Dr. Barbara Köstner
Anja Hebner
Dr. Jürgen Pohlan
Katrin Dalitz (Editor)

Strategien zur Anpassung an den Klimawandel für die Region Durango/Mexiko zur Verbesserung der land-und wasserwirtschaftlichen Effizienz

IAK

Secretaría de Desarrollo Económico Durango

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

VITA 34

Strategien zur Anpassung an den Klimawandel für die Region Durango/Mexiko zur Verbesserung der land- und wasserwirtschaftlichen Effizienz

Leipzig, Deutschland; Victoria de Durango, Mexiko 2013

Impressum

Strategien zur Anpassung an den Klimawandel für die Region Durango/Mexiko zur Verbesserung der land-und wasserwirtschaftlichen Effizienz

Editor: Katrin Dalitz
IAK Agrar Consulting GmbH
Bornaer Str.16
04288 Leipzig
Telefon: +49 342 97 714 46
Fax: +49 342 97 42 809
Email: info@iakleipzig.de
Web: www.iakleipzig.de

Autoren: Dr. Barbara Köstner, Dr. Jürgen Pohlan, Anja Hebner, Majana Heidenreich, Michaela Surke, Emilio Medina Cardoza, Jorge Olivo Mendoza, Evenor Idilio Cuéllar Robles, Katrin Dalitz, Klemens Barfus

Übersetzer: Desamparados Martinez Domingo, Dr. Jürgen Pohlan, Katrin Dalitz

Druck: FISCHER druck&medien

Mit Unterstützung der: Deutsche Investitions- und Entwicklungsgesellschaft mbH (DEG)

Titelbild: Beregnung von Hafer, Durango/Mexiko (aufg. Emilio Medina Cardoza)

Photo Umschlagseite: Wassererosion, Durango/Mexiko (aufg. Evenor Idilio Cuéllar Robles)

INHALT

1 Einleitung- Warum sind Anpassungsstrategien der Land-und Wasserwirtschaft an den Klimawandel notwendig? 8

2 Klimawandel in der Region Durango 10

2.1 Übersicht zu globaler und regionaler Klimainformation 10

2.1.1 Klimamodelle 10

2.1.2 Klimabeobachtung 12

2.2 Analyse von regionalen Klimaänderungen 15

2.2.1 Beobachtete Klimaänderungen 15

2.2.2 Klimasimulationen 27

2.3 Zusammenfassende Bewertung der Klimainformation 30

3 Wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien 32

3.1 Einleitung 32

3.2 Aktuelle land- und wasserwirtschaftliche Situation 34

3.3 Land- und wasserwirtschaftlichen Anpassungsmöglichkeiten 37

4 Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft 45

4.1 Die Situation in Durango und nötige Anpassungsstrategien 46

4.2 Hauptkulturen in der Landwirtschaft Durangos, ihre Anbaukonzepte und Praktiken 49

4.2.1 Bohnen (Phaseolus vulgaris) 51

4.2.2 Mais (Zea mays) 55

4.2.3 Hafer (Avena sativa) 57

4.3 Ergebnisse und Erfahrungen sowie Auswirkungen des Klimawandels für die Landwirtschaft im Bundesstaat Durango 58

4.3.1 Mitigation 58

4.3.2 Vulnerabilität und Anpassungskapazität 59

4.4 Mögliche Strategien für die Anpassung der Pflanzenproduktion und der Nutztierhaltung insbesondere der Rinderhaltung in Durango 61

4.4.1 Pflanzenproduktion 61

4.4.2 Rinderhaltung 66

5 Ausblick auf zukünftige Entwicklungen 68

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 2.1 Ausgewählte Gitterpunkte für die Region Durango am Beispiel des Globalmodells ECHAM5

Abb. 2.2 Lage der meteorologischen Stationen von Servicio Meteorológico National, SMN (blau) und National Climatic Data Center, NCDC USA (grün). Eigene Grafik unter Verwendung von GIS-Daten für Distriktgrenzen und Flussnetz (conabio.gob.mx/informacion/gis/)

Abb. 2.3 Topographische Übersicht des Staates Durango mit den Untersuchungsgebieten Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio / Torreón; (www.WorldClim.org)

Abb. 2.4 Übersicht der ausgewerteten Daten und Skalen von Klimabeobachtungen und –simulationen mit zeitlicher Extension von1901 bis 2100 und räumlicher Extension von Stationsdaten bis Rastern zwischen 1 km und ca. 100 km Gitterweite (m = Monatswerte, d = Tageswerte)

Abb. 2.5 Klimadiagramme für das gegenwärtige Klima einer 30-jährigen Klimaperiode (1971-2000) mit Monatsmittelwerten von Temperatur und Niederschlag für die Stationen Durango, Guadalupe Victoria und Torreón (Datenbasis: Tageswerte, pers. Mitteilung) sowie vergleichend für alle drei Stationen (Datenbasis: Monatswerte http://smn.cna.gob.mx)

Abb. 2.6 Klimadiagramm von 30-jährigen Perioden (1971-2000) für die Stationen Durango (Gerencia) und Guadalupe Victoria (DGE); Datenbasis: INIFAP

Abb.2.7 Klimadiagramme für das gegenwärtige Klima einer 30-jährigen Klimaperiode (1971-2000) auf Basis von lückengefüllten und räumlich interpolierten Daten des CRU-Datensatzes (UK) für die Gitterpunkte Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio (Gitterweite ca. 50 km)

Abb.2.8 Klimadiagramme für das gegenwärtige Klima einer 50-jährigen Klimaperiode (1951-2000) auf Basis von interpolierten Gitterdaten des WorldClim-Datensatzes für die Gitterpunkte Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio.

Abb.2.9 Klimadiagramme für eine 20-jährige Zeitperiode (1991-2010) für die Stationen Durango und Torreón; Datenbasis: National Climatic Data Center (NCDC), NOAA, USA

Abb. 2.10 Räumliche Verteilung der mittleren monatlichen Temperatur im Bundesstaat Durango (WordClim Global Climate Data Base, Gitterweite 1 km).

Abb. 2.11 Räumliche Verteilung der monatlichen Niederschläge im Bundesstaat Durango (WordClim Global Climate Data Base, Gitterweite 1 km).

Abb. 2.12 Diagramme für die mittlere, maximale und minimale Temperatur sowie deren Änderung beim Vergleich zweier Zeitperioden (links) und Klimadiagramme für die monatlichen Niederschläge und deren Änderung (rechts) für die Stationen Durango, Guadalupe Victoria und Torreón. Datenbasis: Mexikanischer Wetterdienst (SMN).

Abb. 2.13 Jahresverlauf und monatliche Änderung der Mittel-, Maximum- und Minimum-Temperatur sowie des Niederschlages aus räumlich interpolierten Daten mit einer Gitterweite von 50 km; Vergleich der Zeitperioden 1981-2009 gegenüber 1971-2000; Datenbasis: CRU, UK

Abb. 2.14 Jahresverlauf und monatliche Änderung der Potenziellen Verdunstung und der Klimatischen Wasserbilanz beim Vergleich der Zeitperioden 1981-2009 gegenüber 1971-2000; Datenbasis: CRU, UK

Abb. 2.15 Langzeittrends von räumlich und zeitlich interpolierten Beobachtungsdaten (Gitterweite 50 km) über den Zeitraum 1901-2009 der Gitterpunkte Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio für Maximum-, Minimum- und mittlere Temperatur. Datenbasis: CRU, UK

Abb. 2.16 Langzeittrends von räumlich und zeitlich interpolierten Beobachtungsdaten (Gitterweite 50 km) über den Zeitraum 1901-2009 der Gitterpunkte Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio für Niederschlag, Potenzielle Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz. Datenbasis: CRU, UK

Abb. 2.17 Änderung der Anzahl von Frosttagen im Gesamtjahr, in der Periode Dezember-März sowie in einzelnen Monaten beim Vergleich von jeweils zwei Zeitperioden. Datenbasis: Mexikanischer Wetterdienst (SMN).

Abb. 2.18 Änderung des jährlichen Niederschlags und der Jahresmitteltemperatur in Zeitraum 2001-2100 simuliert von 18 Globalen Klimamodellen, Interpolation von 4 Gitterpunkten der Region Durango. Die Modelle beziehen sich auf das Emissionsszenario A2 (IPCC, AR4, 2007) und auf das neue Szenario RCP8.5 (IPCC, AR5); Datenbasis: CMIP3 (Randall et al. 2007) und CMIP5 (MPEH6, DKRZ Hamburg)

Abb. 2.19 Vergleich der Änderung von Temperatur und Niederschlag für drei Emissionsszenarien (B1, A1B, A2; IPCC 2007) anhand der Mittelwerte über 20, 18 17 (Temperatur) bzw. 16 (Niederschlag) Globalmodelle mit insgesamt 36 Modelläufen interpoliert auf Victoria de Durango.

Abb. 2.20 Diagramme für Temperatur und Niederschlag im Zeitraum 1971-2000 und deren Änderung beim Vergleich der Zeiträume 2041-2070 mit 1971-2000 der regionalen Klimamodellierung unter dem Emissionsszenario A2; Datenbasis: NARCCAP, GFDL/HRM3

Abb. 2.21 Monatliche aktuelle Verdunstung und ihre absolute Änderung beim Vergleich der Zeiträume 2041-2070 mit 1971-2000 der regionalen Klimamodellierung (NARCCAP, GFDL/HRM3) für das Emissionsszenario A2.

Abb.3.1 Wetterextrema (Dürreperioden, Starkniederschlagsereignisse)

Abb. 3.2 Darstellung der Auswirkungen der Grundwassernutzung in Mexiko

Abb. 3.3 typische Praxis zur Verteilung von Wasser für die Bewässerung mittels Gräben

Abb. 3.4 Abholzung, Überweidung (links) und nicht angepasste Landwirtschaft können Landdegradation (rechts) zur Folge haben

Abb.3.5 Plastikplanen auf Feldern zur Reduzierung der Verdunstung

Abb. 3.6 Prinzipielle Integration eines Rückhalte- und Speicherbeckens in die Landschaft (links) und die Ansicht eines Beckens während des Baus (rechts)

Abb. 3.7 Umfrageergebnisse bezüglich der Akzeptanz der Wiederverwertung von gereinigtem Abwasser 2005-2011

Abb. 4.1 Geographische Karte des Bundesstaates Durango.

Abb. 4.2 Neue Struktur der Landwirtschaft

Abb. 4.3 Strategische Hierarchien zur Anpassung an den Klimawandel.

Abb. 4.4 Nutzung der Fruchtfolge als Bestandteil der Anpassungsstrategien.

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1 Mittelwerte von Lufttemperatur (T), Niederschlag (P), potenzieller Verdunstung (ETP) und Klimatischer Wasserbilanz (KWB) für das Gesamtjahr, die Regen- (Mai-Okt.) und die Trockenzeit (Nov.-April) an den 3 Stationen im Zeitraum 1971-2000 (Datenbasis: SMN)

Tab. 3.1 Gegenüberstellung der Projektregionen anhand themenrelevanter Angaben

Tab. 3.2 Angaben zur Behandlungskapazität und –menge sowie Nutzung des geklärten Abwassers für die Landwirtschaft für die Kläranlagen in der Stadt Durango

Tab. 3.3 langjährige Jahresmittel der Niederschläge und Evapotranspiration

Tab. 3.4 Anpassungsmöglichkeiten (an den Hitze- und Trockenstress)

Tab. 3.5 Vorteile des Rückhalts von Regenwasser mittels Rückhalte-/Speicherbecken

Tab. 3.6 Dezentrale Sammlung und Klärung von Abwasser mit einfacher Technik und lokale Wiederverwendung

Tab. 4.1. Anbaudaten wichtiger Kulturen im Bundesstaat Durango (nach SAGARPA 2011)

Tab. 4.2 Kosten-Nutzen-Analyse für den Bohnenanbau in Mexikanischen Pesos (Erhebungen für 2012 und 2013)

Tab. 4.3 Kosten-Nutzen-Analyse für den Maisanbau in Mexikanischen Pesos (Beispiele für 2012 und 2013)

Tab. 4.4 Kosten-Nutzen-Analyse für den Maisanbau in Mexikanischen Pesos (Beispiele für 2012 und 2013)

1. Einleitung- Warum sind Anpassungsstrategien der Land- und Wasserwirtschaft an den Klimawandel notwendig?

Der Bundesstaat Durango ist sehr reich an verschiedensten ökologischen Zonen, die aufgrund der enormen Unterschiede in der Höhenlage (200 m über NN an der Grenze zu Sinaloa und Nayarit bis zu 3200 m über NN in der Sierra Madre Occidental) klimatisch vom tropischen Regenwald bis hin zu subtropisch ariden Wüstenregionen reicht. Von den insgesamt zehn vorhandenen Vegetationszonen Mexikos sind in Durango neun präsent.

Die ariden Bereiche des Hochlands sind durch sehr geringe Niederschläge gekennzeichnet. Ausgelöst durch das Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum der letzten Dekaden und den damit verbundenen Anstieg des Wasserverbrauchs in Haushalten, Industrie und Landwirtschaft liegen die derzeitigen Entnahmemengen deutlich über der Neubildungsrate der verfügbaren Grundwasserreserven. Dies verursacht einen sehr hohen Nutzungsdruck auf die schwindenden Wasservorkommen. Als Ergebnis sinkt beispielsweise der Grundwasserspiegel stetig. In der Tiefe vorkommende Schwermetalle gelangen mit zunehmender Brunnentiefe ins Grundwasser.

Szenarien des zukünftigen Klimawandels stehen für Mexiko bisher nur in sehr grober Auflösung zur Verfügung. Die am meisten verbreiteten und beispielsweise vom Weltklimarat, dem *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), verwendeten Modelle besitzen Maschenweiten von 100-200 km. Zur Abschätzung von Auswirkungen des Klimawandels müssen Informationen über den regionalen Klimawandel vorhanden sein. Es fehlt an Planungsgrundlagen für Anpassungen der Land- und Wassernutzung an die zukünftigen Erfordernisse. Simulationen des regionalen Klimawandels sind sehr aufwendig, benötigen Expertenwissen und gute Datengrundlagen. Lange Zeitreihen von Beobachtungsdaten werden benötigt, um Änderungen des gegenwärtigen Klimas aufzuzeigen und Modelle für Simulationen der Zukunft anzupassen. Beobachtungsdaten sind jedoch oft lückenhaft und nicht flächendeckend vorhanden. Der Klimawandel wird die Verfügbarkeit von Wasser weiter reduzieren und die Wasserbewirtschaftung wird dadurch zukünftig noch schwieriger werden (Oswald Spring 2011).

Der Hauptwasserverbraucher ist die Landwirtschaft. Bleiben die Land- und Wasserbewirtschaftung in ihren derzeitigen Formen und Intensität bestehen, wird in einigen Regionen schon im kommenden Jahrzehnt eine rentable Landwirtschaft nicht mehr möglich sein. Es ist daher unbedingt erforderlich, dass Anbausysteme und -kulturen angepasst und der Wasserverbrauch reduziert wird. Im Zuge des Klimawandels sind bereits Verschiebungen der Anbauperioden zu beobachten. Späte Regenfälle verzögern die Aussaat im Regenfeldbau und erhöhen somit das Risiko von Ernteausfällen durch Nachtfrost im Herbst. Weitere klimatisch bedingte Schwierigkeiten in der Landwirtschaft bereiten schlechte Niederschlagsverteilung, stark schwankende Tagesniederschläge, Zwischentrockenzeiten sowie starke Winde die Bodenerosionen hervorrufen. Anpassungskonzepte müssen diese Gegebenheiten berücksichtigen.

Eine Möglichkeit zur Erschließung neuer nutzbarer Wasserquellen ist das Abwasserrecycling. Derzeit führen industrielle Entwicklung, Bevölkerungszuwachs und Ausbau der Infrastruktur zu steigenden Abwassermengen. Dadurch können gravierende Kapazitätsüberlastungen der Klärwerke verursacht werden, was wiederrum zu unzureichender Abwasserreinigung und steigenden Umweltbelastungen führen könnte. Unternehmen mit hohem Abwasseraufkommen aber auch Wasserbehörden und Kläranlagenbetreiber sind daher auf der Suche nach kostengünstigen Lösungen zur Effizienzsteigerung der Abwasserreinigung, sodass zukünftig behandeltes Abwasser die gesetzlichen Grenzwerte einhält und z. B. für die landwirtschaftliche Bewässerung wiederverwendet werden

kann. Gereinigtes Abwasser wird bereits in der Bewässerungslandwirtschaft rund um Durango eingesetzt. Im Projekt werden Möglichkeiten zur Erweiterung des Gebiets und zum Einsatz von Klärschlamm als Dünger geprüft.

Auf Basis des Klimaszenarios für den Bundesstaat Durango wurden Anpassungsstrategien entwickelt um die Land- und Wasserwirtschaft angesichts der Herausforderungen des Klimawandels zu stärken und weiterhin rentabel zu gestalten.

2. Klimawandel in der Region Durango

2.1 Übersicht zu globaler und regionaler Klimainformation

Der globale Klimawandel schreitet weiter voran, dies wird im 5. Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses über Globale Klimaveränderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) aktuell bestätigt (IPCC 2013). Seit 1988 wird durch die Weltorganisation für Meteorologie (World Meteorological Organization, WMO) und das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Environment Programme, UNEP) in einer wissenschaftlich standardisierten und umfassenden Weise über den globalen Klimawandel berichtet. Dies geschieht in Zustandsberichten (Assessment Reports, AR) durch drei internationale Arbeitsgruppen, die die wissenschaftlich anerkannte Literatur zum Thema auswerten und zusammenfassen. Der Klimawandel wird einerseits mit Hilfe von Modellen für die Zukunft simuliert, andererseits können Veränderungen des heutigen Klimas aus dem Trendverhalten von Messwerten der vergangenen und gegenwärtigen Klimabeobachtung abgeleitet werden. Aus der Kombination von beidem werden Aussagen über den regionalen Klimawandel getroffen (vgl. **Abb. 2.4**). Dieses Wissen bildet die Basis für Klimafolgenabschätzung und Ableitung von Anpassungsmaßnahmen.

2.1.1 Klimamodelle

Klimamodelle werden dazu genutzt, die Klimaentwicklung zu simulieren und zeitlich und räumlich zu extrapolieren. Globale Klimamodelle (GCM, Global Climate Model) stellen das Klima auf der gesamten Erdoberfläche dar. Regionale Klimamodelle (RCM, Regional Climate Model) nutzen Ergebnisse aus Globalmodellen als Randbedingung und berechnen das Klima für Teilgebiete mit höherer räumlichen Auflösung. Globale Klimamodelle sind immer dynamisch, d.h. sie beruhen auf ausschließlich physikalischen Grundlagen. Mit ihnen können Klimasimulationen bis weit in die Zukunft hinein erzeugt werden. Sie haben aber den Nachteil, dass das Niveau ihrer absoluten Werte für Temperatur und Niederschlag von dem lokaler Messdaten deutlich abweichen kann. Regionale Klimamodelle können auf physikalischen oder statistischen Grundlagen, oder einer Kombination aus beidem beruhen. Statistische Modelle leiten sich von Beobachtungsdaten ab und haben den Vorteil, dass sich ihre Werte direkt an die gemessenen Zeitreihen der Vergangenheit anfügen. Sie können aber bisher nicht beobachtete Dynamiken des Klimageschehens kaum abbilden und sollten nur für Klimasimulationen über die nächsten Jahrzehnte verwendet werden.

Folgende Klimamodelle wurden in die Studie einbezogen:

Globale Klimamodelle

Climate Model Intercomparison Project (CMIP3), IPCC, AR4

http://www-pcmdi.llnl.gov/new_users.php

Für den IPCC-Bericht 2007 wurden die Ergebnisse von 23 Globalmodellen verglichen (Randall et al. 2007). Für die Region Durango wurden vier Gitterzellen von der Datenbank des Program for Climate Model Diagnosis (PCMDI, USA) extrahiert, um daraus durch Interpolation ein Datensatz für die

Region Durango zu erzeugen. Für eine Reihe von meteorologischen Variablen sind lineare Trends ausgewertet und zwischen den Globalmodellen verglichen worden.

Deutsches Klimarechenzentrum, Hamburg

http://cera-www.dkrz.de/CERA/

Es wurden von der CERA Datenbank des World Data Center für Climate (WDC) Hamburg, Deutschland, 18 Gitterzellen für die Region Durango extrahiert und ausgewertet (**Abb. 2.1**). Die Daten beziehen sich sowohl auf Simulationen für zwei Emissionsszenarien des IPCC-Berichtes 2007, AR4 (ECHAM5_A1B_1, ECHAM5_A2) als auch auf den neuesten Bericht 2013, AR5 (ECHAM6_rcp8.5).

Regionale Klimamodelle

North American Regional Climate Change Assessment Program (NARCCAP)

http://www.earthsystemgrid.org

Simulationen mit dynamischen Regionalen Klimamodellen stehen aus dem nordamerikanischen Vergleich NARCCAP zur Verfügung, dessen Modelle teils auch den nördlichen Bereich von Mexiko abdecken. Sie wurden von der Datenbank Earth System Grid (ESG) bezogen. Alle Regionalmodelle wurden mit einer räumlichen Auflösung von 50-km-Gitterlänge betrieben. Die Simulationen wurden unter dem A2-Emissionsszenario von 4 Globalmodellen (GFDL, CGCM3, HADCM3, CCSM) durchgeführt, die die Randbedingungen für 6 Regionalmodelle lieferten. Die Simulationen fanden für die Perioden 1971-2000 (Referenzzeitraum) und 2041-2070 statt. Aus dem Modellvergleich wurden die Klimasimulationen des Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Met Office, UK) ausgewählt (GFDL/HRM3, A2, 1971-2000, 2041-2070), da sie das Untersuchungsgebiet einschließen.

MarkSim Weather Generator

http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/

Im Rahmen des CGIAR Forschungsprogramms über Klimawandel, Landwirtschaft und Nahrungssicherheit (Climate Change, Agriculture and Food Security, CCAFS) wurde auf der Basis von Klimaprojektionen aus Globalmodellen und dem WorldClim Datensatz ein globaler Datensatz mit 1 km Gitterweite generiert (Ramirez-Villegas und Jarvis, 2010). Es wurden Tageswerte für 2010 und 2050, interpoliert für die drei Untersuchungsgebiete Durango, Guadalupe-Victoria und Gómez-Palacio ausgewertet (Globalmodell ECHAM5, A1B).

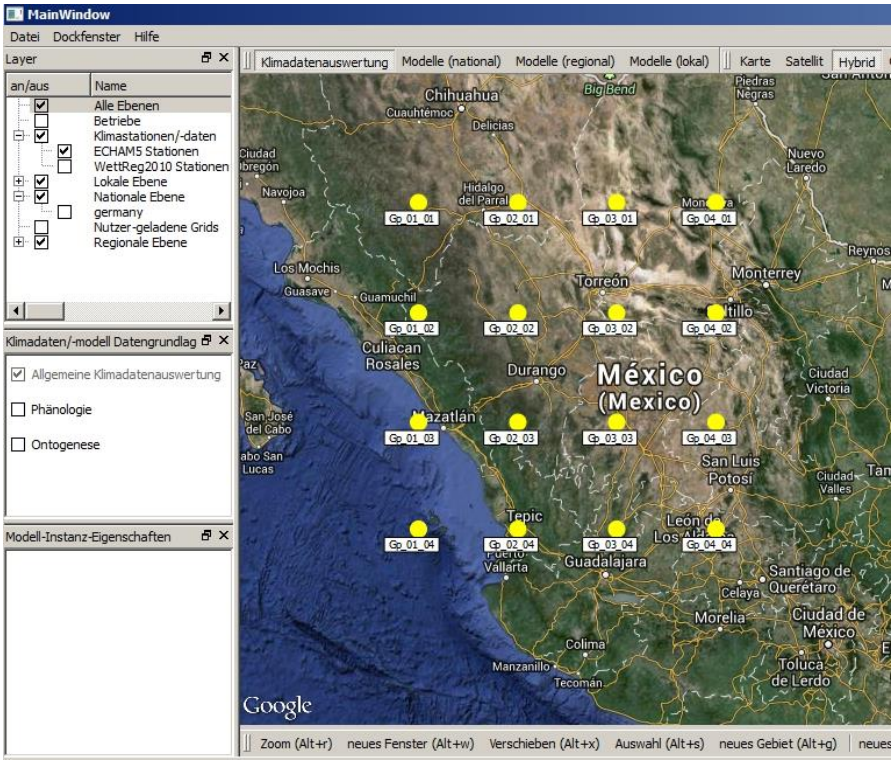


Abb. 2.1

Ausgewählte Gitterpunkte für die Region Durango am Beispiel des Globalmodells ECHAM5 (Bildschirmansicht aus Land, Climate and Resources Decision Support System, LandCaRe DSS; Köstner et al. 2013).

2.1.2 Klimabeobachtung

Sowohl für Global- als auch für Regionalmodelle werden lange Zeitreihen von meteorologischen Beobachtungsdaten benötigt, um Simulationsergebnisse bewerten und regionale, statistische Modelle entwickeln zu können. Es kann jedoch auch aus den aktuellen Trends von Klimabeobachtungen direkt auf die Entwicklung des Klimas in der nahe liegenden Zukunft, etwa auf die folgende Dekade geschlossen werden. Es ist daher sehr wichtig, Messnetze von meteorologischen Stationen aufrechtzuerhalten und zu erweitern.

Folgende Beobachtungsdaten wurden für die Untersuchung herangezogen:

<u>Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)</u>

http://smn.cna.gob.mx

Vom Mexikanischen Wetterdienst und CONAGUA wurden originale Tageswerte aus dem Zeitraum 1941 bis 2010 der Stationen Durango, Guadalupe Victoria und Torreón (**Abb. 2.2**) zur Verfügung gestellt. Zusätzlich sind Monatswerte über den Zeitraum 1971-2000 über das Internet bezogen worden (http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales). Aus den Daten wurden Klimadiagramme verschiedener Zeitperioden erstellt.

<u>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agricolas y Pecuarias (INIFAP/SAGARPA)</u>

www.inifap.gob.mx, www.inifap-nortecentro.gob.mx

Auswertung von Klimatologien der Periode 1961-2003 für die Stationen Durango (Gerencia) und Guadalupe Victoria (DGE) wurden auf der Basis von Tabellen vorgenommen (Medina García et al. 2005, Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Durango, Período 1961-2003).

National Climatic Data Center (NCDC), USA

http://www.ncdc.noaa.gov/

Weitere stationsgebundene Klimadaten für die drei Fokusregionen im Bundesstaat Durango wurden von der Datenbank des National Climatic Data Centers (NCDC) der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA bezogen. Diese stehen in täglicher Auflösung bereit. Es wurden Klimadiagramme der Periode 1991-2010 erstellt, anderen Daten waren zu lückenhaft.

Climate Research Unit (CRU), University of East Anglia, UK

http://www.cru.uea.ac.uk/de/data

Der CRU-Datensatz besteht aus Beobachtungsdaten, die ausgehend von Stationsmessungen zeitlich auf lückenlose Zeitreihen und räumlich auf ein globales Gitter mit der Gitterweite von ca. 50 km (0,5°) interpoliert wurden. Dieser Datensatz wird international als Referenz verwendet (IPCC 2007, 2013) und wurde auch für Mexiko herangezogen (Magaña 2010). Es stehen Monatswerte der Periode 1901-2009 zur Verfügung. Für Durango wurden daraus die langjährigen Trends von Klimakenngrößen ausgewertet.

WorldClim Global Climate Surface Database

http://www.WorldClim.org

Von der WorldClim Datenbank werden Stationsdaten, die auf 1 km Gitterweiter räumlich interpoliert wurden, für den Zeitraum 1950-2000 zur Verfügung gestellt. Der Datensatz wurde aus verschiedenen Quellen gewonnen: Global Historical Climate Network Dataset (GHCN), Word Meteorological Organisation climatological normals (CLINO), Food and Agriculture Organization global climate database (FAOCLIM), International Center for Tropical Agriculture climate data base (http://ciat.cgiar.org), weitere regionale Datenbanken für Lateinamerika und Karibik (Hijmans et al. 2005). Für die vorliegende Studie wurden die Daten für den gesamten Bundesstaat Durango extrahiert und dargestellt (**Abb.2.3**).

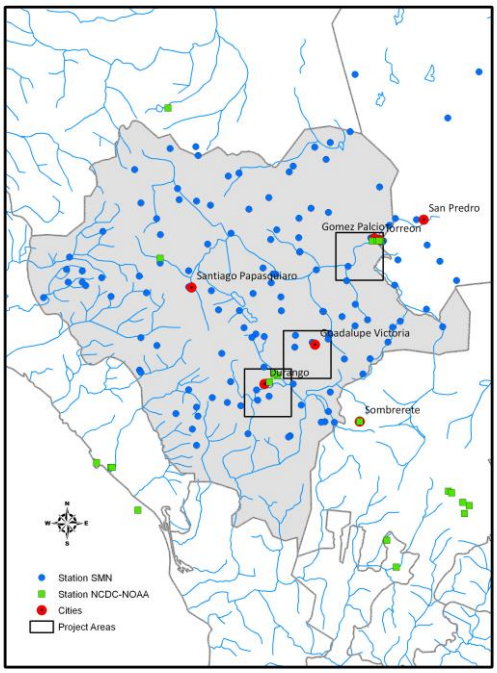


Abb. 2.2

Lage der meteorologischen Stationen von Servicio Meteorológico Nacional, SMN (blau) und National Climatic Data Center, NCDC USA (grün). Eigene Grafik unter Verwendung von GIS-Daten für Distriktgrenzen und Flussnetz (conabio.gob.mx/informacion/gis/)

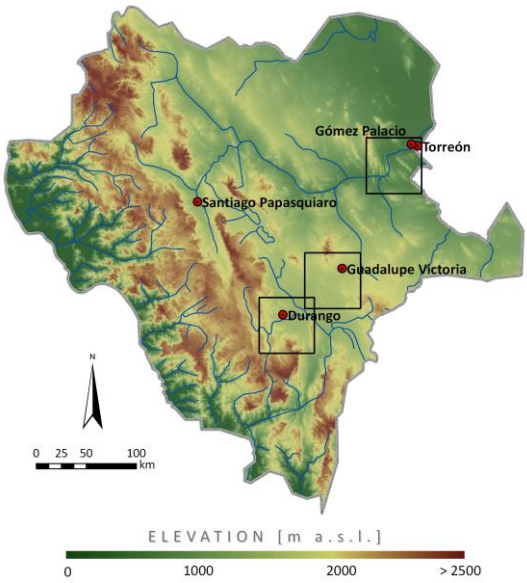


Abb. 2.3

Topographische Übersicht des Staates Durango mit den Untersuchungsgebieten Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio / Torreón; (www.WorldClim.org)

Übersicht der gesamten im Projekt verwendeten Klimainformation

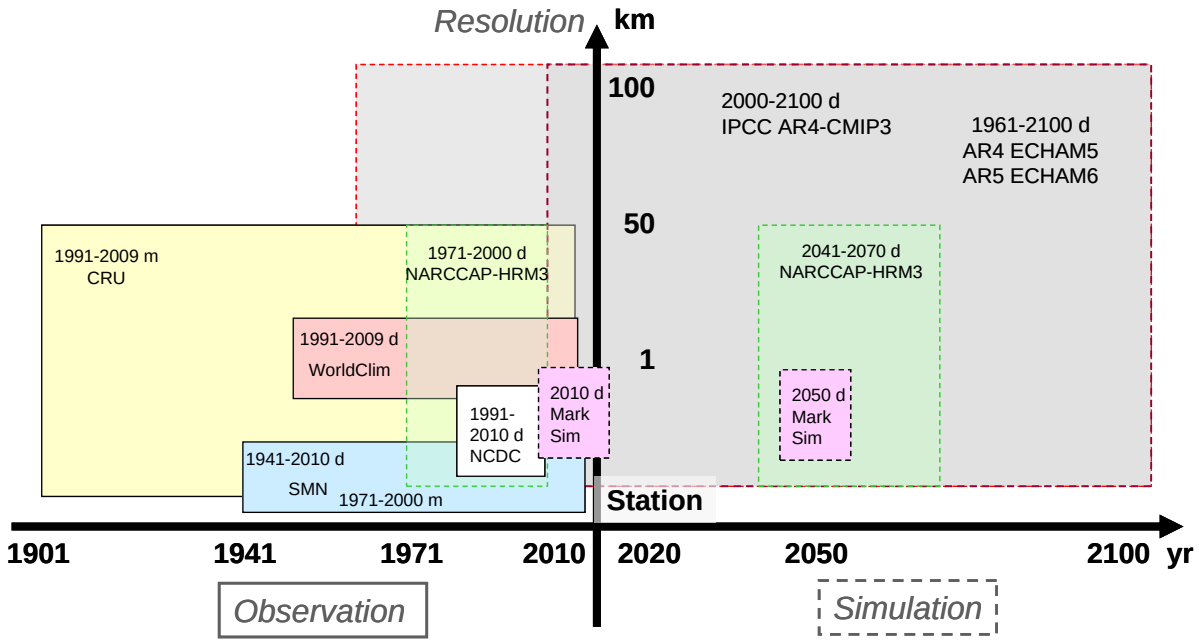


Abb. 2.4 Übersicht der ausgewerteten Daten und Skalen von Klimabeobachtungen und –simulationen mit zeitlicher Extension von1901 bis 2100 und räumlicher Extension von Stationsdaten bis Rastern zwischen 1 km und ca. 100 km Gitterweite (m = Monatswerte, d = Tageswerte)

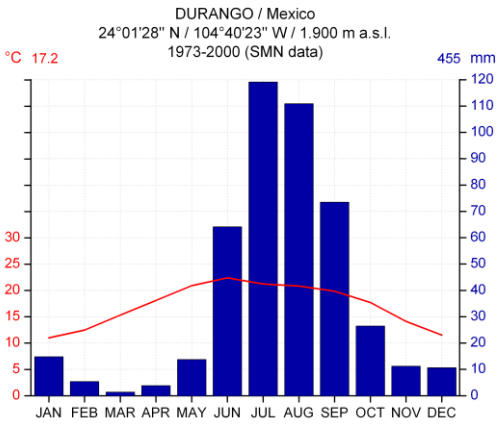
2.2 Analyse von regionalen Klimaänderungen

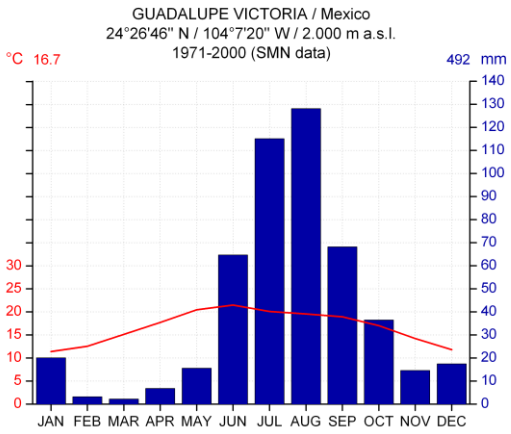
2.2.1 Beobachtete Klimaänderungen

Um den Klimawandel in einer Region beurteilen zu können, sollte zunächst danach gefragt werden, wie sich typische Klimaelemente, wie z.B. Temperatur und Niederschlag, in den vergangenen Jahrzehnten dort verändert haben. Entsprechende Analysen basieren auf Messdaten von Klimastationen und geben daher, im Vergleich zu Klimaprojektionen der Zukunft, höhere Sicherheit über die aktuelle Veränderung. Voraussetzung ist, dass die Qualität der Datensätze dies zulässt und die Daten über einen längeren Zeitraum von mehreren Dekaden erhoben wurden. Typischerweise werden 30-jährige Perioden betrachtet.

Klimadiagramme für das aktuelle Klima in den Untersuchungsregionen nach mexikanischen und internationalen Datenquellen:

Servicio Meteorológico Nacional (SMN)





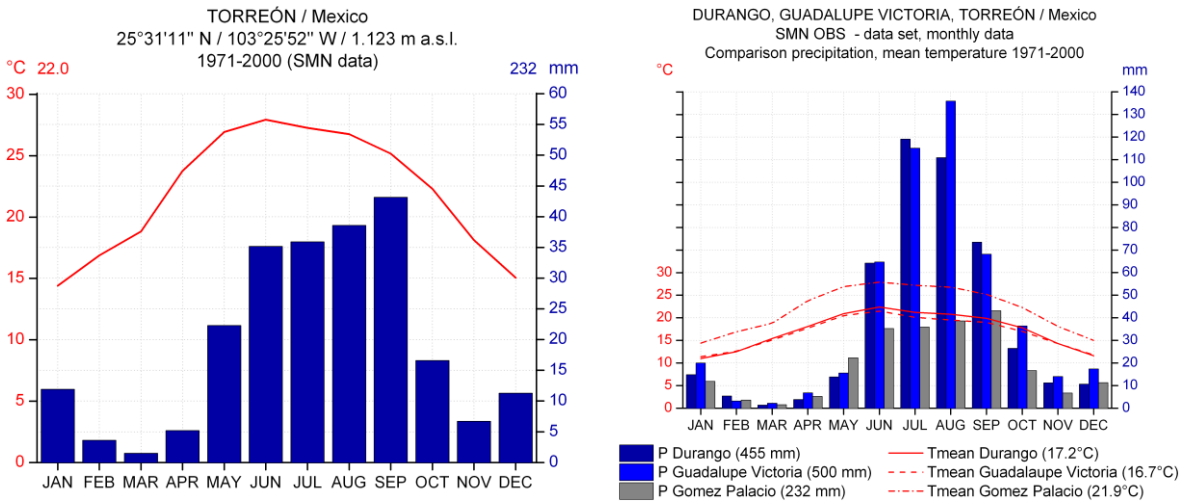


Abb. 2.5 Klimadiagramme für das gegenwärtige Klima einer 30-jährigen Klimaperiode (1971-2000) mit Monatsmittelwerten von Temperatur und Niederschlag für die Stationen Durango, Guadalupe Victoria und Torreón (Datenbasis: Tageswerte, pers. Mitteilung) sowie vergleichend für alle drei Stationen (Datenbasis: Monatswertehttp://smn.cna.gob.mx)

Die Diagramme für das gegenwärtige Klima zeigen einen typischen Jahresgang der Temperatur mit maximalen Werten im Juni (**Abb. 2.5**). Die Verteilung der Niederschläge weist auf eine ausgeprägte Trockenheit in der kühlen Jahreszeit hin. Im Vergleich zu den relativ ähnlichen Diagrammen von Victoria de Durango und Guadalupe Victoria mit Monatsniederschlägen über der Temperaturkurve, bleiben die Monatsniederschläge von Torreón unter der Temperaturkurve und weisen auf aride Bedingungen hin. Entsprechend werden die höchsten Jahresmitteltemperaturen in Torreón (20,0 °C) erreicht, gefolgt von Victoria de Durango (17,2 °C) und Guadalupe Victoria (16,7 °C). Die mittleren Jahresniederschläge betragen in Torreón 232 mm, gefolgt von Durango (455 mm) und Guadalupe Victoria (492 mm). In der Trockenzeit fallen nur 10-20% der Jahresniederschläge (**Tab. 2.1**). Aufgrund der hohen potenziellen Verdunstung ist die Klimatische Wasserbilanz (Niederschlag minus Potenzielle Verdunstung) über das gesamt Jahr stark negativ.

Tab. 2.1: Mittelwerte von Lufttemperatur (T), Niederschlag (P), potenzieller Verdunstung (ETP) und Klimatischer Wasserbilanz (KWB) für das Gesamtjahr, die Regen- (Mai-Okt.) und die Trockenzeit (Nov.-April) an den 3 Stationen im Zeitraum 1971-2000 (Datenbasis: SMN)

Station	Höhe (m üNN)	Zeitraum	T_{mit} (°C)	T_{min} (°C)	T_{max} (°C)	P (mm)	ETP (mm)	KWB (mm)
Guadalupe Victoria	1982	**Jan.-Dez.**	**16,7**	**8,2**	**25,2**	**500**	**2198**	**-1698**
		Mai-Okt.	19,6	11,9	27,3	436	1144	-708
		Nov.-Apr.	13,8	4,5	23,1	64	1054	-990
Durango	1885	**Jan.-Dez.**	**17,2**	**8,5**	**25,8**	**455**	**2580**	**-2125**
		Mai-Okt.	20,5	12,6	28,4	408	1402	-994
		Nov.-Apr.	13,8	4,5	23,2	47	1178	-1131
Torreón	1123	**Jan.-Dez.**	**21,9**	**14,4**	**29,5**	**232**	-	-
		Mai-Okt.	26,0	18,9	33,2	192		
		Nov.-Apr	17,8	10,0	25,7	40		

Die Klimadiagramme aus anderen nationalen und internationalen Datenquellen zeigen ähnliche typische Verläufe. Die absoluten Zahlen können jedoch voneinander abweichen, da die Daten zum Beispiel andere Datenquellen und Zeiträume enthalten oder an anderen Standorten erhoben wurden (INIFAP, **Abb. 2.6, Abb. 2.9**), oder interpoliert wurden und somit einen anderen räumlichen Ausschnitt repräsentieren (CRU, **Abb. 2.7**, WordClim, **Abb. 2.8**). Die Klimakarten, die aus dem WordClim-Datensatz erzeugt wurden, zeigen die Variation von Klimaräumen im Bundesstaat Durango und die klimatischen Gradienten zwischen den drei Untersuchungsgebieten (**Abb. 2.10, 2.11**).

Um Änderungen des Klimas festzustellen, werden Klimadiagramme, die sich auf verschiedene Zeitperioden beziehen, miteinander verglichen. Wenn es sich bei beiden Zeitperioden um Daten der Vergangenheit handelt, spricht man von Klimadiagnose. Klimadiagnosen haben den Vorteil, dass sie relativ sichere Aussagen über den aktuellen Klimawandel zulassen, da sie auf Messdaten beruhen. Ihre Ergebnisse können auch in die zukünftige Dekade extrapoliert werden. Sie sind daher besonders für die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen relevant.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agricolas y Pecuarias (INIFAP)

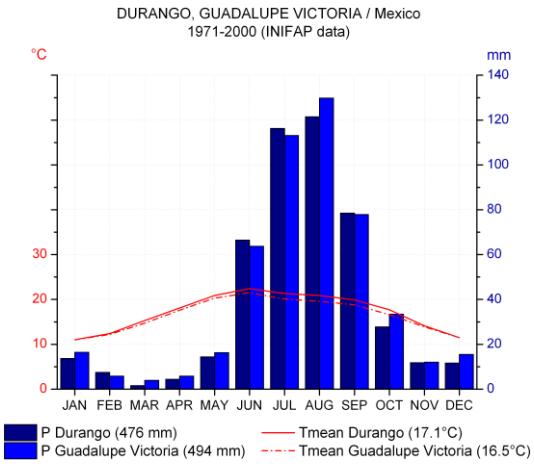


Abb. 2.6 Klimadiagramm von 30-jährigen Perioden (1971-2000) für die Stationen Durango (Gerencia) und Guadalupe Victoria (DGE); Datenbasis: INIFAP (Medina García et al. 2005)

Climate Research Unit (CRU), UK

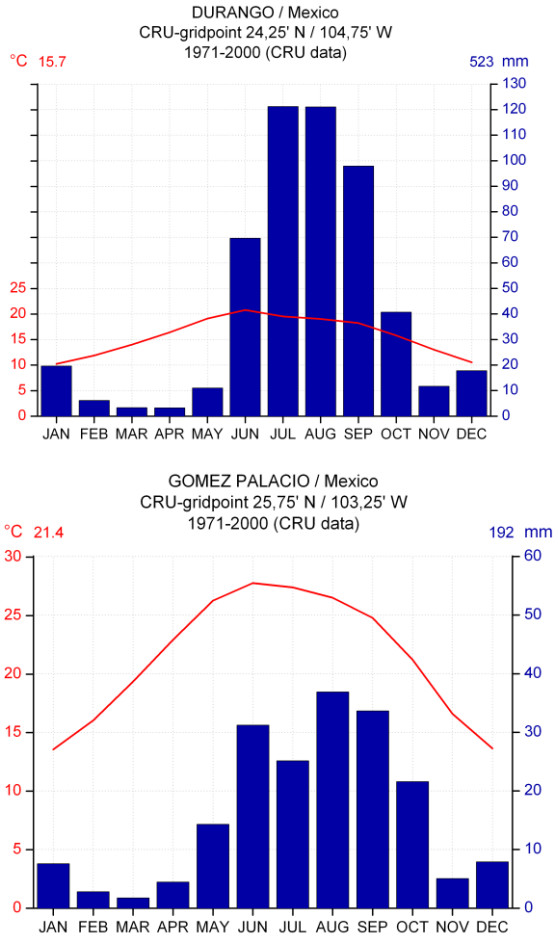
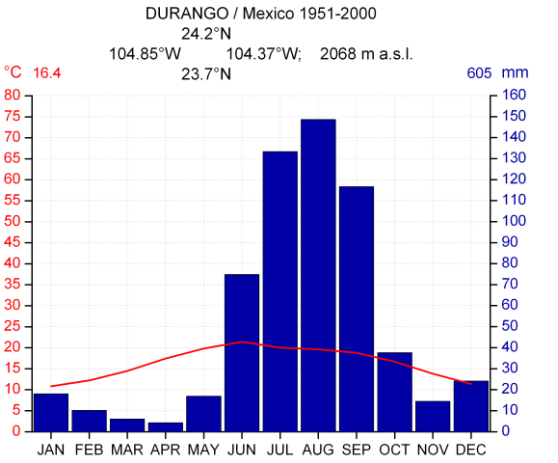


Abb.2.7 Klimadiagramme für das gegenwärtige Klima einer 30-jährigen Klimaperiode (1971-2000) auf Basis von lückengefüllten und räumlich interpolierten Daten des CRU-Datensatzes (UK) für die Gitterpunkte Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio (Gitterweite ca. 50 km)

WorldClim Global Climate Surface Database:



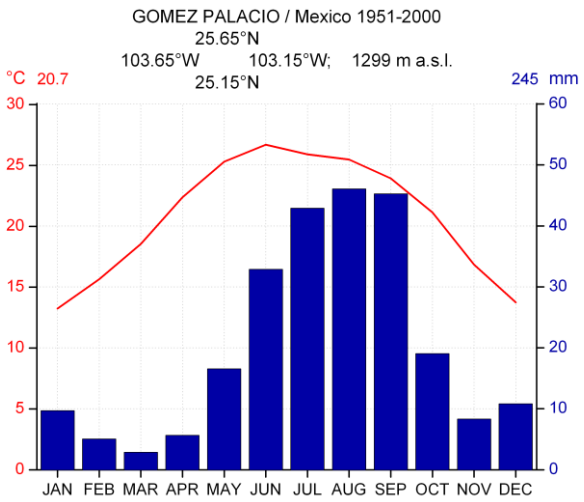
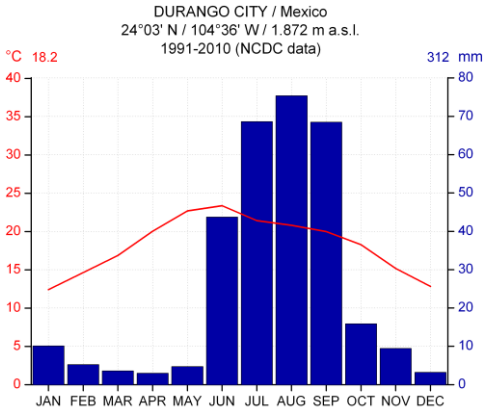


Abb.2.8 Klimadiagramme für das gegenwärtige Klima einer 50-jährigen Klimaperiode (1951-2000) auf Basis von interpolierten Gitterdaten des WorldClim-Datensatzes für die Gitterpunkte Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio.

National Climatic Data Center (NCDC), USA



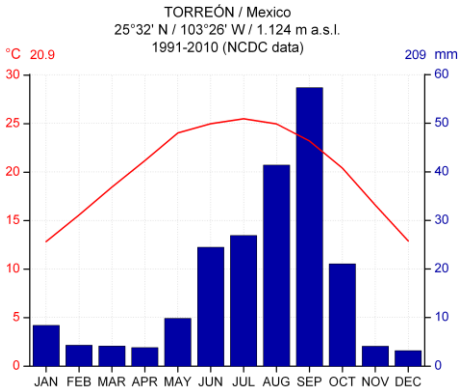


Abb.2.9 Klimadiagramme für eine 20-jährige Zeitperiode (1991-2010) für die Stationen Durango und Torreón; Datenbasis: National Climatic Data Center (NCDC), NOAA, USA (Die Periode 1971-2000 ist nur lückenhaft vorhanden.)

Der Vergleich der Periode 1971-2000 mit 1941-1960 von Klimadaten des Mexikanischen Wetterdienstes lässt für die Station Durango auf eine Zunahme der Mittel-, und Minimum-Temperaturen über das gesamte Jahr, der Maximum-Temperaturen von März bis Oktober schließen (**Abb. 2.12**). Die Niederschläge haben über das gesamte Jahr abgenommen, was hinsichtlich der absoluten Menge vor allem in der Regenzeit mit ca. -50% ins Gewicht fällt. In Guadalupe Victoria haben die Minimum-Temperaturen zugenommen, die Maximum-Temperaturen teils abgenommen, so dass die Mitteltemperaturen kaum verändert sind. Die Niederschläge zeigen im Februar/März eine abnehmende, im Oktober/November eine zunehmende Tendenz, wodurch sie in der Jahressumme wenig verändert sind. In Torreón haben in der Periode 1981-2003 alle Temperaturgrößen zwischen Februar und November zugenommen und auch die Niederschläge zeigen eine leicht positive Tendenz. Da nicht für alle drei Stationen eine vergleichbare Datengrundlage vorhanden ist, können die Unterschiede auch von den abweichenden Bezugszeiträumen beeinflusst sein.

Der interpolierte CRU-Datensatz weist beim Vergleich der gleichen Perioden 1981-2009 gegenüber 1971-2000 an allen drei Standorten einheitliche Tendenzen von mittlerer Temperatur,

Temperaturextremen und Niederschlag auf (**Abb. 2.13**). Die Monatsmitteltemperaturen haben um bis zu 0,6 °C (Torreón) zugenommen. Die Niederschläge zeigen über das Jahr wenig Änderung mit einer Zunahme im März/April, wobei hier die Niederschlagsmenge insgesamt sehr gering ist, so dass die Jahresbilanz kaum beeinflusst wird. Die Potenzielle Verdunstung nimmt beim Vergleich der gleichen Zeitperiode 1981-2009 gegenüber 1971-2000 an allen drei Standorten zwischen März und November leicht zu. Die Klimatische Wasserbilanz zeigt keinen eindeutig gerichteten Trend mit monatlichen Schwankungen an allen drei Standorten (**Abb. 2.14**). Die langzeitliche Entwicklung im Zeitraum 1901-2009 weist bei jährlichen und periodischen Schwankungen einen Anstieg der mittleren Temperatur sowie ihrer Extreme auf, während die Niederschläge keinen eindeutigen Trend besitzen (**Abb. 2.15**), nimmt vor allem aufgrund der steigenden Temperaturen die potenzielle Verdunstung zu und die Klimatische Wasserbilanz ab (**Abb. 2.16**). Die potenzielle Verdunstung steigt an allen drei Standorten im Langzeittrend und besonders stark über die letzten beiden Jahrzehnte. Die Klimatische Wasserbilanz schwankt mit dem Niederschlag und hat langfristig eine abnehmende Tendenz.

Die Anzahl von Frosttagen hat an allen drei Standorten in den Monaten Dezember bis März abgenommen (**Abb. 2.17**). An den Standorten Durango und Guadalupe Victoria sind durchschnittlich weniger als 2 Frosttage im März zu erwarten, am Standort Torreón treten nach Daten des mexikanischen Wetterdienstes im März keine Frosttage mehr auf. Diese mittleren Angaben an Referenzstationen schließen jedoch nicht aus, dass in bestimmten Lagen bodennah Frost auftreten kann. Die zunehmenden Temperaturen können jedoch dazu führen, dass die Entwicklung der Pflanzen verfrüht ist und die austreibenden Pflanzenteile dadurch häufiger schwankenden Temperaturen ausgesetzt sind.

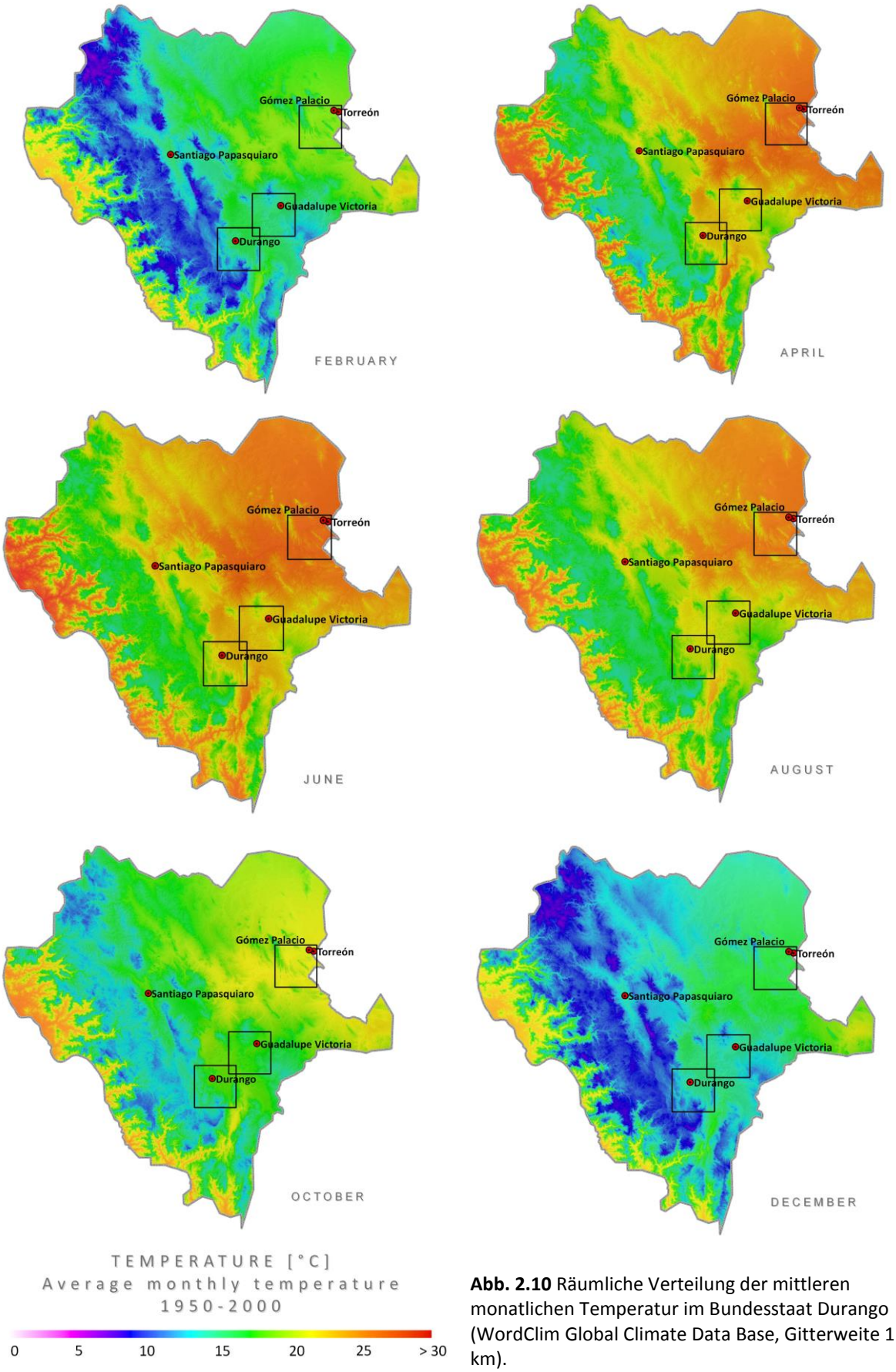


Abb. 2.10 Räumliche Verteilung der mittleren monatlichen Temperatur im Bundesstaat Durango (WordClim Global Climate Data Base, Gitterweite 1 km).

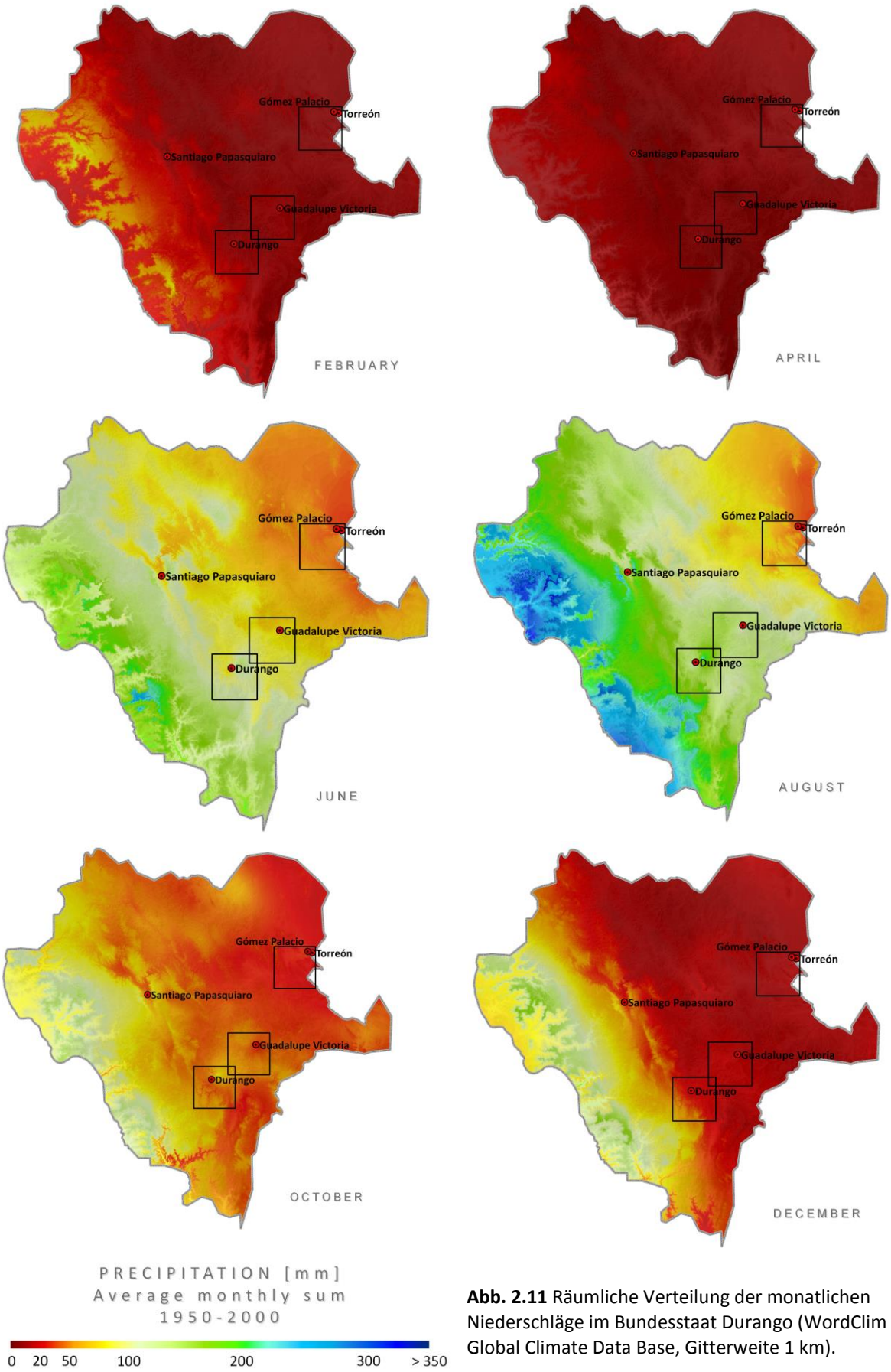


Abb. 2.11 Räumliche Verteilung der monatlichen Niederschläge im Bundesstaat Durango (WordClim Global Climate Data Base, Gitterweite 1 km).

Diagramme der Klimaänderung in den Untersuchungsregionen nach mexikanischen und internationalen Datenquellen:

Temperatur **Niederschlag**

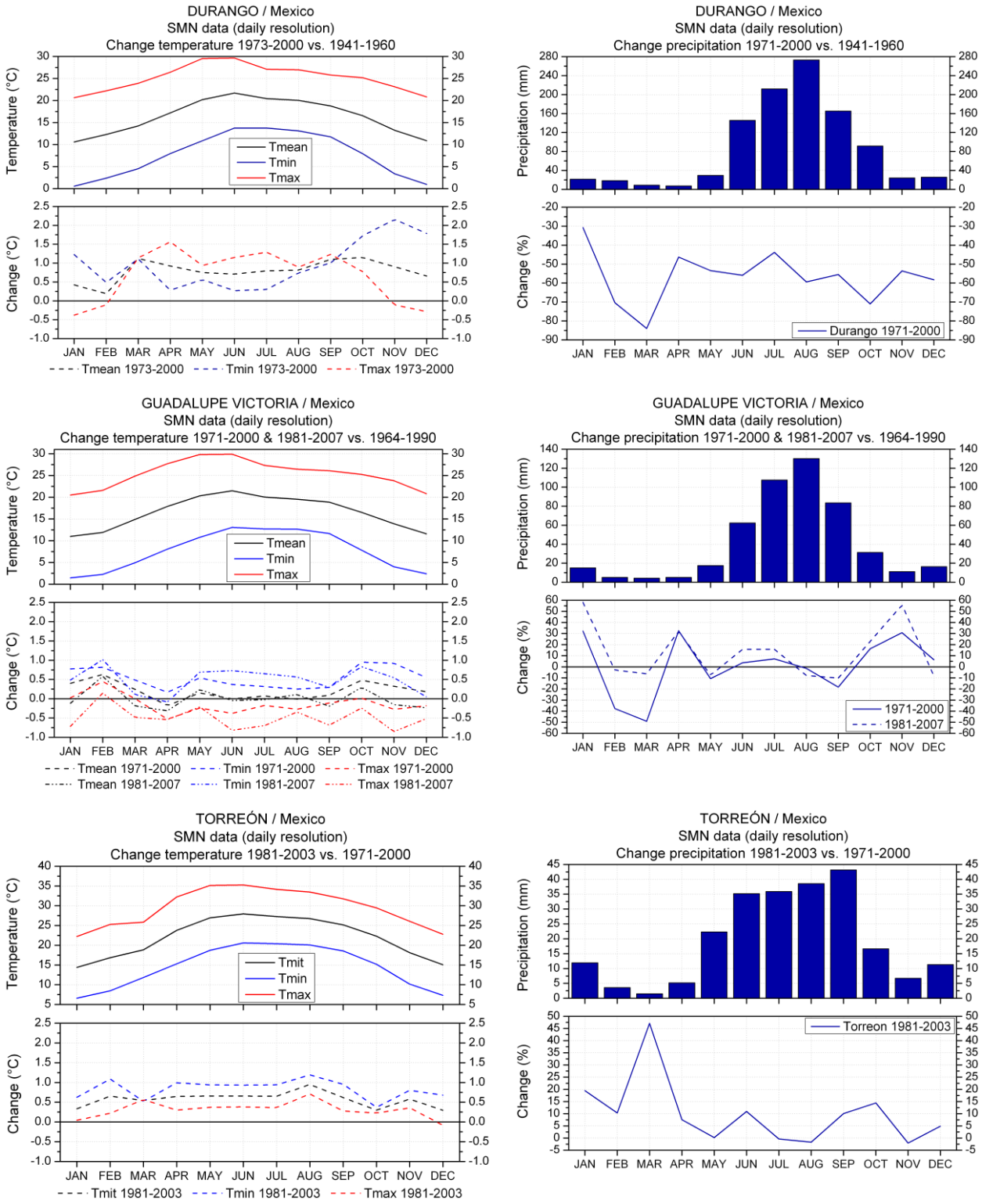


Abb. 2.12 Diagramme für die mittlere, maximale und minimale Temperatur sowie deren Änderung beim Vergleich zweier Zeitperioden (links) und Klimadiagramme für die monatlichen Niederschläge und deren Änderung (rechts) für die Stationen Durango, Guadalupe Victoria und Torreón. Die Zeitperioden wurden je nach Datenverfügbarkeit

gewählt. Datenbasis: Mexikanischer Wetterdienst (SMN).

Änderung von Temperatur, Niederschlag, Potenzieller Verdunstung und Klimatischer Wasserbilanz:

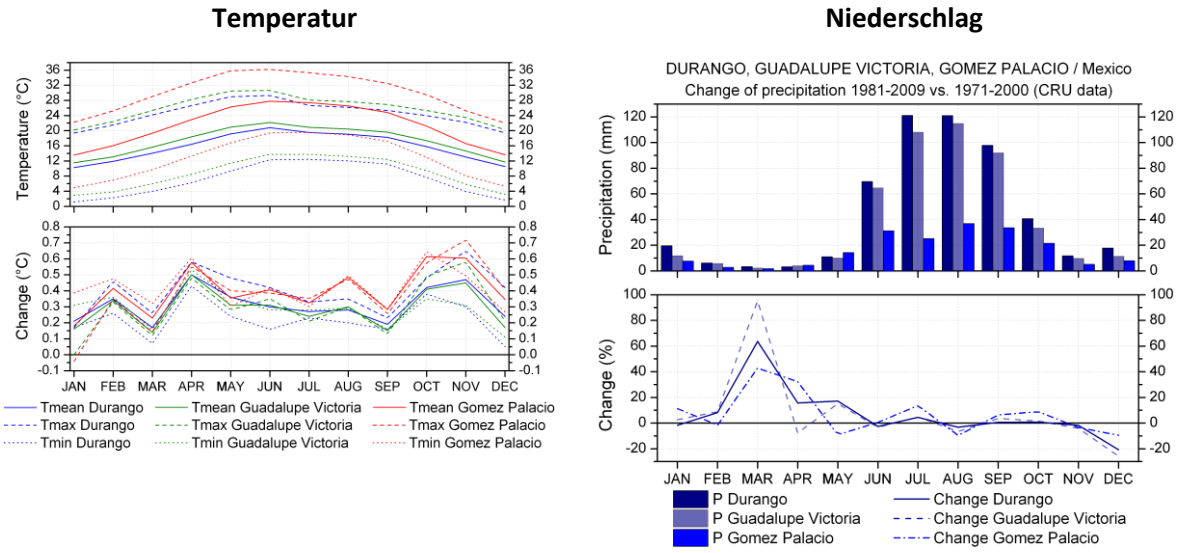


Abb. 2.13 Jahresverlauf und monatliche Änderung der Mittel-, Maximum- und Minimum-Temperatur sowie des Niederschlages aus räumlich interpolierten Daten mit einer Gitterweite von 50 km; Vergleich der Zeitperioden 1981-2009 gegenüber 1971-2000; Datenbasis: CRU, UK.

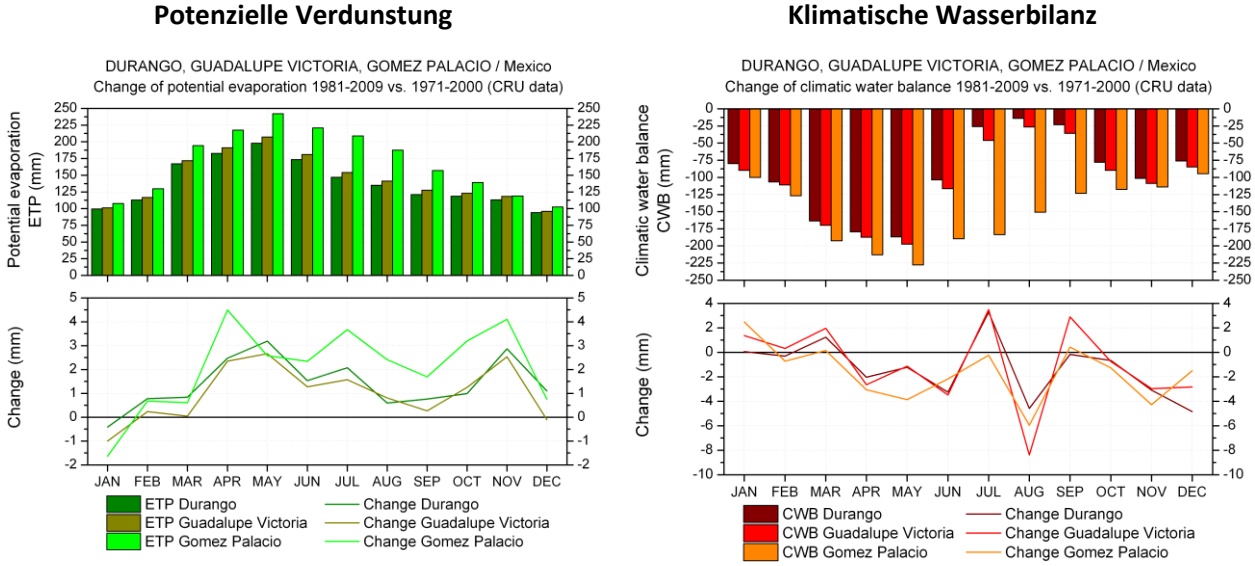


Abb. 2.14 Jahresverlauf und monatliche Änderung der Potenziellen Verdunstung und der Klimatischen Wasserbilanz beim Vergleich der Zeitperioden 1981-2009 gegenüber 1971-2000; Datenbasis: CRU, UK.

Trend von Maximum-, Minimum- und Mittlerer Temperatur

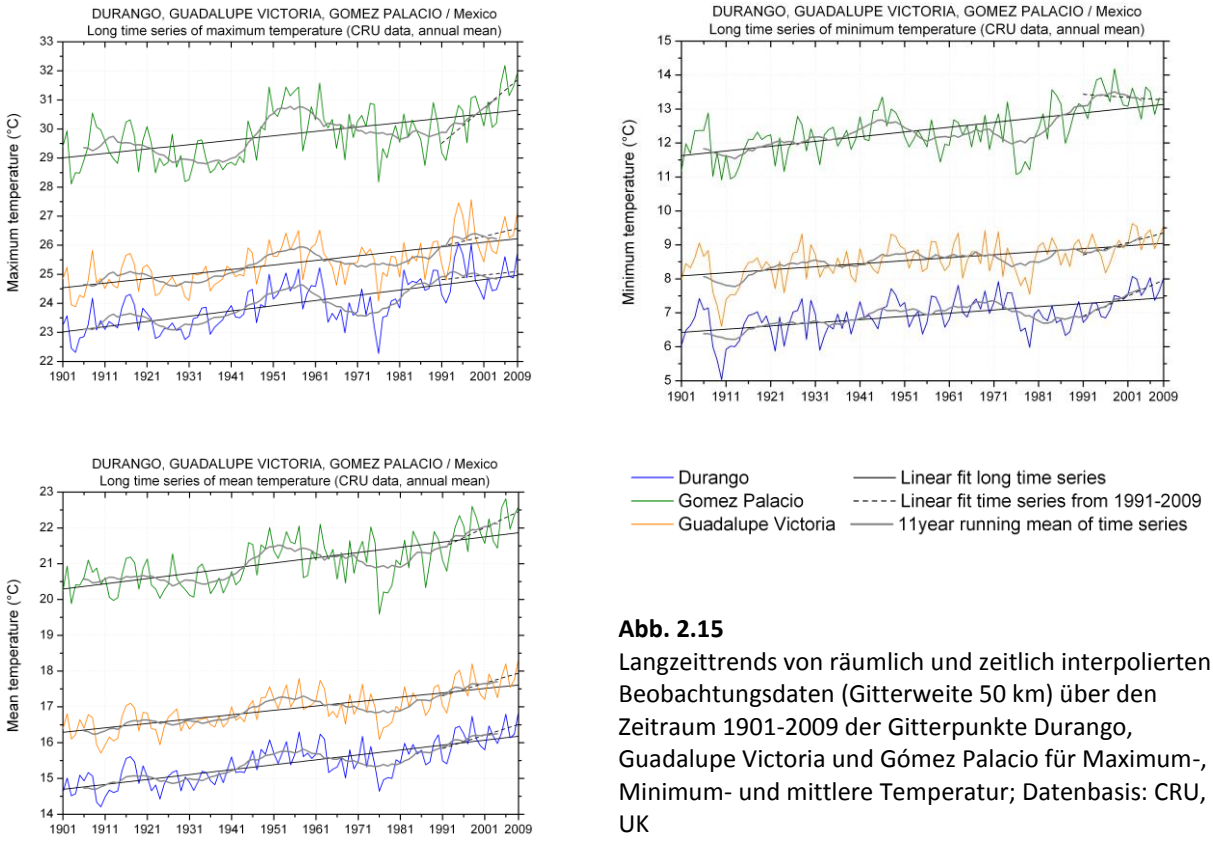
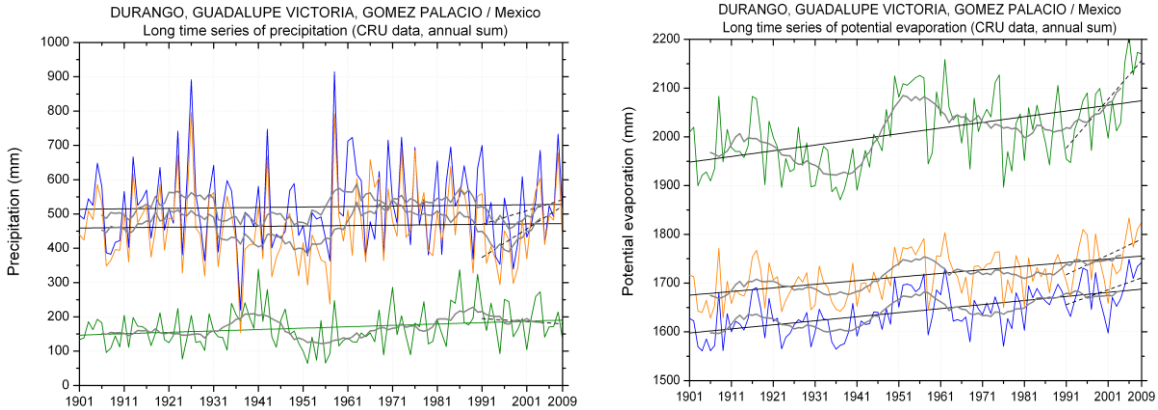


Abb. 2.15
Langzeittrends von räumlich und zeitlich interpolierten Beobachtungsdaten (Gitterweite 50 km) über den Zeitraum 1901-2009 der Gitterpunkte Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio für Maximum-, Minimum- und mittlere Temperatur; Datenbasis: CRU, UK

Trend von Niederschlag, Potenzieller Verdunstung und Klimatischer Wasserbilanz



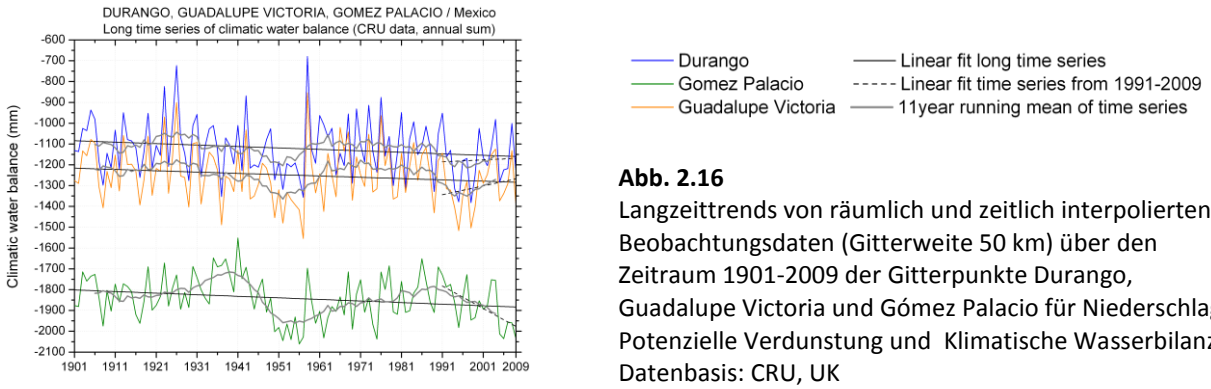
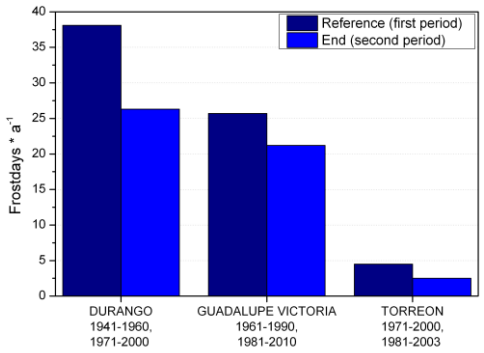
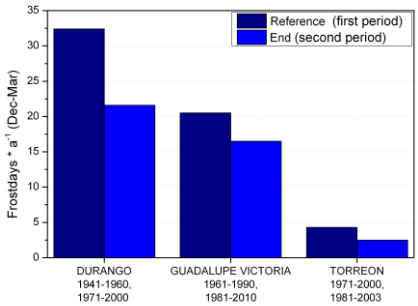


Abb. 2.16
Langzeittrends von räumlich und zeitlich interpolierten Beobachtungsdaten (Gitterweite 50 km) über den Zeitraum 1901-2009 der Gitterpunkte Durango, Guadalupe Victoria und Gómez Palacio für Niederschlag, Potenzielle Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz; Datenbasis: CRU, UK

Abnahme von Frosttagen





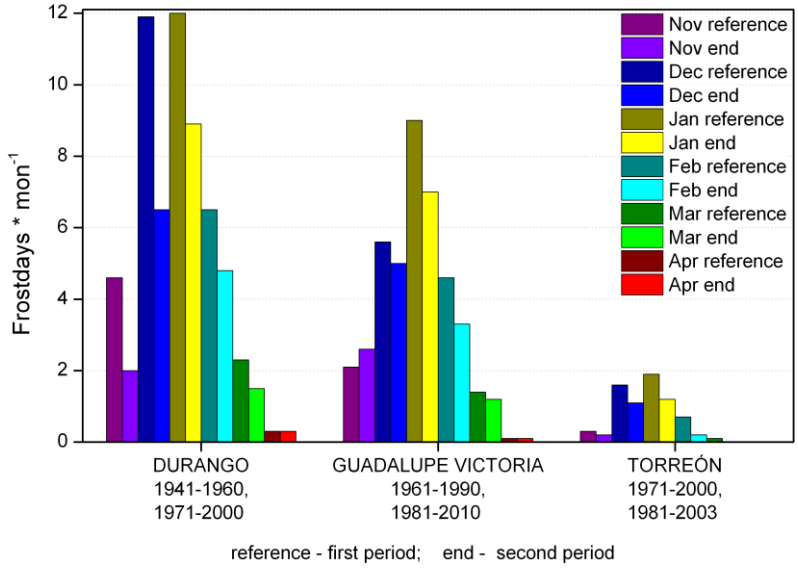
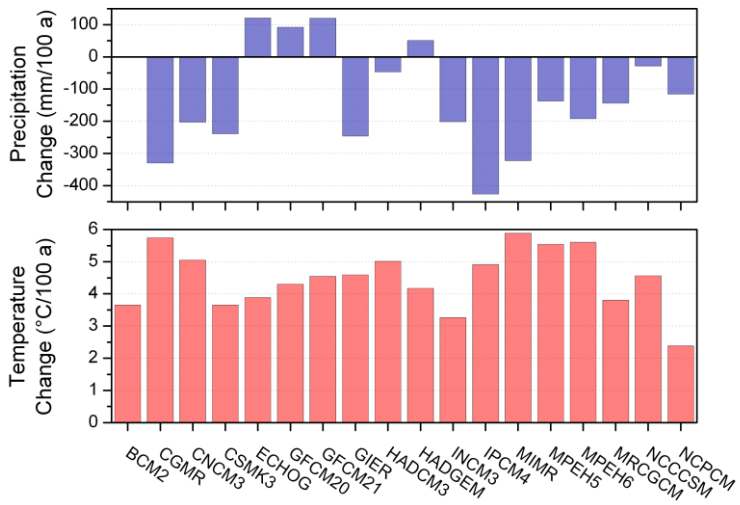


Abb. 2.17 Änderung der Anzahl von Frosttagen im Gesamtjahr, in der Periode Dezember-März sowie in einzelnen Monaten beim Vergleich von jeweils zwei Zeitperioden; Datenbasis: Mexikanischer Wetterdienst (SMN).

2.2.2 Klimasimulationen

Globale Klimasimulationen

Um die möglichen Klimaentwicklungen in der Zukunft beurteilen zu können, wurden Klimaprojektionen aus Global- und Regionalmodellen von zentralen Datenbanken für die Untersuchungsregionen extrahiert und analysiert. Es handelt sich hierbei um Monats- und Tagesdaten bis zum Jahr 2100 für Temperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Strahlung und relative Feuchte. Die Daten dienen der Bewertung der zukünftigen Klimasituation sowie als Testdaten für das LandCaRe-DSS. Aus den globalen Datensätzen von 20 Klimamodellen, die auch im internationalen Vergleich des IPCC (2007, 2013, Randall et al. 2007) verwendet werden, sind Ergebnisse auf den Ort Durango interpoliert und Trendanalysen für eine Serie von meteorologischen Variablen durchgeführt worden. In **Abb. 2.18** sind die Änderungen von Temperatur und Niederschlag für das Szenario A2 dargestellt. Für die Temperatur ergeben sich durchwegs positive Änderungssignale, d.h. die Temperatur steigt im Zeitraum 2001 bis 2100 je nach Modell zwischen 2,4 und 5,9 °C an. Die Änderungen der Jahresniederschläge weisen sowohl positive als auch negative Trends auf, wobei die negativen Trends gegenüber den positiven Trends überwiegen. Die Änderungen der Niederschläge streuen zwischen -430 und +120 mm beim Szenario A2. Im neuen IPCC-Bericht AR5 werden die Szenarien anders definiert (Representative Concentration Pathways, RCP). Es wurde daher zum Vergleich eines der neuesten Ergebnisse zu diesen Simulationen unter dem Szenario RCP8.5 in die Abbildung eingefügt (MPEH6). Die neue Simulation zeigt etwa den gleichen mittleren Temperaturanstieg wie die ältere Simulation MPEH5, die Niederschläge nehmen bei der neuen Simulation etwas stärker ab. Die Szenarien B1 und A1B weisen im Sommer eine leichte Niederschlagszunahme auf, B1 und A2 auch im Frühjahr. Das heißt, dass für Frühjahr und Sommer keine klare Tendenz ersichtlich ist (**Abb. 2.19**).



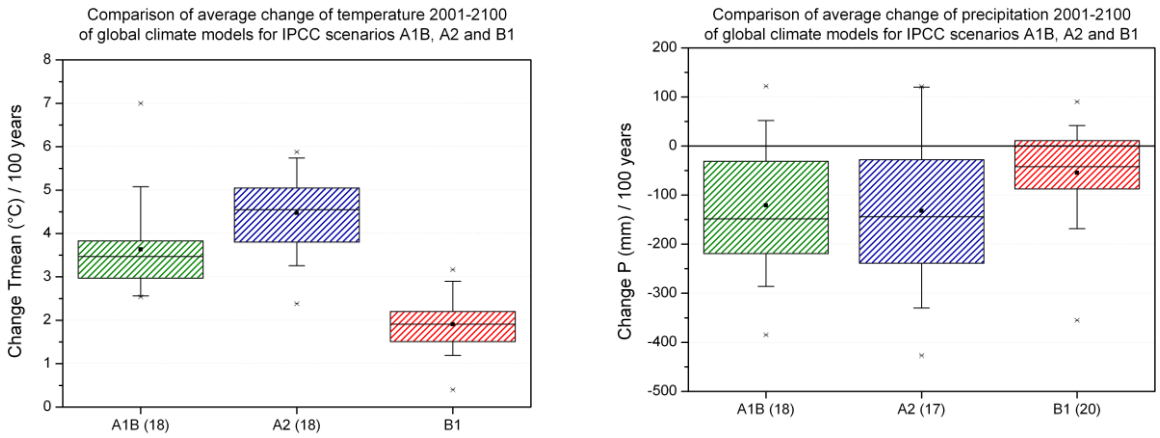


Abb. 2.18 Änderung des jährlichen Niederschlags und der Jahresmitteltemperatur in Zeitraum 2001-2100 simuliert von 18 Globalen Klimamodellen, Interpolation von 4 Gitterpunkten der Region Durango. Die Modelle beziehen sich auf das Emissionsszenario A2 (IPCC, AR4, 2007) und auf das neue Szenario RCP8.5 (IPCC, AR5); Datenbasis: CMIP3 (Randall et al. 2007) und CMIP5 (MPEH6, DKRZ Hamburg). Die Boxplots geben die Änderungen von Temperatur und Niederschlag pro 100 Jahre (bis 2100) bei Mittelung aller Globalmodelle für verschiedene Emissionsszenarien an. Angezeigt sind Mittelwert (Punkt), die 10, 25, 50, 75, 90 Quantile und die Extreme.

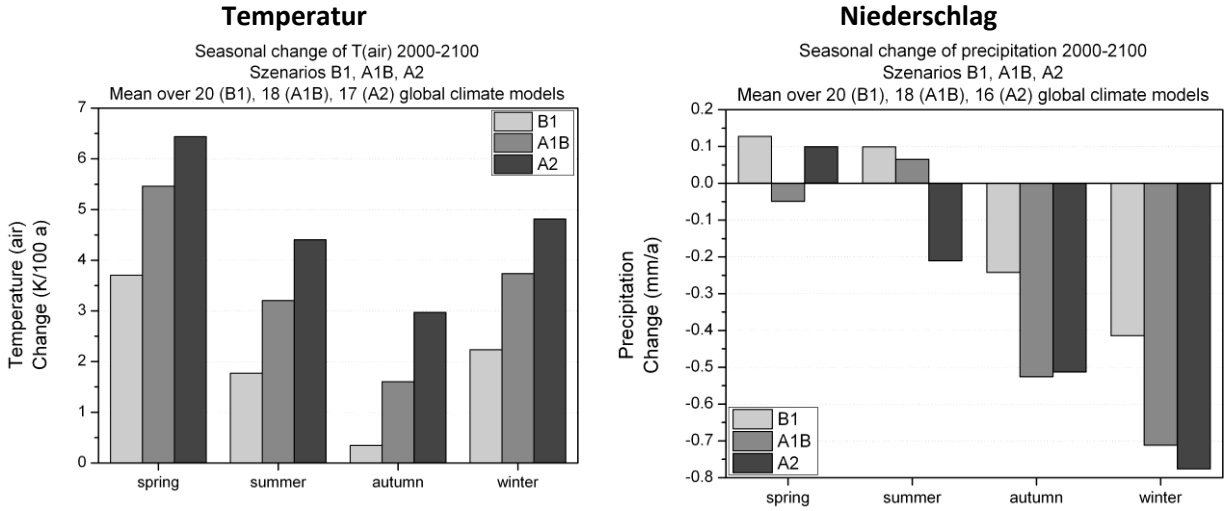


Abb. 2.19: Vergleich der Änderung von Temperatur und Niederschlag für drei Emissionsszenarien (B1, A1B, A2; IPCC 2007) anhand der Mittelwerte über 20, 18 17 (Temperatur) bzw. 16 (Niederschlag) Globalmodelle mit insgesamt 36 Modelläufen interpoliert auf Victoria de Durango.

Weitere Auswertungen von Simulationen des Globalmodells ECHAM5 und ECHAM6 für die Emissionsszenarien A1B, A2 und RCP8.5 bestätigen den generellen Temperaturanstieg, mit stärksten Zunahmen im April/Mai und Oktober-Dezember um 2,0-2,5 °C bis zum Jahr 2050. Die Niederschläge nehmen besonders zwischen November und Januar ab.

Regionale Klimasimulationen

Simulationen mit dynamischen Regionalmodellen wurden aus dem nordamerikanischen Modellvergleich NARCCAP für die Modellkombination GFDL/HRM3 ausgewertet. Daraus ergibt sich für den Vergleich der Zeiträume 2041-2070 mit 1971-2000 über das gesamte Jahr hinweg eine Zunahme der Temperatur um 2-3 °C, im April bis zu 3,75 °C (**Abb. 2.20**). Die Niederschläge weisen zwischen Oktober und April negative Tendenzen auf.

Temperatur **Niederschlag**

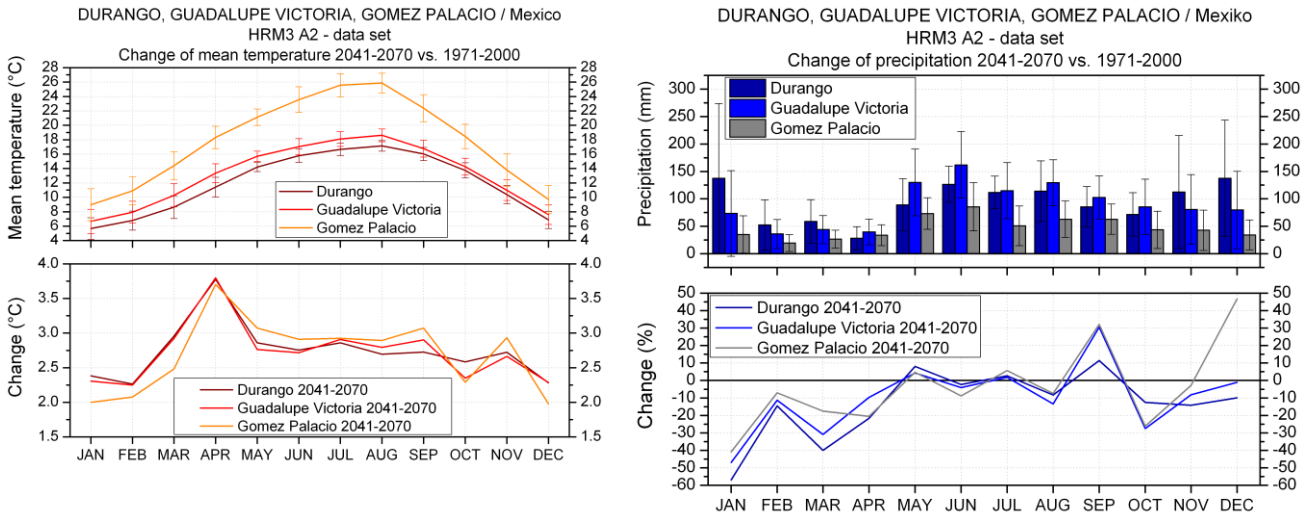


Abb. 2.20 Diagramme für Temperatur und Niederschlag im Zeitraum 1971-2000 und deren Änderung beim Vergleich der Zeiträume 2041-2070 mit 1971-2000 der regionalen Klimamodellierung unter dem Emissionsszenario A2; Datenbasis: NARCCAP, GFDL/HRM3

Im Gegensatz zur potenziellen Verdunstung, die meist beständig mit steigenden Temperaturen zunimmt, wird mit dem regionalen Klimamodell für die reale Verdunstung keine Zunahme, sondern vor allem im Frühjahr eine Abnahme simuliert (**Abb. 2.21**). Eine Reduktion der Verdunstung kann durch Bodentrockenheit und Einschränkung der pflanzlichen Transpiration verursacht sein.

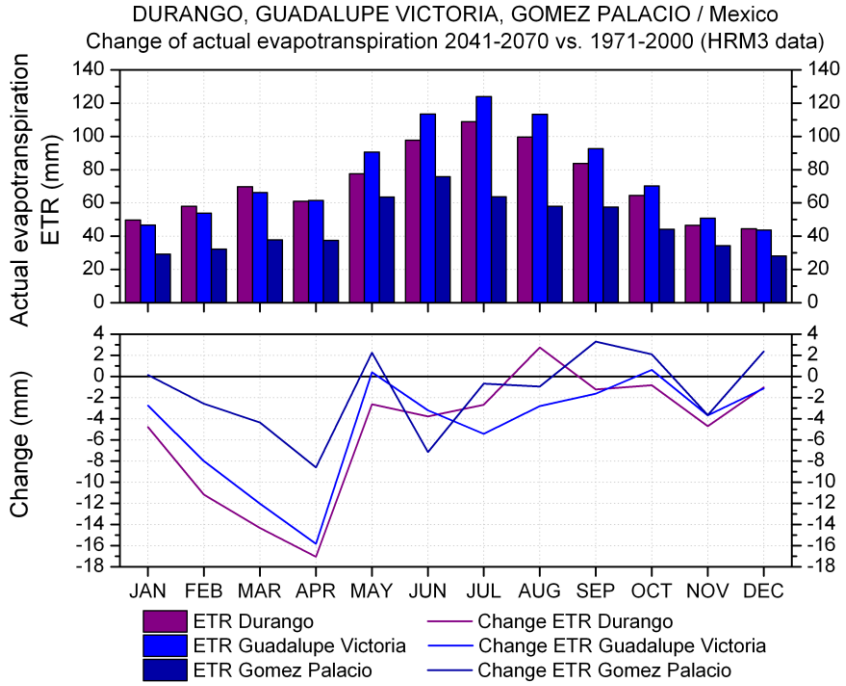


Abb. 2.21 Monatliche aktuelle Verdunstung und ihre absolute Änderung beim Vergleich der Zeiträume 2041-2070 mit 1971-2000 der regionalen Klimamodellierung (NARCCAP, GFDL/HRM3) für das Emissionsszenario A2.

Zusätzlich zu den regionalen Klimasimulationen mit dynamischen Klimamodellen wurden Simulationen auf empirisch-statistischer Basis für jeweils zwei Modelläufe der Jahre 2010 und 2050 ausgewertet (MarkSim Weather Generator, CGIAR/CCAFS). Für alle 3 Standorte werden unter dem Szenario A1B (ECHAM5) Zunahmen der Temperatur und ihrer Minimum- und Maximumwerte sowie Abnahmen der Niederschläge zwischen Juni und September simuliert.

2.3 Zusammenfassende Bewertung der Klimainformation

Datenverfügbarkeit

Für die Beschreibung von Klimaänderungen in den Untersuchungsregionen sind Messdaten von Stationen sowie Klimasimulationen bei nationalen und internationalen Institutionen vorhanden. Da Messdaten zeitlich lückenhaft sein können und räumlich eingeschränkt sind, werden für die globale Erdoberfläche lückengefüllte und räumlich hoch auflösende Datenreihen der Vergangenheit zur Verfügung gestellt, die durch Interpolation erzeugt werden. Dagegen sind Klimasimulationen von sich aus lückenlos und meist gitterbasiert. Da sie nicht nur die bodennahe Erdoberfläche, sondern die Atmosphäre in verschiedenen Höhen beschreiben, handelt es sich immer um sehr umfassende Daten. Die Extraktion von räumlichen Ausschnitten aus zentralen Datenbanken erfordert gute Fachkenntnisse und ist sehr zeitaufwendig. Solche Arbeiten sollten daher von Experten für Nutzergruppen durchgeführt werden.

Klimaprojektion

Die Gitterweiten von Globalen Klimamodellen reichen etwa bis 100 km, die von dynamischen Regionalen Klimamodellen bis ca. 10 km. In der Regel werden Tageswerte über einen Zeitraum von etwa 100 Jahren simuliert. Eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung wie sie Regionalmodelle erreichen, ist noch keine Garantie für die Güte der Daten. Der absolute Wertebereich von Klimagrößen der dynamischen Modelle kann deutlich vom Bereich der Messwerte abweichen, es sollten daher nur relative Änderungen bewertet werden. Da Aussagen über die zukünftige Emission von Treibhausgasen und die Entwicklung von Wetterlagen unsicher sind, müssen Ergebnisse verschiedener Szenarien und Modelle verglichen werden. Simulationsergebnisse aus dynamischen Klimamodellen für die weitere Zukunft um 2040 oder später, eigenen sich für die Ableitung von politischen Steuerungsmaßnahmen oder von generellen Maßnahmen des Ressourcenmanagements (No Regret Maßnahmen). Gleichzeitig bilden sie die Randbedingung für empirisch-statistische Modelle, die für die Simulation von lokalen Wirkungen besser geeignet sind. Für solche statistischen Modelle müssen zunächst die langzeitigen Daten der Klimabeobachtung einer größeren Region zusammengeführt, geprüft und homogenisiert werden.

Klimadiagnose

Die Klimabeobachtung ist Grundlage der Klimadiagnose. Ohne eigentliche Klimasimulation kann für die nahe Zukunft der nächsten ein bis zwei Dekaden der Klimawandel auch anhand der

Klimadiagnose beurteilt werden. Hierbei werden die Klimatrends direkt aus Stationsmessungen abgeleitet. Dies lässt mit wesentlich höherer Sicherheit Aussagen über lokale Veränderungen zu. Voraussetzung sind möglichst lange Messreihen über mehrere Jahrzehnte, die in ausreichender Dichte im Land verteilt sind. Allerdings sind repräsentative Niederschlagsmessungen grundsätzlich und insbesondere bei heterogener Verteilung der Niederschlagsereignisse schwierig. Sie werden daher immer hohe Unsicherheit aufweisen. Wichtig ist, dass die Daten einheitlich zusammengeführt und auf Homogenität und Lücken geprüft werden (vgl. Padilla et al. 2011). Die Ergebnisse werden direkt als Stationsdaten verwendet oder es werden daraus Gitterdaten erzeugt. Da diese Prozesse anspruchsvoll und zeitaufwendig sind, sollten sie zentral für unterschiedliche Nutzer durchgeführt werden. Im Prinzip stehen dafür viele Daten aus unterschiedlichen Quellen für die Region Durango zur Verfügung. Um Effekte auf verschiedene Standortbedingungen und die Vegetation beschreiben zu können, sollten auch kontinuierliche Messungen durchgeführt werden, die Bezüge zu Mikroklima, Bodentemperaturen und Phänologie herstellen.

3. Wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien

3.1 Einleitung

Globale und lokale Wasserkreisläufe werden durch verschiedene hydrologische Prozesse getrieben. Diese beeinflussen die Menge, Qualität und die zeitliche Dynamik des Wassers. Das Verständnis dieser Prozesse und ihrer Wechselwirkungen ist z.B. für die Hochwasservorhersage, Erosionsabschätzung oder das Auftreten von Dürreperioden wichtig.

Die Niederschläge in semi-ariden Gebieten unterliegen zu 50% der Verdunstung, nur ca. 20% tragen zur Grundwasserneubildung bei und 30% fließen oberflächig ab.

Der Klimawandel wird sich nicht nur in einem leichten Anstieg der Temperaturen sondern auch in einem weniger und mehr an Niederschlägen äußern (Abb. **3.1**). Der Bundesstaat Durango (Mexiko) zählt zu denen mit ausgeprägten ariden Regionen und mit vergleichsweise wenig Niederschlägen (574 mm/a [1971-2000][1]).

Abb. 3.1: Wetterextrema (Dürreperioden, Starkniederschlagsereignisse)

Die Überbeanspruchung der Grundwasserressourcen ist bedingt durch den Wasserbedarf der Haushalte, der Industrie und der Landwirtschaft. Abb. **3.2** zeigt die mexikanischen Regionen für die im Jahr 2005 eine Übernutzung des Grundwassers ermittelt wurde.

Die Nutzung alternativer Wasserressourcen und die Vermeidung einer Überbeanspruchung von Grundwasserressourcen werden durch den geringen Einfluss der Vollzugsbehörden und geringe Strompreise nicht gefördert. In Durango werden ca. 52 % des Wasserbedarfs mit Grundwasser und der Rest aus Oberflächenwasser gedeckt. In der Landwirtschaft werden zur Deckung des Gesamtwasserbedarfs rund 47 % Grundwasser und 53 % Oberflächenwasser genutzt [1].

[1] Statistics on Water in Mexico, 2010 Edition

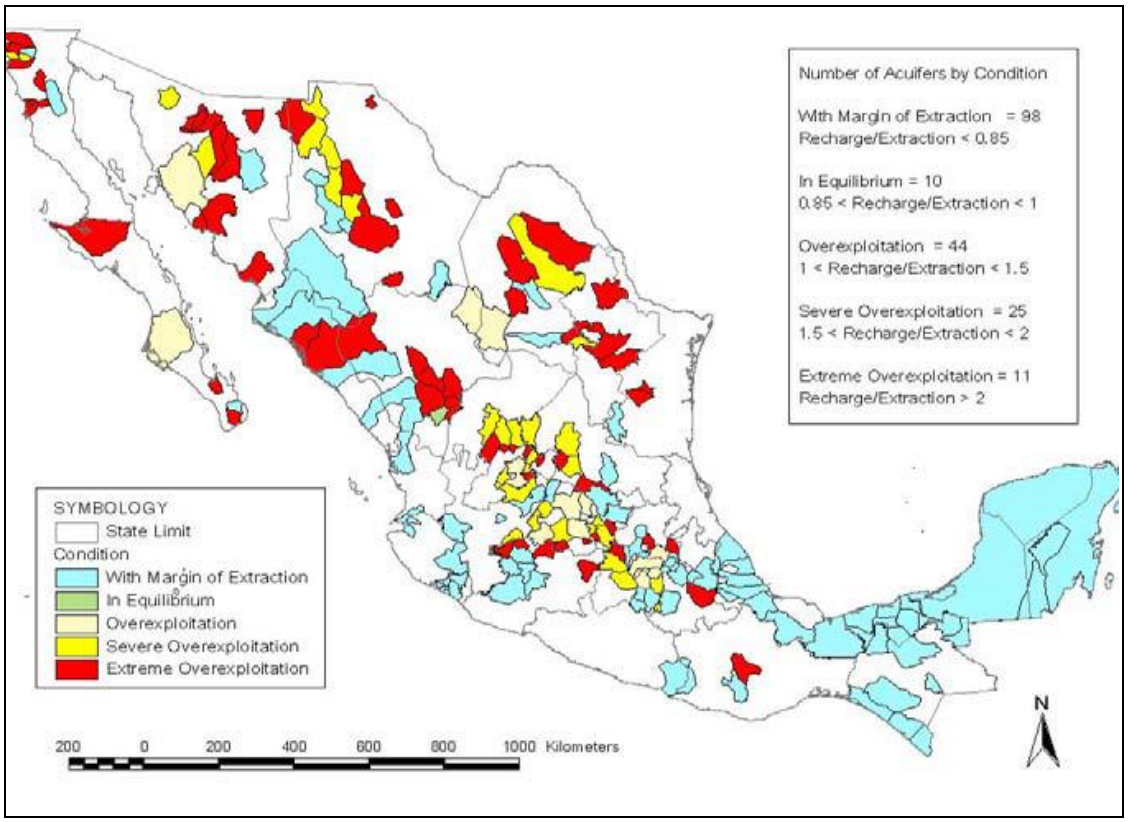


Abb. 3.2: Darstellung der Auswirkungen der Grundwassernutzung in Mexiko (Quelle: INE, based on CNA "Water Statistics in Mexico" 2005 edition)

Im Folgenden werden unterschiedliche Ansätze zur Nutzung verfügbarer Wasserquellen (Grundwasser, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte, Regenwasser und Abwasser) betrachtet.

Grundsätzlich sind bei der Abwägung der Erfordernis von wasserwirtschaftlichen Anpassungen (Vulnerabilitätsanalyse) folgende Fragen zu erörtern:

- Lassen sich Niederschlags-Abfluss-Verhältnisse auf allen wesentlichen Raumskalen im städtischen und ländlichen Raum quantifizieren?
- Sind Veränderungen bei der Grundwasser-Neubildung zu erwarten?
- Welche Gebiete werden von Wassermangel betroffen sein?
- Können wir robuste Leitlinien für die öffentlichen Entscheider entwickeln, um die Wasserwirtschaft unter zukünftigen (Klima-)Bedingungen zu steuern?

Bei entsprechender Infrastruktur und einem standortangepassten Management scheint es möglich, unter semi-ariden Bedingungen mit ausgeprägten Trockenperioden ausreichend Wasser für die verschiedenen Nutzungsbereiche (Haushalte, Industrie und Landwirtschaft) bereit zu stellen.

Die Grundlage dafür ist:

- ein professionelles Management von Wassereinzugsgebieten, Wasserspeicherkapazitäten und Flussbecken,
- eine klimagerechte Landnutzung,
- der Rückhalt und Nutzung von ‚in der Regenzeit reichlich vorhandenem, Regenwasser in der Trockenzeit,
- der Schutz von Quellen,

- Schutz und Förderung von Ufervegetation,
- Vermeidung von Umweltverschmutzung (z.B. Ableitung von unbehandeltem Abwasser), Abwasserreinigung und -recycling.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für einen nachhaltigen Umgang mit den Wasserressourcen ist, das die zuständigen Behörden ihre politische Verantwortung für ein umweltgerechtes Wassermanagement wahrnehmen.

Fazit

Jeder Bundesstaat sollte über einen Wasserbewirtschaftungsplan verfügen, welche die Bedürfnisse aller Nutzer berücksichtigt. Die Planung sollte insbesondere folgende Aspekte abdecken, welche in der Praxishilfe anzusprechen sind:

– vorhandene (genutzte) und erschließbare Wasserressourcen,

– Inventar, Zustand, Unterhalts- und Erweiterungsplanung der bestehenden Infrastruktur,

– Analyse des aktuellen und zukünftigen Wasserbedarfs (örtlich, zeitlich) aufgrund der erwarteten Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaft, ggf. Erschließung von neuen Wasserbezugsorten inkl. Ausscheidung entsprechender Grundwasserschutzzonen unter Beachtung der ökologischen Anforderungen (z.B. schützenswerte Quelllebensräume) sowie Bereitstellung der nötigen Infrastruktur (Vernetzung).

3.2 Aktuelle land- und wasserwirtschaftliche Situation

Für die Bewässerung in der Landwirtschaft werden Grundwasserressourcen und darüber hinaus Oberflächengewässer zunehmend stark in Anspruch genommen. Nach aktuellen Informationen ist der Grundwasserstand in Guadalupe Victoria zwischen September 2011 und September 2012 um rund 15 m gesunken[2]. Nur in geringem Umfang erfolgt die Nutzung von Regenwasser, Oberflächenabfluss und Flussbettzisternen.
Das Grundwasser für die Bewässerung in der Landwirtschaft wird zu einem hohen Anteil ohne bestehende Genehmigung gefördert. Die in bestehenden Genehmigungen erlaubten Entnahmemengen werden nicht eingehalten, d.h. es wird mehr Grundwasser gefördert als erlaubt. Die durch Subventionen geringen Stromkosten fördern indirekt die Nutzung des Grundwassers und wirken Investitionen zur Nutzung alternativer Wasserressourcen und effizienteren Bewässerungssystemen entgegen.

Ein möglichst geringer Input (geringe Investitionskosten) ist ein wichtiger Schlüssel für eine Umsetzung von wasserwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen. Die Ableitung von wasserwirtschaftlichen Anpassungsstrategien erfolgt im Folgenden für die Gemeinden Gómez Palacio und Guadalupe Victoria.

In der Tabelle 3.1 sind einige wesentliche Standortfaktoren dieser dargestellt. Die aufgezeigten Fakten zeigen deutliche Unterschiede in der Größe der Projektregionen, den Anbauflächen und bewässerten Anbauflächen. Die Größe der bewässerten Anbauflächen unterscheidet sich in der Größenordnung von einer Zehnerpotenz. Der Bewässerungsfläche von rund 29 ha in Gómez Palacio stehen nur 2,6 ha in Guadalupe Victoria entgegen, wobei die gesamte Anbaufläche in Guadalupe Victoria deutlich höher ist.

[2] Mitschriften zum Workshop am 27.09.2012 in Guadalupe Victoria

Im Jahr 2005 wurde in Guadalupe Victoria eine Kläranlage errichtet, welche aktuell nicht in Betrieb ist. Das Abwasser (ca. 3.500 m³/d) wird vor der Einleitung in die Kläranlage d.h. unbehandelt durch die Landwirte für die Bewässerung genutzt.

In der Kläranlage in Gómez Palacio werden pro Tag ca. 60.000 m³ Abwasser (davon bis zu 65% Abwasser aus der Industrie) behandelt. Auf Grund der Behandlung von Abwasser mit einer deutlich höheren organischen Fracht als geplant, ist die Behandlungseffizienz unzureichend. Maßnahmen zur Lösung des Abwasserproblems, wie Vorbehandlung des industriellen Abwassers oder Bau eines Speicherbeckens zum Ausgleich von Belastungsspitzen, wurden bisher nicht umgesetzt.

Das behandelte Abwasser der zwei bestehenden Kläranlagen (Planta Este und Planta Sur) der Stadt Durango wird in der Trockenzeit für die Bewässerung von ca. 950 ha und der Regenzeit 1.550 ha landwirtschaftlichen Nutzflächen eingesetzt (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.1: Gegenüberstellung der Projektregionen anhand themenrelevanter Angaben (Quelle: INEGI Instituto nacional de estadística y geografía)

	Gómez Palacio	Guadalupe Victoria
Fläche (km²)	843	1.314
Anbaufläche (ha)	28.817	58.715
bewässerte Anbaufläche (ha)	28.817	2.630
Kapazität vorhandener Abwasserbehandlungsanlagen (l/s)	keine Angaben	9
Wasserrückhaltevolumen - Stauseen (Million m³)	0	0
Oberfläche Gewässer (km²)	9	1

Tabelle 3.2: Angaben zur Behandlungskapazität und –menge sowie Nutzung des geklärten Abwassers für die Landwirtschaft für die Kläranlagen in der Stadt Durango

	Planta Este	Planta Sur
Behandlungskapazität (m³/h)	7.200	1.440
aktuelle Behandlungsmengen (m³/h)	4.320 – 5.040	900 – 1.080
Nutzung des geklärten Abwassers für die Bewässerung Trockenzeit (ha) Regenzeit (ha)	 800 1.300	 150* 250*
Nutzung des Klärschlamms	keine	sporadisch bzw. teure Entsorgung

*zusätzlich Nutzung von geklärtem Abwasser für die Bewässerung von 50 ha Grünfläche

Die landwirtschaftliche Praxis in Guadalupe Victoria und Gómez Palacio unterscheidet sich deutlich voneinander (siehe Kapitel 3.2).

In Guadalupe Victoria wird maßgeblich Regenfeldanbau betrieben. Damit sind die Landwirte an die Regen- und Trockenzeiten gebunden und sind direkt vom Niederschlagsgeschehen abhängig. Extreme Trocken- und Dürreperioden wirken sich direkt auf die Erträge und somit das Einkommen

der Landwirte aus. Teilweise erfolgt eine Furchenbewässerung (Abbildung 3.3). Über die Qualität des dafür genutzten Wassers liegen keine Informationen vor.

In Gómez Palacio erfolgt dagegen mehrheitlich Bewässerungsfeldbau. Mit dem Bewässerungsfeldbau sind die Landwirte nicht so stark vom Wetter abhängig. Die Bewässerung von Luzerne wird im Überstau realisiert. Dies erfolgt ohne Kontrolle und Regulierung der eingesetzten Wassermengen. Bei Verwendung von Beregnungsanlagen wird die Bodenfeuchte nicht kontrolliert und damit nicht auf den tatsächlichen Bedarf geschlossen.

Abb. 3.3: typische Praxis zur Verteilung von Wasser für die Bewässerung mittels Gräben

Die Tabelle 3.3 zeigt die langjährige Jahresmittel der Niederschläge und der Evapotranspiration für Gómez Palacio und Guadalupe Victoria. Trotz der regionalen Nähe sind für die Projektregionen dafür Unterschiede festzustellen. Die Differenz zwischen dem durchschnittlichen Jahresmittel der Niederschläge und der Evapotranspiration ergibt für Gómez Palacio -1.437 mm/a und Guadalupe Victoria -1.233 mm/a. Die Verdunstung übersteigt in beiden Fällen die Niederschlagsmenge um ein Vielfaches.

Tabelle 3.3: langjährige Jahresmittel der Niederschläge und Evapotranspiration (Quelle: http://www.fao.org)

	Gómez Palacio	Guadalupe Victoria
mittlerer Jahresniederschlagsmenge (mm/a)	344	479
mittlere Evapotranspiration (mm/a)	1.781	1.712

Fazit

Zukünftig nimmt das Risiko zu, wenn auch räumlich und saisonal begrenzt, dass Regionen ausgeprägter und häufiger von Trockenstress betroffen sein werden. Der Bedarf an Bewässerungswasser wird größtenteils durch die Entnahme aus Oberflächengewässern und aus dem Untergrund gedeckt. Eine Wasserentnahme aus Flüssen hat einen verminderten Abfluss im Gewässer und einen Eingriff in den Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt zur Folge, die Entnahme aus dem Grundwasser bewirkt eine Absenkung des Grundwasserspiegels.

Die Entnahme von Grundwasser wird nicht kontrolliert und Wasserabgaben sind in der Regel nicht verbrauchsabhängig zu entrichten. Ohne Beschränkung des Grundwasserzugangs sind die Landwirte

an einer Maximierung des wirtschaftlichen Ertrags und nicht der Maximierung der nachhaltigen Nutzung von Naturressourcen interessiert.

In Durango wird zusätzlich geklärtes aber auch ungeklärtes Abwasser (Guadalupe Victoria) in der Landwirtschaft genutzt.

Sowohl für die Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser als auch die Nutzung von geklärtem Abwasser konnten keine Angaben zu den eingesetzten Mengen je Anbaufläche ermittelt werden. In der Regel erfolgt die Bewässerung gemäß langjähriger Traditionen ohne eine Mengen- und Bedarfsermittlung.

Nach aktuellem Kenntnisstand bleibt Klärschlamm mit seinem Nährstoff- und Wassergehalt als Ressource fast vollständig ungenutzt.

3.3 Land- und wasserwirtschaftlichen Anpassungsmöglichkeiten

Die Anpassungsmöglichkeiten die Land- und Wasserwirtschaft betreffend überschneiden und bedingen sich teilweise gegenseitig.

Extreme Regen- und Trockenperioden, die großflächige Abholzung von Wäldern und schlechte landwirtschaftlich Praxis, wie z.B. Überweidung, führen früher oder später zu einer Landdegradation (Abb. **3.4**).

Mit einer angepassten und bewussten Landwirtschaft, unter Berücksichtigung von geeigneten Fruchtfolgen, Anbau nährstoffbindender Pflanzen, geeignete Bodenbearbeitung etc. kann die Erhaltung eines „gesunden“ Bodens bewirkt werden.

Gesunde Böden können Wasser und Nährstoffe besser halten, was sich wiederum positiv auf das Pflanzenwachstum, den Deckungsgrad und damit auf den Bewässerungs- und Düngebedarf auswirkt. Einen wesentlichen Einfluss auf den Wasserbedarf in der Landwirtschaft wird zudem in der Auswahl der Pflanzenarten und der Art der Bewässerung gesehen.

Eine gute landwirtschaftliche Praxis, begrünte Ufersäume, Vermeidung vegetationsloser Flächen und Forstbestände tragen indirekt durch die positive Beeinflussung der Grundwasserneubildungsrate zu einer Ressourcenschonung/- schutz bei.

Abb. 3.4: Abholzung, Überweidung (links) und nicht angepasste Landwirtschaft können Landdegradation (rechts) zur Folge haben

Tabelle 3.4: Anpassungsmöglichkeiten (an den Hitze- und Trockenstress)

Landwirtschaftliche Maßnahmen	Wasserwirtschaftliche Maßnahmen
Verbesserung der Wassernutzung - standortangepasste Arten- und Sortenwahl - frühreife und trockenstresstolerante Sorten und Arten bevorzugen - bedarfsgerechte Nährstoffversorgung - optimaler Pflanzenschutz - N-Spätgabe zeitlich vorverlegen - Injektionsdüngung auf leichten Böden - Tiefendüngung **Wassereinsparung durch effiziente Bewässerung** - wassersparende Bewässerungsverfahren - Bodenfeuchte und Pflanzenbedarf beachten - Bewässerungsprogramme (kultur-, jahres- und tageszeitabhängig) **Bodenbearbeitung/ Erhöhung der Bodenwasserkapazität** **organische Düngung** - Humusreproduktion und K-Versorgung - Bodenverdichtung vermeiden - Stroh- und Mulchauflagen - Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität - Streifenbearbeitung - Windschutzmaßnahmen	Nutzung von Abwasser für Bewässerung von Feldfrüchten, die nicht für rohen Verzehr bestimmt sind Wieder- und Mehrfachverwendung von Wasser Rückhalt und Nutzung von Niederschlagswasser

Zu den allgemeinen wasserwirtschaftliche Anpassungsmöglichkeit zählen, die:

- Wasserangebotsbewirtschaftung: aktive Mitgestaltung der Wasserwirtschaft
- Wasserspeicherung: bauliche Maßnahmen, Mehrfachnutzung, Verbesserung Rückhaltung und Bodenspeicherung
- Wasserverteilung: wassersparende Technologien und Steuerung, gemeinschaftliche Bewässerungsanlagen, organisatorische Maßnahmen

Um die Ressourcen Grund- und Oberflächenwasser zu schonen, ist neben der Verringerung der Verdunstung von Bewässerungswasser der teilweise Ersatz durch gereinigtes Abwasser und Niederschlagswasser anzustreben.

Fazit

Das Wassermanagement kann optimiert werden, in dem Wasserrückhaltung der Böden durch strukturschonende Bewirtschaftung verbessert, Verdunstungsverluste verringert und kritische Bodenwasserzustände vermieden werden. Die Bewässerung sollte sich am Wasserangebot orientieren, sparsam und effizient erfolgen. Es sollten vermehrt trockenheitstolerante Kulturen und Sorten angebaut werden.

Um landwirtschaftliche Optimierungspotentiale zu erkennen und zukünftig nutzen zu können, sind folgende drei Maßnahmenkomplexe zu empfehlen:

1. Agrarforschung zu Anbausystemen, zur Bodenbearbeitung, zu Bewässerungssystemen und -technologien
2. Pflanzenzüchtung
3. Information und Beratung der Landwirte: Wichtig für einzelbetriebliche Entscheidungen zu Anbausystem, Bodenbearbeitung, Bewässerungseinsatz, überbetriebliche Zusammenarbeit

Um Niederschläge zukünftig u.a. in der Landwirtschaft effizienter nutzen zu können, ist der Wasserrückhalt an der Oberfläche (in Stauseen, Flüssen und Bächen) und im Untergrund (Zisternen, unterirdische Dämme, Erhaltung der Bodenfeuchte und Grundwasserneubildung) erforderlich.

Die gezielte Generierung, der Transport und Rückhalt von Wasser in semiariden und ariden Einzugsgebieten erfordert ein Monitoring und Modellierung von Fließdynamik, Rückhalt und Verteilung.

Wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien

Im Folgenden sind konkrete Maßnahmen für eine wasserwirtschaftliche Anpassung der Landwirtschaft aufgeführt. Dabei wird unterschieden zwischen sektorübergreifenden Maßnahmen, Maßnahmen zur Sicherung und Steigerung des Wasserangebotes und Maßnahmen zur Verringerung des Bedarfs

<u>Sektorübergreifende Maßnahmen/Ansätze</u>

- Bewusstseinserhöhung bei Wassernutzern
- Verbesserung der sektoralen und räumlichen Integration und der Betrachtung in Einzugsgebieten
- Förderung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen, Gewässer und Infrastrukturen

<u>Potentielle Maßnahmen zur Sicherung und Steigerung des Wasserangebots</u>

- Ausbau der natürlichen und künstlichen Speicherung des Wassers (u.a. Grundwasseranreicherung / Speicherbewirtschaftung / Mehrfachnutzung)

- Erschließung bisher nicht genutzter Wasservorkommen
- (über-)regionaler Wassertransfer (Überleitung aus wasserreichen Gebieten)
- Verringerung von Verlusten zwischen Ort der Entnahme und Ort der Nutzung

Potentielle Maßnahmen zur Verringerung des Bedarfs

- Effizienzsteigerungen (durch technische wie organisatorische Maßnahmen) in den einzelnen Sektoren
- Instandhaltung der Wasserinfrastruktur
- Schaffung ökonomischer Anreize zur Effizienzsteigerung
- Anpassungen (bis hin zur Aufgabe) bestimmter Nutzungen (Standorteignung für bestimmte Nutzungsformen)

Der Weg zu einem nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Wasser erfordert gleichzeitig vielfältige Koordinierungsaufgaben. Dazu zählen u.a.:

- vorgeschaltete regionale Planungen (regionale Betrachtung auf Basis Einzugsgebiet) vor der Bewilligung von Einzelgesuchen
- die Erarbeitung von Eignungskarten: Eignung einzelner Gewässer für weitere Nutzungen
- Monitoring der Wasserressourcen (ausreichende Abdeckung mit Messstationen für Oberflächengewässer und Grundwasser zu Wasserstand, Abfluss und Temperatur und Qualität)
- Kontrolle der Wasserentnahmen
- Partizipative Entwicklung von Bewirtschaftungsregeln (mengenmäßige Zuteilung, zeitliche Zuteilung, räumliche Zuteilung)

Die genannten Koordinierungsaufgaben sind den zuständigen lokalen und übergeordneten Behörden zu zuordnen.

Konkrete Maßnahmen für die Landwirtschaftlich werden in der Verminderung der Verdunstung (wie z.B. in Abb.3.5) sowie maßgeblich in der Sicherung und Steigerung des Wasserangebots durch gezielten Rückhalt von Niederschlags- und Oberflächenwasser und der Substitution von Grundwasser durch Abwasser gesehen.

Abb.3.5: Plastikplanen auf Feldern zur Reduzierung der Verdunstung

Niederschlagswasser kann durch geeignete Maßnahmen zurückgehalten und für die Bewässerung von Ackerland zugänglich gemacht werden. Natürliche und künstliche Wasserspeicher aller Art (Teiche und Seen aller Art, Stauseen und Becken) können, auch durch Mehrfachnutzung und zweckmäßiges Speichermanagement, einen Beitrag zur Bewältigung von Wasserknappheit leisten.

Die Vor- und Nachteile des Rückhalts und der Speicherung von Niederschlagswasser in Becken sind in Tabelle 3.5 dargestellt. Teiche als Wasserspeicher werden nach dem Ausheben bzw. Profilieren mit einer wasserundurchlässigen Schicht oder Plastikfolie abgedichtet. Diese Schicht darf nicht zerstört werden, da sonst der Teich, austrocknen würde. Die Abb. **3.6** zeigt die prinzipielle Integration eines Rückhalte- und Speicherbeckens in die Landschaft und die Ansicht eines Beckens während des Baus.

Weiterhin können Gräben die bei Starkregenereignissen der Entwässerung dienen, potentiell als Regenwasserspeicher dienen.

Für die Weidewirtschaft bietet sich die Errichtung und Nutzung von Tränkmulden als Viehtränken an. Diese teichartigen Vertiefungen (ca. 3 bis 4 m tief) sammeln bei Niederschlagsereignissen Regenwasser. Neben der Speisung durch den direkten Niederschlag können diese Dachabflüsse aufnehmen.

Aufgrund der hohen Verdunstung in semi-ariden und ariden Gebieten sind unterirdische Speichermöglichkeiten besonders effektiv. Sogenannte „Unterbodenstaudämme“, mit PVC Folie abgedichtete Gräben (bis 3 m tief), können für die Speicherung von Regenwasser im Untergrund genutzt werden.

Unterirische Zisternen und Kanäle zählen zu den traditionellen Verfahren zur Reduzierung der Verdunstung in ariden Gegenden.

Darüber hinaus wird nach geeigneten natürlichen Speichermöglichkeiten geforscht. Dafür sind Sedimente und Gesteine zu erkunden und technische Lösungen für das Einbringen des Wassers in den Untergrund zu entwickeln.

Tabelle 3.5: Vorteile des Rückhalts von Regenwasser mittels Rückhalte-/Speicherbecken

Vorteile und Nachteile
• geringer technischer Aufwand

• geringe Kosten • Wasserverfügbarkeit saisonabhängig • poca cantidad de agua • gran capacidad de almacenamiento exige gran esfuerzo

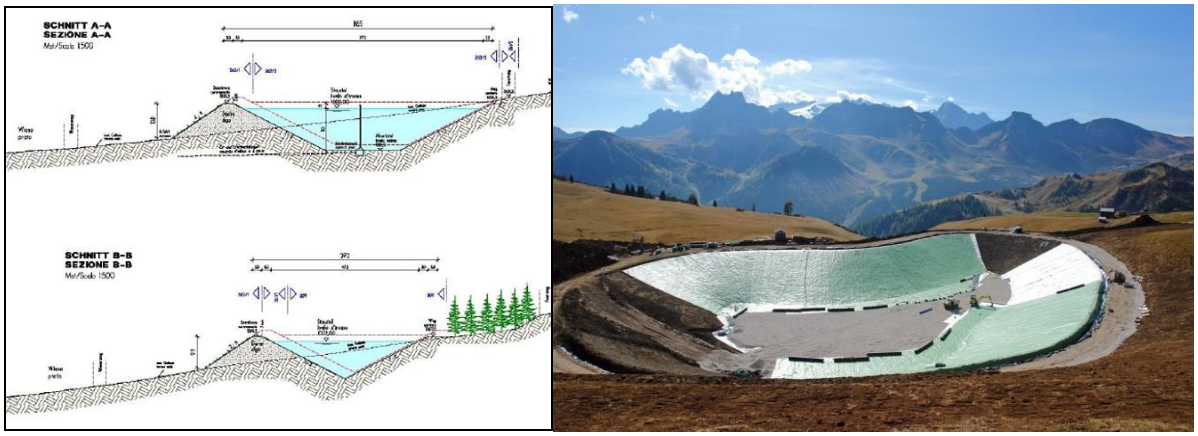


Abb. 3.6: prinzipielle Integration eines Rückhalte- und Speicherbeckens in die Landschaft (links) und die Ansicht eines Beckens während des Baus (rechts)

Die im urbanen Bereich bereits praktizierte Nutzung von geklärtem Abwasser sollte auf den dezentralen ländlichen Bereich ausgeweitet werden. In Tabelle 3.6 sind die wichtigsten Vor- und Nachteile der Nutzung von geklärtem Abwasser in der Landwirtschaft aufgezeigt.

Tabelle 3.6: Dezentrale Sammlung und Klärung von Abwasser mit einfacher Technik und lokale Wiederverwendung

Vorteile:	Nachteile:
• Geringer finanzieller Aufwand für Kläranlage, Sammlung des Abwassers und Verteilung des gereinigten Abwassers •Geringe technische Kompetenz zum Bau der Anlage •Geringe technische Kompetenz zum Betrieb der Anlage •Management kann unterhalb der staatlichen Ebene von bäuerlichen Genossenschaften, Hotelanlagen betrieben werden •Wassermangel kann gelindert werden •Zusätzlicher Düngeranfall, der nicht produziert/importiert werden muss •Bereitstellungskosten von zusätzlichem Wasser können reduziert werden •Verbesserung der hygienischen Situation	•Es entstehen Kosten zur Behandlung des Abwassers •Widerstand von Bauern gegen Wiederverwendung von Abwasser (aus kulturellen Gründen) •Widerstand von Bauern gegen Reinigung des Abwassers, weil ungeklärtes Abwasser nichts kostet und ggf. hohen Nährstoffgehalt hat •Weigerung der Konsumenten, mit Abwasser erzeugte Nahrungsmittel zu kaufen •Es entstehen neue Verwaltungsstrukturen im Wassersektor, die etablierte Institutionen, Rechte, Interessen beeinträchtigen

Es sind Vorhaben notwendig, um die Tragfähigkeit der Konzepte zu untersuchen und zu demonstrieren:

- Pilotanlage für die dezentrale Abwasserklärung mit einfacher Technologie
- Testfelder für das Bewässerungswasser und in Industriegebieten; Wiederverwertung des Abwassers im industriellen Prozess (z.B. Kühlung)
- Chemische Analyse des Bodens und der produzierten Pflanzen
- Umweltpädagogikforschung: Förderung des Bewusstseins im Umgang mit Wasser/Abwasser
- Sammlung und Klärung des Abwassers und Verwendung zur Bewässerung von Grünanlagen und Sportplätzen
- Akzeptanzforschung und -aufbau bei Bauern und bei Konsumenten

Die Abb. **3.7** zeigt ein Umfrageergebnis zur Akzeptanz des Einsatzes von geklärtem Abwasser in der Landwirtschaft. Daraus geht hervor, dass die Akzeptanz im Jahr 2011 im Vergleich zum Stand in den Jahren 2005 und 2009 deutlich größer war.

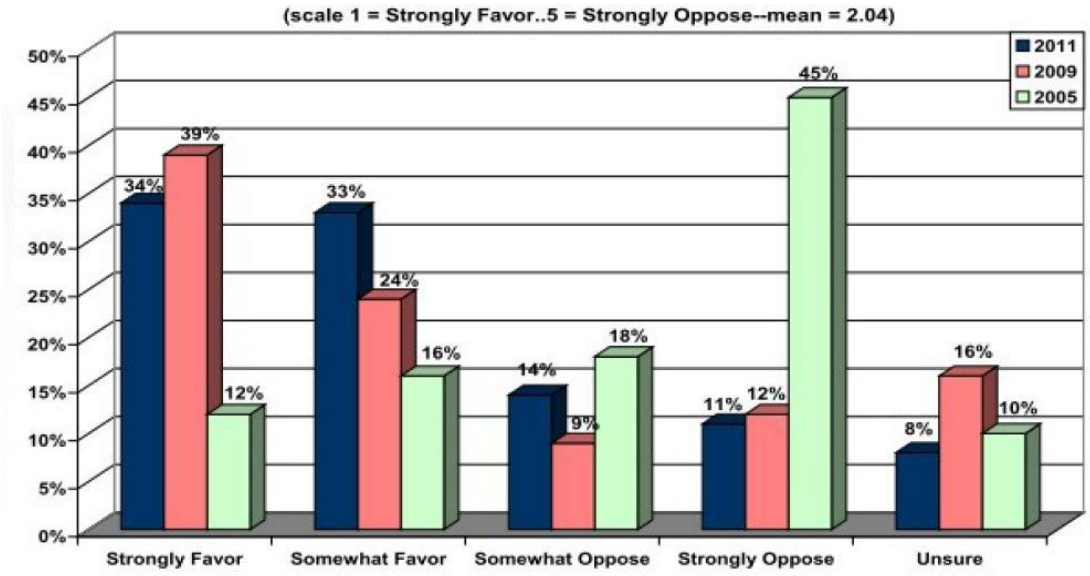


Abb. 3.7: Umfrageergebnisse bezüglich der Akzeptanz der Wiederverwertung von gereinigtem Abwasser 2005-2011 (http://www.sdcwa.org/sites/default/files/files/news-center/2011_SurveyReport.pdf)

Fazit

Die wasserwirtschaftlichen Maßnahmen haben im Wesentlichen den (dezentralen) Wasserrückhalt zum Ziel. Damit soll grundsätzlich:

- die Verweilzeit des Regenwassers im Einzugsgebiet erhöht werden und positive Folgen, wie die Verminderung des Oberflächenabflusses und der Bodenerosion
- die Erhöhung des Grundwasservolumens als Wasserspeicher für Trockenperioden sowie
- die Reduzierung von Hochwasserspitzen in den Flüssen und
- die Reduzierung der Flusserosion erreicht werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine belastbare Datengrundlage sowie die Überführung dieser Daten in ein Niederschlag-Abfluss-Modell zur Nachbildung der relevanten Prozesse erforderlich.

Auf dieser Grundlage können standortangepasste Konzepte und Lösungen entwickelt werden, um:

- Wasser zu bewirtschaften = ökonomische Lösung
- vorhandenes Wasser effektiver zu nutzen = technische Lösung
- Wasser wieder zu verwenden = ökologische Lösung.

Die Analyse des aktuellen und zukünftigen Wasserbedarfs (örtlich, zeitlich) aufgrund der erwarteten Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaft, ggf. Erschließung von neuen Wasserbezugsorten sollte dabei Berücksichtigung finden.

Wesentlich hierbei ist, dass die zuständigen Ministerien und Behörden sowie lokale Entscheidungsträger das Verantwortungsbewusstsein aller an diesem Prozess beteiligten Personen und Institutionen fördern. Darüber hinaus sind ganzheitliche Wasserressourcen-Bewirtschaftungspläne für die betroffenen Wassereinzugsgebiete und Regionen essentiell.

4. Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft

Mexiko hat nach dem Ricardo-Ansatz das Land in acht Regionen, entsprechend der territorialen und klimatischen Unterschiede sowie ihrer geografischen und wirtschaftlichen Bedingungen aufgeteilt, um die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Landwirtschaft abschätzen zu können (FAO y SAGARPA 2012). Zur Region 2 gehören die Bundesstaaten Chihuahua, Coahuila, Durango und Zacatecas.

Das Projekt: „Übertragung eines Entscheidungsunterstützungssystems zur Anpassung der Land- und Wasserwirtschaft an die Auswirkungen des Klimawandels“ ist dadurch geprägt, dass fundierte Kenntnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels im Bundesstaat Durango vorhanden sind, aber bisher nicht in nötige Anpassungsstrategien umgesetzt werden konnten.

Deshalb ging es prinzipiell gemeinsam mit dem mexikanischen Partner darum, zu klären, in welchem Maße die Kriterien Anpassung, Minderung und Vulnerabilität sowie deren Auswirkungen und Anpassungskapazitäten auch unter den gesetzlichen Verhältnissen des Bundeslandes Durango für Risikoabschätzungen in der Landwirtschaft genutzt und umgesetzt werden können.

Die direkte Abhängigkeit der natürlichen und landwirtschaftlichen Ökosysteme von standörtlichen Wetter- und Klimaverhältnissen, ihre besondere Bedeutung bei der Emission oder Mitigation von Treibhausgasen und deren Auswirkungen auf den Klimawandel, aber auch die damit verbundenen unmittelbaren Einflüsse auf die Gestaltung zukünftiger Praktiken wurden hypothetisch einbezogen in die Prozessanalysen für:

- die Landwirtschaft mit den Sektoren Pflanzenproduktion und Tierhaltung;
- die Forstwirtschaft einschließlich Aufforstung;
- das Fischereiwesen einschließlich der Bewirtschaftung von Lagunen und Stauseen.

Darauf fußend wurden für das Projekt speziell definiert die traditionellen Anbau- und Nutzungsstrategien, Probleme und mögliche Änderungen im landwirtschaftlichen Sektor der ausgewählten Regionen Guadalupe Victoria, Gomez Palacio und Durango.

Die mexikanische Literatur hat umfangreiche Berichte publiziert, welche ein reiches Wissen zur Anpassung der Flora und Fauna an den Klimawandel vermitteln und die Rolle dafür geeigneter natürlicher oder vom Menschen geschaffener Habitate charakterisieren. Dies trifft auch für den Bundesstaat Durango zu und ist im Gesetz „*Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente en materia de Ordenamiento Ecológico*“ und im *PROGRAMA ESTATAL DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DE DURANGO PEACC-DURANGO* (PEACC 2011) manifestiert worden.
Für das Projekt ergaben sich daraus Antagonismen und Fragestellungen bezüglich:

- Intensive und großräumige gegenüber konventioneller kleinbäuerlicher oder ökologisch ausgerichteter Landwirtschaft;
- Möglichkeiten zur Verringerung der Schadstoffbelastung und Überdüngung in der Landwirtschaft;
- Programme zur Vermeidung der sporadischen und nichtgesetzlichen Landschaftszersiedelung.

Szenarien für die Anpassung der Landwirtschaft in Durango und ihrer vielfältigen standortstypischen Nutzungssysteme an den Klimawandel sind bisher nur in allgemeinen theoretischen Beispielen erarbeitet worden. Die politischen Entscheidungsträger des Bundesstaates Durango und auch die praktischen Landwirte in der Pflanzen- und Tierproduktion sehen bisher noch keine grundlegende Notwendigkeit für die direkte Nutzung von standortsgerechten Anpassungsstrategien. Zudem sind Maßnahmen zur nachhaltigen Produktion in der Pflanzen- und Tierproduktion, in der Forstwirtschaft sowie im Fischereiwesen nur unzureichend bekannt und werden kaum beachtet.

Daraus entstand als Ziel für das Projekt und in Auswertung der stattgefundenen Aktivitäten gemeinsam Anpassungsstrategien zu erarbeiten, die Verknüpfungen zwischen den einzelnen Bereichen enthalten, nötige Teilschritte aufzeigen und mögliche Endziele formulieren.

4.1 Die Situation in Durango und nötige Anpassungsstrategien

Der Bundesstaat Durango ist im Nordwesten Mexikos zwischen 26°48’ und 22°19’ nördlicher Breite sowie 102°28’ und 107°11’ westlicher Länge gelegen, trägt mit 6,3 Prozent zur Gesamtfläche Mexikos bei und belegt ein Territorium von 123.334 km². Im Norden wird er von den Bundesstaaten Chihuahua und Coahuila de Zaragoza, im Osten von Coahuila de Zaragoza und Zacatecas; im Süden von Zacatecas, Nayarit und Sinaloa; und im Westen von Sinaloa und Chihuahua begrenzt (Abb. 4.1).

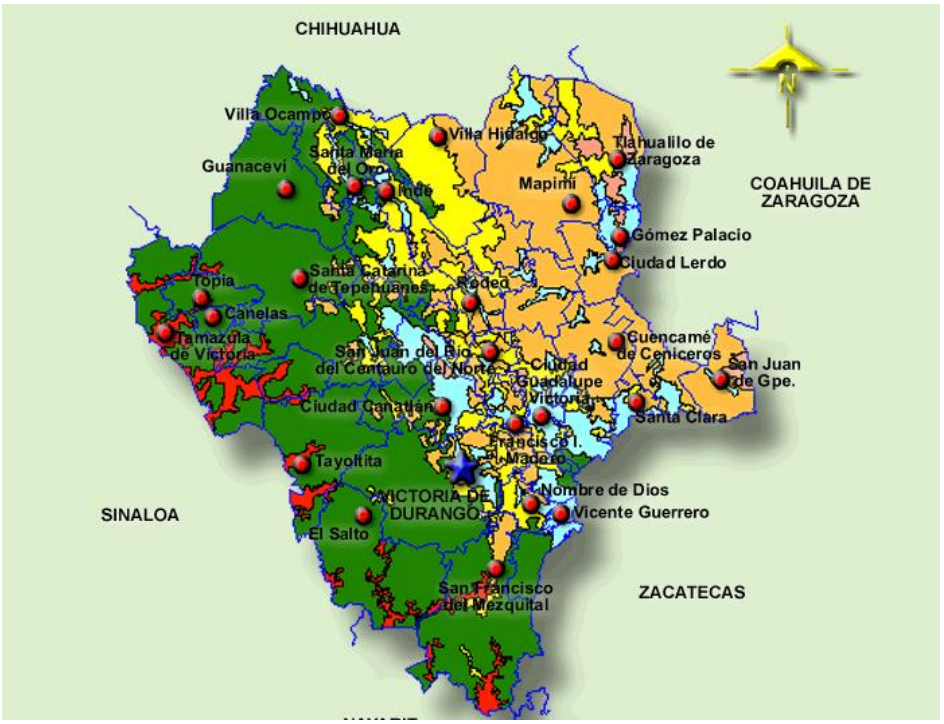


Abb. 4.1. Geographische Karte des Bundesstaates Durango.

Etwa 50 Prozent der insgesamt 1,5 Mio. Einwohner leben in ländlichen Gebieten. Die Land- und Forstwirtschaft sowie der Bergbau sind die wirtschaftlich wichtigsten Einkommensquellen.

Der Bundesstaat Durango ist sehr reich an verschiedensten ökologischen Zonen, die aufgrund der enormen Unterschiede in der Höhenlage (200 m über NN an der Grenze zu Sinaloa und Nayarit bis zu 3200 m über NN in der Sierra Madre Occidental) klimatisch vom tropischen Regenwald bis hin zu subtropisch ariden Wüstenregionen reicht. Von den insgesamt zehn vorhandenen Vegetationszonen Mexikos sind in Durango neun präsent. Im „Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Durango“ werden insgesamt 37 verschiedene Typen von „Unidades de gestión ambiental“ (UGA) klassifiziert (UGA 2012). Die Flora von Durango zählt 4450 Arten in 1123 Gattungen und 183 Familien. Etwa 1100 endemische Arten werden von der einheimischen Bevölkerung genutzt und rund 100 Arten davon sind ökonomisch bedeutsam (González Elizondo *et al.* 1990). Auch die terrestrische Fauna wird mit 652 verschiedenen Arten als sehr reich eingeschätzt (Servín *et al.* 1997).

Im Bundesstaat Durango wurden im Jahr 2009 insgesamt 708.728 ha landwirtschaftlich genutzt. Das sind lediglich 6,4 Prozent der Gesamtfläche des Bundesstaates. Der pflanzenbauliche Sektor in Durango ist landesweit anerkannt und geprägt durch eine konventionelle Landwirtschaft in kleinen bis hin zu sehr großen Betrieben. Im mexikanischen Ranking stehen jeweils an zweiter Stelle Phaseolus-Bohnen (13,4 % der Landesproduktion Mexikos), Silomais (16,4 %) und Futterhafer als Ganzpflanze (18,6 %) sowie an 3. Stelle Futter-Sorghum als Ganzpflanze (13,3 %) und Äpfel (8,2 % der Landesproduktion Mexikos). Klein- und mittelbäuerliche Betriebe verfügen meist nur über geringe eigene Flächen und pachten zusätzlich Land für ein bis drei Jahre hinzu.

Bei den landwirtschaftlich genutzten Böden dominieren Litosole mit 30.03 %, Regosole (24.73%) und Feozems (11.72%). Weniger anzutreffen sind Xerosole, Cambisole, Rendzina, Yermosole, Castañozem y Vertisols (INEGI, 1998).

Der Rinderbestand wird auf 1,5 Mio. Stück geschätzt, die 959,7 Mio. Liter Milch produzierten. Die Milchproduktion von Ziegen lag bei 36,8 Mio. Litern. Im Jahr 2009 wurden insgesamt 455.562 Rinder, 77.783 Schweine und 137,4 Mio. Hühner geschlachtet sowie 79,6 t Eier und 895 t Honig produziert. Die Schlachthöfe sind besonders in Gómez Palacio und San Dimas angesiedelt.

Die Rinderhaltung kann insgesamt als extensiv eingestuft werden. Etwa 85 % der Rinderhalter betreiben eine nomadenähnliche Beweidung. In den „Asociaciones de Ganaderos“ sind rund 55.000 Personen organisiert, die in gut organisierter semiintensiver bis intensiver Weidewirtschaft genetisch verbesserte Fleischrinder halten, vor allem Lebendrinder (ca. 120000 Stück) in die USA exportieren und damit wirtschaftlich bedeutsam sind. Die Milchproduktion wird in Durango besonders im Gebiet Laguna praktiziert und erreicht den 2. Platz in ganz Mexiko. Sie basiert auf etwa 285.000 Milchkühen, die in großen Herden in Offenställen mit meist zugekauftem Rauh- und Kraftfutter ernährt werden.

Die Forstwirtschaft des Bundesstaates Durango deckt mit etwa 5,6 Mio. m^3 rund 22,5 % der gesamten Holzproduktion Mexikos ab. Die Holzproduktion von Kiefern (1.466,085 Festmeter) und Eichen (25.8703 Festmeter) steht jeweils an erster Stelle in Gesamtmexiko. Jährlich werden rund 140.000 ha Holzfläche eingeschlagen, ohne dass eine strikte Kontrolle der Wiederaufforstung erfolgt.

Für den Bundesstaat Durango erwachsen aus diesen produktiven Strukturen und aktuellen Anbau- und Nutzungsgewohnheiten sehr spezifische Anpassungsstrategien, die theoretisch bereits in umfangreichen Grundsatzpapieren festgelegt wurden (FAO y SAGARPA 2012; UGA 2012; PEACC 2011).

Dafür haben die politischen Autoritäten im Bundesstaat Durango relevante Aufgaben formulieren lassen, die an Institutionen wie SEDECO, SAGARPA, SEMARNAT, INIFAP sowie Universitäten weiter gegeben wurden. Bisher entstand daraus jedoch kein entscheidungsfähiges Arbeitsnetz, welches in der Lage wäre, Voraussetzungen für eine effiziente Anpassung und langfristige Planung im produktiven, landwirtschaftlichen Sektor schaffen zu können.

Eine zielführende Begleitung von Anpassungsstrategien zu wesentlichen Komponenten wie den lokalen Wärmehaushalt (Verdunstungskühlung), Wasserhaushalt (Pufferfunktionen) und evolutive Potentiale in der Agrodiversität sind deshalb bisher nicht möglich gewesen.

Zukünftig müssten besonders nachfolgende Problemkreise in eine praxisrelevante Zielführung für mögliche und nötige Anpassungsstrategien bearbeitet und vorbereitet werden:

- Festlegung klarer Aufgabenstellungen für die Ministerien und Institutionen in Durango in effizienter Zusammenarbeit mit den jeweiligen Partnern in Mexiko, um einen bundesstaatlich abgestimmten Gesamtplan für die Raumentwicklung im Klimawandel, ein weites Netz von unterschiedlichen Ministerien (Secretarías) mit klar abgegrenzten Einflussbereichen und Befugnissen sowie die Kompetenzen zwischen den bundesstaatlichen und mexikanischen Fachinstitutionen (CONAGUA und CAED; INIFAP; SAGARPA und SAGADER; SEMARNAT und SRNMA) erreichen zu können.
- Anerkennung der fachlichen Kompetenzen von im Bundesstaat Durango ansässigen Universitäten, Produktionsvereinigungen und NRO.
- Einbindung des Privatsektors der Landwirtschaft, landwirtschaftlicher Serviceeinrichtungen, Verarbeitung, Direktvermarktung in die Analysen zu den Vulnerabilitätsszenarien ihrer Region und die bewusste Anerkennung von Anpassungsstrategien.
- Klärung der Eingliederung unterschiedlicher Eigentumsverhältnisse (Privatland, Ejido-Ländereien, verpachtetes Land, staatliche Ländereien) für eine einheitliche Strategie in der Gestaltung von regionalen Landnutzungsplänen.
- Erarbeitung mittel- und langfristiger Anpassungsstrategien, die von allen Beteiligten akzeptiert und kontrolliert umgesetzt werden. Damit könnten bisher übliche sporadische und oft sehr egoistische Praktiken zurückgedrängt und langfristige Prinzipien und Kriterien einer nachhaltigen Bewirtschaftung für alle Zweige der Landwirtschaft eingeführt werden.

4.2 Hauptkulturen in der Landwirtschaft Durangos, ihre Anbaukonzepte und Praktiken

Die Pflanzenproduktion in Durango ist geprägt durch eine konventionelle Landwirtschaft. Wichtigste Kulturen sind Phaseolus-Bohnen, Körner- und Silomais, Futterhafer als Ganzpflanze und Sorghum. Bedeutsam als ausdauernde Kulturen sind insbesondere Luzerne und Äpfel (Tab. 4.1). Zwei Anbauzyklen charakterisieren die stark witterungsabhängigen Anbausysteme in der Pflanzenproduktion.

Tabelle 4.1. Anbaudaten wichtiger Kulturen im Bundesstaat Durango (nach SAGARPA 2011)

Anbauperiode / Kulturen	Anbaufläche geerntet (ha)	Produktions-volumen (t)	Ertrag (t / ha)	Municipio lider
Anbauzyklus Herbst – Winter = Bewässerungsfeldbau				
Futterhafer Ganzpflanze	16206	388851	24,0	Gómez Palacio
Triticale Ganzpflanze	757	18560	24,5	Nazas
Weizen Ganzpflanze	197	5436	27,6	Tlahualilo
Weidelgras grün	248	9633	37,3	Panuco de Coronado
Weide beregnet	1235	39079	31,6	Durango
Körner Weizen	6092	20805	3,4	Poanas
Anbauzyklus Frühjahr – Sommer = Regenfeldbau				
Futterhafer Ganzpflanze	109252	1579816	14,46	Nuevo Ideal
Silomais	46604	1513195	32,46	Gómez Palacio
Sorghum Ganzpflanze	21516	675250	31,38	Gómez Palacio
Körnermais	168072	333907	1,99	Durango
Phaseolus Bohnen trocken	205683	138801	0,67	Guadalupe Victoria
Melonen	1836	51400	27,99	Mapimí
Dauerkulturen				
Luzerne	25810	1943757	75,31	Gómez Palacio
Weide (verbessert)	12138	227188	18,72	Durango
Äpfel	10397	46238	4,45	Canatlán
Nopal-Kaktus	102	4485	43,97	Vicente Guerrero
Walnüsse	3946	6082	1,54	Nazas
Avocado	984	3409	3,46	Tamazula

Der Anbauzyklus Herbst – Winter bezieht den Bewässerungsfeldbau ein und der Anbauzyklus Frühjahr – Sommer stellt den traditionellen Regenfeldbau (*temporal*) dar. Insgesamt stehen rund 150.000 ha unter Bewässerung. Die wichtigsten *cultivos temporales* sind Phaseolus-Bohnen, Körnermais und Hafer als Ganzpflanze (Tab. 4.1). Wichtig für die Rinderhaltung ist des Weiteren der Luzerneanbau. Der Anbau von Äpfeln und Walnüssen ist auch für den gesamten mexikanischen Markt bedeutsam. Neben den derzeitig wirtschaftlich dominierenden Kulturen werden grünen Chillies (*Capsicum* spp.), Wassermelonen und Zwiebeln sowie Zitronen und Guaven (*Psidium guajava*) Entwicklungspotential eingeräumt.

Als weitere Alternative soll verstärkt der Anbau von Tomaten, Paprika, Chillies oder Opuntien unter Gewächshausbedingungen genutzt werden.

Die Wetterabläufe in den ausgewählten Projektregionen Durangos, charakterisiert durch stark schwankende jährliche Abläufe der Trocken- und Regenzeit verbunden mit Risiken von niedrigen Temperaturen bis hin zu Nachtfrösten sowohl in den Monaten April / Mai und Ende September /Oktober, haben in den vergangenen zwei Jahrzehnten die ohnehin erschwerten Anbaubedingungen für den Regenfeldbau (temporales) und Bewässerungsfeldbau verschärft. Verstärkt traten in den letzten beiden Dekaden klimatische Extreme wie stark ausgedehnte Trockenperioden, Überschwemmungen, Nachtfröste und Hagel auf, die Ertragsausfälle in den betroffenen Regionen verursachten.

Die Rinderwirtschaft (Milch- und Fleischproduktion) in der Region Gomez Palacio (Laguna) verlangt jedoch unter allen Witterungsbedingungen eine zuverlässige Sicherstellung der Grund- und Kraftfutterversorgung. Aufgrund der sehr hohen Rinderbestände ist es zunehmend problematisch, diese Anforderungen zu erfüllen. Lange Transportwege für Maissilagen und Haferganzpflanzenheu wirken negativ auf die CO_2-Bilanzen. Der Beregnungsfeldbau für Futterkulturen wurde ausgedehnt, was nicht nur zusätzliche Brunnen, sondern auch tiefere Brunnen (50 bis 150 m tief in Guadalupe Victoria) erforderlich machte. Der hohe Wasserbedarf für die Rinderwirtschaft in Gomez Palacio bewirkte Tiefbohrungen (350 bis zu 500 m) für die Brunnen, um die Eigenversorgung der Rinderbetriebe absichern zu können.

Prinzipien der Raumordnung in Verbindung mit den Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Wasserhaushalt und Landnutzung müssen deshalb für Anpassungsstrategien vorbereitet und stärker als bisher genutzt werden. Dafür ist eine Anpassung der Ausweisungskriterien von Vorranggebieten und Vorbehaltsgebieten für die Landwirtschaft nötig (MORO 2011; Schmidt et al. 2010). Dies könnte wesentlich dazu beitragen, Unsicherheiten in der Abschätzung von Klimaszenarien zu verringern und Vulnerabilitätseinschätzungen in den Projektgebieten zu konkretisieren.

Wesentlich ist es in diesem Zusammenhang zu überdenken, wie die Kosten, die mit Anpassungsmaßnahmen für die Landwirte verbunden sind, in diese Planungen einbezogen und auch tatsächlich ausgeglichen werden können (SLE 2013).

4.2.1 Bohnen (*Phaseolus vulgaris*)

Durango belegt die zweite Stelle in der Produktion von Phaseolus-Bohnen in Mexiko, mit einem Anteil von 13,4% und ist die Hauptkultur der Region mit etwa 250.000 ha im Regenfeldbau und einem Ertrag von bis zu 650 kg /ha. Der Anstieg in der Nachfrage nach höherwertigen Produkten erfordert die Produktion von Qualitätsspeisebohnen, die auch wettbewerbsfähig mit anderen weltweiten Anbauregionen sind. Negativ beeinflusst ist der Anbau besonders durch geringe und unregelmäßige Niederschlägen, kurzen Frostperioden nach der Aussaat oder während der Reife, eine unzureichende Anbaugestaltung sowie die Verwendung eigenen, schlechten Saatgutes (SAGARPA 2011).

Die Prinzipien der Guten Anbaupraxis (BPA) sind dem Großteil der Bauern fremd. Produktionsvereinigungen wie die AGRONEGOCIOS DEL NORTE und wissenschaftliche Institutionen wie INIFAP sind seit Jahren bemüht, gewonnene Ergebnisse und Erfahrungen praxisrelevant den Bauern vorzustellen. Besonders wertvoll in der bilateralen Zusammenarbeit stellte sich heraus, dass speziell für Durango erarbeitete Anbauanleitungen mit international eingeführten Anbaurichtlinien der Guten Anbaupraxis (BPA) komplettiert und vervollständigt werden konnten (AGRONEGOCIOS DEL NORTE 2013; Pohlan und Salazar, 2011).

Zukünftig geht es besonders darum, die von INIFAP (2006) genannten ertrags- und produktionshemmenden Faktoren (s. Kasten) zu beachten und eine standortsgerechte Anbaupraxis zu realisieren. Dies gilt nicht nur für Phaseolus-Bohnen, sondern für alle Kulturen (Mais, Hafer, Sorghum) in der Periode des traditionellen Regenfeldbaus (*temporal*).

Wesentliche Ertrags- und produktionshemmende Faktoren in Kulturen des traditionellen Regenfeldbaus in Durango

1. Schlechte Niederschlagsverteilung und stark schwankende Tagesniederschläge;
2. Zwischentrockenzeiten mit teilweise totaler Vernichtung der Bestände;
3. Flachgründige, humusarme Böden mit geringer Wasserspeicherfähigkeit;
4. Hohe Bodenerosion durch Wind und Oberflächenabfluß;
5. Auftreten von Nachtfrösten, die keine Vegetationsperiode von mehr als 100 Tagen erlauben;
6. Nicht standortsangepaßte Praktiken der Bodenbearbeitung;
7. Auftreten von Unkräuter, Schädlingen und Krankheiten;
8. Zu geringe Bestandsdichten durch weite Reihenabstände;
9. Anbautechnologien mit unkontrolliertem Einsatz von Agrochemikalien und Eigennachbau von Saatgut;
10. Hohe Kosten für Inputs und geringe Erlöse für die Ernte.

Die „Guía técnica sobre los cultivos de temporal“ empfiehlt nicht wie früher ein technologisches Anbaupaket, sondern die bewusste Gestaltung standortsangepasster Methoden und Maßnahmen unter Guter Anbaupraxis. Damit ist die alleinige Ausrichtung auf eine intensive Bodenbearbeitung (Untergrundbodenlockerung, Pflugfurche, Scheibenegge zur Saatbettbereitung) und die ausschließliche Aussaat von zertifiziertem Saatgut korrigiert. Für die fruchtbaren Standorte kommen Sorten wie Pinto Villa, Flor de mayo M 38, Flor de mayo 2000, Negro Sahuatoba, Negro Vizcaya,

Azufrado und Rio Grande in Frage. Auf den wenig fruchtbaren Böden sollten Pinto Villa, Pinto Bayacora, Negro altiplano, Bayo madero und Flor de Mayo Sol ausgesät werden. Besonders favorisiert ist heute die Sorte Pinto Saltillo, die sich hervorragend an die Standortsverhältnisse in Durango angepasst hat. Als Aussaatparameter sind 6 bis 8 cm Tiefe, 76 cm Reihenabstand und 10 bis 12 cm Abstand in der Reihe üblich. Um die Regenfälle besser nutzen und speichern zu können empfiehlt sich ein Furcheneinstau (pileteo) nach der ersten und zweiten Hacke. Zur Aussaat sollen etwa 30 kg N/ha und 50 kg P/ha auf den guten und 25 kg N/ha und 35 kg P/ha auf den weniger fruchtbaren Flächen verabreicht werden. Zum Pflanzenschutz existieren wenige spezielle Erfahrungen und die Ernte wird traditionell mit der Hand sowie dem Standdrusch am Traktor durchgeführt. Mähdrusch ist bisher nur bei wenigen Bauern üblich (s. Bildbeispiele).

Die Gute Anbaupraxis ist noch nicht praxisüblich. Besonders problematisch sind im Bohnenanbau:

- die fehlende mittel- bis langfristige schlagbezogene Anbaugestaltung und Erfassung aller betriebswirtschaftlichen Daten;
- der hohe Anteil an ackerbaulich genutzten Flächen mit sehr kurzen Pachtverträgen (ein bis drei Jahre);
- die traditionelle Fruchtfolge Bohnen – offene Brache – Bohnen, die mit einem völligen Abräumen der Erntereste (Bohnenstroh) und einer unkontrollierbaren Beweidung während der Brache durch nomadisierende Schaf-, Rinder- und Pferdeherden verbunden ist;
- die intensive Bodenbearbeitung (3 bis 6 Arbeitsgänge mit Untergrundbodenlockerung, Pflugfurche, Scheibenegge), welche stark fördernd für Wind- und Wassererosion und verlustreich in der Humusbilanz wirkt;
- der eigene Nachbau von traditionellen, genetisch minderwertigen Sorten;
- die desolate Situation in der Aussaattechnik (kaum Einsatz von Präzisionsdrillmaschinen), lange Aussaatperiode, ungenaue Aussaattiefe und zu weite Reihenabstände;
- die empirische oder völlig fehlende Düngung und die fehlenden Kenntnisse zum Nährstoffgehalt der Böden und der Phänologie;
- die verlustreiche Gestaltung der Ernte.

Mit der „Guía técnica sobre los cultivos de temporal“ existiert ein ausführlicher Leitfaden, der verständlich, ausführlich und variantenreich die Prinzipien einer Guten Anbaupraxis beschreibt. Durch ein gut geschultes Team von Anbauberatern, die jeweils 300 bis 500 ha und die darauf wirtschaftenden Bauern anleiten, sollen schnelle Fortschritte in einer standortsgerechten Landwirtschaft erreicht werden. Darin eingegliedert sind Anbau- und Nutzungskonzepte, welche sich besonders auf eine konservierende Bodenbearbeitung, eine Erhöhung der organischen Substanz im Boden und wasserschonende Anbaumethoden ausrichten. Damit könnten direkte Effekte für Anpassungsstrategien im Klimawandel erreicht werden.

Aufgrund stark differierender Angaben bei den Produzenten und lückenhafter betriebswirtschaftlicher Erhebungen lässt sich nur ansatzweise eine Kosten-Nutzen-Analyse vornehmen (Tabelle 4.2).

Das stark schwankende Ertragsniveau (300 bis 1000 kg/ha) und die weiterhin manipulierten Aufkaufpreise lassen derzeitig einen gewinnbringenden Anbau nur zu, wenn die Erträge auf mehr als 600 kg/ha gesteigert werden. Die Perspektiven für einen nachhaltigen Bohnenanbau sind durch

konsequente Umsetzung der Guten Anbaupraxis (BPA) als positiv zu werten. Dafür müssten die genannten Anbauprobleme durch eine zielführende Schulung und Beratung der Anbauberater und der Bauern gemeinsam standortsangepasst gelöst werden. Des Weiteren gilt es über den Vertragsanbau zu stabileren Aufkaufpreisen zu kommen.

Tabelle 4.2: Kosten-Nutzen-Analyse für den Bohnenanbau in Mexikanischen Pesos (Erhebungen für 2012 und 2013)

Rubrik	Bohnenanbau ohne Bewässerung	Bohnenanbau mit Beregnung (Saatgutproduktion)
Ertrag (kg/ha)	700	2.400
Kosten (Pesos Mex je ha)	5.300	13.130
Aufkaufpreis	9,00 MexPesos/kg	30,00 MexPesos/kg
Verkaufserlös (Pesos Mex je ha)	6.300	72.000
Bruttoeinnahme (Pesos Mex je ha)	1.000	58.870

Sehr lückiger Aufgang in Phaseolus-Bohnen (Pohlan).

Beckensystem in Bohnen zur Regenzeit (Pohlan).

Anhäufeln mit Beckenbildung in Bohnen (Medina Cardoza).

Beregnung in Phaseolus-Bohnen (Pohlan).

Demonstrationsversuch unterschiedlicher Phaseolus -Sorten (Cuéllar Robles).

Mechanische Ernte in Phaseolus-Bohnen (Medina Cardoza).

4.2.2 Mais (*Zea mays*)

In Durango (ohne die Region Laguna) wird Mais auf 50.000 ha im Bewässerungsfeldbau und 150.000 ha im Regenfeldbau angebaut. Die Erträge variieren zwischen 3,5 und 12,0 t/ha bei Bewässerung und zwischen 1,15 und 1,8 t/ha ohne Bewässerung. Die wichtigsten ertrags- und produktionshemmende Faktoren sind im Beispiel für den traditionellen Regenfeldbau (*temporal*) dargestellt.

Für den Maisanbau im Regenfeldbau empfiehlt das technologische Anbaupaket von INIFAP eine intensive Bodenbearbeitung und die Aussaat von zertifiziertem und Hybridsaatgut mit Bestandsdichten von 35.000 Pflanzen/ha. Besonders geeignet sind die Sorten H 220, VS 201, VS 204, VS 211 und Cafime. Letzter Aussaattermin sollte der 15. Juli sein. Die Düngung wird zur Aussaat mit 30 kg N/ha und 30 kg P/ha verabreicht. Um die Regenfälle besser nutzen und speichern zu können empfiehlt sich ein Furcheneinstau (pileteo) nach der ersten und zweiten Hacke. Der Maiszünsler und Maisstängelbohrer sind die wichtigsten Schaderreger. Die Unkrautbekämpfung wird recht ineffizient mit Atrazin im VA und 2,4-D im NA sowie per Hacke realisiert. Die Ernte wird traditionell mit der Hand sowie dem Standdrusch oder selten per Mähdrusch durchgeführt, wenn weniger als 20 % Feuchtigkeit in den Körnern vorhanden ist.

Anhand des Maisanbaus lassen sich prägnant die Differenzen in der bisherigen Anbaupraxis darstellen. Der Körnermaisanbau während der Regenzeit (temporal) ist nur gewinnbringend, wenn Erträge von mehr als 2.000 kg/ha erreicht werden (Tab. 4.3). Mit den traditionellen Anbaumethoden, gepaart mit der Aussaat von Landsorten ist dieses Ziel aber kaum erreichbar. Hiermit lässt sich auch der geringe Stellenwert des Körnermaisanbaus als mögliches Kompartiment für eine reichere Fruchtfolge auf den Standorten mit Bohnenanbau erklären.

Tabelle 4.3: Kosten-Nutzen-Analyse für den Maisanbau in Mexikanischen Pesos (Beispiele für 2012 und 2013)

Rubrik	Körnermaisanbau ohne Bewässerung	Körnermaisanbau mit Beregnung	Silomaisanbau mit Furchenbewässerung
Ertrag (kg/ha)	1.500	10.000	50.000
Kosten (Pesos Mex je ha)	6200	14.569	11.270
Aufkaufpreis	3,75 MexPesos/kg*	3,75 MexPesos/kg°	0,50 MexPesos/kg°
Verkaufserlös (Pesos Mex je ha)	5.625	37.000	25.000
Bruttoeinnahme (Pesos Mex je ha)	Minus 575	22.931	13.730

*Variedades locales = Landsorten; °Variedades Hibridas = Hybride

Wesentlich anders ist die Situation im Maisanbau mit Bewässerung. Als Praktiken werden die Beregnung (8 Gaben von 15 bis 30 mm / ha) oder die Furcheneinstaubewässerung (4 Gaben von 20 bis 30 mm / ha) durchgeführt. Das Bewässerungswasser muss nicht bezahlt werden, so dass nur die energetischen Aufwendungen für das Pumpen als Kosten auftreten. Insgesamt ist dieses Anbaupaket sowohl beim Körnermais als auch beim Silomais durch intensive Anbaupraktiken einschließlich der Monokultur charakterisiert. Darin eingegliedert sind Hybridsorten, die Anwendung moderner Anbautechnologien und die Beachtung der phänologischen Etappen des Maises für die Unkrautbekämpfung, die Düngung, den Pflanzenschutz und die Ernte (s. Bildbeispiele).

Der ökonomische Vorteil dieser Anbauvarianten beruht nicht nur auf den weitaus höheren Erträgen, sondern ist auch einer langfristig negativen Wasserbilanz und Bodenfruchtbarkeit geschuldet. Für den Silomaisanbau existieren Verhältnisse des Vertragsanbaus, die auf Masse ausgelegt sind und somit einen hohen Wassereinsatz favorisieren.

Furcheneinstaubewässerung zur Aussaat in Mais (Pohlan).

Frostschäden in Mais (Pohlan).

Furcheneinstaubewässerung in Mais 6-Blattstadium (Pohlan).

Anhäufeln von Mais (Pohlan).

Beckensystem im Mais zur Regenzeit (Medina Cardoza).

Furcheneinstaubewässerung in Mais mit geklärten Abwässern (Pohlan).

4.2.3 Hafer (*Avena sativa*)

Der Hafer wurde nach Mexiko in den späten zwanziger Jahren von einer Gruppe von Mennoniten eingeführt. Sein Anbau ist in die beiden Körnerhafer und Futterhafer als Ganzpflanze unterteilt. Hafer ist sehr anpassungsfähig an unterschiedliche Boden- und Klimaverhältnisse und kann deshalb in Mexiko in sehr verschiedenen Bundesstaaten und Regionen kultiviert werden. Das Gras wird vor allem als Tierfutter und für den menschlichen Verzehr verwendet Hafer. Körnerhafer wird in Durango vor allem in der Regenzeit (temporal) angebaut und seine Erträge schwanken zwischen 2000 und 3500 kg pro Hektar. Aufgrund des für Getreide sehr hohem Proteingehaltes und einem ausgezeichneten Anteil an Aminosäuren ist Hafer ernährungstechnisch für Mensch und Tier sehr interessant. Zu den wichtigsten Bundesstaaten mit Haferanbau zählen Mexiko, Coahuila, Chihuahua, Durango und Zacatecas (Anonym 1995 Financiera Rural 2010).

Der Futterhaferanbau belegt in Mexiko in der Produktion von mehr als zwanzig Futterpflanzen die dritte Stelle und ist mit etwa 9,8% an der gesamten Raufutterproduktion beteiligt. Die ersten Plätze werden von Futtergras (41,9%) und Luzerne (27,2%) eingenommen.

In Durango dominiert Futterhaferanbau in der Anbauperiode des Regenfeldbaus mit 109 252 ha und i in der Herbst-Winter-Periode werden mit Bewässerung gesät insgesamt 16.206 ha ausgesät (Tabelle 1)). Entsprechend seiner Nutzung als Futter wird unterschieden zwischen Grünhafer (zum Rispenschieben) sowie Ganzpflanze in der Phase der Milchreife zur Trocknung oder Silierung. Heute wird meist getrockneter und in Ballen gepresster Ganzpflanzenhafer in der Tierproduktion verwendet. Die Erträge sind sehr unterschiedlich und reichen von 7.000 bis 14.000 kg pro Hektar Ganzpflanzenhafer.

Der Hafer steht in der Regel in Fruchtfolge mit Mais und anderen Futterpflanzen und gilt als „krankheitsreinigend“ für den Feldgras- und Leguminosenanbau. Die Anbaupraktiken unterliegen meist traditionellen, extensiven Methoden. Der züchterische Fortschritt und Abläufe für die Gestaltung der guten Anbaupraxis spielten in der Forschung wie auch bei Triticalen kaum eine Rolle.

Aufgrund der begrenzten Informationen von Landwirten zum Kosten-Nutzen Verhältnis kann nur geschätzt werden wie die Gewinnspanne ausfällt. Im Vergleich zu anderen Kulturen schneidet der Hafer chancenreich für die Rentabilität ab(Tabelle 4).

Tabelle 4.4: Kosten-Nutzen-Analyse für den Maisanbau in Mexikanischen Pesos (Beispiele für 2012 und 2013)

Rubrik	Körnerhafer mit Bewässerung	Ganzpflanzenhafer mit Bewässerung
Ertrag (kg/ha)	3.000	10.500
Kosten (Pesos Mex je ha)	8.350	9.500
Aufkaufpreis	8 MexPesos/kg	45,00 MexPesos/Ballen a 20 kg
Verkaufserlös (Pesos Mex je ha)	24.000	23.625
Bruttoeinnahme (Pesos Mex je ha)	15.650	14.125

Folgende Vorteile und Hürden bestehen für den Haferanbau in Durango:

- ✓ In der Fruchtfolge kann Hafer als biologisch aktiv und somit gute Vorfrucht genutzt werden. Der Anbau von Körnerhafer mit Beregnung vor Mais ist bei hohem Kornausfall problematisch in der Bestandsführung des Maises.
- ✓ Sortenmischungen sind besonders im extensiven Anbau mit eigenem Saatgutnachbau vielfach anzutreffen. Für hohe und stabile Erträge sollte zertifiziertes sortenreines Saatgut verwendet werden.
- ✓ Hafer benötigt ausreichend Feuchtigkeit (900 l/kg TM) und muss als Kultur mit geringerer Wassereffizienz eingeschätzt werden.
- ✓ Hafer ist ohne Anwendung von Halmstabilisatoren anfällig für Lager und somit anfällig für Ernteverluste.
- ✓ Aufgrund der meist auftretenden Verknappung von Raufutter in den Wintermonaten ist der Haferanbau als Ganzpflanze ökonomisch besonders attraktiv, wenn ausgedehnte Trockenperioden auftreten. Negativ in die Klimabilanz sind dann die oft sehr langen Transportwege.

4.3 Ergebnisse und Erfahrungen sowie Auswirkungen des Klimawandels für die Landwirtschaft im Bundesstaat Durango

Gemeinsam mit dem mexikanischen Partner konnten Schritt für Schritt ganzheitliche, nachhaltige Strategien für eine an die Folgen des Klimawandels angepasste zukünftige Landnutzung beraten, nötige Datenerhebungen vorbereitet sowie die Prinzipien und Grundlagen der Guten Anbaupraxis vorgestellt, diskutiert und standortsangepasst vervollständigt werden.

In diesem Prozess wurde schnell deutlich, dass trotz der bestehenden Unsicherheiten bei der Klimaentwicklung, vor allem bei den Niederschlägen, eine Reihe von Maßnahmen ergriffen werden können, die sich generell positiv auf den Wasserkreislauf, das Wasserspeichervermögen der Böden und die Bodenfruchtbarkeit auswirken werden. Andererseits kam immer wieder zum Ausdruck, dass die Wirksamkeit theoretisch erarbeiteter Maßnahmen und deren möglicher negativer Nebenwirkungen besonders den produktiven Sektor verunsichern, da bisher ungeklärt ist, wie die landwirtschaftlichen Betriebe die Kosten und Risiken für Umstellungen und Anpassungsstrategien tragen sollen. Bedeutsam im Findungsprozess waren zudem die Klärung von speziellen Thematiken wie (i) Minderung (Mitigation), (ii) Vulnerabilität und Anpassungskapazität, (iii) Resilienz und (iv) Gute Anbaupraktiken (BPA).

4.3.1 Minderung (Mitigation)

Die neue Struktur der Landwirtschaft hat zwar weiterhin primär die Aufgabe, Lebensmittel in ausreichender Menge und Qualität bereit zu stellen sowie Futtermittel und Rohstoffe zu produzieren, basiert aber verstärkt auch auf Maßnahmen zum Umweltschutz und der Produktion nachwachsender Rohstoffe und wird zunehmend als wichtige Funktion von Anpassungsstrategien im Klimawandel wahrgenommen (Abb. 4.2).

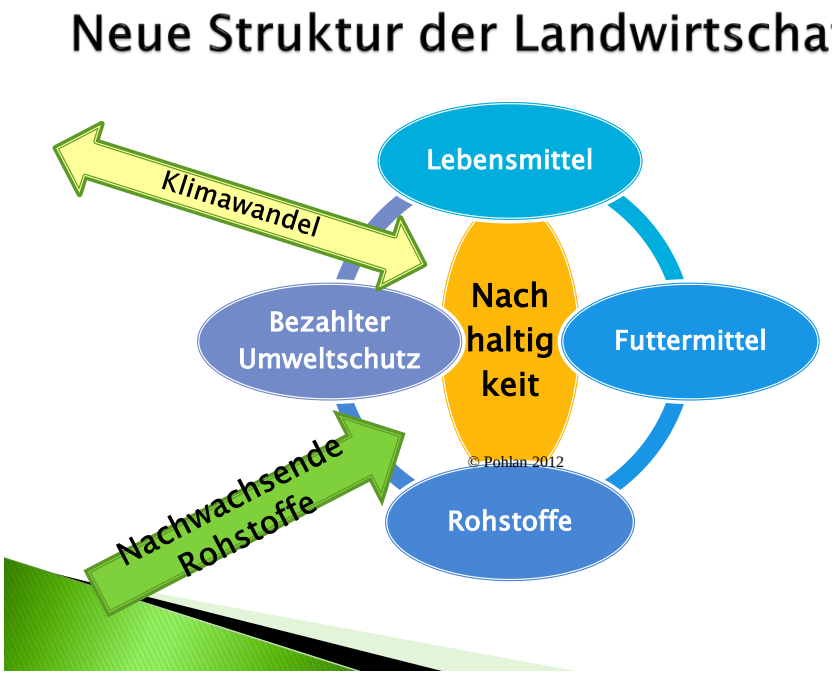


Abb. 4.2. Neue Struktur der Landwirtschaft.

International ist man sich darüber einig, dass alle Positionen mit den geringsten Emissionen nachhaltig zu erzeugen sind. Auch in Mexico hat man sich diesen Zielen verschrieben. Detaillierte Daten zu den Treibhausgasemissionen und Festlegung von CO_2 müssen aber noch gewonnen werden. Dies hat Folgen für den Lebensstil, die Ausrichtung neuer Technologien und die Art des Wirtschaftens, und somit auch in der Lebensmittelkette. Mehr denn je bedarf es eines nachhaltigen Umgangs mit begrenzten Ressourcen. Vor allem Einsparungen wirken direkt.

4.3.2 Vulnerabilität und Anpassungskapazität

Der Begriff Vulnerabilität bezeichnet die Schadensrisiken von Mensch-Umwelt-Systemen. Die Vulnerabilitäts- oder auch Verwundbarkeitsanalyse wird als Methode verwendet, um klimatische Veränderungen und deren Folgen auf alle Bereiche von Umwelt und Gesellschaft sowie ihre vielfältigen Wechselwirkungen und Interaktionen bestimmen und charakterisieren zu können.

Da die Vulnerabilität gegenüber dem aktuellen und zukünftigen Globalen Wandel stark von der Ausgangssituation abhängig ist, müssen die vorhandenen Datensätze zum Klima ausgewertet werden. In Durango hat sich im letzten Jahrzehnt besonders die Länge der Trockenzeit erhöht und punktuell fielen ungewöhnlich heftige Starkregen. Bisher werden diese klimatischen Ereignisse nur empirisch registriert und ihre naturräumlichen Wirkungen nur unwesentlich beachtet.

Eine Einschätzung wie vulnerabel die vorherrschenden Mensch-Umwelt-Systeme in Durango sind und welche Parameter zur Sensitivität bestimmend sind, sollten vor allem durch folgende drei Fragestellungen abgeklärt werden:

- Wie ausgeprägt sind der Klimawandel und seine Wirkungen auf die vorherrschenden Landnutzungssysteme in Durango?
- Wie stark wirken sich die einzelnen Komponenten des Klimawandels in Durango auf die einzelnen Bereiche der Land- und Forstwirtschaft sowie des Fischereiwesens aus (auch als potenzielle Auswirkungen des Globalen Wandels bezeichnet)?
- Wie hoch sind der Anpassungsgrad / Anpassungskapazitäten in den einzelnen Bereichen innerhalb des Bundesstaates Durango an die potenziellen Auswirkungen?

Besonders wichtig für alle Bereiche der Land- und Forstwirtschaft sowie des Fischereiwesens sind im Rahmen der Risikoabschätzung folgende Risiken und Handlungsoptionen für Anpassungsmaßnahmen:

1) Einflüsse auf Agro-Ökosysteme und Schutzgebiete;
2) Betroffenheit von Klimaänderungen auf die Vulnerabilität von Naturräumen und Habitaten;
3) Beitrag von Naturschutzgebieten zu Mitigation und Adaptation sowie Anpassung von Naturschutzstrategien.

Die Einflüsse auf Agro-Ökosysteme und Schutzgebiete sowie bestehende Möglichkeiten zur Risikoabschätzung erfordern deshalb konkrete Daten und Kenntnisse über Ökosystemare Prozesse zu:

- Veränderten Konkurrenzbeziehungen und Resilienz in landwirtschaftlichen Systemen,
- Anpassungsfähigkeit von Kulturpflanzen und Unkraut-Arten,
- Redundanz von Arten der Flora und Fauna in Agroökosystemen,
- Auswirkungen von Extremereignissen auf Erträge und Produktionssicherheit in der Land- und Forstwirtschaft.

Hierfür wäre es wünschenswert, wenn Handlungsempfehlungen existierten, aus denen Aussagen zu potenziellen „Hotspots“ sowie ihren Problempunkten identifiziert und daraus Lösungsansätze generieren zu können, die dazu beitragen, um die Vulnerabilität reduzieren zu können.

Als künftige Schwerpunkte für die Vulnerabilitätsanalysen aus Sicht der Klimaänderungen sollten bearbeitet werden:

- Zunehmende Länge der Trockenzeiten mit Hitzeperioden;
- Zunehmende Extremereignisse wie Starkregen, Sturm, Hagel und Nachtfröste;
- Verringerung der sommerlichen Niederschläge mit negativer klimatischer Wasserbilanz.

Dabei gilt es besonders die Sensitivität und Anpassungskapazitäten zu prüfen.

4.4 Mögliche Strategien für die Anpassung der Pflanzenproduktion und der Nutztierhaltung insbesondere der Rinderhaltung in Durango

Die bilaterale Projektarbeit der mexikanischen und deutschen Projektpartner sollte mit besonderer Ausrichtung auf Weiterbildungs- und Beratungsstrategien für ausgewählte landwirtschaftliche und wasserwirtschaftliche Betriebe und Regionen (Kommunaler und Privatsektor) fortgeführt werden. Damit wäre es mittelfristig möglich, Empfehlungen für alle Interventionsebenen zu erarbeiten, diese bekannt zu machen und umzusetzen.

Aus Sicht einer konkreten Bewertung einzelner Bereiche und ihrer adäquaten Anpassungsstrategien sollten hierbei sowie die Land- und Forstwirtschaft als auch Beiträge von Naturschutzgebieten zu Mitigation und Adaptation sowie Anpassungen von Naturschutzstrategien auf Kohlenstoffsenke/speicher, Bodenschutz und Waldschutz berücksichtigt werden.

Einmal mehr wurde deutlich, dass wie in vielen anderen Ländern auch im Bundesstaat Durango nicht nur eine schwierige Gestaltung von Anpassungsstrategien besteht, sondern auch eine mangelhafte Umsetzung von programmierten Maßnahmen besteht. Natürlich ist es für viele Produzenten schwer verständlich wie Risiken zu bewerten sind und welchen eigenen Beitrag sie bei der Anpassung an den Klimawandel durch systemische Maßnahmen leisten können, die eine höhere Resilienz bewirken und bei Fluktuationen in beide Richtungen Mehrerträge erbringen. Deshalb gilt es aktiv zu demonstrieren, welchen Einfluss die Realisierung der Guten Anbaupraxis auf zahlreiche Synergieeffekte beinhalten kann, um eine Klimaanpassung in der Region wirkungsvoll und standortgerecht zu praktizieren und gleichzeitig Einkommenssteigerung und Entwicklung zu ermöglichen.

4.4.1 Pflanzenproduktion

Die Anpassungsstrategien im Pflanzenbau Durangos konnten durch eine gemeinsame Faktenerarbeitung unter Einbeziehung bereits bestehender und neu zu gestaltender Methoden konzipiert und dargelegt werden. Als Schwerpunkte ergaben sich daraus:

- Möglichkeiten der Durchführung einer standortsangepassten komplexen Landwirtschaft (abgestimmte Pflanzen- und Tierproduktion);
- Alternativen für die nachhaltige Nutzung erosions- und austrockungsgefährdeter Böden, ihr Grad der Sensivität und Matrix der Zusammenhänge;
- Maßnahmen für den Bewässerungsfeldbau, die keine Verschärfung der Angespanntheit des Wasserhaushaltes verursachen;
- Grundlagen für besonders wassersparende Kulturen schaffen, die standortsgerecht angebaut, neue Kriterien zur Fruchtfolgegestaltung einbeziehen, eine ganzjährige Bodenbedeckung und den Erosionsschutz ermöglichen;
- Etablierung geeigneter Anbauverfahren mit direkter Gestaltung von transparenten, nachhaltigen Wertschöpfungsketten.

Daraus ließe sich weiterführend ableiten, welche Anpassungsstrategien an den Klimawandel sich in konventionell und ökologisch wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betrieben unter praxisnahen Bedingungen als besonders effektiv erweisen. Des Weiteren müssten dabei auch die Faktoren und Komponenten analysiert werden, inwieweit sich unterschiedlich intensive Bewirtschaftungsmaßnahmen als besonders klimaschädigende Emissionen herausstellen und zukünftig minimieren lassen.

Besonders wertvoll und notwendig für eine zukunftsweisende Anpassung im Pflanzenbau könnten sein:

- Standortsangepaßte Auswahl von Anbausystemen unter Einbeziehung der sozial-ökonomischen Gegebenheiten und der Diversifizierung der Produktion;
- Schlagbezogene Durchführung der Guten Anbaupraxis (BPA) unter Verwendung bodenschonender und wassersparender Managementoptionen;
- Anpassung der Aussaattermine, Saatdichte und Reihenabstände für Hauptkulturen an die Fruchtfolge;
- Auswahl von Kulturen mit kurzer Vegetationsperiode (80 bis 110 Tage) als Nebenkulturen in der Fruchtfolge;
- Verstärkter Anbau trockenresistenter Kulturen in sensitiven Gebieten und Anbau standortangepasster Sorten;
- Anpassung von Standraum und Saattiefe und Förderung des Wurzelwachstums;
- Konservierende Bodenbearbeitung sowie tiefe Bodenlockerung zur Förderung der Infiltration;
- Anpassung der Bodenbearbeitung und erosionsmindernde Bewirtschaftung;
- Spezielle Maßnahmen auf Trockenstandorten einschließlich Vermeidung unnötiger Bodenbearbeitung;
- Optimierung von Wasserversorgung und Be- bzw. Entwässerungssystemen;
- Anpassung der Bewässerungsinfrastruktur an die lokalen Bedingungen und Einsatz Wasser sparender Bewässerungstechnik;
- Standortsgerechtes Unkrautmanagement;
- Vermeidung von Hitzeschäden (escape-Strategie);
- Ausreichende Versorgung mit allen Nährstoffen sowie organischer Substanz sowie Anpassung der N-Düngung an die Wasserverfügbarkeit;
- Integrierte Pflanzenschutzmaßnahmen und Verwendung von Betriebsmitteln (z.B. Düngemittel, Pflanzenschutzmittel) entsprechend der phänologischen Notwendigkeit;
- Organisation und Durchführung von ressourcenschonenden und verlustarmen Erntemaßnahmen;
- Nutzung von Nebenprodukten (Stroh, Ganzpflanzenernte) als Grundfutter für Wiederkäuer (Rinder, Schafe);
- Anbau nachwachsender Rohstoffe für die Energieerzeugung.

Fortschritte in der Konzipierung dieser Anpassungsstrategien, konnten gemeinsam mit dem mexikanischen Partner erreicht werden, indem Feldbegehungen als Praktika mit ausgewählten Bauern und Anbauberatern durchgeführt, die Prinzipien der Guten Anbaupraxis direkt vor Ort

vorgestellt und diskutiert wurden und in Seminaren dazu auch die theoretischen Grundlagen und fachspezifischen Details besprochen werden konnten. Diese Art der vor Ort Beratung und Weiterbildung schuf Vertrauen und brachte viele standortsspezifische Erkenntnisse, die besonders von den Bauern komplettiert wurden.

Strategien für die Anpassung der Pflanzenproduktion konnten in nachfolgenden wesentlichen Säulen der Guten Anbaupraxis herausgearbeitet werden:

Die schlagspezifische Gestaltung von Anbau- und Bewirtschaftungssystemen einschließlich der mittelfristigen Fruchtfolgegestaltung und betriebswirtschaftlichen Kontrolle unter Einhaltung der Transparenz der Wertschöpfungsketten ist essentiell nötig.

Eine Umsetzung dieser Erkenntnisse erfordert jedoch die großräumliche Gestaltung von Agro-Ökosystemen und somit einen abgestimmten Aktionsplan mit allen Akteuren der Gesetzgebung und Realisierung als strategische Hierarchien zur Anpassung an den Klimawandel (Abb. 4.3).

Diese sollten beinhalten:

• Training und die Ausbildung der Landwirte;

• Bereitstellung von Ausbildungsprogrammen für die Talentförderung;

• Aktualisierung der Kenntnisse zur Funktion und Gestaltung von Wertschöpfungsketten;

• Ausbildung von Promotoren, die Systeme der Pflanzenproduktion und Viehzucht wettbewerbsfähig und nachhaltig gestalten, führen und verwalten können.

¿

Abb. 4.3. Strategische Hierarchien zur Anpassung an den Klimawandel.

Die Bodenbearbeitung ist so zu minimieren, dass für jeden Bodenzustand eine tiefe Wurzelentwicklung gewährleistet ist. Die Kombination aus Stoppelbearbeitung und Tiefenlockerung

ist periodisch zur Beseitigung von Pflugsohlen einzusetzen und kann zur Einarbeitung von Stoppeln und Wurzelresten, zur besseren Kornstruktur und besseren Aufnahme von Luft und Wasser beitragen sowie die organische Substanz und die Bodenfruchtbarkeit erhöhen.

Die Gute Anbaupraxis (BPA) ist umfassend zu lehren und so zu verbreiten, dass die geplanten Aktivitäten rechtzeitig, zielgerichtet und in Qualität erfüllt werden müssen. Dies ist der Weg, um all die Säulen und Komponenten gestalten zu können, um gesunde und gut genährte Kulturen sicherzustellen, die produktiver sind und höhere Erträge erzielen.

Die Beratung und Weiterbildung sind dafür zu konkretisieren und zu intensivieren. Besonderes Augenmerk ist auf die Erarbeitung und Verbreitung von geeigneten Materialien der Information und Ausbildung zu legen (Videos, Handbücher, Anbauanleitungen, tägliche Bereitstellung von Wetterinformationen).

Verwendung von wassersparenden Bewässerungstechniken unter Nutzung geeigneter Wasserressourcen (Grundwasser, Wasserspeicher, geklärte Abwässer), die an die Gelände- und Bodeneigenschaften sowie die anzubauenden Kulturart angepasst sind. Auch für ausdauernde Kulturen (Luzerne, Obst und Nüsse) ist Feldberegnung und Mikrobewässerung wesentlich wassersparender als die Oberflächenbewässerung. Außerdem ist es erforderlich, die Bewässerungspraktiken auch entsprechend der Folgewirkungen und Vulnerabilitätsstandards zu bewerten. Bisher sind lediglich empirische Angaben zum Wasserverbrauch bei den einzelnen Techniken der Bewässerung zu erhalten. Die Kenntnisse zu den Faktoren Wasserverbrauch, Wasserqualität, Herkunft der Bewässerungswasser und Bohrtiefen, Bewässerungsintervalle sowie Energieverbrauch und Kosten für die vorhandenen Techniken sind sehr lückenhaft. Diese gilt es für die ganzflächige Einstaubewässerung, Furcheneinstau, Beregnung mit Rollregnern, Beregnung mit Pivotanlagen und Unterkronenberegnung sowie Tröpfchenbewässerung bei Dauerkulturen und Gemüse zu vervollständigen.

Die Effizienz der Wassernutzung (WUE) verschiedener Nutzpflanzenarten hängt besonders vom Transpirationskoeffizienten und vom Durchwurzelungsvermögen sowie dem Grundwasserstand (GWF) und der Bodenart ab (Chmielewski 2013). Die Effizienz ist umso höher je weniger Wasser für die Biomasseproduktion verbraucht wird. Dazu liegen allgemeine Erkenntnisse vor, die für die Kulturen in Durango spezifiziert werden müssen. Es ist die Bewässerungswürdigkeit aller praxisrelevanten Kulturen zu überprüfen. Für die bedeutsamen Anbaukulturen (Mais, Sorghum, Hafer, Triticale, Bohnen, Luzerne, Obst und Gemüse) in der Landwirtschaft Durangos ist ein Katalog entsprechend dem Water Foot Print zu erstellen.

Der Anbau von wassersparenden Kulturen wie Sorghum, Mais und Triticale ist gegenüber dem Haferanbau zu bevorzugen und in die Fruchtfolge einzubauen. Bisher wenig beachtete Kulturen wie Sonnenblumen, Sommerraps und Gerste sollten verstärkt angebaut werden. Damit könnte besonders die Fruchtfolge im Zyklus Regenfeldbau (temporal) als ein bedeutsames Kriterium und wirksamer Bestandteil der Anpassungsstrategien gestaltet werden (Abb. 4.4).

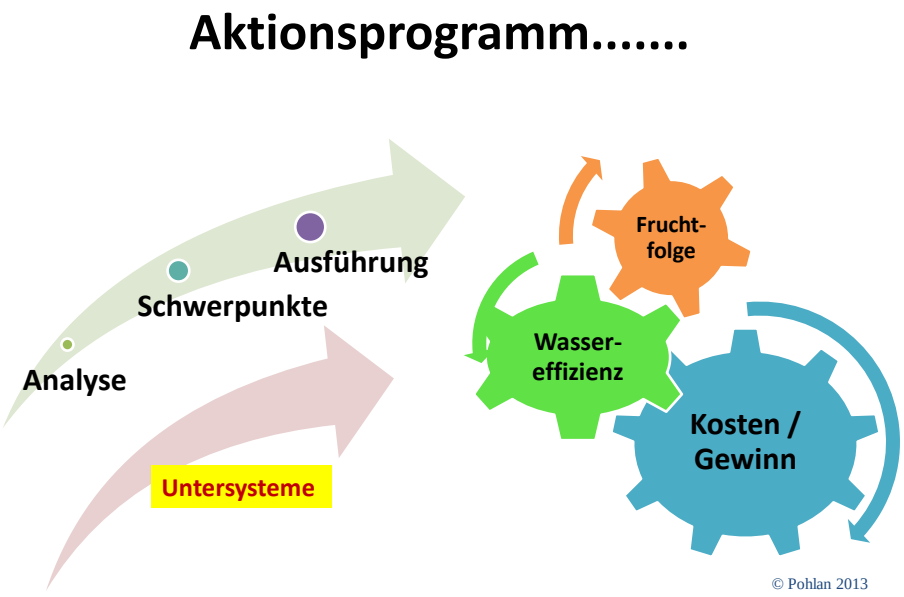


Abb. 4.4. Nutzung der Fruchtfolge als Bestandteil der Anpassungsstrategien.

Dazu ist es nötig, eine Verfeinerung der Praktiken in der Anbauperiode *Temporal* durch eine gute Anbaupraxis insbesondere bei Aussaatzeitpunkt, Schlagkraft der Aussaat mit Präzisionstechniken, trocken- und frostresistentere Sorten und die Häufelkultur als wassersammelnde Anbautechnik für Bohnen und Mais; kombiniert mit der Reihengestaltung in Höhenschichtlinien zu erreichen.

Die Gestaltung von Fruchtfolgerotationen im Bewässerungsfeldbau mit Kulturen, die standortsangepasst und salztolerant sowie innerhalb von regional umsetzbaren Wertschöpfungsketten marktpolitisch interessant sind, ist ein weiterer Schwerpunkt für die Entwicklung von Konzepten nachhaltiger Bodenbewirtschaftung, die eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion mit effizienter Bewässerung und einer klimagerechten Standortnutzung ermöglichen können.

Die Gestaltung der Pflanzenernährung entsprechend den phänologischen Anforderungen der jeweiligen Kulturpflanze unter Kenntnis des Nährstoffhaushaltes der Böden ist zu einem Anbaukriterium für alle Bauern zu entwickeln. Dafür sind die möglichen organischen, mineralischen und Mikrodünger (flüssig, microbianisch) nutzpflanzengerecht zu nutzen.

Auch für den Landwirt muss verständlich werden, dass die Wirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenbau von vielfältigen Faktoren abhängen. Positive Effekte wie der CO_2-Düngeeffekt können nur dann genutzt werden, wenn die klimatischen Veränderungen (Temperaturerhöhung, Wasserverfügbarkeit, Extremwetterereignisse) nicht zu einem zusätzlichen Stressfaktor für die Pflanzen werden.

4.3.4 Rinderhaltung

In der Region Laguna werden derzeitig etwa 400.000 Milchkühe und 150.000 Mastrinder gehalten. Ein Großteil des Kraftfutters wird direkt aus den USA importiert. Der Silomais wird über Verträge aus verschiedenen Regionen des Bundesstaates Durango (u.a. Guadalupe Victoria) und anderen Bundesstaaten in Mexiko angekauft und von den Tierproduktionsbetrieben selbst siliert. Dabei gilt es Transportentfernungen von bis zu 300 km zu bewältigen, die auch die Siloqualität beeinflussen. Die Luzerne stammt meist aus dem Bewässerungsfeldbau der Region Laguna und wird grün verfüttert. Nur in wenigen Betrieben wird auch Luzerneheu bereitet. Das Haferheu (Ganzpflanze) und auch Gerste- und Weizenstroh werden aus sehr unterschiedlichen Regionen Mexikos angekauft.

Etwa 80% der Viehhaltung in der der Region Laguna ist der Hand von 20 Familien. Diese besitzen Großbetriebe mit 2500 bis 20.000 Milchkühen sowie Aufmastbetriebe mit bis zu 40.000 Tieren und integrierten eigenen Schlachtbetrieben, die für das Inland, aber auch die USA produzieren.

Zur Versorgung der Rinder werden eigene Tiefbrunnen genutzt, die aus 150 bis 440 m Tiefe Wasser pumpen. In der Milchwirtschaft wird mit bis zu 750 l Wasser pro Kuh und Tag kalkuliert. In den Mastbetrieben werden etwa 200 Liter Wasser je Tier benötigt.

Daraus ergeben sich für die Milch- und Fleischwirtschaft der Rinderhaltung wesentliche Details, die es zusammen mit ausgewählten Beispielbetrieben basierend auf den Prinzipien der Guten Haltungspraxis zu bearbeiten gilt. Als besonders wichtige Fragestellungen und Problemkreise, um für systembezogene **Anpassungsstrategien entsprechende Alternativen entwickeln und praktizieren zu können,** wurden folgende identifiziert**:**

- ✓ Einflüsse der derzeitigen Haltungspraktiken auf den Wasserverbrauch und den absinkenden Grundwasserspiegel;
- ✓ Anbau von betriebseigenem Raufutter zur Minderung der Transportkosten;
- ✓ Nachhaltige Gestaltung der Eigenfutterbereitstellung sowie Nutzung der Gülle und Abwässer als Rohstoffe für die Biogaserzeugung und als organischer Dünger;
- ✓ Einfuhr oder Züchtung stress unanfälliger Rassen (gegen Hitze, extreme Trockenheit, Wasserqualität);
- ✓ Verbesserung des Nährstoffmanagements und der Trinkwasserzufuhr besonders bei Hitzestress;
- ✓ neue Möglichkeiten der betriebseigenen Abwasseraufbereitung und der solaren Warmwasserbereitung;
- ✓ Umweltgerechte Gestaltung der Ställe mit Eigenbelüftungs- und zusätzlichen Kühlsystemen (Photovoltaik; Dachbegrünung; Reduktion der Stallbelegung);
- ✓ Nutzung von Agroforstsystemen und geregelter Portions-Weidehaltung;
- ✓ Stallhygiene und vorbeugende Maßnahmen zum Schutz vor Tierkrankheiten.

Abschließend kann zusammengefasst festgestellt werden, dass:

- ❖ es im speziellen in der Rinderhaltung besonders darum geht, eine verstärkte Bereitstellung von eigenem Rau- und Kraftfutter unter Vermeidung von Transportentfernungen über 100 km zu erreichen. Außerdem gilt es, Rinderkonzentrationen zu vermeiden, die zur Wasserversorgung Brunnentiefen von mehr als 350 m erfordern.

- ❖ die Nutzung von Wasser für die ganzflächige Einstaubewässerung der Luzerneflächen, die Tränkwasserbereitstellung aus eigenen Tiefbrunnen und die Belastung mit bodenbürtigen Emissionen und der Ausstoß von Treibhausgasen sind damit zu reduzieren.
- ❖ die Installation und Nutzung von innerbetrieblichen Klärwassersystemen zur Mehrfachnutzung des Wassers und von Systemen der Energieerzeugung (Biogas; solare Warmwasserbereitung, Photovoltaik) dürften ebenfalls positive Anpassungsstrategien sein.

5. Ausblick auf zukünftige Entwicklungen

Die Entwicklung einer ganzheitlichen, nachhaltigen Strategie für eine an die Folgen des Klimawandels angepasste Landnutzung einschließlich des Wasser- und Abwassermanagements in den besonders gefährdeten Trockengebieten der Modellregionen Guadalupe Victoria, Gomez Palacio (La Laguna), und im Einzugsgebiet von Durango ist ein längerfristiger Prozess, der in den betroffenen gesellschaftlichen Bereichen abgestimmt und verankert werden muss. Das vorliegende Projekt konnte dafür Grundlagen erarbeiten und bietet Ansatzpunkte für das weitere Vorgehen. Für alle Teilbereiche: (i) Klimawandel in der Region Durango und Klimasimulationen, (ii) Anpassungsstrategien in der Wasserwirtschaft und (iii) Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft konnten entsprechend der Zielstellungen gemeinsam mit dem mexikanischen Partner umfangreiche Daten gesammelt und analysiert werden. Daraus wurden Vorschläge erarbeitet, die dazu beitragen können, eine transparentere Sichtweise auf die sehr differenzierte Situation in den ausgewählten Projektregionen Guadalupe Victoria, Gómez Palacio und Durango zu erhalten.

Thesenhaft sind diese Ergebnisse und Empfehlungen für zukünftige Entwicklungen sowie zur praktischen Anwendung zusammengefasst.

Kenntnisse über den regionalen Klimawandel sind eine Voraussetzung zur Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen. Diese beziehen sich allgemein auf ein verbessertes Ressourcen-management sowie auf klimaspezifische Änderungen der Landbewirtschaftung.

Der aktuelle Klimawandel lässt sich aus der Klimabeobachtung der Vergangenheit ableiten (Klimadiagnose). Für zukünftige Entwicklungen werden Klimasimulationen hinzugezogen (Klimaprojektionen). Sowohl die Analyse der Vergangenheit als auch die Simulationen der Zukunft benötigen langfristige Beobachtungsdaten. Für die Ableitung von Klimawirkungen sollte sich dieses Monitoring nicht nur auf Klima, sondern auch auf Boden, Vegetation, Pflanzenproduktion und Wasserressourcen beziehen.

Für die Region Durango sind zahlreiche Klimadaten aus unterschiedlichen Quellen vorhanden. Leider sind sie oft lückenhaft oder ihre Aufzeichnung wurde abgebrochen. Die Daten sollten an zentraler Stelle gesammelt und einheitlich bearbeitet werden, um die Klimadiagnose auf homogene Daten stützen zu können.

Für die Untersuchungsgebiete im Bundesstaat Durango geht sowohl aus der Klimadiagnose als auch den vorgenommenen Simulationen ein deutlicher Anstieg der Temperatur hervor. Der Anstieg ist mit einer Abnahme der mittleren Anzahl von Frosttagen zwischen November und März verbunden, jedoch insgesamt stärker zwischen April und Oktober ausgeprägt.

Niederschläge sind wesentlich schwieriger erfassbar als die Temperatur. Aussagen dazu sind daher nur mit hoher Unsicherheit möglich. Sowohl die Analysen der Vergangenheit als auch der Zukunft ergeben keine deutlich gerichtete Änderung der Niederschläge. Änderungen der Niederschläge fallen besonders in der Trockenzeit auf. Dies kann den Trockenstress verstärken, ist aber quantitativ für die Jahresbilanz weniger bedeutsam.

Die dynamischen globalen und regionalen Klimamodelle weisen starke Überschätzungen der absoluten Niederschläge auf. Ohne nachträgliche Korrektur der Niederschläge lassen sich nur die relativen Änderungen interpretieren. Besonders in Trockengebieten können aus diesen Modellergebnissen allein Auswirkungen des Klimawandels nicht abgeleitet werden.

Weitere wichtige Indikatoren des Wasserkreislaufs sind die potenzielle und aktuelle Verdunstung sowie die klimatische Wasserbilanz. Aufgrund der steigenden Temperaturen nimmt die potenzielle Verdunstung zu und die klimatische Wasserbilanz ab. Dies vermindert zunehmend die Wasserverfügbarkeit für das Pflanzenwachstum. Aufgrund der geringeren Wasserverfügbarkeit wird die aktuelle Verdunstung eingeschränkt.

Die Ergebnisse, Analysen und Empfehlungen für wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien lassen es zu, eine Umsetzung folgender Hauptziele zu erreichen:

- Erarbeitung von speziellen, standortsangepassten Konzepten und Bewirtschaftungsplänen für jedes Wassereinzugsgebiet, die insbesondere zur Beschränkung und Kontrolle der Grundwasserentnahme führen und die Grundwasserneubildung steigern;

- Anwendung und Verbreitung von bereits in einigen Wasserwerken praktizierten Techniken der Abwasserbehandlung und der Nutzung dieser behandelten Abwasser in der Landwirtschaft und im urbanen, kommunalen Bereich zur Begrünung sowie eine Mehrfachnutzung (z.B. Wassernutzung für Fischzucht und anschließender Einsatz zur Bewässerung) in allen Distrikten;

- Nutzung oberirdischer Rückhalte- und Speicherbecken durch die Anlage und Bewirtschaftung von Gräben, Mäandrieren von Gewässern, Steigerung der Retention von Oberflächenwasser durch Errichtung von Wehren und Dämmen sowie gezielte Ableitung von Oberflächenwasser bei Starkregen oder Hochwasser durch Errichtung von Abflusskanälen;

- Förderung unterirdischer Speicherlösungen mit traditionellen Techniken wie Zisternen und Untergrundreservate sowie Nutzung von geeigneten Gesteinsschichten zur Wasserspeicherung;

- Erhöhung des Wasserangebotes für die Landwirtschaft und die Verringerung des Wasserbedarfs in der Landwirtschaft durch Verringerung von Verdunstungsverlusten (Steigerung der Effizienz) und standortangepasste Bewirtschaftung von Oberflächenwasser (Rückhalt von in der Regenzeit reichlich vorhandenem Oberflächenwasser und Nutzung in der Trockenzeit) und somit Verringerung der Bodenerosion und von Überflutungsrisiken.

Angesichts der erschwerten Anbaubedingungen im Bewässerungs- und Regenfeldbau und der problematischen Sicherstellung der Grund- und Kraftfutteranforderungen für die Rinderwirtschaft (Milch- und Fleischproduktion) ist es erforderlich, grundlegende Änderungen in der Landwirtschaft des Bundesstaates Durango zu erreichen. Die praxisrelevante Zielführung für mögliche und nötige Anpassungsstrategien zu wesentlichen Komponenten wie den lokalen Wärmehaushalt (Verdunstungskühlung), Wasserhaushalt (Pufferfunktionen) und evolutive Potentiale in der Agrodiversität ist dafür unbedingt durchzusetzen. Zu den Schlüsselpositionen gehören: (i) ein

verbessertes Ressourcenmanagement und die Gestaltung klimaspezifischer Änderungen in der Landbewirtschaftung; (ii) die Einführung der Guten Anbaupraxis (BPA) gemeinsam mit den Landwirten (agricultores y ganaderos) und die (iii) Erarbeitung standortsangepasster agrarökologischer Bewirtschaftungskonzepte.

Gemeinsam mit dem mexikanischen Partner konnten die Prinzipien und Grundlagen der Guten Anbaupraxis vorgestellt, diskutiert und standortsangepasst vervollständigt werden. Daraus ergeben sich folgende wesentliche Ergebnisse und Empfehlungen:

Die schlagspezifische Gestaltung von Anbau- und Bewirtschaftungssystemen einschließlich der mittelfristigen Fruchtfolgegestaltung und betriebswirtschaftlichen Kontrolle unter Einhaltung der Transparenz der Wertschöpfungsketten ist essentiell nötig.

Die Bodenbearbeitung ist so zu minimieren, dass für jeden Bodenzustand eine tiefe Wurzelentwicklung gewährleistet ist. Die Kombination aus Stoppelbearbeitung und Tiefenlockerung ist periodisch zur Beseitigung von Pflugsohlen einzusetzen und kann zur Einarbeitung von Stoppeln und Wurzelresten, zur besseren Kornstruktur und besseren Aufnahme von Luft und Wasser beitragen sowie die organische Substanz und die Bodenfruchtbarkeit erhöhen.

Die Gute Anbaupraxis (BPA) ist umfassend zu lehren und so zu verbreiten, dass die geplanten Aktivitäten rechtzeitig, zielgerichtet und in Qualität erfüllt werden müssen. Dies ist der Weg, um all die Säulen und Komponenten gestalten zu können, um gesunde und gut genährte Kulturen sicherzustellen, die produktiver sind und höhere Erträge erzielen.

Verwendung von wassersparenden Bewässerungstechniken unter Nutzung geeigneter Wasserressourcen (Grundwasser, Wasserspeicher, geklärte Abwässer), die an die Gelände- und Bodeneigenschaften sowie die anzubauenden Kulturart angepasst sind. Auch für ausdauernde Kulturen (Luzerne, Obst und Nüsse) ist Feldberegnung und Mikrobewässerung wesentlich wassersparender als die Oberflächenbewässerung.

Der Anbau von wassersparenden Kulturen wie Sorghum, Mais und Triticale ist gegenüber dem Haferanbau zu bevorzugen und in die Fruchtfolge einzubauen.

Verfeinerung der Praktiken in der Anbauperiode Temporal durch BPA insbesondere Aussaatzeitpunkt, Schlagkraft der Aussaat mit Präzisionstechniken, trocken- und frostresistentere Sorten und die Häufelkultur als wassersammelnde Anbautechnik für Bohnen und Mais; kombiniert mit der Reihengestaltung in Höhenschichtlinien.

Gestaltung der Pflanzenernährung entsprechend den phänologischen Anforderungen der jeweiligen Kulturpflanze unter Kenntnis des Nährstoffhaushaltes der Böden. Dafür sind die möglichen organischen, mineralischen und Mikrodünger (flüssig, microbianisch) nutzpflanzengerecht zu nutzen.

In der Rinderhaltung geht es besonders darum, eine verstärkte Bereitstellung von eigenem Rauh- und Kraftfutter unter Vermeidung von Transportentfernungen über 100 km zu erreichen. Außerdem gilt es, Rinderkonzentrationen zu vermeiden, die zur Wasserversorgung Brunnentiefen von mehr als 350 m erfordern.

Die Nutzung von Wasser für die ganzflächige Einstaubewässerung der Luzerneflächen, die Tränkwasserbereitstellung aus eigenen Tiefbrunnen und die Belastung mit bodenbürtigen Emissionen und der Ausstoß von Treibhausgasen sind damit zu reduzieren.

Die Installation und Nutzung von innerbetrieblichen Klärwassersystemen zur Mehrfachnutzung des Wassers und von Systemen der Energieerzeugung (Biogas; solare Warmwasserbereitung, Photovoltaik) dürften ebenfalls positive Anpassungsstrategien sein.

Abschließend soll festgestellt werden, dass eine gesamtgesellschaftliche Gestaltung von Anpassungsstrategien für den Bundesstaat Durango nur möglich sein wird, wenn zukünftig alle staatlichen und privaten sowie genossenschaftlichen und Nichtregierungsorganisationen und Institutionen gemeinsam sich dieser Herausforderung stellen.

Eine weitere bilaterale Projektarbeit der mexikanischen und deutschen Projektpartner mit besonderer Ausrichtung auf Weiterbildungs- und Beratungsstrategien für ausgewählte landwirtschaftliche und wasserwirtschaftliche Betriebe und Regionen (Kommunaler und Privatsektor), sollte dafür Empfehlungen für alle Interventionsebenen erarbeiten, diese bekannt machen und umsetzen.

Quellennachweis

Kapitel 1

Cleaveland MK, Stahle DW, Therrell MD, Villanueva-Diaz J, Burns BT (2003) Tree-ring reconstructed winter precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico. Climatic Change 59: 369–388

Diáz Padilla GD, Sánchez Cohen I, Guajardo Panes RA (2011) Analysis of weather time series for decision-making in Mexico. In: Oswald Spring, U. (ed) Water Resources in Mexico. Scarcity, Degradation, Stress, Conflicts, Management, and Policy. Springer Berlin, Heidelberg, pp 51-71

Hijmans, R.J

., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.

IPCC (2007): Climate Change 2007 - The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ISBN 978 0521 88009-1 (Hardback), 978 0521 70596-7 (Paperback), 996 S.

IPCC (2013) Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Approved Summary for Policymakers. 36 S.

Köstner B, Wenkel K-O, Berg M, Bernhofer Ch, Gömann H., Weigel HJ (2013) Integrating regional climatology, ecology, and agronomy for impact analysis and climate change adaptation of German agriculture: an introduction to the LandCaRe2020 project- European Journal of Agronomy, online http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.003

Magaña V (2010) Guía para Generar y Aplicar Escenarios Probabilísticos Regionales de Cambio Climático en la Toma de Decisiones. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México D.F. http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios/

Medina García G, Diáz Padilla G, López Hernández J, Ruiz Corral JA, Marín Silva M (2005) Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Durango (Período 1961-2003). INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimetnal Valle del Guadiana, Libro Técnico No. 1.

Oswald Spring, U. (ed) Water Resources in Mexico. Scarcity, Degradation, Stress, Conflicts, Management, and Policy. Springer Berlin, Heidelberg, 524 p.

Ramirez-Villegas and Jarvis (2010) Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security, CCAFS

Randall DA, Wood RA, Bony S, Colman R, Fichefet T, Fyfe J, Kattsov V, Pitman A, Shukla J, Srinivasan J, Stouffer RJ, Sumi A, Taylor KE (2007) Climate Models and Their Evaluation. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S ,Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA

Kapitel 4

AGRONEGOCIOS DEL NORTE 2013. Guía técnica sobre los cultivos de temporal en Durango cultivos de: maíz y frijol para la producción de grano en el ciclo PV 2013. Durango, 31 pp.

Anonym 1995. La producción de avena en México. Revista Claridades agropecuarias, No. 14. Pdf.

Chmielewski, FM 2013. *Wassernutzung und Eingriffe des Menschen in den Wasserhaushalt*. [PDF]-2.3 *Wasserbedarf* in der Landwirtschaft - Climate Service Center, *www.climate-service-center.de/.../Warnsignal_Klima_**Wasser**_Kap2_2.3...*

FAO & SAGARPA, 2012. México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático. Volumen 1, Agosto de 2012, 439pp.

Financiera Rural 2010. Monografía de la Avena y Semilla de Avena para Siembra. Octubre 2010, 8 pp., pdf

INEGI 1998. Los suelos en Durango.

MORO 2011. Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel. Thesenpapier: Bilanzworkshop am 7. Juni 2011. 24 pp.

PEACC 2011. PROGRAMA ESTATAL DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DE DURANGO PEACC-DURANGO. Victoria de Durango, Septiembre 2011, 324 pp.

Pohlan, J., Salazar Centeno, D. 2011. Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) a través de la metodología del sistema de semáforo (SdS) como un componente importante en la gerencia de empresas agrarias. IV Diplomado: "Sistemas de calidad en la producción de café con responsabilidad ambiental, social y empresarial", UNA Managua, Nicaragua, 112 pp.

SAGARPA 2011. Monitor agroeconómico. Subsecretaráa a los agronegocios. Durango Abril 2011, 5 pp.

Schmidt, C.; Seidel, A.; Kolodziej, J. 2010. Vulnerabilitätsanalyse Westsachsen. TU Dresden, Querschnittsworkshop, 30 pp.

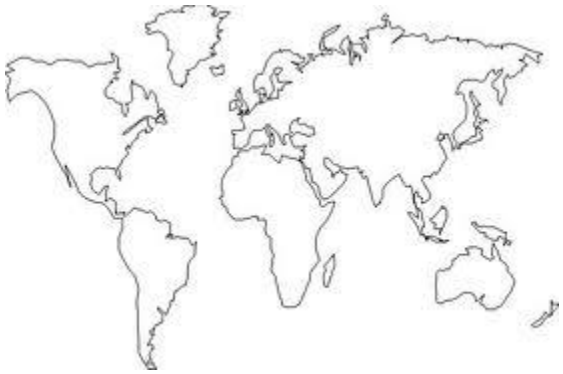
SLE 2013. Anpassung an den Klimawandel in der Landwirtschaft – Bloß Rhetorik oder weit verbreitete Praxis in Entwicklungsländern? Briefing Paper 01/2013.

UGA 2012. Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Durango. Documento Técnico 2012, Arbeitsmaterialien.

http://www.aguascalientes.gob.mx/codagea/produce/fp22.html

http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/
http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/
www.smn.cna.gob.mex

www.smn.cna.gob.mex

Strategien zur Anpassung an den Klimawandel für die Region Durango/Mexiko zur Verbesserung der land- und wasserwirtschaftlichen Effizienz

Deutsch-Mexikanische Zusammenarbeit