

Nachhaltiges Grundwassermanagement im Maghreb II



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Bestimmung der landwirtschaftlich
genutzten Flächen und Abschätzung
der Grundwasserentnahme in der
Region Chtouka (Marokko)



OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL
SAHARA AND SAHEL OBSERVATORY



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe



german
cooperation
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Autor: Fabian Stoffner
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR),
Arbeitsbereich Fernerkundung, Hannover, Deutschland

Projekt: Regionale Zusammenarbeit im Wassersektor im Maghreb II

Auftraggeber: Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und
Entwicklung (BMZ), Deutschland

BMZ-Projektnummer: 2017.2213.1

BGR-Projektnummer: 05-2404

Datum: Mai 2022

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
1. Einführung.....	1
2. Untersuchungsgebiet	2
3. Bestimmung der Landnutzung.....	3
3.1 Datengrundlage.....	3
3.2 Methodik	5
3.3 Ergebnisse und Interpretation	6
4. Abschätzung der Grundwasserentnahme.....	11
4.1 Methodik	11
4.2 Ergebnisse und Interpretation	15
5. Zusammenfassung und nächste Schritte.....	18
6. Quellenverzeichnis	19

Abkürzungsverzeichnis

ABHSM	Agence du Bassin Hydraulique Souss-Massa
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
CRTS	Centre Royal de la Télédétection Spatiale du Maroc
ESA	European Space Agency
ET_o	Referenz Evapotranspiration
ET_c	Kulturspezifische Evapotranspiration
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GIS	Geografisches Informationssystem
K_c	Kulturspezifischen Korrekturwert
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet Chtouka.....	2
Abbildung 2: Landnutzungskarte Sommer 2019 für das Untersuchungsgebiet Chtouka (CRTS 2020).....	4
Abbildung 3: Kachel RMP und der Grundwasserkörper Chtouka (Google Earth 2021, ESA 2015)	5
Abbildung 4: Klassifikation der Sentinel 2 Daten vom 26 Juli 2019 des Grundwasserkörpers Chtouka	7
Abbildung 5: Vergleich Vektordaten der Karte des CRTS (a) und Rasterdaten der Klassifikation (b)	9
Abbildung 6: Vergleich der Rasterdaten der Klassifikation (a) und der Vektordaten der Karte des CRTS (b) mit Aufnahmen von Google Earth vom 12.06.2019 (c) und vom 29.09.2019 (d)	10
Abbildung 7: Flächenanteile der Kulturpflanzen in der offenen Landwirtschaft > 3%, Sommerperiode (nach ANZAR Conseil 2015).....	13
Abbildung 8: Flächenanteile der Kulturpflanzen in den Gewächshäusern > 3%, Sommerperiode (nach ANZAR Conseil 2015).....	14
Abbildung 9: Durchschnittliche Grundwasserentnahme nach landwirtschaftlicher Nutzung basierend auf den Ergebnissen der Klassifikation der Sentinel 2 Daten vom 26.07.2019.....	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gesamtflächen der einzelnen Klassen der Klassifikation.....	8
Tabelle 2: Vergleich der Gesamtflächen der Klassen Gewächshaus, Boden und Vegetation des CRTS und der Klassifikation.....	8
Tabelle 3: Vergleich der Gesamtflächen der Klassen Gewächshaus, Boden und Vegetation des CRTS und der Klassifikation nach Anwendung des Algorithmus Sieve.....	8
Tabelle 4: Konfusionsmatrix der Klassen des CRTS und der Klassifikation	9
Tabelle 5: Mittelwerte der Grundwasserentnahmemengen der Kulturpflanzen, Sommerperiode (nach ANZAR Conseil 2015)	12
Tabelle 6: Grundwasserentnahme basierend auf den Ergebnissen der Klassifikation vom 26.07.2019 und der Bewässerungsmenge für die Sommerperiode 2015 (nach ANZAR Conseil 2015)	15

1. Einführung

Das vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) beauftragte und finanzierte Vorhaben „Regionale Zusammenarbeit im Wassersektor im Maghreb“ der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zielt darauf ab, Fachinstitutionen in drei Ländern des Maghreb (Algerien, Marokko und Tunesien) einen vereinfachten Zugang zu aktuellen Daten und verbesserten Methoden zum nachhaltigen Grundwassermanagement zu ermöglichen. Politischer Träger ist das Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), eine regionale Organisation mit Sitz in Tunis, Tunesien. Die BGR unterstützt die Fach- und Führungskräfte der Partnerinstitutionen dabei, die im Bereich Grundwassermanagement bestehenden Wissenslücken zu schließen sowie die vorhandenen und neuen Erkenntnisse zu analysieren und zu bewerten, um die Grundlagen für nachhaltige strategische Entscheidungen und ein besseres Management zu legen. Das Vorhaben hat eine Laufzeit von acht Jahren und acht Monaten (Januar 2014 bis August 2022).

Eine der zentralen Herausforderungen im Maghreb ist die unkontrollierte Entnahme von Grundwasser, welches für die Bewässerung in der Landwirtschaft verwendet wird. Die Entnahme, welche sich über große Flächen erstreckt und größtenteils nicht bekannt ist, soll quantifiziert werden. Da sich die entnommene Grundwassermenge nicht flächendeckend direkt messen lässt, wird ein indirekter Ansatz in zwei Hauptschritten angewendet. Zuerst werden die landwirtschaftlich genutzten Flächen anhand von Satellitendaten bestimmt und anschließend der Bewässerungsbedarf der Kulturpflanzen abgeschätzt. Unter Berücksichtigung von Klima- und Wetterdaten sowie von Bewässerungsmustern können darauf aufbauend Aussagen über die Grundwasserentnahmen getroffen werden.

Im vorliegenden Bericht wird ein Ansatz zur Bestimmung der landwirtschaftlich genutzten Flächen im Untersuchungsgebiet Chtouka in Marokko anhand einer überwachten Klassifikation für den Sommer 2019 beschrieben sowie die Menge an Wasser, welches für die Bewässerung der Kulturpflanzen benötigt wird, abgeleitet. Die Methodik ist auf Grundlage der lokalen Gegebenheiten sowie unter Berücksichtigung der Vorgaben der Partnerbehörden entwickelt.

2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist der Grundwasserkörper Chtouka im Süden von Marokko, welcher sich im oberirdischen Einzugsgebiet Souss-Massa befindet. Er beläuft sich auf eine Fläche von 1.373 km². Abgegrenzt wird der Grundwasserkörper im Norden vom Wadi Souss und im Süden vom Wadi Massa. Im Westen grenzt das Gebiet direkt an den Atlantischen Ozean (Abbildung 1). Im Osten bilden die Ausläufer des AntiAtlas die natürliche Abgrenzung.

Die Landnutzung im Gebiet ist stark landwirtschaftlich, insbesondere durch den Anbau von Feldfrüchten in Gewächshäusern geprägt. Die Bewässerung der landwirtschaftlichen Flächen wird durch den Staudamm Youssef Ibn Tachfin im Süden mit einem offenen Kanalsystem sowie größtenteils durch eine flächendeckende Grundwasserentnahme gesichert. Durch seine unmittelbare Lage zum Atlantischen Ozean ist der Grundwasserkörper durch das Eindringen von Salzwasser gefährdet, was durch die Grundwasserentnahme verstärkt wird.

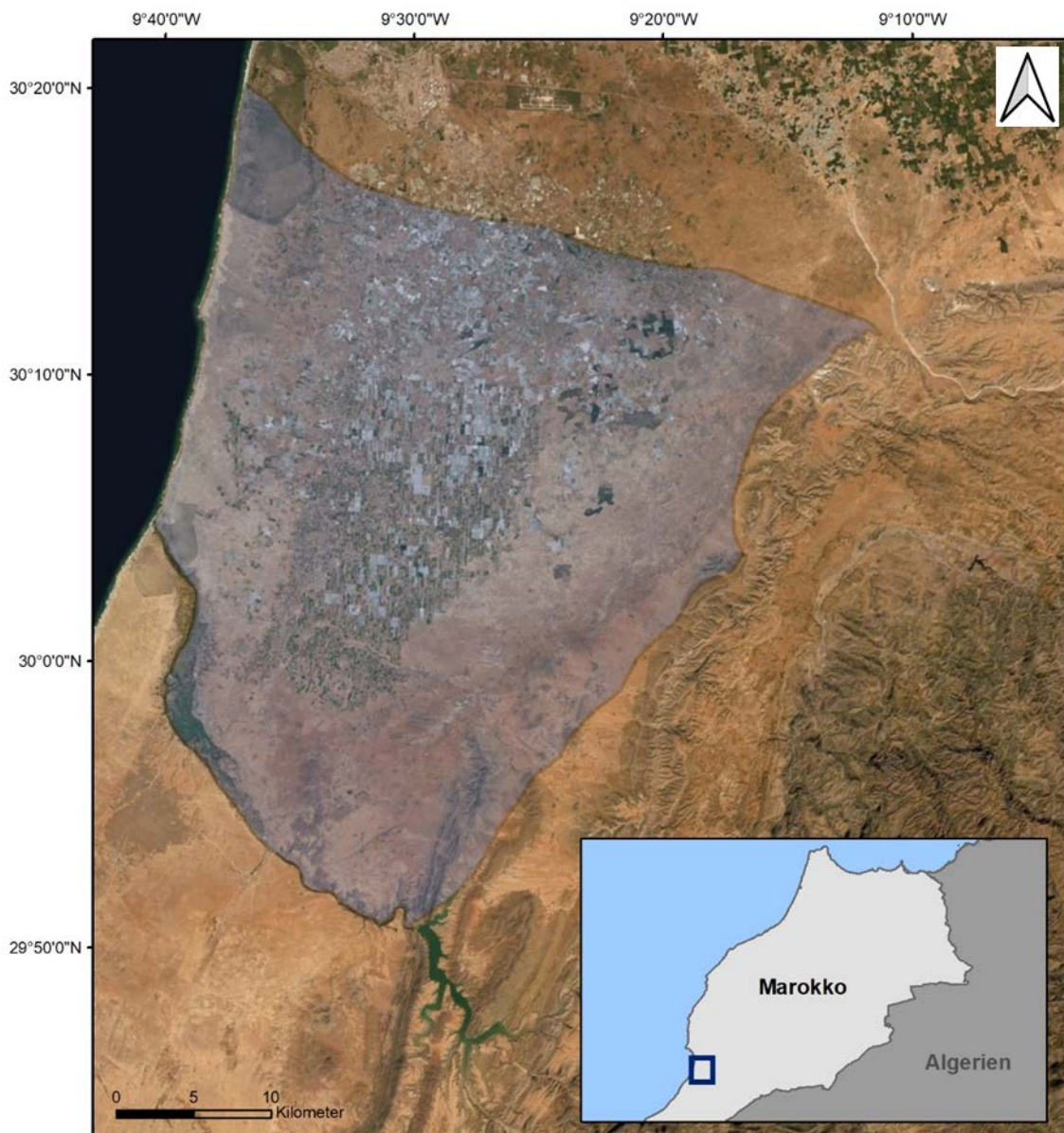


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet Chtouka (Google Earth 2022)

3. Bestimmung der Landnutzung

3.1 Datengrundlage

Im Jahr 2018 wurde im Rahmen des Projekts eine Studie vom Gutachterbüro Capion Consulting in Zusammenarbeit mit der lokalen Wasserbehörde in Agadir (*Agence du Bassin Hydraulique Souss-Massa*, ABHSM) durchgeführt. Darin wurden u.a. die vorherrschenden Feldfrüchte und Baumkulturen sowie deren Wachstumszyklen/ -phasen und deren Wasserbedarf erfasst (Capon Consulting, 2018). Basierend auf diesen Informationen und Erkenntnissen können zwei landwirtschaftliche Perioden identifiziert werden; eine im Winter/ Fröhjahr und eine im Sommer.

Die Kulturpflanzen im Untersuchungsgebiet können in Baumkulturen und in saisonale Feldfrüchte untergliedert werden. Da der Wasserbedarf dieser beiden Kulturpflanzen im Laufe des Jahres unterschiedlich ist, müssen diese getrennt betrachtet werden. Baumkulturen sind immergrüne Pflanzen, welche ganzjährig angebaut werden. Im Untersuchungsgebiet gibt es laut der ABHSM hauptsächlich Olivenbäume. Die Vegetationsperiode der saisonalen Feldfrüchte liegt jedoch entweder im Winter/Fröhjahr oder im Sommer. Saisonale Feldfrüchte sind u.a. Getreidesorten, Melonen, Tomaten, Kartoffeln und Paprika. Die Abweichungen für den Wasserbedarf dieser Feldfrüchte können laut der ABHSM bei der Berechnung der halbjährlichen Wasserbilanz vernachlässigt werden. Die saisonalen Feldfrüchte werden demnach zu einer Klasse für die jeweilige landwirtschaftliche Periode (Winter/ Fröhjahr und Sommer) zusammengefasst. Darüber hinaus gibt es im Untersuchungsgebiet eine große Anzahl von Gewächshäusern. Dementsprechend werden für die Bestimmung der landwirtschaftlich genutzten Flächen drei Hauptkulturen unterschieden: Olivenbäume, saisonale Feldfrüchte auf offenen landwirtschaftlichen Flächen und Gewächshäuser.

Das Königliche Zentrum für Fernerkundung in Marokko (CRTS) hat durch visuelle Fotointerpretation eine digitale Landnutzungskarte für das Untersuchungsgebiet für den Sommer 2019 erstellt (CRTS, 2020). Sie wurde im Maßstab 1:10.000 unter Verwendung von Spot 6/7 Satellitendaten vom Juli 2019 mit einer räumlichen Auflösung von 1,5 m erstellt und umfasst mehrere Klassen wie städtische Gebiete, Waldgebiete, Gewächshäuser, saisonale Feldfrüchte und Olivenbäume (Abbildung 2). Diese Landnutzungskarte wird einerseits zum Maskieren der nicht landwirtschaftlichen Flächen sowie der Olivenbäume und andererseits für die Validierung der Ergebnisse verwendet. Nähere Informationen zur Methodik der Erhebung der Landnutzung für den Juli 2019 ist im Bericht des CRTS (2014) beschrieben.

Für die vorliegende Arbeit werden Sentinel 2 Satellitendaten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus verwendet, da diese frei zugänglich und kostenfrei sind. Ebenso bieten sie mit ihrer räumlichen Auflösung von bis zu zehn Metern die adäquaten Voraussetzungen zur Bestimmung der landwirtschaftlichen Nutzung, da sie nah an der Parzellengröße im Untersuchungsgebiet auflösen. Die Auswahl einer geeigneten wolkenfreien Aufnahme ist durch die hohe zeitliche Auflösung der Sentinel 2 Aufnahmen garantiert.

Die Bearbeitungsschritte werden mit der Software QGIS durchgeführt. QGIS ist ein kostenfreies und benutzerfreundliches geografisches Informationssystem (GIS), welches die notwendigen Funktionen zur Bearbeitung der hier durchgeführten Datenverarbeitungsschritte beinhaltet.

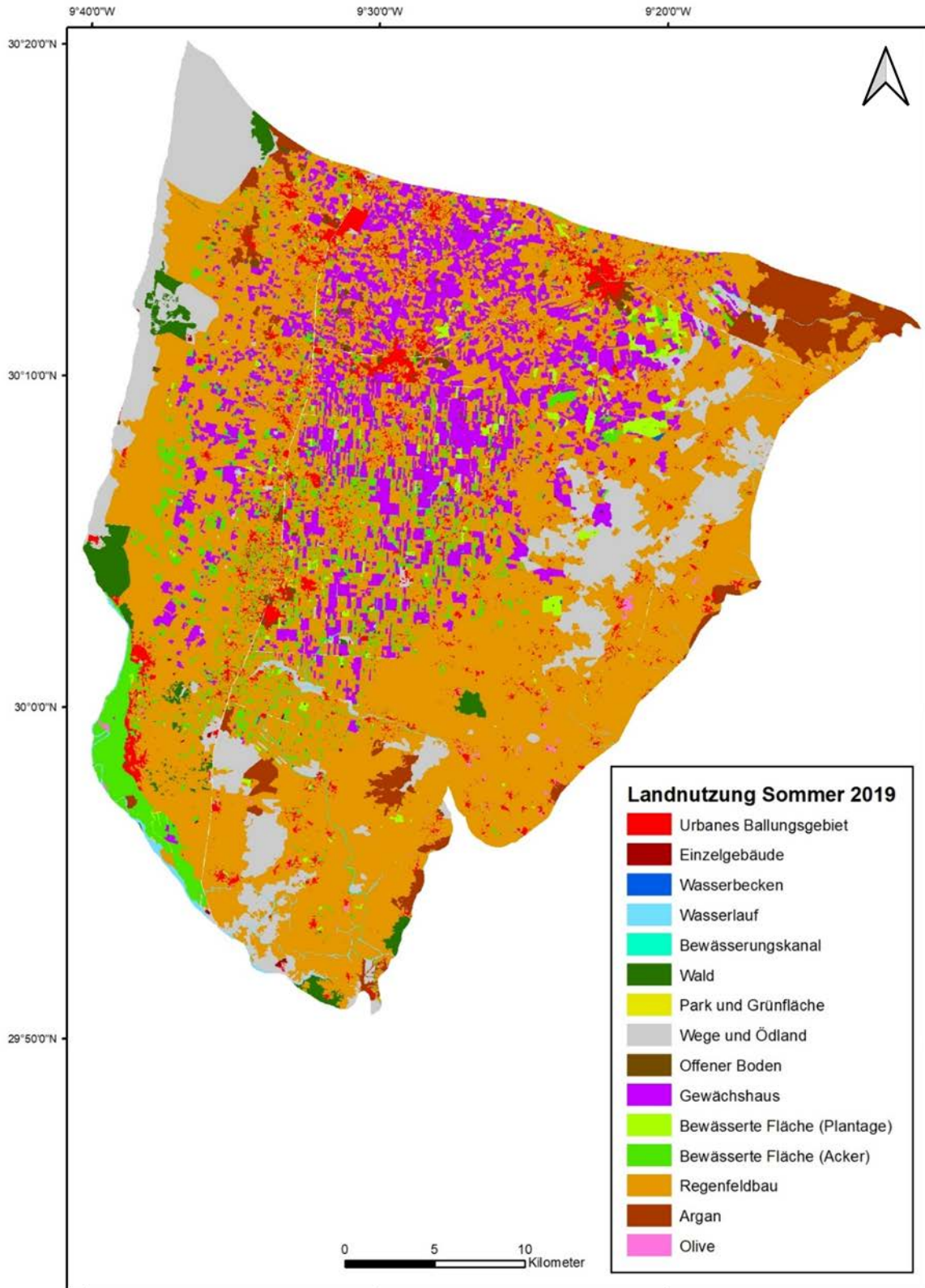


Abbildung 2: Landnutzungskarte Sommer 2019 für das Untersuchungsgebiet Chtouka (CRTS 2020)

3.2 Methodik

Für die Klassifikation der landwirtschaftlich genutzten Flächen werden Sentinel 2 Level 2A Daten (Kachel 29RMP, Abbildung 3) für den 26.07.2019 verwendet. Nähere Informationen zu den Datenparametern sind auf der Internetpräsenz der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) zu finden (ESA, 2022). Dieser Datensatz deckt sich zeitlich mit der Landnutzungskarte des CRTS von 2019 und ist im Untersuchungsgebiet wolkenfrei. Die Kanäle 02, 03, 04 und 08 (blau, grün, rot, nahes Infrarot) werden mit dem am höchsten räumlich auflösenden Datensatz von zehn Metern zusammengeführt und auf das Untersuchungsgebiet zugeschnitten.

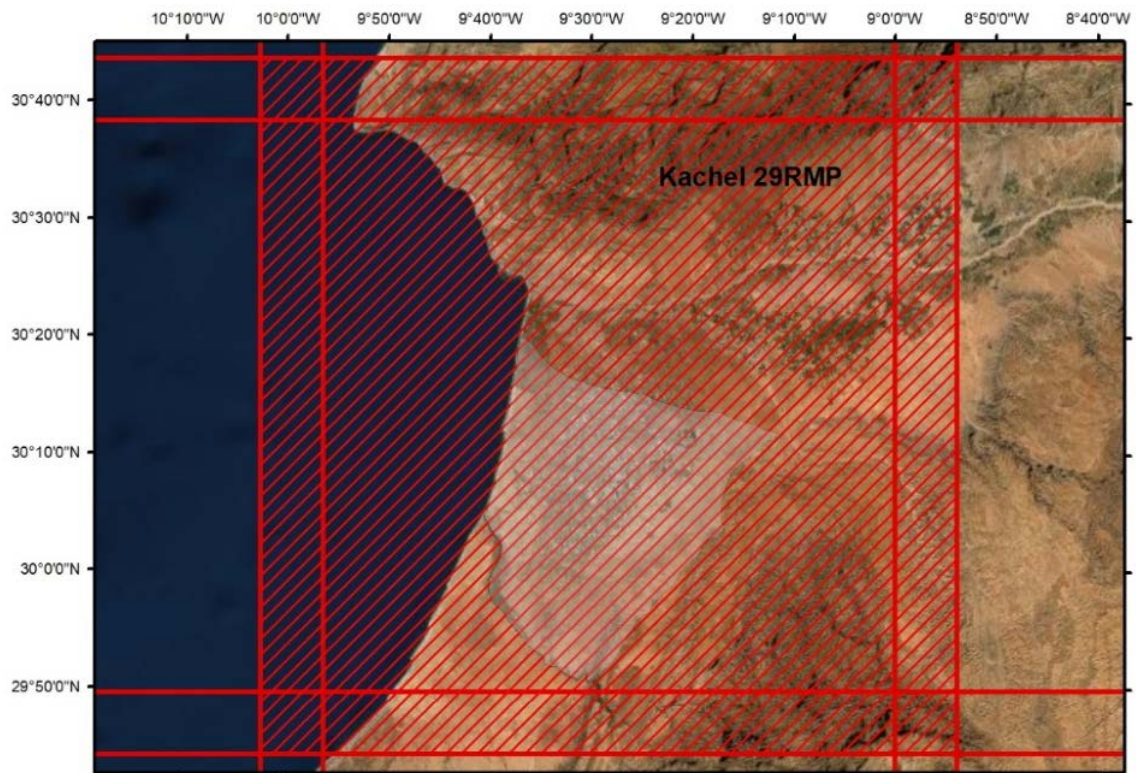


Abbildung 3: Kachel RMP und der Grundwasserkörper Chtouka (Google Earth 2021, ESA 2015)

In der Landnutzungskarte des CRTS von 2019 sind nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen ausgewiesen. Diese sind urbane Gebiete, Wasserflächen, Waldflächen, Arganbäume, Parks, Grünflächen, Wege und Ödland. Diese Flächen werden im Vorfeld maskiert und nicht für die Klassifikation verwendet. Ebenso werden die über die Zeit beständigen Olivenbäume ausgeschnitten, welche im Anschluss mit dem Ergebnis der Klassifikation kombiniert werden. Es bleiben demnach die potentiellen landwirtschaftlich genutzten Flächen der saisonalen Feldfrüchte und der Gewächshäuser sowie die offenen Bodenflächen zur weiteren Bearbeitung. Letztere sind in der Landnutzungskarte des CRTS von 2019 als Klassen „offener Boden“ und „Regenfeldbau“ ausgewiesen. Diese Klassen haben vorerst keine Relevanz für den Wasserbedarf von Kulturpflanzen, werden aber dennoch bei der Klassifikation berücksichtigt, da sie trotz der Definition des CRTS zukünftig landwirtschaftlich genutzt und zusätzlich bewässert werden können. Laut ABHSM gibt es im Untersuchungsgebiet keine weiteren für die Abschätzung des Wasserbedarfs relevanten Landnutzungsformen. Für die Klassenbildung bedeutet dies, dass die landwirtschaftlichen Flächen in drei Klassen „Gewächshaus“, „Boden“ und „Vegetation“ (saisonale Feldfrüchte) klassifiziert werden.

Da keine aktuellen Geländedaten zur Landnutzung verfügbar sind, werden die Trainingspixel für die drei Klassen visuell festgelegt. Zur Festlegung der Trainingsgebiete für die drei Klassen werden in erster Linie die Sentinel 2 Daten und Google Earth herangezogen. Daneben wird auch der *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), der ein Maß für das Vorhandensein von Vegetation darstellt, für die Sentinel 2 Daten berechnet und verwendet.

Für die Klasse „Gewächshaus“ sind 15 Trainingsgebiete (1.802 Pixel), für die Klasse „Boden“ 20 Trainingsgebiete (17.062 Pixel) und für die Klasse „Vegetation“ 15 Trainingsgebiete (4.224 Pixel) definiert. Die Klasse „Boden“ zeigt eine höhere spektrale Diversität, weshalb hier mehr Trainingsgebiete und auch eine höhere Anzahl von Pixeln notwendig sind.

Für die überwachte Klassifikation wird der Algorithmus Maximum Likelihood verwendet.

3.3 Ergebnisse und Interpretation

Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Landnutzungsklassifikation für den 26. Juli 2019 für das Untersuchungsgebiet Chtouka mit den drei Klassen „Gewächshaus“, „Boden“ und „Vegetation“. Die weißen Flächen innerhalb des Untersuchungsgebietes sind die im Vorfeld maskierten Gebiete (Kapitel 3.2).

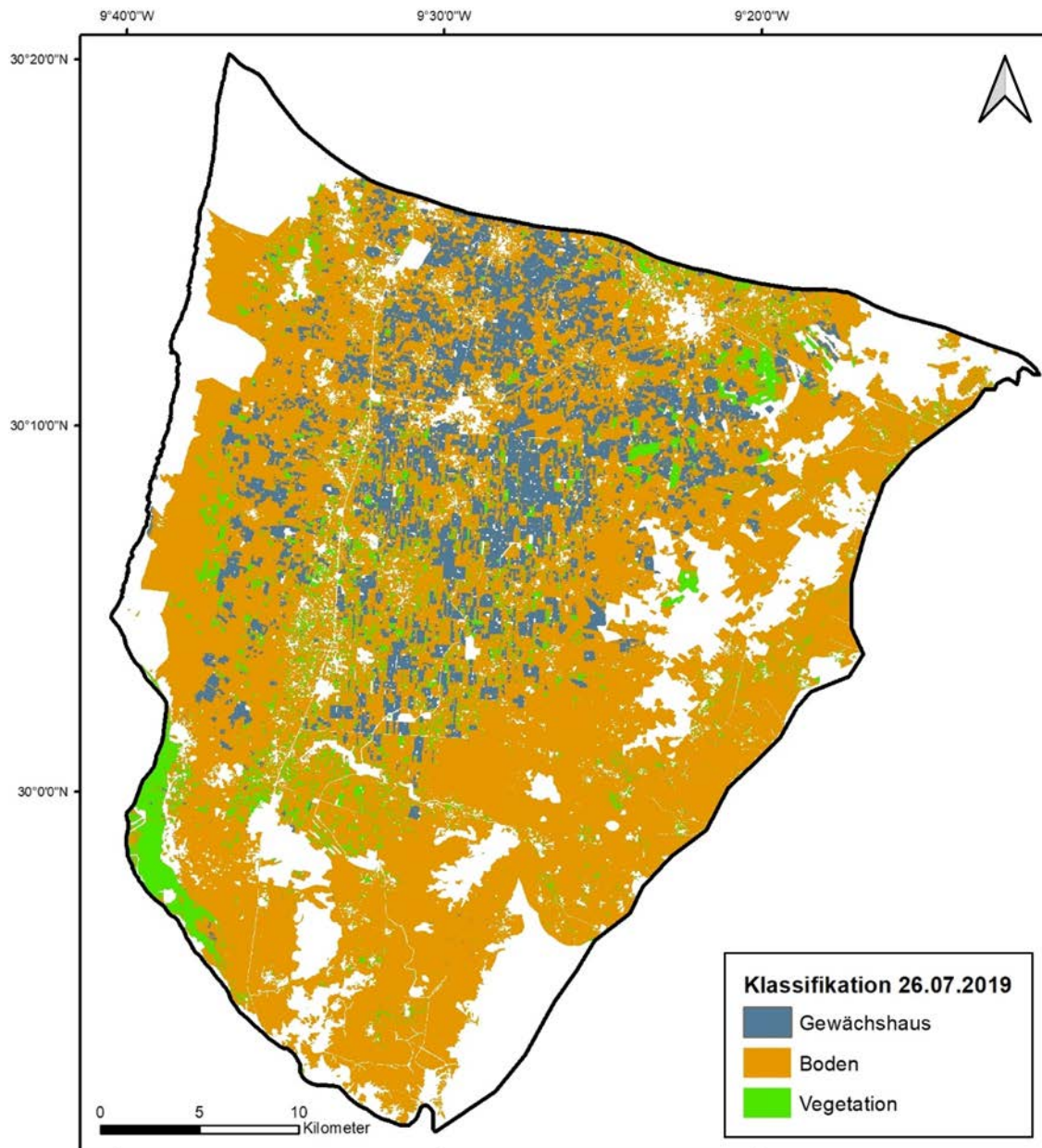


Abbildung 4: Klassifikation der Sentinel 2 Daten vom 26 Juli 2019 des Grundwasserkörpers Chtouka

Aus der Klassifikation gehen die Gesamtflächen der jeweiligen Klassen hervor. Sie belaufen sich für die Klasse „Gewächshaus“ auf 15.870 ha, für die Klasse „Boden“ auf 81.912 ha und für die Klasse „Vegetation“ auf 7.433 ha. Das Ergebnis der Klassifikation weist bei näherer Betrachtung einige isolierte Pixel und Pixelgruppen auf, die nachweislich nicht korrekt zugeordnet worden sind. Dieser Effekt kann durch die Anwendung *Sieve* vermindert werden und ist auch für das vorliegende Ergebnis in QGIS angewendet worden. Dabei werden Pixel und Pixelgruppen, welche kleiner als ein definierter Schwellenwert sind, durch den Pixelwert der umliegenden acht Pixel ersetzt. In diesem Beispiel wird ein Schwellenwert von fünf Pixeln angenommen. Eine Übersicht der Flächen gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Gesamtflächen der einzelnen Klassen der Klassifikation

	Fläche [ha]	
	Klassifikation	Algorithmus Sieve
Gewächshaus	15.870	15.585
Boden	81.912	82.405
Vegetation	7.433	7.196

Die berechneten Flächen der Klassifikation werden mit den absoluten Flächen der Landnutzungskarte des CRTS von 2019 verglichen, um die Ergebnisse zu validieren. Tabellen 2 und 3 zeigen die Gesamtflächen für die drei Klassen der Landnutzungskarte des CRTS für 2019 sowie der Klassifikation der Sentinel 2 Daten vom 26.07.2019. Ebenso sind dort die prozentualen Übereinstimmungen der Klassifikationsergebnisse gegenüber der Karte des CRTS von 2019 angegeben.

Tabelle 2: Vergleich der Gesamtflächen der Klassen Gewächshaus, Boden und Vegetation des CRTS und der Klassifikation

	Karte CRTS 2019	Klassifikation Sentinel 2	Klassifikation vs. CRTS
	Fläche [ha]	Fläche [ha]	[%]
Gewächshaus	16.121	15.870	98,4
Boden	80.117	81.912	97,8
Vegetation	9.006	7.433	82,5

Tabelle 3: Vergleich der Gesamtflächen der Klassen Gewächshaus, Boden und Vegetation des CRTS und der Klassifikation nach Anwendung des Algorithmus Sieve

	Karte CRTS 2019	Klassifikation Sieve	Klassifikation vs. CRTS
	Fläche [ha]	Fläche [ha]	[%]
Gewächshaus	16.121	15.585	96,7
Boden	80.117	82.405	97,2
Vegetation	9.006	7.196	79,9

Daneben werden die Ergebnisse anhand von Zufallspunkten validiert. Insgesamt werden 765 Zufallspunkte mit einem Mindestabstand von 100 m im Untersuchungsgebiet generiert. Davon entfallen 122 auf die Klasse Gewächshaus, 580 auf die Klasse Boden und 63 auf die Klasse Vegetation. Die Verteilung der Punkte entspricht in etwa den prozentualen Flächenanteilen der jeweiligen Klassen. Der Vergleich der Landnutzungskarte des CRTS für 2019 sowie der Klassifikation vom 26.07.2019 ist in Tabelle 4 als Konfusionsmatrix dargestellt. Die Konfusionsmatrix bleibt auch nach Anwendung des Algorithmus Sieve unverändert.

Tabelle 4: Konfusionsmatrix der Klassen des CRTS und der Klassifikation

		Landnutzungskarte CRTS				User's Accuracy
		Gewächshaus	Boden	Vegetation	Total	
Klassifikation	Gewächshaus	96	12	1	109	88,1 %
	Boden	25	549	31	605	90,7 %
	Vegetation	1	19	31	51	60,8 %
	Total	122	580	63	765	
Producer's Accuracy		78,7 %	94,7 %	49,2 %		Overall Accuracy 88,4 %

Aus der Konfusionsmatrix geht eine Gesamtgenauigkeit von 88,4 % hervor, wobei es zwischen den jeweiligen Klassen größere Unterschiede gibt. Die geringen, anhand der Zufallspunkte berechneten Gesamtgenauigkeiten (*Producer's Accuracy*) der Klassen „Gewächshaus“ und insbesondere „Vegetation“ lassen sich teilweise durch den Vergleich von Rasterdaten und Vektordaten erklären. Das Ergebnis der Klassifikation stellt eine pixelbasierte Karte dar, auf der es zu nicht schematisch dargestellten Flächen kommt. Dagegen ist die Vergleichskarte des CRTS ein Vektordatensatz aus strukturierten Polygonen mit klaren Konturen. Abbildung 5 veranschaulicht dieses Phänomen.

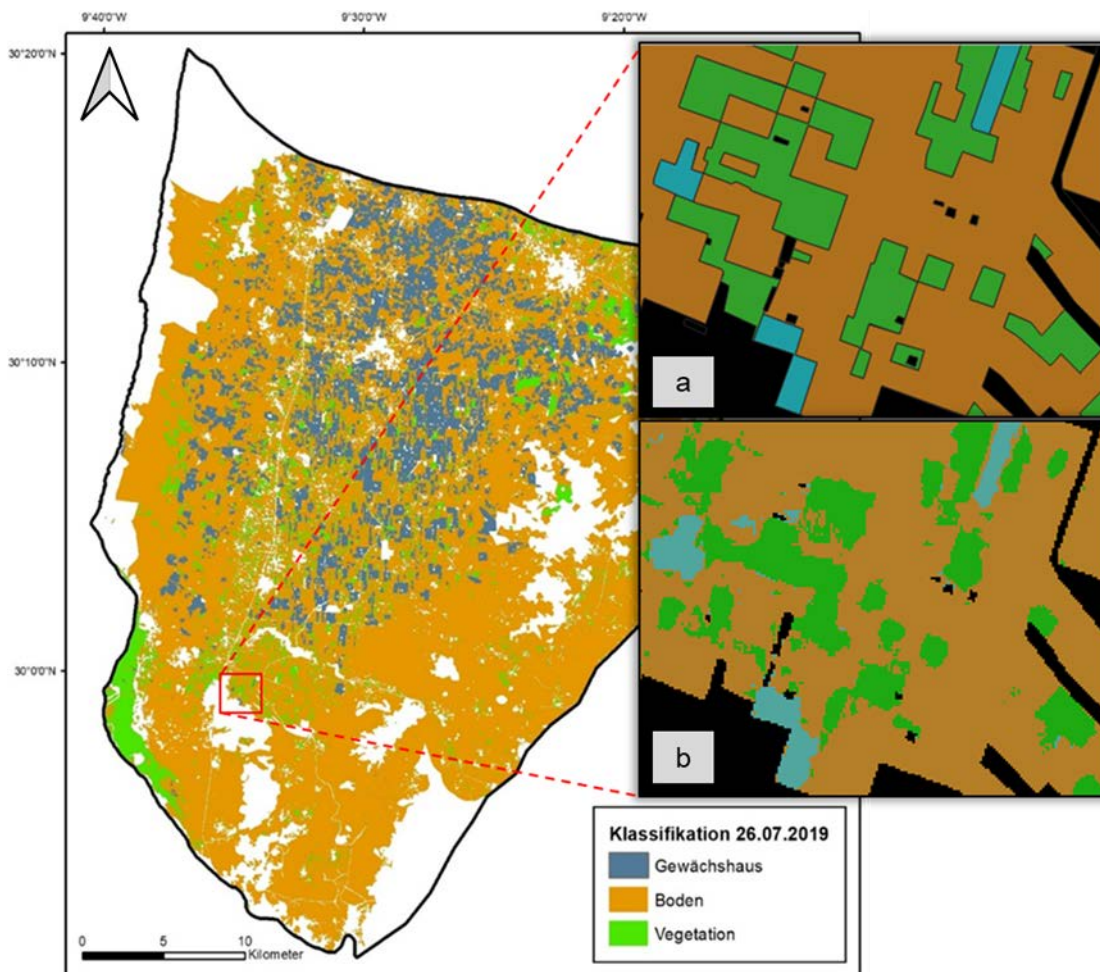


Abbildung 5: Vergleich Vektordaten der Karte des CRTS (a) und Rasterdaten der Klassifikation (b)

Des Weiteren definiert die Landnutzungskarte des CRTS die landwirtschaftlichen Parzellen als Ganzes und nicht die zum aktuellen Zeitpunkt bestellte Fläche. So ist es möglich, dass die Referenzkarte des CRTS die gesamte Ausdehnung der Parzelle abbildet, diese jedoch zum Zeitpunkt der Aufnahme der Satellitenbilder lediglich teilweise bestellt ist. Somit kann die tatsächliche Landnutzung wie in der Klassifikation erfasst von der schematisch dargestellten Landnutzungskarte des CRTS abweichen.

Daneben sind teilweise in der Landnutzungskarte des CRTS auch Flächen ausgewiesen, die auf den Satellitenbildern nicht zu erkennen sind. Zugleich fehlen auf der Landnutzungskarte des CRTS teilweise Flächen, die auf den hier genutzten Satellitenbildern zu sehen sind. Dies ist sowohl für die Klasse Gewächshaus als auch für die Klasse Vegetation der Fall. Beispielhaft ist dies in Abbildung 6 dargestellt. Sie zeigt einen Kartenausschnitt im Zentrum des Untersuchungsgebiets. Nach den Ergebnissen der Klassifikation sind in der Mitte des Ausschnitts keine Gewächshäuser vorhanden (Abbildung 9a), wohingegen die Karte des CRTS an dieser Stelle Gewächshäuser ausweist (Abbildung 9b). Optisch sind auf den Sentinel 2 Daten vom 26.07.2019 keine Gewächshäuser zu erkennen. Diese Annahme wird durch Aufnahmen von Google Earth vom 12.06.2019 und vom 29.09.2019 bestätigt (Abbildung 9c und d). Es ist unwahrscheinlich, dass in der Zeitspanne Mitte Juni bis Ende September Gewächshäuser auf- und wieder abgebaut wurden. Die Landnutzung zum Zeitpunkt des 26.07.2019, worauf die Klassifikation basiert, kann demnach von der schematisch dargestellten Landnutzungskarte des CRTS abweichen.

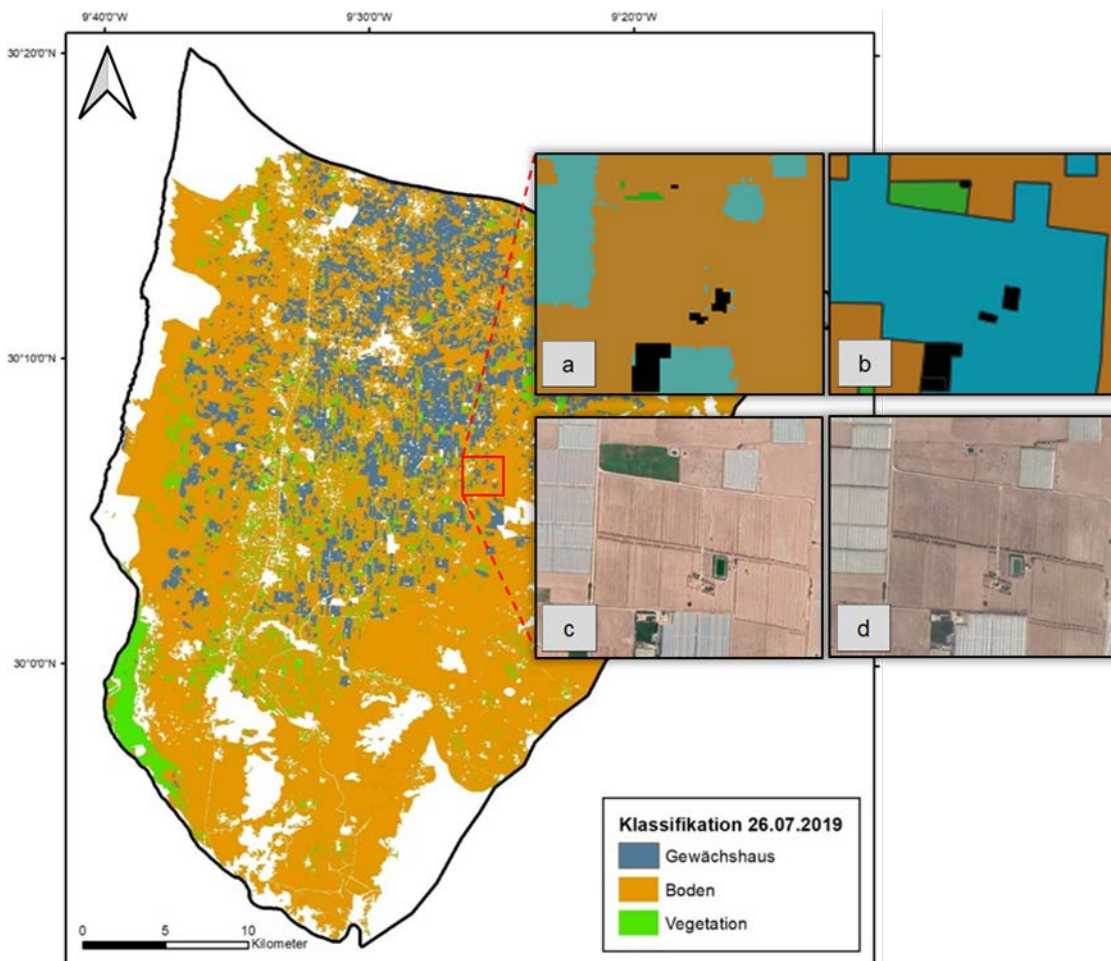


Abbildung 6: Vergleich der Rasterdaten der Klassifikation (a) und der Vektordaten der Karte des CRTS (b) mit Aufnahmen von Google Earth vom 12.06.2019 (c) und vom 29.09.2019 (d)

4. Abschätzung der Grundwasserentnahme

4.1 Methodik

Die Grundwasserentnahme kann mit verschiedenen Methoden berechnet werden. Das können beispielsweise theoretische Werte zum Wasserbedarf von Kulturpflanzen pro Fläche für eine bestimmte Region sein, welche unter Umständen lokalen Gegebenheiten angepasst wurden. Sie sind zumeist Erfahrungswerte und setzen sich zum Teil aus gemessenen Werten zusammen. Anhand dieser Wasserbedarfe der jeweiligen Kulturpflanzen kann die Menge der Grundwasserentnahme nach Abzug der Menge des effektiven Niederschlags abgeschätzt werden.

Eine weitere gängige Methode ist das Konzept der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO), welche auf die Bestimmung der Evapotranspiration abzielt (Allen et al. 1998). In einem ersten Schritt wird die kulturspezifische Evapotranspiration (ET_c) berechnet, um den Wasserbedarf der Feldfrüchte abzuschätzen. Die Wassermenge, die erforderlich ist, um den Verlust durch die Evapotranspiration einer landwirtschaftlichen Fläche zu kompensieren, stellt die Wassermenge für das Pflanzenwachstum dar. Die ET_c ist somit mit dem Wasserbedarf der Feldfrucht gleichzusetzen. Die ET_c wird anhand der Multiplikation einer Referenz Evapotranspiration (ET_o) und einem kulturspezifischen Korrekturwert (K_c) bestimmt. Die ET_o kann einerseits als gemessener Wert vorliegen oder anhand von Klimadaten abgeleitet werden. Der Korrekturwert K_c ist ein für jede Feldfrucht spezifischer, empirischer Wert. In einem zweiten Schritt wird zuerst der Bewässerungsbedarf der Feldfrucht bestimmt, bevor Rückschlüsse auf die Grundwasserentnahme gezogen werden. Der Bewässerungsbedarf, welcher der Grundwasserentnahme gleichgesetzt wird, stellt grundsätzlich die Differenz zwischen dem Wasserbedarf der Feldfrucht und dem effektiven Niederschlag dar. Weitere lokalspezifische Informationen zum Regenfeldbau, zu den Bewässerungspraktiken oder zu weiteren Wasserquellen außer die des Grundwassers können herangezogen werden, um die Grundwasserentnahme weiter zu präzisieren.

Ideal ist es jedoch, wenn die Grundwasserentnahme für die jeweiligen Kulturpflanzen bekannt ist. Im besten Falle sind das Werte von Wasseruhren, welche an den Pumpen installiert sind.

Für diese Arbeit liegt eine umfassende Studie aus dem Jahr 2015 vor (ANZAR Conseil, 2015), bei der unter anderem Messungen zu den Durchflussmengen der Pumpen durchgeführt und Angaben zur Pumpdauer der Landwirte aufgenommen wurden. Ergänzend dazu ist die Größe der bewässerten Fläche sowie die entsprechende Kulturpflanze angegeben. Die Feldarbeiten wurden von Ende April bis Anfang Juli 2015 durchgeführt. Daraus lassen sich die Entnahmemengen des Grundwassers für die Bewässerung der einzelnen Kulturpflanzen für die Sommerperiode bestimmen. Bei diesen Informationen wird zwischen offener Landwirtschaft und Gewächshäuser unterschieden.

Tabelle 5 gibt einen Überblick der Grundwasserentnahmen für die offenen landwirtschaftlichen Flächen sowie für die Gewächshäuser der vorkommenden Kulturpflanzen. Darin sind die Mittelwerte der Entnahmemengen der Sommerperiode dargestellt. Leere Felder in Tabelle 5 bedeuten grundsätzlich, dass die Kulturpflanze nicht angebaut wird.

Tabelle 5: Mittelwerte der Grundwasserentnahmemengen der Kulturpflanzen, Sommerperiode (nach ANZAR Conseil 2015)

	Offene Landwirtschaft [m ³ /ha]	Gewächshaus [m ³ /ha]
Aprikose	3.988	
Aubergine	13.191	
Banane	1.966	6.503
Gerste	2.293	
Granatapfel	2.722	
Gras	12.776	
Grüne Bohne	2.744	8.124
Gurke		14.492
Hartweizen	16.582	
Himbeere		17.803
Kalebasse	26.208	
Kartoffel	7.584	2.271
Kräuter		4.346
Lauch		7.766
Luzerne	20.065	
Mais	7.287	
Mandel	14.040	
Melone		6.701
Nektarine	2.890	
Dattel	1.398	
Paprika		8.399
Pfirsich	1.747	
Scharfer Paprika	7.020	4.444
Tomate		7.155
Wassermelone		1.890
Weichweizen	2.712	
Zierblume		7.109
Zitrusfrüchte	5.512	
Zucchini	4.470	1.716
Zwiebel	546	

In die Berechnung miteingeflossen sind die landwirtschaftlichen Parzellen, bei denen lediglich eine Kulturpflanze angebaut wird und somit eine genaue Zuordnung der Bewässerungsfläche und –menge möglich ist. Teilweise wird dieselbe Kulturpflanze auf verschiedenen Parzellen mit unterschiedlichen Techniken bewässert. Die Bewässerungstechniken wurden hier nicht gesondert berücksichtigt, da bei der Analyse der Daten keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden. Überwiegend wird die Tröpfchenbewässerung angewendet (82 % der

Flächen). Daneben ist die Berieselung eine weitere relevante Bewässerungstechnik (12 % der Flächen).

Aus Tabelle 5 geht hervor, dass es nur wenige Kulturpflanzen gibt, die sowohl im Freien als auch in den Gewächshäusern angebaut werden. Eine eindeutige Aussage, ob die Bewässerungsmenge bei diesen Kulturpflanzen beim Anbau in Gewächshäusern oder im Freien höher ist, kann nicht getroffen werden. Theoretisch könnte angenommen werden, dass in den Gewächshäusern die Bewässerungsmenge pro Hektar geringer ist. Dass dies nicht der Fall ist, kann unterschiedliche Gründe haben. Beispielsweise kann in den Gewächshäusern die Dichte der Kulturpflanzen und dementsprechend der Ernteertrag und somit die Wasserproduktivität höher sein.

Die Flächenanteile der einzelnen Kulturpflanzen variieren nach ANZAR Conseil 2015 sehr stark. So kommen in der offenen Landwirtschaft in der Sommerperiode überwiegend Zitrusfrüchte, Luzerne, Mais, Pfirsich, Kartoffel, Zucchini, Nektarine und Weichweizen vor. Diese Kulturpflanzen machen allein 85 % der Fläche aus. Alle anderen Kulturpflanzen haben zusammen einen Flächenanteil von unter 15 % und sind unter Sonstige zusammengefasst (Abbildung 7).

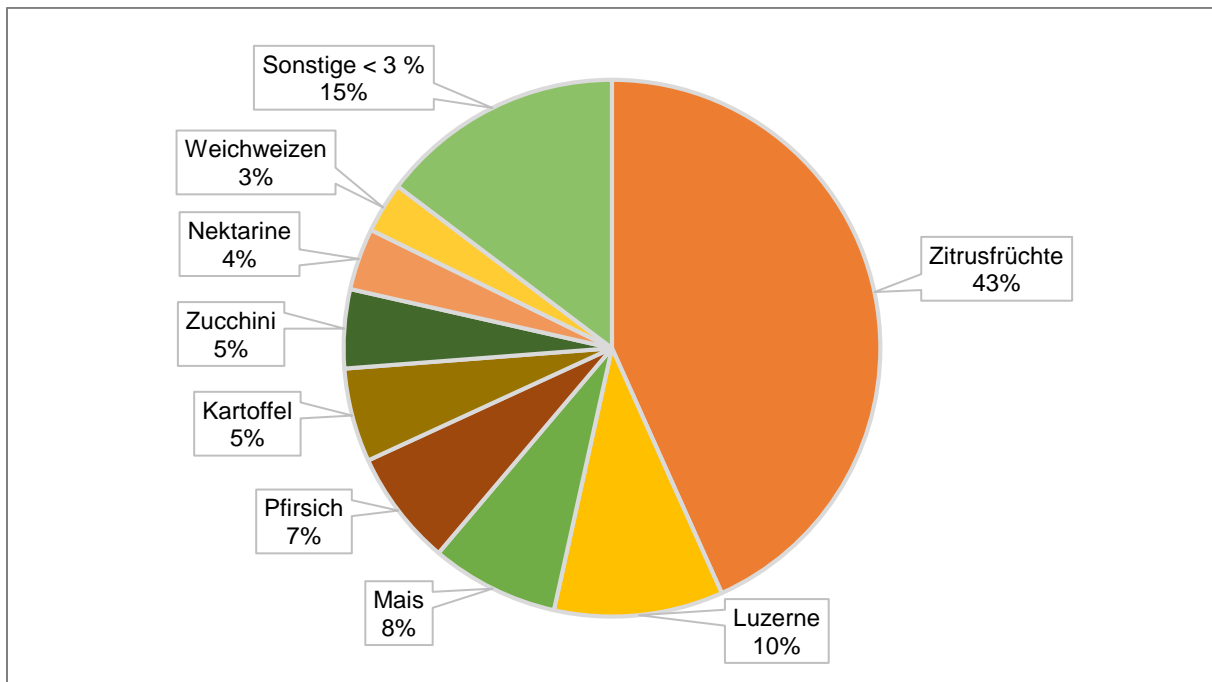


Abbildung 7: Flächenanteile der Kulturpflanzen in der offenen Landwirtschaft > 3%, Sommerperiode (nach ANZAR Conseil 2015)

In den Gewächshäusern überwiegen während der Sommerperiode die Tomaten und die grünen Bohnen mit zusammen fast drei Viertel der Gesamtfläche. Daneben werden Paprika, Bananen und scharfer Paprika angebaut (19 % der Flächen). Alle anderen Kulturpflanzen mit einem Flächenanteil geringer als 3 % haben zusammen einen Flächenanteil von 7 % an der Gesamtfläche und sind unter Sonstige zusammengefasst (Abbildung 8).

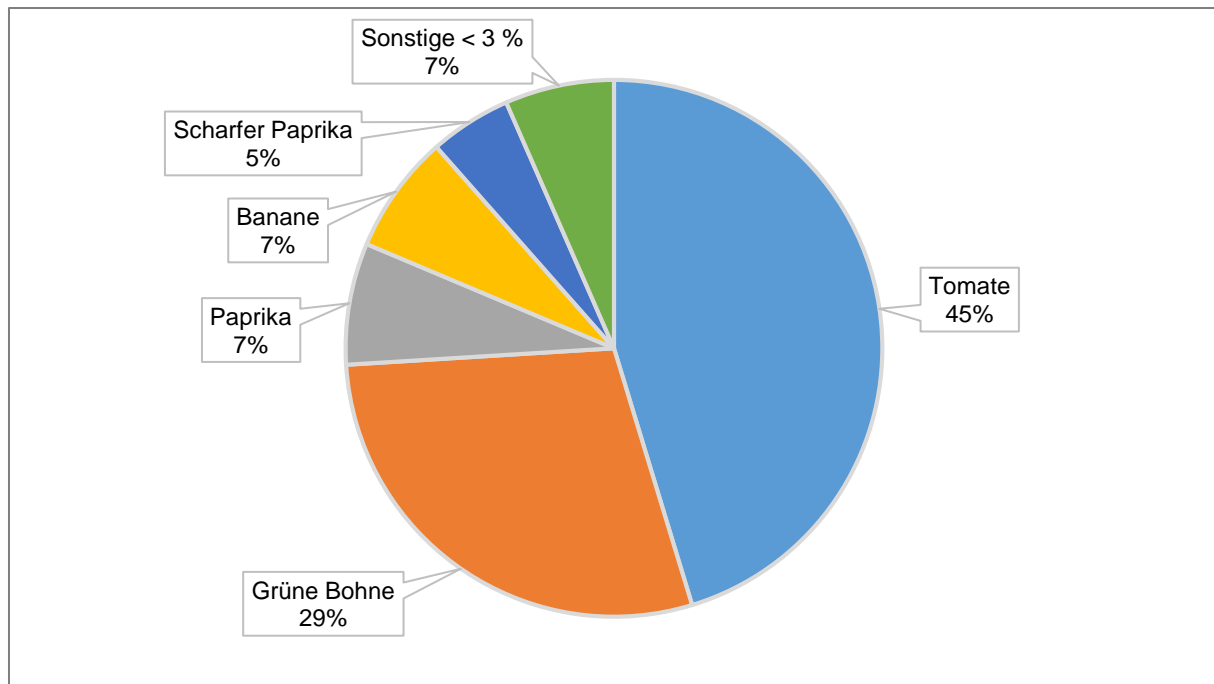


Abbildung 8: Flächenanteile der Kulturpflanzen in den Gewächshäusern > 3%, Sommerperiode (nach ANZAR Conseil 2015)

Anhand der gemittelten Bewässerungsmenge und der prozentualen Anteile der einzelnen Kulturpflanzen an der Gesamtfläche wird der gewichtete Mittelwert für die offene Landwirtschaft und die Gewächshäuser berechnet. Dieser beläuft sich für die Gewächshäuser auf 7.161,6 m³/ha und für die offene Landwirtschaft auf 6.453,3 m³/ha. Ebenso geht nach dieser Berechnung die Bewässerungsmenge für Olivenbäume in offener Landwirtschaft aus den Daten von ANZAR Conseil 2015 hervor. Sie beläuft sich auf 14.395,7 m³/ha während der Sommerperiode. Diese Werte werden als Bewässerungsmenge pro Hektar angenommen und der Grundwasserentnahme gleichgesetzt. Mit einer Multiplikation der landwirtschaftlich genutzten Flächen wird somit die Grundwasserentnahme bestimmt.

Bei der Berechnung wird angenommen, dass die gewichtete Bewässerungsmenge aus dem Jahr 2015 auch im Jahr 2019 gültig ist. Sowohl im Jahr 2015 als auch im Jahr 2019 gab es in der Sommerperiode keine Niederschläge, welche sich auf die Wasserverfügbarkeit für die Kulturpflanzen ausgewirkt haben (WetterOnline 2021).

Die Flächen, die durch die Satellitendaten bestimmt werden, stellen sämtliche landwirtschaftlichen Flächen dar. Die Ergebnisse beinhalten sowohl die bewässerten Flächen als auch Flächen, die mit Oberflächenwasser aus dem Staudamm oder anderen Reservoirs bewässert werden. Nach den Daten von ANZAR Conseil 2015 werden 3,41 % der Gewächshäuser mit Oberflächenwasser bewässert. In der offenen Landwirtschaft sind es 6,18 %. Dementsprechend werden 96,59 % der Gewächshäuser und 93,82 % der offenen Flächen mit Grundwasser bewässert. Olivenbäume werden zu 87,85 % mit Grundwasser bewässert. Diese Anteile werden bei der Berechnung der Grundwasserentnahme berücksichtigt, indem die bewässerten Flächen entsprechend reduziert werden.

4.2 Ergebnisse und Interpretation

Tabelle 6 zeigt die Summe der landwirtschaftlichen Flächen im Untersuchungsgebiet, welche mit Grundwasser bewässert werden. Ebenso ist die Grundwasserentnahme für die Sommerperiode 2019 (Mai bis September) dargestellt, welche sich aus der Multiplikation der landwirtschaftlichen Fläche und der gemittelten Bewässerungsmenge ergibt. Die Grundwasserentnahme für die Sommerperiode 2019 beläuft sich demnach auf etwa 157 Mio. m³.

Tabelle 6: Grundwasserentnahme basierend auf den Ergebnissen der Klassifikation vom 26.07.2019 und der Bewässerungsmenge für die Sommerperiode 2015 (nach ANZAR Conseil 2015)

	Fläche (Grundwasser) [ha]	Bewässerungsmenge [m ³ /ha]	Grundwasserentnahme [m ³]
Gewächshaus	15.329	7.161,6	109.780.166
Vegetation	6.974	6.453,3	45.005.314
Olivenbäume	167	14.395,7	2.404.082
Total			157.189.562

Die gemittelte Bewässerungsmenge pro Hektar wird durch den gemessenen Durchfluss der Pumpe sowie durch die Pumpdauer bestimmt. Die Pumpdauer an den einzelnen Entnahmestellen sind Angaben der Landwirte und somit kann es möglich sein, dass die gemittelte Bewässerungsmenge teilweise anhand von Schätzungen oder sogar Falschangaben berechnet wurde. Teilweise sind die Angaben der Landwirte für eine bestimmte Kulturpflanze höher als empirische Werte. Auch die Spanne der Angaben ist sehr breit, was auf den ersten Blick auf unrealistische Werte schließen lassen könnte. Andererseits kann dies auch der Realität entsprechen, da die Landwirte unterschiedliche Bewässerungspraktiken haben.

Beim Vergleich des empirischen Bewässerungsbedarfs in ariden Klimazonen und den berechneten Bewässerungsmengen nach ANZAR Conseil 2015 ist ein deutlicher Unterschied für Olivenbäume erkennbar. Nach Angaben der Landwirte wird ein Hektar Olivenbäume in der Sommerperiode im Mittel mit über 14.000 m³ bewässert. Hinzukommen noch über 7.000 m³ in der Periode Winter/ Frühjahr. Dies entspricht einer Bewässerung von über 21.000 m³/ha und Jahr. Die Grundwasserentnahme für die Olivenbäume im Untersuchungsgebiet beläuft sich dann auf etwa 3,5 Mio. m³ für ein Jahr. Empirische Werte hingegen belegen einen Bewässerungsbedarf von maximal 6.000 bis 8.000 m³/ha und Jahr (FAO 2021a). Würde man für die Fläche der Olivenbäume einen Bewässerungsbedarf von 8.000 m³/ha ansetzen, würde sich die Grundwasserentnahme um 2,2 Mio. m³ auf etwa 1,3 Mio. m³ im Jahr minimieren, was einer Reduzierung des Bewässerungsbedarfs der Olivenbäume von mehr als 60 % entspräche. Diese Reduzierung fällt bei der Gesamtmenge der Grundwasserentnahme jedoch kaum ins Gewicht.

Zitrusfrüchte sind bei der Berechnung des gewichteten Mittelwerts der Bewässerungsmenge für den Sommer mit 43 % berücksichtigt, da sie den entsprechenden Flächenanteil repräsentieren. Die Angaben der Landwirte hinsichtlich ihrer Bewässerung von Zitrusfrüchten haben demnach ein starkes Gewicht. Die Berechnungen nach ANZAR Conseil 2015 zeigen eine Bewässerungsmenge von etwa 5.500 m³/ha im Sommer. Im Winter liegt dieser Wert bei etwas über 2.000 m³/ha. In der Summe wird also eine Bewässerungsmenge von rund 7.500

m³/ha und Jahr benötigt. Empirische Werte nach FAO 2021a liegen zwischen 9.000 und 12.000 m³/ha und Jahr und somit höher als die Angaben der Landwirte.

Betrachtet man die empirischen Werte der Bewässerungsmenge von Zitrusfrüchten allein in der Sommerperiode, in der im Mittel gute 60 % des Wasserbedarfs benötigt werden (FAO 2021b), so kommt man auf Werte zwischen 5.500 und 7.500 m³/ha, welche wiederum nah an den Angaben der Landwirte sind. Würde man in dem Fall den maximalen Wert von 7.500 m³/ha annehmen, würde sich der gewichtete Mittelwert der Bewässerungsmenge pro Hektar auf 7.380 m³ erhöhen und eine somit eine höhere Grundwasserentnahme in der offenen Landwirtschaft von rund 15 % bedeuten.

Bei der Luzerne, die bei der Berechnung des gewichteten Mittelwerts der Entnahmemengen im Sommer 10 % der Gesamtfläche ausmacht, liegt der empirische Wert nach FAO 2021a zwischen 8.000 und 16.000 m³/ha und Wachstumszyklus. Der Berechnung zugrunde gelegt auf Basis der Angaben der Landwirte für die Sommerperiode wurden hier etwas mehr als 20.000 m³/ha. Die Luzerne durchläuft typischerweise einen Wachstumszyklus im Sommer. Somit kann der Wasserbedarf der Sommerperiode auf den Wachstumszyklus übertragen werden. Würde man die Bewässerungsmenge beispielsweise auf 12.000 m³/ha verringern, was dem Mittelwert der empirischen Werte entspricht, würde sich der gewichtete Mittelwert der Bewässerungsmenge der offenen Landwirtschaft pro Hektar auf 5.680 m³ reduzieren. Die gesamte Grundwasserentnahme in der offenen Landwirtschaft würde sich dann um rund 12 % reduzieren.

Bei allen anderen saisonalen Kulturpflanzen in der offenen Landwirtschaft sind die Unterschiede zwischen den Angaben der Landwirte und den empirischen Werten der FAO bei der Berechnung des gewichteten Mittelwerts der Bewässerungsmenge nicht maßgeblich. Entweder liegen die Angaben der Landwirte und die empirischen Werte in derselben Größenordnung oder der Flächenanteil ist eher gering. Hinsichtlich der Bewässerungsmengen in Gewächshäusern stellen die Daten von ANZAR Conseil 2015 die einzig verfügbare und verlässliche Quelle dar.

Die Ergebnisse der Abschätzung der Grundwasserentnahme können als räumliche Verteilung in einer Karte dargestellt werden. Abbildung 9 zeigt die Grundwasserentnahme für die entsprechende landwirtschaftliche Nutzung in der Sommerperiode 2019 basierend auf den Ergebnissen der Klassifikation der Sentinel 2 Daten vom 26.07.2019. Die Angaben stellen die durchschnittlichen Werte für die jeweilige landwirtschaftliche Nutzung dar und können räumlich variieren.

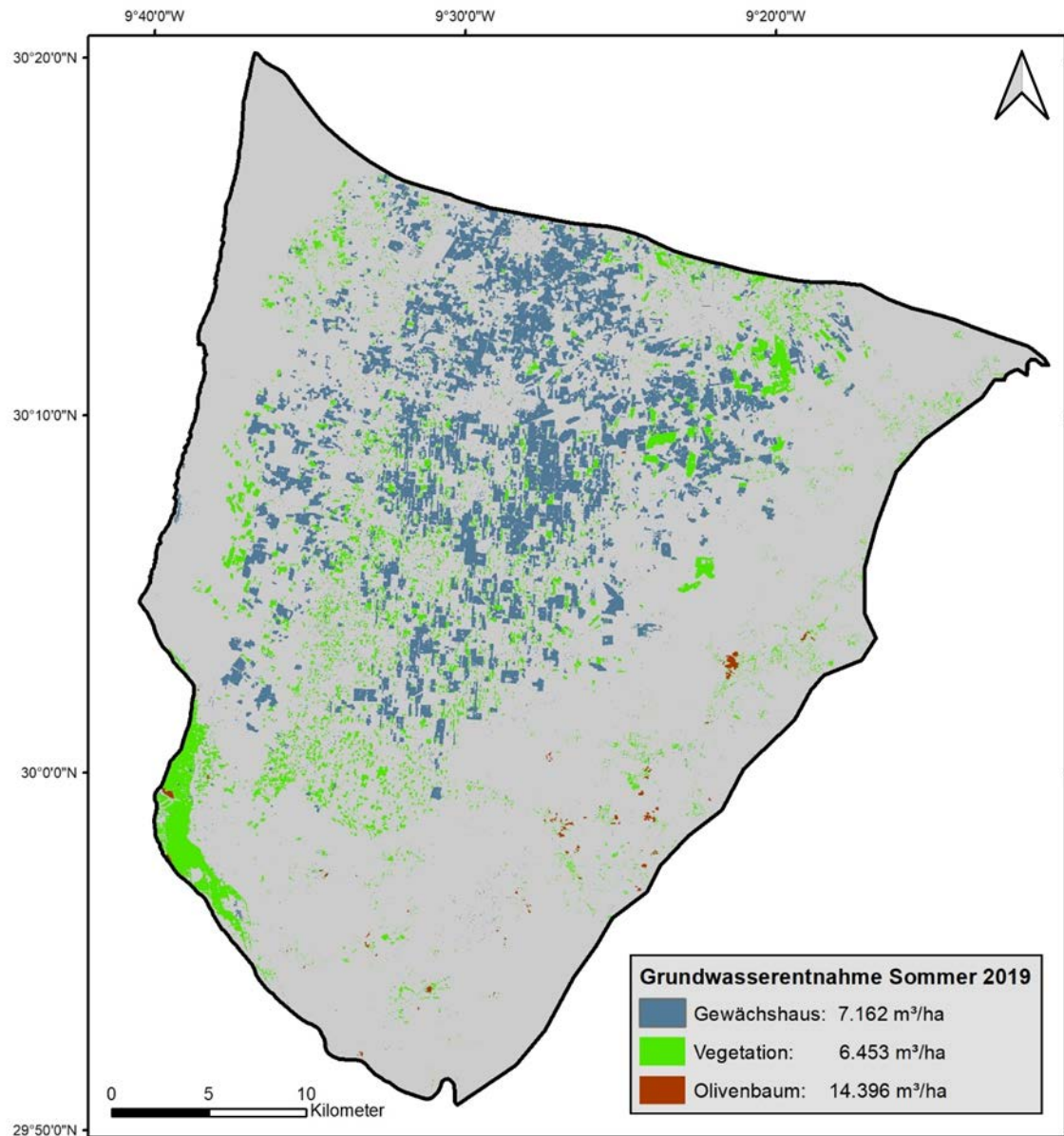


Abbildung 9: Durchschnittliche Grundwasserentnahme nach landwirtschaftlicher Nutzung basierend auf den Ergebnissen der Klassifikation der Sentinel 2 Daten vom 26.07.2019

5. Zusammenfassung und nächste Schritte

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Ansatz zur Bestimmung der landwirtschaftlichen Flächen anhand von Satellitendaten vorgestellt. Diese wurden auf Grundlage der lokalen Gegebenheiten sowie unter Berücksichtigung der Vorgaben der Partnerbehörden entwickelt. Ebenso waren wichtige Aspekte, dass die Methode einfach und kostengünstig umgesetzt werden können.

Die Ergebnisse zeigen die Auswertungen für die Sommerperiode 2019. Aufgrund der verfügbaren Daten konnten die Ergebnisse anhand einer Referenzkarte des Marokkanischen Fernerkundungsdienstes validiert werden. Es ist zu empfehlen, die Ergebnisse der Sommerperiode 2019 durch weitere Berechnungen anderer Jahre sowie unter Verwendung von Geländedaten zu validieren und die Methode gegebenenfalls anzupassen.

Basierend auf den Ergebnissen zur Bestimmung der landwirtschaftlich genutzten Flächen wurde das Volumen der Grundwasserentnahme in der Landwirtschaft für den Grundwasserkörper Chtouka abgeschätzt. Grundlagen für die Berechnungen lieferte eine Studie aus dem Jahr 2015, welche Angaben von Landwirten hinsichtlich der Bewässerung von Kulturpflanzen beinhaltet. Diese Daten bieten eine gute Basis, jedoch empfiehlt es sich auch hier, zukünftig auf weitere und aktualisierte Daten zurückzugreifen.

Verglichen mit anderen empirischen Werten zum Wasserbedarf der Kulturpflanzen können die Angaben der Landwirte zur Bewässerung insgesamt und im Durchschnitt als realistisch und somit auch die Berechnung als plausibel betrachtet werden. Es existieren jedoch teilweise für einzelne Kulturpflanzen erhebliche Unterschiede zwischen den Angaben der Landwirte und den empirischen Werten der FAO, welche die Berechnung des gewichteten Mittelwerts der Bewässerungsmenge beeinflussen. Diese Unterschiede zeigen aber auch, dass es ein Einsparungspotenzial geben könnte. So können diese Vergleiche bei der Entscheidungsfindung unterstützen und anhand dieser gezielt Maßnahmen zur Anpassung der Bewässerungsmenge vorgenommen werden.

Dieser Ansatz leistet einen Beitrag, um mit geringem zeitlichen und finanziellen Aufwand die landwirtschaftlichen Flächen zu bestimmen und die Grundwasserentnahme abzuschätzen. Die Arbeit zielt somit genau auf eines der wichtigen Ziele des Projekts, das Monitoring der Grundwasserentnahme, ab. Die Methodik ist dabei nicht nur auf das Projektgebiet beschränkt, sondern kann zukünftig von der lokalen Wasserbehörde ABHSM und der Partnerorganisation OSS verwendet und auf andere Gebiete übertragen werden. Ein Wissenstransfer zur Anwendung der Methodik hat im Rahmen des Projekts stattgefunden, sodass die Nachhaltigkeit garantiert werden kann.

6. Quellenverzeichnis

- Allen et al. (1998): Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- ANZAR Conseil (2015): Etude et élaboration de Contrat de Nappe de Chtouka (Province Chtouka Ait Baha). Base de données prélèvements nappe Chtouka.
- Capion Consulting (2018): Expertise pour une collecte et une analyse descriptive des données spatiales au niveau de la nappe de Chtouka – Maroc.
- Centre Royal de la Télédétection Spatiale du Maroc (CRTS) (2014): Cartographie de l'occupation du sol à partir des images satellitaires.
- Centre Royal de la Télédétection Spatiale du Maroc (CRTS) (2020): Carte de l'occupation du sol de l'année 2019.
- European Space Agency (ESA) (2015): Sentinel-2 product tiling grid
- European Space Agency (ESA) (2022): Sentinel-2 mission overview
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> (Abruf 13.02.2022)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2021a): Crop Water Information. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/> (Abruf 25.02.2022)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2021b): WaPOR v2.1. Reference Evapotranspiration (Annual and Monthly), 2019 and 2020, location 30.15,-9.45. https://wapor.apps.fao.org/home/WAPOR_2/1 (Abruf 25.02.2022)
- Google Earth (2022): <http://earth.google.com>
- WetterOnline GmbH (2021): Rückblick der Niederschlagsdaten der Station Agadir Flughafen für die Jahre 2015 und 2019. <https://www.wetteronline.de/rueckblick> (Abruf 25.02.2022).