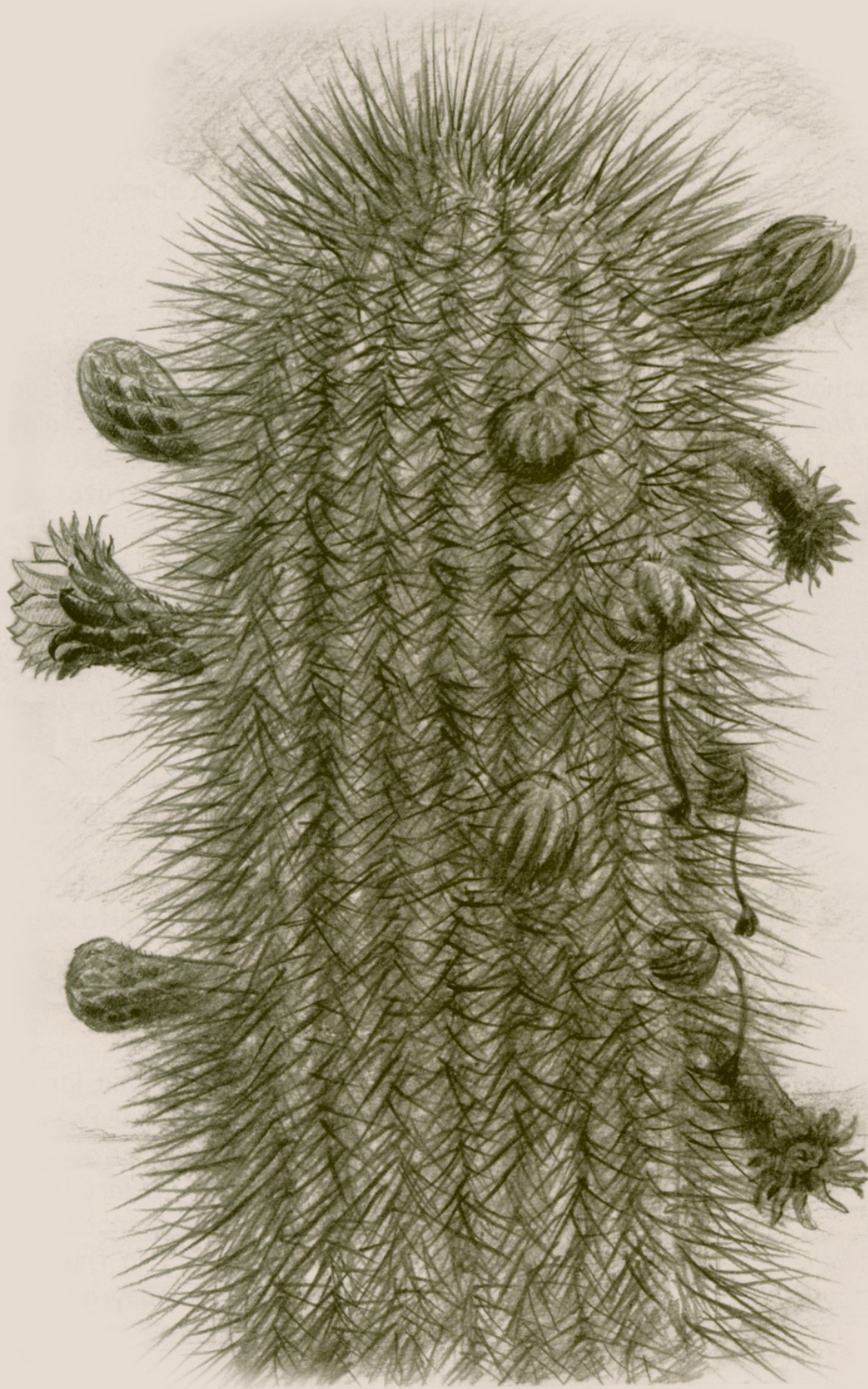


Von der Wasserbewirtschaftung
des
Echinopsis atacamensis



Beobachtungen im Nordosten
der Atacamaseenke

Wasserbewirtschaftung des *Echinopsis atacamensis*

KAPITEL

- I. Das Klima von Guatin.
- II. Die Vegetation.
- III. Wasserhaushalt eines jungen *Echinopsis atacamensis*.
- IV. Landkarte des untersuchten Gebietes.

BILDER

img01	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>atacamensis</i> , Volumenänderung über Jahreszeiten
img02	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>pasacana</i> , Teilung der Rippen
img03	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>atacamensis</i> , Verholzung an der Basis der Achse
img04	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>atacamensis</i> , Volumenänderung über Regenzeit
img05	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>atacamensis</i> , Risse im Rippental unten an der Achse
img06	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>atacamensis</i> , Risse im Rippental oben an der Achse
img07	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>atacamensis</i> , Gestreckte Rippen an der Basis
img08	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>atacamensis</i> , Risse an der vollgesogenen Achse
img09	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>atacamensis</i> , tiefe Risse auf halber Höhe am Prüfling
img10	<i>E. atacamensis</i> ssp <i>pasacana</i> , Risse an jungem Individuum

GRAFIKEN und TABELLEN

tab01	Niederschläge beim <i>E. atacamensis</i> img01 von 2014 bis 2018.
tab02	Vegetation im Tal des <i>E. atacamensis</i> img01.
tab03	Körpermasse des <i>E. atacamensis</i> img01 über die Jahreszeiten
tab04	Gratwinkel (φ) sowie Querschnittsflächenfaktor (A_n)
fig01	Grafik zur Änderung der Querschnittsfläche A
map01	Landkarte

- Die im Text blau erwähnten Bilder können durch Anklicken direkt angewählt werden. Vom aufgerufenen Bild zurück zum Text mit [Alt] + [Positionstaste rückwärts ←].
- Durch Anklicken der Koordinatenangaben unter den Bildern wird in eigenem Fenster die Stelle auf einer Satellitenkarte von Google Maps angezeigt. Diese kann auch auf dreidimensionale Darstellung oder auf kartographische Darstellung mit Höhenlinien umgestellt werden.
- Bilder und Grafik sind 1920 Pixel breit (für Fotodruck 19cm breit) und können direkt vom pdf-Dokument in ein Word (.doc)- oder Open (.odt)-Dokument hinüberkopiert werden.
- Darstellung der Bilder mit voller Auflösung bei Zoom 200% (Zoom aufrufen mit [Ctrl]+[Y])
- [Ctrl]+[1] für Zoom 100% [Ctrl]+[3] für Darstellung Seitenbreite
[Ctrl]+[H] für Lesemodus [Ctrl]+[L] für Vollbildmodus

Zum Titelblatt:

Oscar Tintaya, Maler aus La Paz, *Echinopsis atacamensis* am Salzsee von Uyuni.

I. Das Klima von Guatin

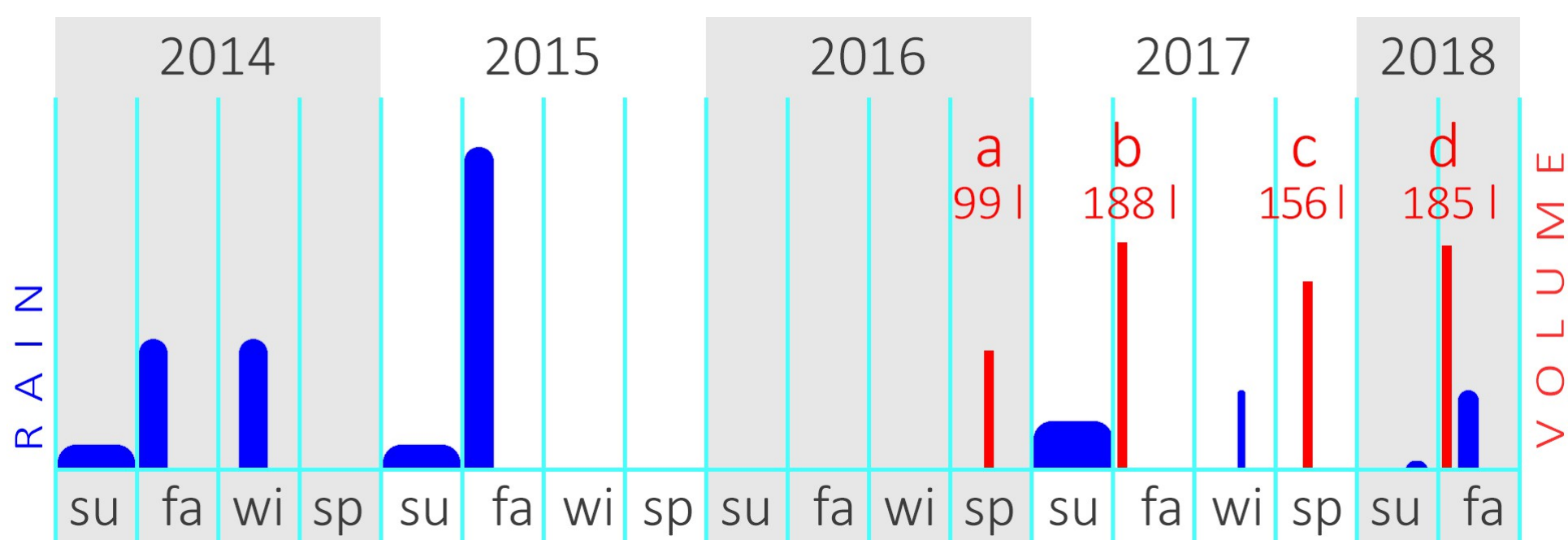
Unser *Echinopsis atacamensis* [img01] wächst bei 2976m Höhe auf dem Grund eines Trockentales aus alter, verwitterter Lavaasche am Rand eines jungen basaltischen Lavastro-
mes, auf welchem sich über eine Länge von 13km eine ausgedehnte Population dieser Kaktusart befindet [map01]. 5km im Nordosten liegt die Hirtensiedlung Guatin am nördlichen Gebirgsknoten, wo sich die westlich des Andenhauptkammes parallel verlaufende Cordillera de Domeyko mit dem Hauptkamm vereint. Zwischen der westlich 230km entfernten Pazifikküste liegt das Kerngebiet der Atacamawüste, welche hauptsächlich das Klima um Guatin bestimmt. Die feuchte Zeit findet hier im Sommer statt, wenn vermehrt auf der Ostseite der Anden Feuchtigkeit aus dem Chaco und dem Amazonasbecken am Gebirge hochsteigt und Niederschläge zu den Andengipfeln trägt. Bei starken Unwettern erreichen diese auch das Gebiet von Guatin und können gar als Schnee fallen. Andererseits können auch feuchte Höhenwinde vom Pazifik am Gebirgswall zu Wolkenbildung mit Niederschlägen führen. Dies kommt insbesondere beim periodisch auftretenden Wetterphänomen des Niño vor (Erwärmung des Pazifiks in Küstennähe). Dergestalt wechseln sich hier lange Trockenperioden und starke Niederschläge in nicht voraussagbaren Abständen ab und die Vegetation hat sich auf diese Umstände eingestellt, sei es durch Sukkulenz, sei es durch Samen, welche Jahre im heissen, trockenen Grund bis zum nächsten Regen überstehen oder sei es durch Behaarung der Pflanzen, welche die Feuchtigkeit aus dem Westwind kondensiert. Diese Beurteilung des Klimas ergeht aus meiner eigenen Erfahrung aus etwa sechzig Besuchen dieser Gegend während der vergangenen dreissig Jahre, in welchen ich insgesamt rund fünf Jahre hier lebte. In jüngster Zeit fanden drei ausserordentliche Witterungsereignisse statt, die hier erwähnt sein sollen [tab01]:

- Im Herbst 2014 traten von Nordosten orkanartige Stürme mit Regen und Hagel bei ausserordentlichem Temperatursturz auf. Noch vor Ende Mai fiel derart Schnee, dass gar unten auf dem Grund der Senke im Salzsee von Atacama eine dicke geschlossene Schneedecke lag. Die Bewohner der Lehmhütten-Oase San Pedro am nördlichen Ende des Salzsees sahen zum ersten Mal derartiges und standen nachts im Pyjama vor den Hütten, um die ersten Flocken fallen zu sehen, derweil die Hunde verrückt spielten.
- Ein Jahr später, im Herbst 2015 ging innerhalb zweier Wochen eine derartige Flut über der gesamten Atacamawüste nieder, wie noch nie zuvor in geschichtlicher Zeit. Jahrhundertalte prähistorische Bauten und Anlagen wurden zerstört. Am nahegelegenen Río Vilama wurde bis zu vier Meter hohes, über Jahrhunderte angeschwemmtes Sediment mit all seiner einzigartigen Vegetation bis auf den Felssockel weggetragen. Ich hatte mich nach San Pedro in die Senke hinunter geflüchtet und notierte an einem der Tage:
 - *San Pedro, bedeckt und finster, der starke Regen hält den gesamten Tag an, währenddem die Temperatur weiter sinkt. Die Gassen sind ein knöcheltiefer, lehmiger Morast, in meinem Zimmer fliesst das Wasser wie aus dem Hahn von der Decke, alles ist feucht und modrig, jeglicher Verkehr nach San Pedro ist unterbrochen und der Strom ist ausgefallen.*

Am nächsten Tag erreichten uns dann Nachrichten vom Hauptort der Region Atacama, Copiapó, wo infolge schwerer Überschwemmungen mit Opfern und Vermissten der Notstand ausgerufen und die Gegend zum Katastrophengebiet erklärt wurde und auch in der nahen Wüstenstadt Antofagasta sollte es schlimm aussehen.

- Nach diesem Ereignis folgten gut 22 Monate Trockenheit, an deren Ende im Frühling 2016 unsere Aufnahme [img01a] mit dem völlig ausgemergelten *Echinopsis atacamensis* entstand.

- Im anschliessenden Sommer 2017 fiel rund zwei Monate lang beinahe täglich stunden- langer Nieselregen über Guatin und längs der ganzen Cordillera de Domeyko. In dieser Art ein ausserordentliches, einmaliges Ereignis, in dessen Folge im frühen Herbst 2017 die nackten, wüstenhaften Bergzüge um Guatin gleich einem Fussballrasen sich begrün- ten, worunter etliche Pflanzen, welche ich hier zum ersten Mal bemerkte. Ein derartiges Spektakel habe ich in gut dreissig Jahren auch bloss annähernd nie gesehen. Nach Ende dieser Regenperiode entstand im frühen Herbst 2017 [img01b] mit dem vollgesogenen *Echinopsis atacamensis*. Das folgende Frühjahr war dann ausserordentlich blütenreich, einschliesslich der Kakteen. Die langfristig und langsam in den Boden eingedrungene Feuchtigkeit aber hatte keine nachhaltige Wirkung. Das Wasser floss wohl infolge der schwammartigen, porösen Lavaasche rasch ab und die Vegetation in Sommer und Herbst 2018 war dann wieder völlig durchschnittlich.



tab01 su, fa, wi, sp = summer, fall, winter, spring; a, b, c, d = Fotodatum *E. atacamensis* [img01]

2014 su Verregneter Sommer, lokal starke Niederschläge, Bildung von Lagunen unten in der Senke, Strassen werden weggespült.

2014 fa Mehrere heftige Stürme mit Regen und Hagel. Ende Mai starker Schneefall, zusammenhängende Schneedecke auch unten in der Senke.

2014 wi Schneefall im August

2015 su Verregneter Sommer. Wiederholt lokale Schauer.

2015 fa 14 Tage lang sintflutartige Niederschläge vom Pazifik bis zum Gebirge. Region Atacama wird zum Katastrophengebiet erklärt und in seinem Hauptort Copiapó der Notstand ausgerufen. In den Oasen der Atacamasenke werden Häuser weggeschwemmt.

2017 su Zwei Monate lang fällt fast täglich stundenlang Nieselregen bei Guatin.

2017 wi Zwei heftige, kurze Regenfälle im Juli und August.

2018 su Einige kurze lokale Niederschläge, überwiegend trockener Sommer

2018 fa Mehrere starke Niederschläge, auch mit Hagel.

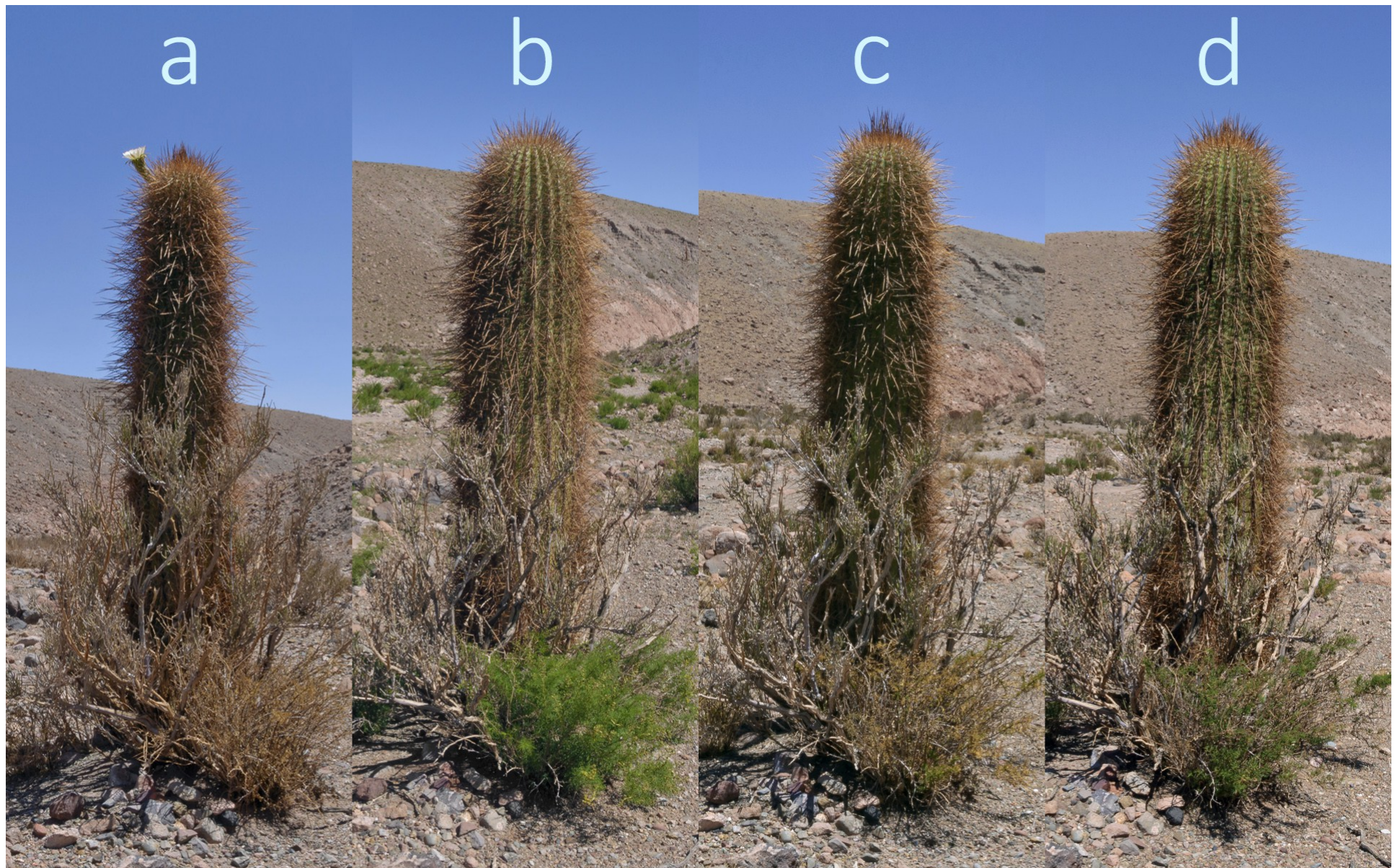
II. Die Vegetation

Unser *Echinopsis atacamensis* wächst in einem flachen Tälchen aus Lavaasche, welches sich entlang eines jungen basaltischen Lavastromes von Nordosten nach Südwesten langsam absenkt [map01]. Westlich werden die Wände des Tales von steilen, etwa 40 Meter hohen fragmentierten Lavafelsen besagten Stromes gebildet und östlich von sanfter ansteigenden Hügeln aus selbiger Lavaasche des Talbodens [img01]. Auf dem Talboden befindet sich eine mit Lavageröll durchsetzte Schicht sandartigen, feinen erosiven Abriebs der Asche, die aus dem Erdzeitalter des Tertiärs stammt. In diesem Tal fliesst bloss bei sehr starken Niederschlägen kurzzeitig Regenwasser ab. Die Vegetation im Tal, sowohl am Talgrund, wie auch an den Talwänden, ist zwar dünn gesät, doch von erstaunlicher Artenvielfalt und gehört zu den Xerophyten, worunter die Sukkulente besonders hervortreten. Eine ausserordentliche Stellung nehmen indes jene Pflanzen ein, welche bloss nach Niederschlägen erscheinen und auch viele Jahre lang nicht mehr gesehen werden. Allen zuvor ist hier die Solanacee *Exodeconus integrifolius* zu nennen, welche nach starken Regenfällen die Hügel bis weit die Vulkanhänge hoch mit einem grünen Teppich überzieht und darin ihre weissen Blüten entfaltet. Diese Art Pflanzen werden von den Hirten von Guatin als „pasto de lluvia“, Regenfutter, bezeichnet. Die scheibenförmigen Samen des äusserst fruchtbaren *Exodeconus integrifolius* können jahrelang auf Niederschlag warten und keimen dann innert Kürze. Von den in unmittelbarer Umgebung unseres *Echinopsis atacamensis* wachsenden Xerophyten seien nachfolgend die wichtigsten genannt:

Aizoaceae	<i>Tetragonia ovata</i>	Ephedraceae	<i>Ephedra breana</i>
Amaranthaceae	<i>Atriplex imbricata</i>	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia amandi</i>
Boraginaceae	<i>Phacelia pinnatifida</i>	Krameriaceae	<i>Krameria lappacea</i>
Boraginaceae	<i>Cryptantha diffusa</i>	Leguminosae	<i>Hoffmannseggia minor</i>
Boraginaceae	<i>Tiquilia atacamensis</i>	Leguminosae	<i>Adesmia atacamensis</i>
Brassicaceae	<i>Neuontobotrys tarapacana</i>	Leguminosae	<i>Adesmia rahmeri</i>
Cactaceae	<i>Maihueniopsis camachoi</i>	Malvaceae	<i>Cristaria sp</i>
Cactaceae	<i>Maihueniopsis glomerata</i>	Malvaceae	<i>Tarasa operculata</i>
Cactaceae	<i>Oreocereus leucotrichus</i>	Montiaceae	<i>Cistanthe salsoloides</i>
Compositae	<i>Chuquiraga atacamensis</i>	Montiaceae	<i>Cistanthe umbellata</i>
Compositae	<i>Ambrosia artemisioides</i>	Montiaceae	<i>Philippiamra sp</i>
Compositae	<i>Senecio sp</i>	Solanaceae	<i>Fabiana ramulosa</i>
Compositae	<i>Tagetes multiflora</i>	Solanaceae	<i>Solanum chilense</i>
Compositae	<i>Trichocline caulescens</i>	Verbenaceae	<i>Acantholippia deserticola</i>
Compositae	<i>Urmenetea atacamensis</i>	Zygophyllaceae	<i>Fagonia chilensis</i>

tab02 Vegetation im Tal des *Echinopsis atacamensis* [img01]

III. Wasserhaushalt eines jungen *Echinopsis atacamensis*



24.Nov 2016

27.Mar 2017

21.Nov 2017

25.Mar 2018

img01 *Echinopsis atacamensis* ssp *atacamensis*
Guatin, Antofagasta, Chile [map01](#)
-22.79119, -068.10708, 2976m

Die vier Aufnahmen a, b, c, und d entstanden am Nachmittag zwischen 14:00 und 15:00. Der Kaktus b misst 180cm in der Höhe bei 36.5cm im Durchmesser auf mittlerer Höhe und besitzt ebenda 22 Rippen. Das Körpervolumen von b beträgt demnach ungefähr $188'000 \text{ cm}^3$ oder 188 l.

Nach 22 Monaten Trockenheit blühte a im Frühjahr 2016 mit mehreren Blüten. Das nachfolgende Jahr hingegen blieb er im Frühling ohne Blüten (c). Dies hat nichts Besonderes zu bedeuten, zumal in dieser Population auch im Frühjahr 2017 ordentlich geblüht wurde. An den hiesigen *Echinopsis atacamensis* ist es durchaus üblich, nicht jedes Jahr zu blühen.

Die hohe, dürr aussehende Pflanze vor der Kaktussäule ist eine *Ephedra breana* (Ephedraceae). Männliche und weibliche Pflanzen dieser laublosen, langsam wachsenden Wüstenpflanze blühen jeweils im Frühjahr.

Die grünen Pflanzen auf b sind Compositen *Ambrosia artemisioides*. Diese perennierende Pflanze grünt nach der Regenzeit im Herbst und blüht dann auch. Nach dem trockenen Sommer 2018 war die Begrünung im Herbst 2018 denn auch entsprechend dürftig (d). Die Früchte sind bedornete Bällchen mit Widerhaken, die beim Herumgehen an den Strümpfen hängen bleiben und jeweils unvermeidlich in den Wanderschuhen landen, wo sie ganz fürchterlich zwicken und den Besucher alle paar Schritte zwingen, die Stiefel ausziehen und die Undinger daraus zu entfernen.

	Datum	Höhe (h)	Durchmesser (D)	Volumen (V)	Vn /Va	Rippengrat (φ)
a	24.Nov 2016	172cm	27.0cm	99 l	1.00	67°
b	27.Mar 2017	180cm	36.5cm	188 l	1.90	96°
c	21.Nov 2017	182cm	33.0cm	156 l	1.58	85°
d	25.Mar 2018	182cm	36.0cm	185 l	1.87	95°

tab03 Körpermasse des *Echinopsis atacamensis* a, b, c, und d, ohne Dornen.
Rippengrat φ , siehe [fig01](#); Genauigkeit der berechneten Werte, siehe [Anhang](#).

- Nach 22 Monaten Trockenzeit (a), liess der lange, sanfte Regen des nachfolgenden Sommers 2017 [[tab01](#)] das Volumen der Säule um 90% anwachsen (b/a). Dies erfolgte hauptsächlich durch Vergrösserung des Durchmessers der Säule, bloss ein Zehntel des Volumenzuwachses erfolgte durch Längenwachstum.
- In der folgenden winterlichen Trockenzeit 2017 mit zwei kurzen Niederschlägen schrumpfte der Durchmesser wieder etwas, das Längenwachstum setzte sich aber nochmals leicht fort (c). Gesamthaft nahm das Volumen über den Winter um -17% ab (c/b).
- Im jüngsten, eher Trockenen Sommer 2018 regnete es drei Mal kurz. Längenwachstum fand keines mehr statt, doch durch Vergrösserung des Durchmessers (d) nahm das Volumen über den Sommer um +18% zu (d/c) und erreichte damit etwa wieder den Wert vom Vorjahr (b).

Die Bewirtschaftung des Wasserhaushaltes dieser sukkulenten Säule erfolgt also fast ausschliesslich durch Änderung der Querschnittsfläche (cross sectional area), also bloss durch radialen Zuwachs. Die nicht dehnbare Aussenrinde (Epidermis) des Kaktus hilft sich hierbei durch seine Rippenstruktur. Die Rippen des *Echinopsis atacamensis* ziehen sich in axialer Richtung von der Basis zum Scheitel der Säule. Hierbei nehmen sie durch Teilung mit steigender Höhe an Anzahl zu und können an einer hohen Säule zuoberst auch doppelt so viele sein, wie unten an der Basis [[img02](#)]. Die Areolen mit den Dornen sitzen in regelmässigen Abständen auf dem Grat der Rippen. Die zwei anderen in dieser Gegend wachsenden säulenbildenden Kakteen besitzen selbige Struktur: Während der *Oreocereus leucotrichus* aber weniger und gröbere Rippen besitzt als der *Echinopsis atacamensis*, ist der *Echinopsis formosa* feiner gerippt und besitzt deutlich mehr Rippen. Bemerkenswert ist, dass infolge steifer Aussenrinde auch bei grosser Volumenänderung der Umfang stets gleichbleibend ist und bloss der Gratwinkel φ der Rippe ändert [[fig01](#)]. Nachfolgende Grafik [fig01](#) zeigt massstabgetreu die Änderung vom vertrockneten Kaktus [img01a](#) (Aa) zum vollgesogenen [img01](#) (Ab), wobei der Umfang des Querschnittes bei beiden derselbe ist und bloss der Gratwinkel φ der Rippe geändert hat. Das dritte Beispiel (Amax) zeigt das maximal mögliche Volumen bei völlig gestreckten Rippen ($\varphi=180^\circ$), mit stets demselben Umfang, also ohne Dehnung der Aussenrinde, währenddem das vierte Beispiel (Ao) den in der Praxis nie vorkommenden Fall mit ($\varphi=0^\circ$) zeigt, bei welchen trotz gleichbleibendem Umfang das Volumen Null beträgt.

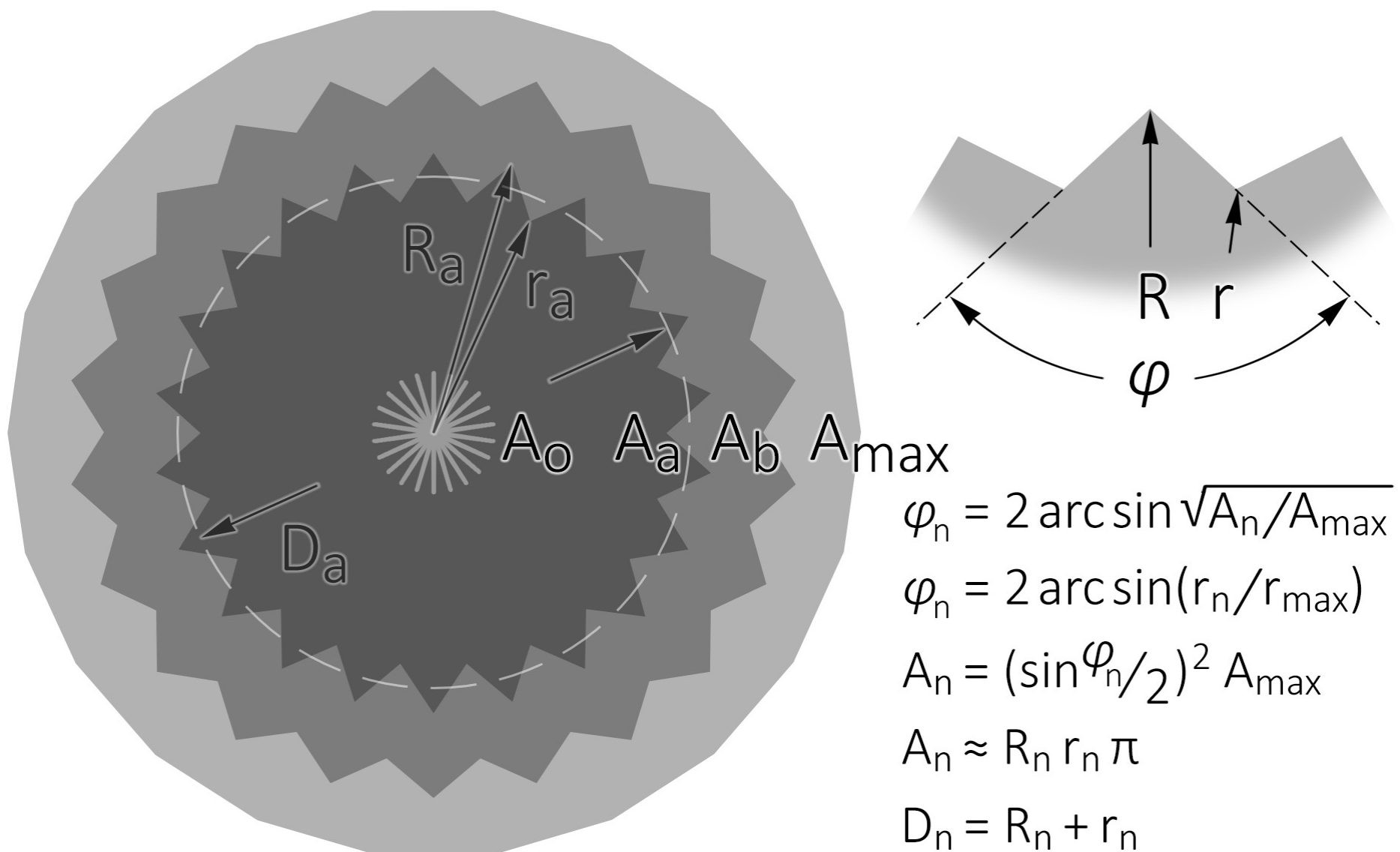


fig01 Massstäbliche Änderung der Querschnittsfläche A vom trockenen Kaktus [img01](#) (A_a) zum vollgesogenen [img01b](#) (A_b), sowie die maximale Querschnittsfläche (A_{max}) bei gestreckten Rippen. A₀ ist bloss der theoretische Fall von φ = 0°, besitzt also keine Querschnittsfläche A. Der Umfang ist bei den vier Beispielen stets gleichbleibend. Die Formel bestimmt den Faktor (A_n) der Querschnittsfläche (A) in Funktion des Gratwinkels φ der Rippe [tab04]. Querschnittsfläche und Volumen sind analog, zumal beim Vollpumpen des Kaktus' kein axiales Längenwachstum stattfindet, sondern bloss radiale Ausdehnung in der Querschnittsebene.

(A_b) ist also die Querschnittsfläche des mit 188 l gefüllten 22-rippigen Kaktus' mit 36.5cm Durchmesser, (A_a) ist jene im trockenen Zustand mit 99 l Inhalt bei 27cm Durchmesser [[img01](#), [tab03](#)].

Das Volumen (V_n) bei bestimmtem Gratwinkel φ beträgt folglich: V_n = V₀ A_n
wobei (V₀) das maximal erreichbare Volumen bei gestreckten Rippen ist (φ=180°).

D _n	φ	A _n	img01
27.0 cm	67°	0.30	a
36.5 cm	96°	0.55	b
33.0 cm	85°	0.45	c
36.0 cm	95°	0.54	d
49.0 cm	180°	1	max

tab04 Gratwinkel (φ) sowie Querschnittsflächenfaktor (A_n)
in Abhängigkeit des Achsdurchmessers (D_n)

- Bei einem Gratwinkel φ von etwa 67° (img01a), kann der Kaktus sein Volumen also noch gut verdreifachen, ohne dabei in der Höhe zu wachsen.

Der Volumenzuwachs von rund 90% von [img01b/a](#) wird vorwiegend durch das speichernde Zellgewebe, das Hydrenchym verursacht und dieses nimmt bloss einen Teil im Innern der Achse ein. Da ist beispielsweise noch der rohrförmige Holzkern (Leitbündelzylinder), welcher das Mark der Achse umschliesst und in der schweren Säule für deren mechanische Festigkeit verantwortlich ist. Der Holzkern ist mit verholzten Lamellen aufgebaut, welche gleich den Rippen in axialer Richtung verlaufen und dem Kern ermöglichen, sich ebenfalls in radialer Richtung auszudehnen, währenddem er in axialer Richtung eine hohe Steifheit aufweist. Die ist auch erforderlich, um bei grossen, verzweigten Individuen das tonnenschwere Gewicht selbst bei Sturmwind tragen zu können. Eine Ausdehnung des Holzkerns in axialer Richtung findet bloss durch Wachstum statt [[tab03](#)].

Wie bereits erwähnt, neigt der *Echinopsis atacamensis* dazu, mit zunehmender Höhe die Rippenzahl durch Teilung ebenfalls zu erhöhen. Die Aufnahmefähigkeit von Wasser steigt, falls dadurch der Gratwinkel φ [[fig01](#)] der Rippen kleiner wird. Mit dieser Massnahme kann also der Kaktus seinen Wasserspeicher durch Zunahme des Umfanges erweitern. Dies ist auf folgender Aufnahme [img02](#) zu sehen, wo auf kurzer Distanz die Rippenzahl bei gleichbleibendem Achsendurchmesser (hier Ende der Trockenzeit) verdoppelt wird. Das Bild zeigt einen *Echinopsis atacamensis* ssp *pasacana* auf der östlichen Gegenseite des Andenkammes. Diese drüben allgemeine Unterart ist eine Mischung aus dem dort einheimischen *Echinopsis terschekii* und unserem *Echinopsis atacamensis* ssp *atacamensis*, gut zu erkennen an den gröberen Rippen und der spärlicheren Bedornung. Die auf der Achse wachsende Bromeliacee ist die *Tillandsia duratii*.

Mit zunehmendem Alter und Gewicht grosser Individuen geht der untere Teil der Achse, vermutlich bedingt durch erhöhten Zellendruck, vermehrt in die Form der grössten Querschnittsfläche über (Amax in []) und verholzt. Dadurch erstarrt die Achse in diesem Teil, wie es untenstehende [img03](#) an einem uralten mehrarmigen Koloss eines *Echinopsis atacamensis* ssp *atacamensis* auf dem basaltischen Lavastrom etwas oberhalb unseres Prüf-
lings von [zeigt [[map01](#)]]. Gleich daneben, blühender *Oreocereus leucotrichus* mit seinen groben Rippen, langen Dornen und seinem weissen Haar.



[img02](#) *E. atacamensis* ssp *pasacana*
Angastaco, Salta, Argentina

-25.74805, -066.14972, 2301m, 26.Dec 2017



[img03](#) *E. atacamensis* ssp *atacamensis*
Guatin, Antofagasta, Chile [[map01](#)]

-22.77464, -068.09563, 3083m, 28.Oct 2017

Bei der Gesamterscheinung der grossen Säulenkakteen ist die eben beschriebene Erstar-
rung des unteren Teiles der Achse besonders Ende der Trockenzeit am schlankeren, obe-
ren Teil der Säulen erkennbar, wie dies nachfolgende img04 im Dezember zeigt. Auf die-
sem Bild sind auch zuunterst an der 460cm-Säule die voll gestreckten Rippen ($\varphi = 180^\circ$)
gut zu sehen. Ende der nachfolgenden Regenzeit nähert sich die Silhouette der Säulen
dann einer gleichmässigen zylindrischen Form an, wie auf img04 im März ersichtlich.

Die beiden Individuen von img04 stehen etwa 7,5km nordöstlich unseres Prüflings von
[img01] auf alter Vulkanasche an der oberen Kante der tiefen Schlucht des Río Puritama
[map01]. Hier oben fand die bis zum Dezember 2016 dauernde 22-monatige lange Tro-
ckenperiode nicht statt [tab01]. Mit erstaunlicher Genauigkeit verläuft von Nordwesten
nach Südosten quer durch die zwischenliegende Siedlung Guatin eine meteorologische
Trennlinie, welche das untenliegende trockene Wüstenklima vom hiesigen feuchteren Kli-
ma der Prepuna scheidet, das sich auf dem zu den Vulkanen schnell ansteigenden Gelän-
de einstellt. Dies macht sich auch deutlich bemerkbar an der hier oben artenreicheren
Vegetation. So war die Vegetation im Dezember 2016 unterhalb von Guatin gelb und
grau verdorrt und beinahe blütenlos, währenddem oberhalb der Siedlung schönste Früh-
lingsblüte herrschte. Deshalb ist auch die grosse Säule auf img04 Ende der Trockenzeit im
Dezember 2016 nicht derart stark geschrumpft, wie jene im Wüstenklima auf [img01].
Die grössten Säulen des *Echinopsis atacamensis* in dieser Gegend erreichen etwa doppel-
te Höhe jener von img04 und brechen bisweilen in den äusserst starken Sturmwinden
entzwei. Die stehen gebliebenen Achsstummel bilden hernach Seitentriebe.



05.Dec 2016

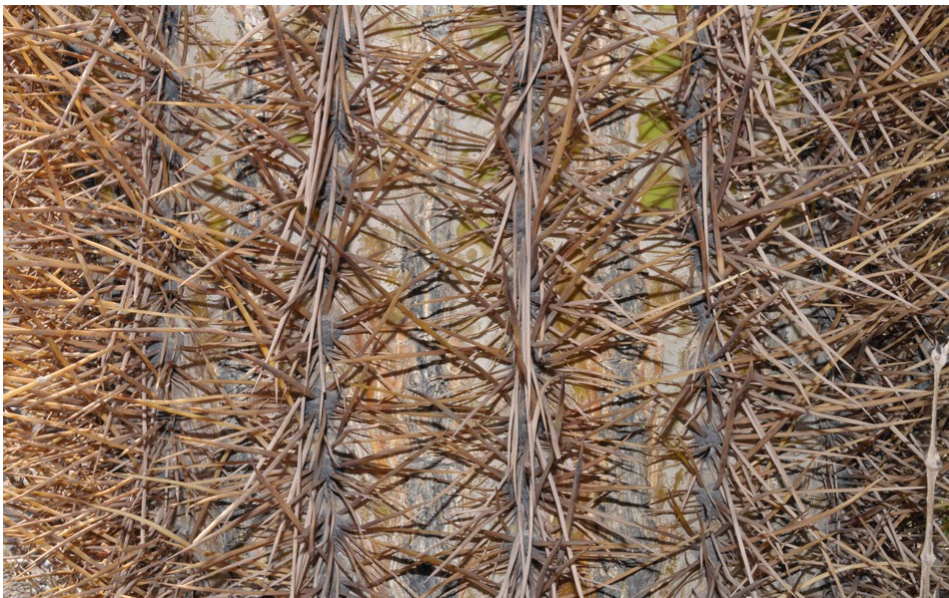


31.Mar 2017

img04 *Echinopsis atacamensis* - 460cm und 220cm hoch
Quebrada de Puritama, Antofagasta, Chile [map01]
-22.74265, -068.06333, 3345m

Bleibt zum Abschluss noch eine letzte Erscheinung der Wasserbewirtschaftung am *Echinopsis atacamensis* zu erwähnen.

Die alljährliche Ausdehnung und Schrumpfung der Achse bewirkt eine Ermüdung der Knickstellen zwischen den Rippen, insbesondere im unteren Teil der allmählich verholzenden Achse. Der durch die Areolen gefestigte Grat der Rippen ist davon weniger betroffen. So ist es durchaus üblich, zwischen den Rippen des *Echinopsis atacamensis* vernarbte Risse zu sehen. Untenstehende img05 zeigt den unteren Teil der Achse an unserem noch kleinen Prüfling von [img01] zu Ende der nicht starken Trockenzeit 2017. Am zunehmend erstarrenden Abschnitt sind sämtliche Knickstellen zwischen den Rippen gerissen und vernarbt. Derweil ist am oberen, jungen und noch elastischen Teil der Achse von den gut zwanzig Knickstellen zwischen den Rippen erst eine gerissen, wie dies aus img06 hervorgeht. Diese Risse werden wohl am ehesten bei extremen Volumenschwankungen entstehen, wie über die starke Regenzeit im Sommer 2017 nach langer vorangehender Trockenzeit [tab01].



img05 *E. atacamensis* [img01c], 40cm ab Boden



img06 *E. atacamensis* [img01c], 155cm ab Boden

Guatin, Antofagasta, Chile [map01]
-22.79119, -068.10708, 2976m, 21.Nov 2017



img07 *Echinopsis atacamensis*
Guatin, Antofagasta, Chile [map01]
-22.77265, -068.09223, 3124m, 29.Oct 2017

Dieser etwa 180cm hohe, junge *Echinopsis atacamensis* wächst etwa 2,7km nordöstlich unseres Prüflings [img01] auf dem basaltischen Lavastrom. Er ist unten an der Basis bereits verholzt und steif mit beinahe voll gestreckten Rippen (Bild rechts). Oben ist er jetzt gegen Ende der Trockenzeit 2017 geschrumpft.



img08 *Echinopsis atacamensis*, *Maihueiopsis camachoi*, *Ambrosia artemisioides* (Compositae)
Ephedra breana (Ephedraceae) und *Tarasa operculata* (Malvaceae)
Guatin, Antofagasta, Chile [[map01](#)]
-22.78366, -068.10922, 3000m, 27.Mar 2017

Am Ende der starken Regenzeit 2017 ist dieser *Echinopsis atacamensis* zylindrisch vollge-sogen. Tiefe, schlecht vernarbte Risse, älteren Datums im unteren Teil der Achse.



img09 *E. atacamensis* ssp *atacamensis*
Guatin, Antofagasta, Chile [[map01](#)]
-22.79119, -068.10708, 2976m, 28.Oct 2017

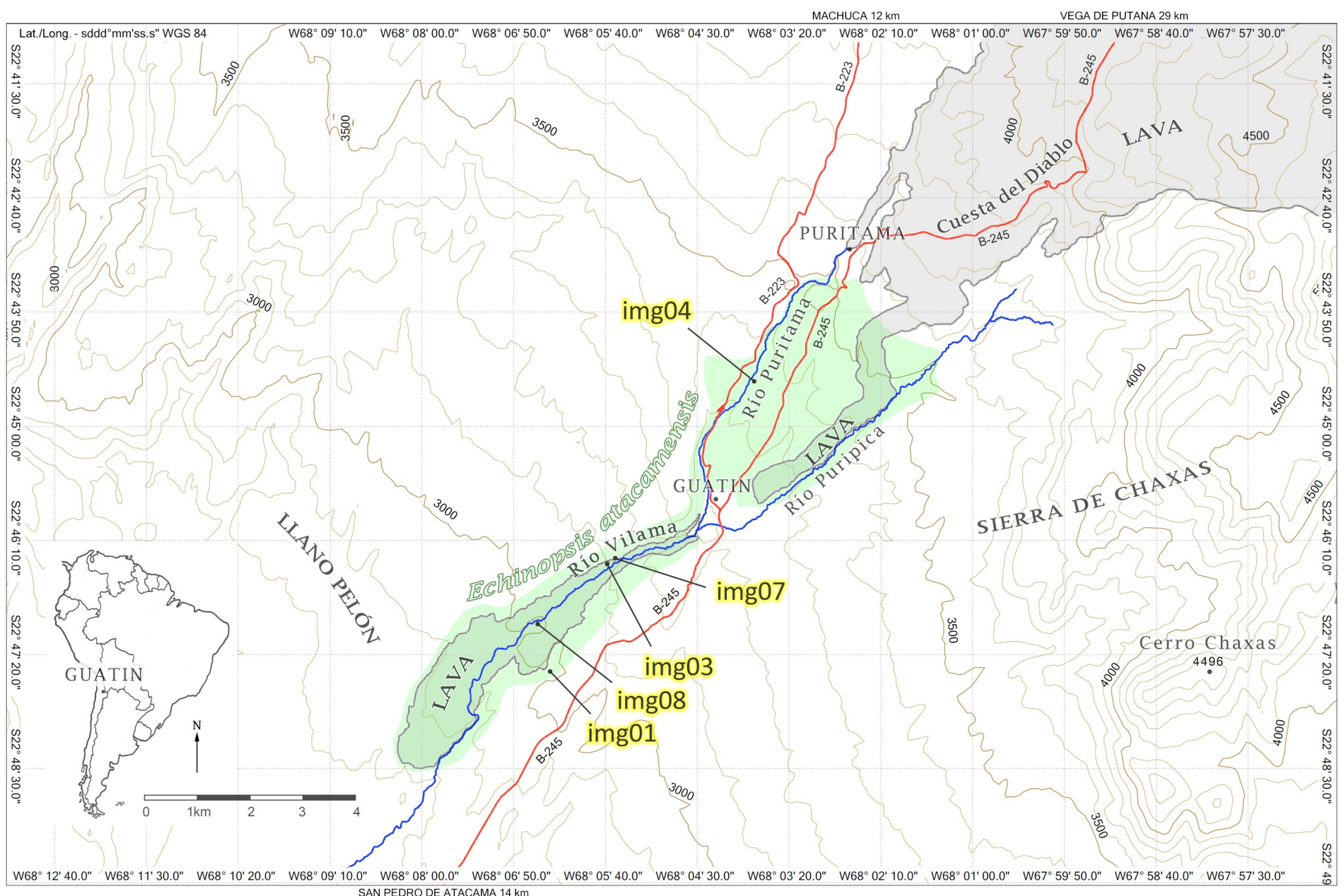


img10 *E. atacamensis* ssp *pasacana*
Cerro Negro, Angastaco, Salta, Argentina
-25.72052, -066.17355, 2230m, 11.Feb 2018

img09 Tiefe unvernarbte Risse auf mittlerer Höhe unseres Prüflings von [[img01](#)] gegen Ende der Trockenzeit 2017, entspricht etwa img01c [[map01](#)].

img10 Der neugeborene *E. atacamensis* ssp *pasacana* hat sich bei der Geburt offenbar unterschätzt und benötigt schon bald mehr Platz - alle Rippentäler sind gerissen.

IV. Landkarte des untersuchten Gebietes



map01 Der Prüfling [img01] auf dem Grund eines Trockentales aus alter, verwitterter Lavaasche am Rand eines jungen, basaltischen Lavastromes.

AN H A N G:

Zur Genauigkeit der berechneten Werte

Die Berechnung des Volumens ($V = D^2 \frac{1}{4} \pi h$) erfolgt durch die Formel für einen Zylinder mit einem auf halber Höhe der Kaktussäule gemessenen mittleren Durchmesser (D) über seine gesamte Höhe (h) vom Scheitel bis zum Eintritt ins Substrat. Anhand der leicht konischen Form der Säule und unter Berücksichtigung der Rundung an der Säulenspitze sowie des höhenabhängig veränderlichen Ausdehnungskoeffizienten der Speicherzellen wird für den derart ermittelten Wert eine maximale Abweichung von $\pm 10\%$ zum reellen Wert angenommen.

Zumal dieser Fehler für die vier Fälle a, b, c und d ähnlich ist, darf für den Vergleichswert der Volumina (V_n/V_a) eine engere Toleranz von $\pm 5\%$ zum reellen Wert gesetzt werden.