätsanalyse möglicher Maßnahmen zur Reduktion des Trinkwasserverbrauches konnten das Potential aber auch Verbesserungsmöglichkeiten zu dieser sich noch in der Entwicklung befindenden Software aufzeigen. Die Software besitzt den großen Vorteil, komplexe Infrastruktursysteme vereinfacht darzustellen und zu simulieren, da man durch das Ineinandergreifen vieler, in solch einem Netz aufeinander einwirkenden Faktoren und die Auswirkung möglicher Entscheidungen schwer, pauschal vorhersehen kann. Stellte sich doch beispielsweise heraus, dass das Szenario B2 „gutmütiger“ ist als das als subjektiv positiver eingestufte Szenario C, wo der Handlungsbedarf größer ist den Wasserkonsum bzw. -bedarf zu verringern.

Die Sensitivitätsanalyse zeigte vor allem, dass die subjektiv als günstiger eingeschätzten Sparmaßnahmen in Szenario 8 im Vergleich zur vergleichsweise subjektiv teuren Leckagereduktion größer Nutzen mit sich bringt (vgl. Tabelle 6-4). Diese Aussage ist aber mit Vorsicht zu genießen, da auf Grund der Pauschalisierung die Art der Sparmaßnahme (Verhaltensänderung durch Kampagne oder Drosselung durch SEDAPAL) und der Typ der Leckage jeweils nach genauem Kostenaufwand betrachtet und verglichen werden müsste. Zudem würde der Vergleich auf die jeweiligen Bezirken bezogen höchstwahrscheinlich stark unterschiedliche Ergebnisse liefern. Der Spareffekt über Tarifierhöhungen hängt stark von der Annahme der angenommenen, zukünftigen Inflation und dem prognostizierten Sparverhalten bei steigenden Wasserpreisen ab. Dies lässt ebenfalls noch einen sehr großen Spielraum für Interpretationen zu.

Ausblickend kann jedoch gesagt werden, dass auf den neuen Simulationskern von LiWa-tool, der während der Bearbeitung dieser Arbeit kurz vor der Fertigstellung stand, neben der Benutzerfreundlichkeit (u.a. Grafische Darstellung von Formeln, überarbeitete Benutzeroberfläche) vor allem die neuen Konfigurationsmöglichkeiten einen großen Fortschritt darstellen werden. Viele in dieser Arbeit angesprochenen Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge wurden umgesetzt und können dadurch den Nutzen der Software und seiner Ergebnisse deutlich steigern. Neben der Möglichkeit Prioritäten bei der Verteilung von Stoffströmen, der Festlegung von Durchflussmaxima und in manchen Fällen die Freiheit Variablen statt konstanter Parameter einzusetzen, lässt unter anderem, nicht nur die vom Autor eingeführten Korrekturgrafik („Stellschrauben“ zur Regulierung) überflüssig werden. Eine erhöhte Bediengeschwindigkeit und verbesserte Übersicht über das System lassen den Fokus auf andere Problemstellungen und Betrachtungen zu. Dieser Faktor ist enorm wichtig, soll doch später die Software ohne große Einweisung und Überwachung bedienbar und angewendet werden können. Hier besteht meines Erachtens noch das größte Potential, da die Bedienerfreundlichkeit die Schnittstelle schlechthin für die tatsächliche Akzeptanz der Anwendung darstellt.

Jedoch ist nicht nur der neue Softwarekern ausschlaggebend für repräsentative Ergebnisse. Ein wichtiger Punkt ist ebenso die Aktualität und Fülle an Informationen die dem zugrunde liegenden System zugeführt werden müssen. Hier stehen neben dem LiWa-Team vor allem die Projektpartner des LiWa-Projektes in der Pflicht, weitere Informationslücken zu füllen (Finanz-, Grünflächen-, Industriedaten), um zukünftige Untersuchungen präziser und aussagekräftiger machen zu können.

In zukünftigen Arbeiten könnten somit weiter die Basisszenarien präziser untersucht werden, verknüpft mit verschiedenen, dem Szenario sinnvoll erscheinenden Maßnahmenpakete und dem zugehörigen Finanzierungsaufwand.

Abschließend betrachtet, sind in Lima und anderen Mega-City's die Herausforderungen in der Wasserversorgung durch Wasserknappheit, Armut und Entscheidungen in der internationalen Umweltpolitik richtungsweisend. Die Entscheidungen der Industrieländer sind eine Reflexion und Vorbildwirkung für die Betrachtung der Umweltprobleme auf ärmere Länder wie Peru. Somit ist es wichtig, Tools für die Darstellung von Prognosen und Problematiken zu entwickeln und zu nutzen, welche die Wasserproblematik weltweit in Ballungszentren vergleichbar macht und die Wichtigkeit unterstreicht, mit natürlichen Ressourcen wasserschonend und verantwortungsbewusst umzugehen.

# Anhang A: Szenariogruppen

Quelle: ZIRN 2012

Scenario A Climate stress meets governance disaster	Scenario B1: The tragedy of isolated measures: Lone fighter catchment management	Scenario B2 The tragedy of isolated measures: Lone fighter private water company	Scenario C The opportunities of mesoscale actors	Scenario D Climate resilience by government
Config. no. 10	Config. no. 13	Config. no. 5	Config. no. 15	Config. no. 8
Config. no. 2	Config. no. 4	Config. no. 7	Config. no. 14	Config. no. 11
Config. no. 6	Config. no. 9	Config. no. 11	Config. no. 12	Config. no. 1
A2 Government without decision power and vision	A2 Government without decision power and vision	A2 Government without decision power and vision	A2 Government without decision power and vision	A1 Government without decision power and vision
D Demography: D1 High population growth	D Demography: D1 High population growth	D Demography: D1 High population growth	D Demography: D1 High population growth	D Demography: D3 Low population growth
E Urban poverty: E1 Increasing poverty	E Urban poverty: E1 Increasing poverty	E Urban poverty: E1 Increasing poverty	E Urban poverty: E1 Increasing poverty	E Urban poverty: E3 Decreasing poverty
G Water network losses: G1 Increasing water network losses	G Water network losses: G1 Increasing water network losses	G Water network losses: G1 Increasing water network losses	G Water network losses: G1 Increasing water network losses	G Water network losses: G2 Decreasing water network losses
I Form of urban development: I2 City without urban planning and with few green areas	I Form of urban development: I2 City without urban planning and with few green areas	I Form of urban development: I2 City without urban planning and with few green areas	I Form of urban development: I2 City without urban planning and with few green areas	I Form of urban development: I1 City without urban planning and with few green areas
J Coverage of the water network: J1 Decreasing coverage rate	J Coverage of the water network: J1 Decreasing coverage rate	J Coverage of the water network: J1 Decreasing coverage rate	J Coverage of the water network: J1 Decreasing coverage rate	J Coverage of the water network: J3 Increasing coverage rate
B Form of water company: B3 Public without autonomy from the government	B Form of water company: B1 Private	B Form of water company: B1 Private	B Form of water company: B1 Private	B Form of water company: B2 Public with autonomy from the government
C Water and wastewater tariffs: C1 Reduced (non cost-covering) tariffs	C Water and wastewater tariffs: C2 Cost-covering tariffs	C Water and wastewater tariffs: C2 Cost-covering tariffs	C Water and wastewater tariffs: C2 Cost-covering tariffs	C Water and wastewater tariffs: C2 Cost-covering tariffs
F Water consumption per capita (domestic): F2 Stagnant water consumption per capita	F Water consumption per capita (domestic): F2 Stagnant water consumption per capita	F Water consumption per capita (domestic): F3 Decreasing water consumption per capita	F Water consumption per capita (domestic): F3 Decreasing water consumption per capita	F Water consumption per capita (domestic): F3 Decreasing water consumption per capita
H Catchment management: H2 Management depending on the government without integration	H Catchment management: H2 Management depending on the government without integration	H Catchment management: H2 Management depending on the government without integration	H Catchment management: H1 Integrated and participatory management	H Catchment management: H1 Integrated and participatory management
K Wastewater treatment and reuse: K1 Treatment of 95% with reuse of 5%	K Wastewater treatment and reuse: K1 Treatment of 95% with reuse of 5%	K Wastewater treatment and reuse: K1 Treatment of 95% with reuse of 5%	K Wastewater treatment and reuse: K2 Treatment of 95% with reuse of 20 to 40%	K Wastewater treatment and reuse: K2 Treatment of 95% with reuse of 20 to 40%
L Water supply (infrastructure): L2 Water supply as in 2010 (constant)	L Water supply (infrastructure): L2 Water supply as in 2010 (constant)	L Water supply (infrastructure): L2 Water supply as in 2010 (constant)	L Water supply (infrastructure): L2 Water supply as in 2010 (constant)	L Water supply (infrastructure): L1 Increasing water supply
M Impacts of climate change (inflow/vulnerability/risk): M3 Low inflow (severe droughts)	M Impacts of climate change (inflow/vulnerability/risk): M3 Low inflow (severe droughts)	M Impacts of climate change (inflow/vulnerability/risk): M1 Excessive inflow (flooding)	M Impacts of climate change (inflow/vulnerability/risk): M3 Low inflow (severe droughts)	M Impacts of climate change (inflow/vulnerability/risk): M3 Low inflow (severe droughts)

## Anhang B: Szenarienmatrix

Quelle: ZIRN 2012

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	A1A2	B1B2B3	C1C2	D1D2D3	E1E2E3	F1F2F3	G1G2	H1H2	I1I2	J1J2J3	K1K2	L1L2L3	M1M2M3
<b>A Forma de Gobierno</b>													
A1 Gobierno con capacidad de decisión y visión		0 2 -2	-3 3	-1 0 1	-3 1 2	-2 0 2	0 0	3 -3	3 -3	-1 -1 2	-3 3	3 0 -3	-1 2 -1
A2 Gobierno sin capacidad de decisión y visión		1 -3 2	3 -3	1 0 -1	2 1 -3	1 1 -2	0 0	-3 3	-3 3	1 1 -2	2 -2	-3 0 3	1 -2 1
<b>B Gestión de la Empresa de Agua y Saneamiento</b>													
B1 Privada	0 0		-3 3	0 0 0	1 0 -1	0 0 0	-2 2	0 0	0 0	-1 -1 2	-1 1	-3 0 3	-1 2 -1
B2 Estatal con autonomía del gobierno	0 0		-3 3	0 0 0	-2 0 2	-1 -1 2	-2 2	0 0	1 -1	-2 -1 3	-1 1	3 0 -3	-1 2 -1
B3 Estatal sin autonomía del gobierno	0 0		0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	2 -2	0 0	-1 1	2 0 -2	2 -2	1 0 -1	0 0 0
<b>C Tarifa de agua y saneamiento</b>													
C1 Tarifa de agua no sincerada	0 0	-2 1 1		0 0 0	0 0 0	3 -1 -2	1 -1	0 0	0 0	2 -1 -1	0 0	-1 0 1	0 0 0
C2 Tarifa de agua sincerada	0 0	0 0 0		0 0 0	0 0 0	-3 1 2	-1 1	0 0	0 0	-2 1 1	-1 1	2 0 -2	0 0 0
<b>D Demografía</b>													
D1 Crecimiento de la población alto	0 0	0 0 0	0 0		0 0 0	0 0 0	2 -2	0 0	-2 2	2 1 -3	0 0	3 0 -3	1 -3 2
D2 Crecimiento de la población medio	0 0	0 0 0	0 0		0 0 0	0 0 0	1 -1	0 0	1 -1	1 0 -1	0 0	2 0 -2	1 -2 1
D3 Crecimiento de la población bajo	0 0	0 0 0	0 0		0 0 0	0 0 0	0 0	0 0	2 -2	-1 0 1	0 0	1 0 -1	0 -1 1
<b>E Pobreza urbana</b>													
E1 Pobreza incrementa	-3 3	0 0 0	0 0	2 1 -3		-3 1 2	2 -2	0 0	-3 3	0 0 0	0 0	0 0 0	1 -3 2
E2 Pobreza se mantiene	-1 1	0 0 0	0 0	1 0 -1		0 0 0	0 0	0 0	-1 1	0 0 0	0 0	0 0 0	1 -2 1
E3 Pobreza disminuye	2 -2	0 0 0	0 0	-2 0 2		3 -1 -2	-2 2	0 0	2 -2	0 0 0	0 0	0 0 0	0 -1 1
<b>F Consumo de agua per cápita</b>													
F1 Consumo per cápita aumenta	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0		0 0	0 0	0 0	2 0 -2	0 0	0 0 0	0 0 0
F2 Consumo per cápita igual	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0		0 0	0 0	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0
F3 Consumo per cápita disminuye	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0		0 0	0 0	0 0	-2 0 2	0 0	0 0 0	0 0 0
<b>G Pérdidas de agua en la red</b>													
G1 Pérdidas de agua aumentan	0 0	0 0 0	-1 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0		0 0	0 0	2 1 -3	0 0	2 0 -2	0 0 0
G2 Pérdidas de agua disminuyen	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0		0 0	0 0	-2 -1 3	0 0	-2 0 2	0 0 0
<b>H Gestión de las cuencas</b>													
H1 Gestión integradora y concertada	1 -1	0 0 0	-1 1	0 0 0	-1 0 1	-1 0 1	0 0		2 -2	-3 1 2	-2 2	2 0 -2	-1 2 -1
H2 Gestión dependiente del gobierno sin integración	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 -1	0 0		-2 2	2 -1 -1	2 -2	-2 0 2	1 -2 1
<b>I Forma de desarrollo urbano</b>													
I1 Ciudad con protección de valles y áreas verdes	1 -1	0 0 0	0 0	-2 -1 3	-1 0 1	0 0 0	0 0	0 0		-1 0 1	-2 2	1 0 -1	-1 2 -1
I2 Ciudad sin planificación y con pocas áreas verdes	-1 1	0 0 0	0 0	2 1 -3	1 0 -1	0 0 0	1 -1	0 0		1 0 -1	0 0	0 0 0	1 -3 2
<b>J Cobertura de agua a la red pública</b>													
J1 Cobertura disminuye	0 0	1 -1 0	0 0	0 0 0	2 0 -2	-2 0 2	0 0	0 0	-1 1		0 0	0 0 0	0 0 0
J2 Cobertura se mantiene	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	1 0 -1	-1 0 1	0 0	0 0	0 0		0 0	0 0 0	0 0 0
J3 Cobertura aumenta	0 0	-1 1 0	0 0	0 0 0	-2 0 2	2 0 -2	0 0	0 0	1 -1		0 0	0 0 0	0 0 0
<b>K Tratamiento y reuso de aguas residuales</b>													
K1 Tratamiento al 95% con reutilización de 5%	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0	0 0	-3 3	1 0 -1		1 0 -1	0 0 0
K2 Tratamiento al 95% con reutilización de 20 a 40%	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0	-1 -1 2	0 0	0 0	3 -3	-2 0 2		-1 1 0	0 0 0
<b>L Fuentes de agua disponibles</b>													
L1 Fuentes de agua aumentan	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 -1	0 0	0 0	2 -2	-2 0 2	2 -2		0 0 0
L2 Fuentes de agua como en 2010	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0	0 0	-1 1	-1 0 1	0 0		0 0 0
L3 Fuentes de agua disminuyen	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0	-3 0 3	0 0	0 0	-2 2	3 0 -3	-2 2		0 0 0
<b>M Cambio climático (caudal y riesgo)</b>													
M1 Caudal excesivo (inundaciones)	1 -1	0 0 0	0 0	0 0 0	3 0 -3	-1 0 1	1 -1	2 -2	-1 1	2 0 -2	1 -1	-3 1 2	
M2 Caudal se incrementa sin riesgos	0 0	0 0 0	0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0	0 0	1 -1	-2 0 2	0 0	2 -1 -1	
M3 Caudal bajo (sequía grave)	1 -1	0 0 0	0 0	1 0 -1	2 0 -2	-2 -1 3	0 0	3 -3	-2 2	3 -1 -2	-2 2	-2 -1 3	





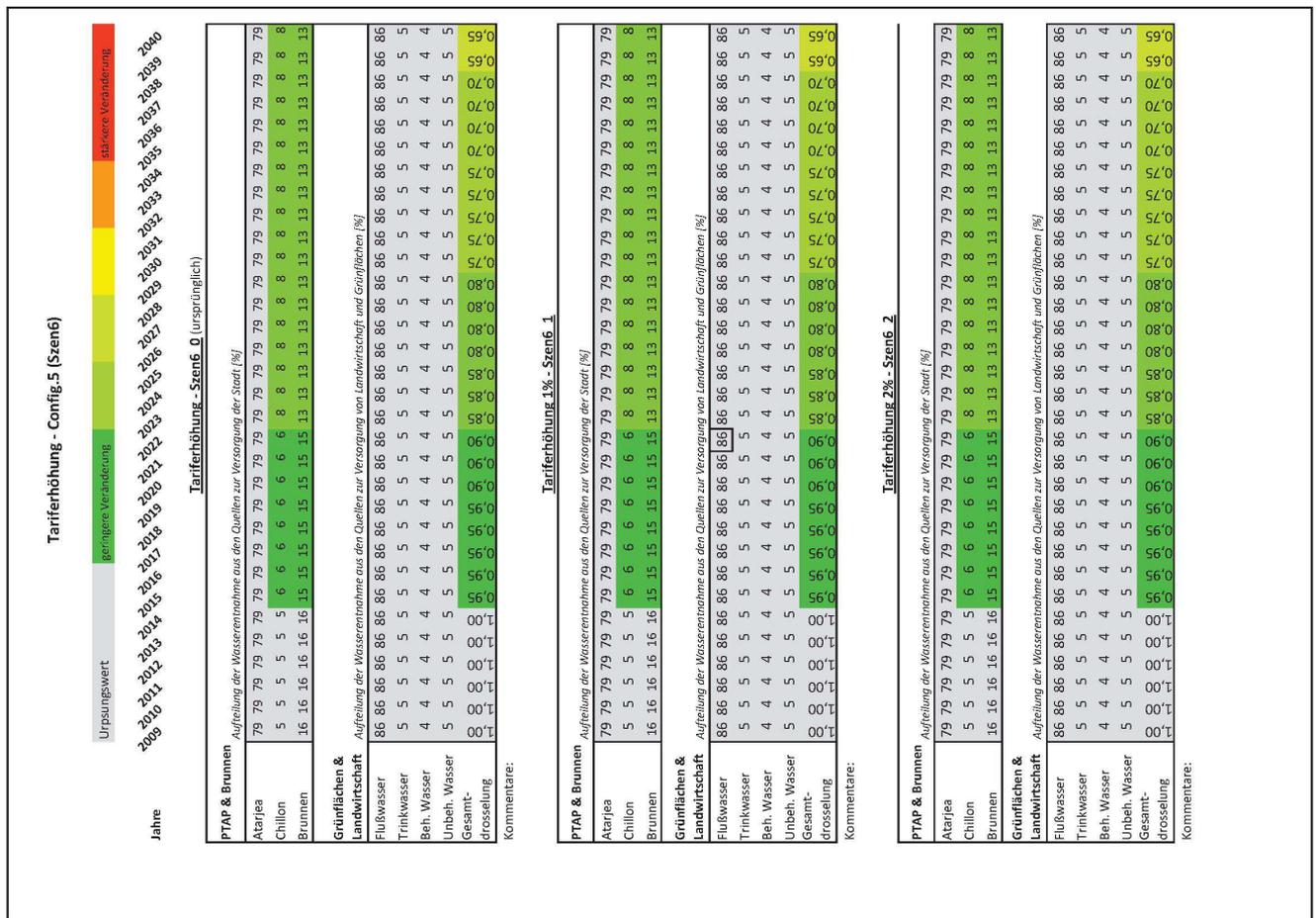
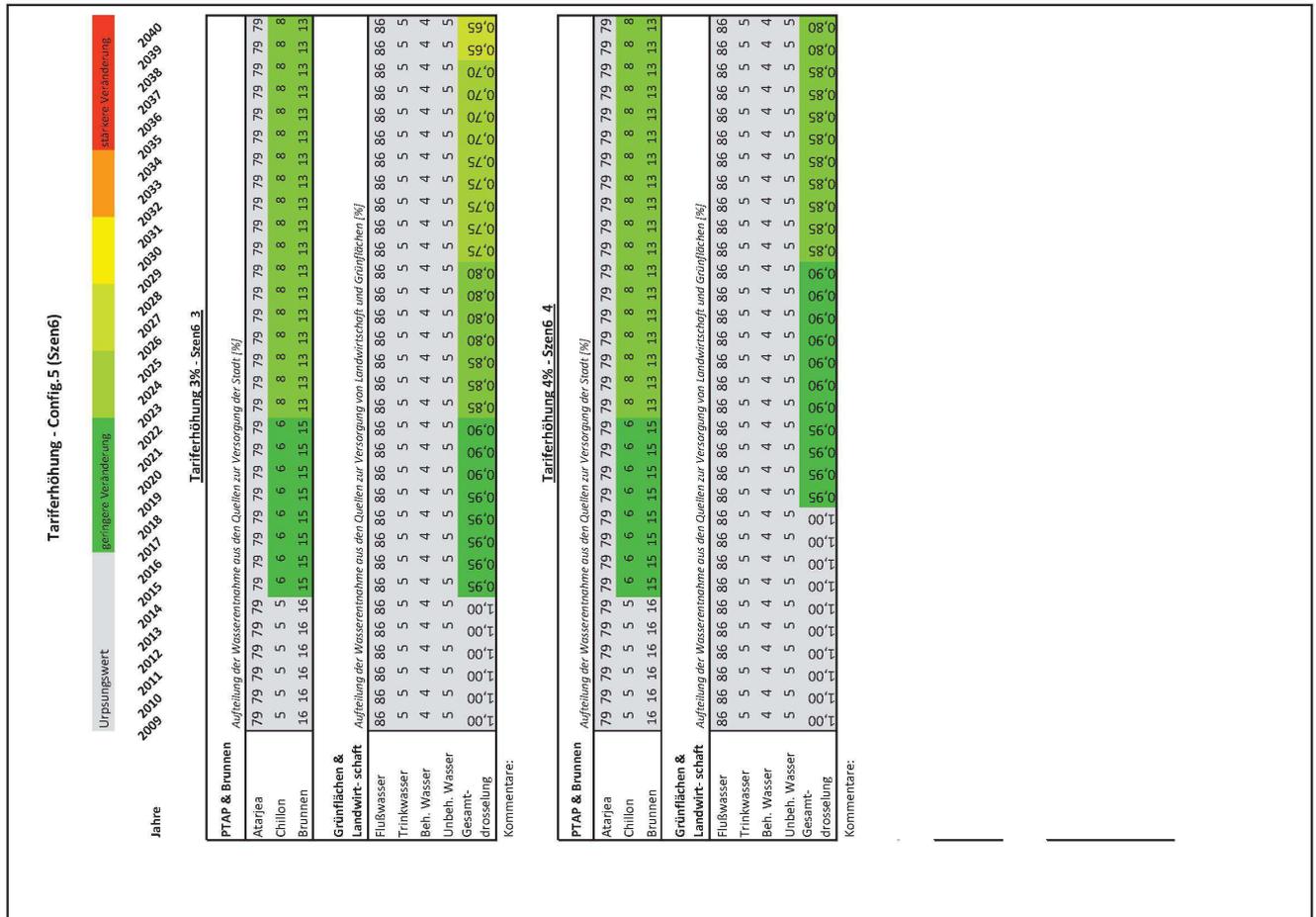








# Anhang F: Korrekturgrafiken der Sparmaßnahmen





## Anhang G: Recherchearbeit für die Sensitivitätsanalyse

### Sensitivitätsanalyse – Rechercheprotokoll

#### **Sparmaßnahmen:**

In Frage kommende Szenariogruppen: D (wenn Kampagne von Regierung gestartet werden soll)  
A-B2 (Verhalten in einem Szenario ohne Regierung mit Durchsetzungsfähigkeiten; what-if)

#### Mögliche Gegenüberstellungen:

Config.8 Sparpotential über die Zeit (Var. Erhöhung des Sparfaktors) Recherche des Max. Wertes

Config.13 Sparpotential über die Zeit (Var. Erhöhung des Sparfaktors) Recherche des Max. Wertes

#### Recherchequellen:

BRUNTON (2011): (2008) 10jährige Kampagne von der Australischen Regierung. Befindet sich noch in Phase 1, noch keine Ergebnisse

COOK & SCHMID (2011): (2009-2010) Kampagne zur Reduzierung von Verbrauch in Santa Fe, San Diego Region, CA durch Verbraucheranalysen und Werbe- sowie Aufklärungskampagnen  
-15% (Urspr.: -6%)

RINAT (2011): Die Reduzierung des Prokopfverbrauches jährlich wird hauptsächlich den Kampagnen (und auch Preissteigerungen) zugesprochen. Israel.  
-18% (110 -> 90 m<sup>3</sup>/d\*PE)

CART (2009): (2007, Brisbane) Neben der Wassersparkampagne „Saving Water is Everyone's Business“ (u.a. Installation von wassersparenden Geräten) wurde der Verbrauch enorm gesenkt.  
-43% (im Verhältniss zum Vor-Dürre Niveau)

BERK (2011): Beschreibung Wassersparkampagnen an der US Westküste und deren Erfolge  
-28%, 1991 (Zitierte Quelle: persönliche Kommunikation, Drough Information Center, Department of Water Resources, Sacramento, CA)

#### Zusammenfassung:

Betrachtet man einige erfolgreiche Wasserkampagnen so siedelt sich die Erfolgsrate bei einer ca 20-40% Senkung des ursprünglichen Wasserverbrauches an. Um diese Ziele zu erreichen muss, wie aus einzelnen Berichten zu lesen die Kampagne spezifisch gestaltet und ausgeführt werden. Hierbei ist die Anpassung und Analyse der Abnehmergruppe und deren Verhalten von großer Bedeutung. Die zweite Säule des Einsparerfolges beruht auf der Installation wassersparender Geräte.

Meine Annahmen zur Festlegung des simulierenden Einsparungserfolges einer möglichen Kampagne im Falle Limas beruhen daher auf den Erfahrungen der untersuchten Projekte. Für die Verbrauchsreduzierung von Wasser durch Sparmaßnahmen wurden daher folgende Werte simuliert:

-10% ; -15% ; -20% , -30% , -40%

#### **Verlustreduzierung:**

In Frage kommende Szenariogruppen: B2, C, D (da Finanzierung durch Einnahmen (Deskriptor C) gedeckt sein muss)

Beeinflussende Deskriptoren: J (Je Größer die Abdeckung desto höher die Kosten für Renovierung)

Zusätzlich wichtige Parameter/Variablen: Kosten

Config.15 Kosten u. Sparpotential/Verlustreduzierung (Var. Verringerung des Verlustes)

Config.14 Kosten u. Sparpotential/Verlustreduzierung (Var. Verringerung des Verlustes)

Config.8 Kosten u. Sparpotential/Verlustreduzierung (Var. Verringerung des Verlustes)

Recherchequellen:

HOFFMANN (2011): Reduktion des Wasserverlusts für Balqa und Madaba, 14,2 Mio. €, Dauer 53 Monate  
Ziel: Reduzierung der Leckage aller Gouvernements auf <20%  
(Gesamtprojekt Kosten: 87,5 Mio. € (80% Kfw 20% Staat))

GIZ (o.A.): (Peru, Lima) Projekt zur Reduzierung von Leitungsleckagen (Bestand 2008: 40% Leitungsverluste)  
Maßnahme: Installation von Druckmanagementsystemen (Um bei nicht ausgelastetem System Druck von den Leitungen zu nehmen und Leckagen zu reduzieren),  
Ziel: Die Wasserverluste wurden dauerhaft um 11% reduziert. Dadurch können bis zu 97.000€ jährlich eingespart werden.

DE WINNE (2009): (Peru, Huaraz), Vorbereitung und Durchführung der Leckortung im Pilotsektor des städtischen Wasserversorgungsnetzes der Stadt Huaraz (Peru), Leuphana Universität Lüneburg  
Verantwortliches Wasserunternehmen: EPS Chavin, durchschnittlichen Wasserverbrauch von 640.270,83 m<sup>3</sup>/Monat; 12.605 Anschlüsse. 20 Sektoren  
Sollwerte: Gesamtwasserverlust: 13% (Deutschland), 25% (EPS Chavin);  
Schätzwerte: Scheinverluste: 1,5-2% (D), 5-8% (Chavin); Realverluste: 8% (D), 40-60% (Peru)  
Grobe Kostenschätzung:  
Laufzeit: 5 Jahre

Bezeichnung	Pilotsektor (1 Sektor)		Stadt (19 Sektoren)	
	Soles	S./Monat	Soles	S./Monat
Vorbereitung	11200	1244	213000	3550
Durchführung	14400	1600	240000	4000
<b>Gesamt</b>	<b>25600</b>	<b>2844</b>	<b>453000</b>	<b>7550</b>

Tabelle 24: Gesamtkosten zur Lokalisation von Wasserverlusten

GTZ (o.A.): Guidelines

Case study Lima: Druckmanagement (DM) Module in den Vierteln Breña und Comas

Verluste (non-revenue water, NRW) vorher 37,5%

Case study Jordanien: 20-40% Reduktion der Wasserverluste durch DM

Case study Huaraz: NRW 51,4% (Standard Peru 42,1%), 388l/d/PE

Testsektor: NRW 69% (80% Scheinverluste / 20% reale Verluste), nach Sanierung (DM, neue Messgeräten und Lecksanierungen) NRW 29% (= -40%)

EQUILIBRIUM CLASIFICADORA DE RIESGO S.A. (2011): (Peru, Lima) Lima: Abdeckung Trinkwasser 92,5%  
Abwasser 91,6%, Abwasserbehandlung 18,16% und Durchschnittswert NRW: 41,1% (2005), 37,8% (2010) 35,2% (2011)  
Projekt Lima Norte I: Ziel Reduzierung NRW in Nordsektor (Comas, Independencia, Los Olivos y San Martín de Porres) auf 25%

ZEITUNG GESTIÓN (o.A.): (Peru, Lima) Projekt Lima Norte I: Ziel Reduzierung NRW in Nordsektor auf 28-30% (aktuell 45%) (Kosten 50 Mio \$) (= -38%)

Vorgeschlagene Werte:

Reduzierung der Wasserverluste um -10% -15% -20 % -30% -40%

<b>Tarifierhöhung:</b>
------------------------

In Frage kommende Szenariogruppen: A, B2 (Handlungsfähigkeit seitens Regierung/Firma notwendig)

Beeinflussende Deskriptoren: F (Beeinflussung der Ergebnisse)

Mögliche Gegenüberstellungen:

Config. 6 Sparpotential/Tarifierhöhung (1%. Kostenerhöhung von 1-4%)

Config. 5 Sparpotential/Tarifierhöhung (1%. Kostenerhöhung von 4-6%)

Die ursprünglich als „positiv“ angesehene Entwicklung einer Kostenerhöhung von 6% auf 32 Jahre wird schrittweise untersucht.

Um andere Sparmaßnahmen und deren Wirkung auszuschließen konzentriert sich die Simulation auf Szenarien bei denen der Sparfaktor konstant ist.

Eine Erhöhung von 4-5% wird als „nicht-Kosten-deckend“ angesehen, während eine Erhöhung von 5-7% als kostendeckend angenommen wird. 5% kann „entweder-oder“ kostendeckend sein.

Für nicht-kostendeckende Varianten steht Szenario Config.6. Für die kostendeckenden Varianten steht das Szenario Config 5.

## Quellenverzeichnis

**Baccini, P., Bader, H.** (2006): Regionaler Stoffhaushalt, Springer, Heidelberg, Berlin, Oxford

**Berk, Richard** et al.(2011): The Differential Deterrent Effects of An Arrest in Incidents of Domestic Violence: A Bayesian, Analysis of Four Randomized Field Experiments, Department of Statistics Papers, Department of Statistics, UCLA, UC Los Angeles  
Online unter: <http://escholarship.org/uc/item/6b04717t> [Aufruf am 16.04.12]

**Bundeszentrale für politische Bildung** (o.A.): Dossier – Lateinamerika, Peru  
Online unter: <http://www.bpb.de/themen/Z726V7,0,0,Peru.html>  
[Aufruf am 23.03.12]

**Cart, Julie** (2009): Brisbane writes a case study on saving water, Targeting urban residential use as part of an overall program, the Australian state of Queensland changes its way of life, LA Times  
Online unter: <http://articles.latimes.com/2009/nov/24/local/la-me-serve-brisbane24-2009nov24> [Aufruf am 16.04.12]

**CONAM** et al. (2005): GEO Lima y Callao – Perspectivas del medio ambiente urbano. Consejo Nacional del Ambiente, Lima, Peru.

**Colmar Brunton** et al. (2011): Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, Water for the Future Campaign

**Cook & Schmid** (2011): Integrated Campaign for Water Conservation, Santa Fe Irrigation District

**De Winne, Julietta** (2009): Vorbereitung und Durchführung der Leckortung im Pilotsektor des städtischen Wasserversorgungsnetzes der Stadt Huaraz (Peru), Leuphana Universität Lüneburg

**Dieterle, Gisela** (2004): Landflucht in Peru. Konsequenz von politischem Terror und staatlicher Gewalt, Praxis Geographie, Ausgabe 34 (2004) 7-8, S. 16-21

**Drenkhan, Fabian** (2010): Flächen- und Massenbilanzierung tropischer Gletscher in Peru von 1985-2008 anhand von ASTER- und Landsat-Daten, Eine Abschätzung des glazialen Wasserspeichers in Bezug auf die Wasserversorgung Limas, Januar 2010

**Drouve A.** (o.A.): Kurzportrait Peru,  
Online unter: <http://www.schwarzaufweiss.de/peru/kurzportrait1.htm>  
[Aufruf am 17.10.11]

**Europäische Kommission** (2007): Länderstrategiepapier 2007-2013 – Peru  
Online unter: [eeas.europa.eu/peru/csp/07\\_13\\_de.pdf](http://eeas.europa.eu/peru/csp/07_13_de.pdf) [Aufruf am 04.04.12]

- El Peruano** (2010): Normas Legales, Organismos Reguladores, Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, Lima, 16.04.2010  
Online unter: [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=32eddeb0-bb00-441e-bf8e-0331b09817c1&groupId=29544](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=32eddeb0-bb00-441e-bf8e-0331b09817c1&groupId=29544)  
[Aufruf am 04.06.12]
- Equilibrium Clasificadora de Riesgo S.A.** (2011): SEDAPAL, Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 28 de diciembre de 2011  
Online unter: <http://www.equilibrium.com.pe/Sedapal.pdf> [Aufruf am 19.04.12]
- Fernández-Maldonado**, et al. (2008): Expanding networks for the urban poor: Water and telecommunications services in Lima, Peru. In: Geoforum 39, 2008, S. 1884-1896. Delft. Niederlande.
- GIZ** (o.A.): Druckmanagement-Technologie zur Wasserverlustreduzierung, Projektbeschreibung  
Online unter: <http://www.giz.de/Themen/de/SID-398A345B-85657059/32745.htm> [Aufruf am 19.04.12]
- GIZ** (o.A.): Projektbeschreibung, Online unter: <http://www.giz.de/Themen/de/SID-398A345B-85657059/32745.htm> [Aufruf am 29.05.12]
- GTZ** (o.A.): Guidelines for water loss reduction, A focus on pressure management  
Online unter: <http://www2.gtz.de/dokumente/bib-2011/giz2011-0155en-water-loss-reduction.pdf> [Aufruf am 19.04.12]
- Hoffmann, Olaf** (2011): IngSight 09, das Magazin für unsere Ingenieure und Architekten, Dorsch Gruppe, Ausgabe: Dezember 2011  
Online unter: [http://www.dorsch.de/fileadmin/pagecontent/news/ingsight/DorschGruppe\\_IngSight-A4-d-09-11.pdf](http://www.dorsch.de/fileadmin/pagecontent/news/ingsight/DorschGruppe_IngSight-A4-d-09-11.pdf) [Aufruf am 18.04.12]
- INEI** (2007a): Perú en Cifras - Población, Censos Nacionales de Poblacion y Vivienda 1993 y 2007,  
Online unter: <http://www.inei.gob.pe/perucifrasHTM/inf-dem/po01.gif>  
[Aufruf am 20.03.12]
- INEI** (2007b): Perú en Cifras - Población censada y tasa de crecimiento promedio anual  
Online unter: [http://www.inei.gob.pe/perucifrasHTM/inf-dem/d15\\_01.jpg](http://www.inei.gob.pe/perucifrasHTM/inf-dem/d15_01.jpg)  
[Aufruf am 20.03.12]
- INEI** (2011a): Perú en Cifras - PBI Trimestral, Producto Bruto Interno por Actividad Económica al 2011 IV  
Online unter: <http://www.inei.gob.pe/perucifrasHTM/inf-eco/pbi05.gif>  
[Aufruf am 04.04.12]
- INEI** (2011b): Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2011, Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales, Mai 2011  
Online unter: <http://www.inei.gob.pe/BiblioINEIPub/BancoPub/Est/Lib0978/Libro.pdf> [Aufruf am 20.03.12]

- INEI** (2010): Perú en Cifras - tasa de analfabetismo de la población de 15 y más años de edad, según trimestre 2004 - 2010  
Online unter: <http://www.inei.gob.pe/perucifrasHTM/inf-soc/edu03.gif>  
[Aufruf am 20.03.12]
- Kosow, Hannah** (2012): Persönliches Gespräch bei Projekttreffen im ifak Magdeburg am, 27.04.2012
- Lehmann, Paul** (2011): UFZ Discussion Papers, Making Water Affordable to All, A Typology and Evaluation of Options for Urban Water Pricing, 10/2011  
Online unter: [http://www.lima-water.de/documents/plehmann\\_dp1011.pdf](http://www.lima-water.de/documents/plehmann_dp1011.pdf)  
[Aufruf am 12.05.12]
- Leavell, Daniel N.** (2008): The Impacts of Climate Change on the Mountain Glaciers of the Central Andes, and the Future of Water Supply in Lima, Peru.  
Online unter: <http://newark.osu.edu/facultystaff/personal/dleavell/Documents/Lima%20water%20supply%20and%20climate%20change-Daniel%20Leavell%202007%20Helsinki%20conferenceFull%20paper.pdf> [Aufruf am 12.08.11]
- LiWa** (o.A.): LiWa, Nachhaltiges Management von Wasser und Abwasser in urbanen Wachstumszentren unter Bewältigung des Klimawandels – Konzepte für Lima Metropolitana, Projektbeschreibung, Projekthompae  
Online unter: <http://www.lima-water.de/de/index.html> [Aufruf am 24.10.11]
- Ministerio de Defensa** (2005): Libro Blanco de la Defensa National, Capítulo II Perú en el mundo,  
Online unter: [http://www.mindef.gob.pe/menu/libroblanco/pdf/Capitulo\\_II.pdf](http://www.mindef.gob.pe/menu/libroblanco/pdf/Capitulo_II.pdf)  
[Aufruf am 24.10.11]
- MVCS** (2006): Planes Nacionales de Vivienda y Saneamiento 2006 – 2015,  
Online unter: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/planes.pdf>  
[Aufruf am 29.05.12]
- Peru21** (2011): Sedapal pierde 35% de lo que produce, Online-Zeitungsartikel, Dienstag, 29.11.2011  
Online unter: <http://peru21.pe/2011/11/29/actualidad/sedapal-pierde-35-agua-que-produce-2001098> [Aufruf am 30.05.12]
- Rinat, Zafir** (2011): Israel water shortage greater than previously thought, New plan calls for NIS 52 billion to develop alternatives to natural water sources, Haaretz Zeitung, 06.05.11  
Online unter: <http://www.haaretz.com/print-edition/news/israel-water-shortage-greater-than-previously-thought-1.360096> [Aufruf 16.04.12]
- SEDAPAL** (2009): Plan Estrategico de Tecnologia y Comunicaciones 2009 - 2013 (PETIC)
- SENAMI** (2007): Monitoreo de la calidad de agua de los ríos Rimac, Chillón y Lurin, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Dirección General de Hidrología y Recursos Hidricos

Online unter: [http://www.senamhi.gob.pe/main\\_down.php?ub=est&id=hidro\\_monCalAgua\\_rimacChillon](http://www.senamhi.gob.pe/main_down.php?ub=est&id=hidro_monCalAgua_rimacChillon) [Aufruf am 19.06.12]

**Stoll, Alfred** (2011): Wahlen in Peru, Zurück in die Vergangenheit oder der »Sprung ins Leere«

Online unter: <http://library.fes.de/pdf-files/iez/08117.pdf> [Aufruf am 04.04.12]

**SUNASS** (2010): Estudio tarifario, Determinacion del proyecto de fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicables a la empresa de servicio de agua potable y alcantarillado SEDAPAL

**SUNASS** (2004): Reporte situacional del abastecimiento de agua potable a la ciudad de Lima.

Online unter: [http://www.sunass.gob.pe/doc/inicio/reportes\\_suministro\\_sedapalb.pdf](http://www.sunass.gob.pe/doc/inicio/reportes_suministro_sedapalb.pdf) [Aufruf am 19.06.12]

**Schütze, M., Robleto, G.** (2010): Challenges of water and wastewater management in the desert megacity of Lima/Peru - how can macromodelling help? NO-VATECH, 7th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management. Lyon, 28.06.-01.07.2010

**World Economic Outlook Database** (2011): World Economic and Financial Surveys

**Zeeb, Stefan** (2010): Adaptation to Climate Change in the Rímac River Basin, River Basin Snapshot, KfW Entwicklungsbank, Online unter:

[http://www.kfw-entwicklungsbank.de/ebank/DE\\_Home/Sektoren/Wasser/Klimawandel/River\\_Basin\\_Snapshot\\_Rimac.pdf](http://www.kfw-entwicklungsbank.de/ebank/DE_Home/Sektoren/Wasser/Klimawandel/River_Basin_Snapshot_Rimac.pdf) [Aufruf am 22.05.12]

**Zeitung Gestión** (o.A.): Sedapal reduciría a 28% el nivel de pérdida de agua potable en Lima, Las obras que se realizarán con el apoyo de la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional permitirían alcanzar esa meta.

Online unter: <http://gestion.pe/noticia/349584/sedapal-reduciria-28-nivel-perdida-agua-potable-lima#> [Aufruf 19.04.12]

**ZIRN** (2003): CIB - Die Cross-Impact Bilanzanalyse, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg

Online unter: [http://www.ier.uni-stuttgart.de/forschung/projektwebsites/forum/models/mex4/beschreibung\\_cim.pdf](http://www.ier.uni-stuttgart.de/forschung/projektwebsites/forum/models/mex4/beschreibung_cim.pdf) [Aufruf am 23.04.12]

**ZIRN** (2012): interne Projektdokumentation

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelor-Thesis selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift