

## Ein Beitrag zur Hydrologie der unteren Krka.

Von Professor Dr. Arthur Gavazzi.

Mit einer Karte.

Die schönen Arbeiten von Lorenz über das Brakwasser der adriatischen Flüsse\*) trieben mich zweimal (1888 und 1894) nach meiner lieben Heimat, nach Dalmatien, um nach Möglichkeit diejenigen über die untere Krka zu vervollständigen, sowie neue an der Zrmanja anzustellen. Da sich Lorenz' Angaben auf den Frühling beziehen, so schien es mir nothwendig, solche auch für den regenarmen Sommer zu ermitteln. Es war mir aber nicht vergönnt, gerade im Juli, sondern Ende August zu arbeiten. Ich wählte darum absichtlich Tage mit anhaltender Dürre, um die — sit venia verbo — echte Stärke des Flusses kennen zu lernen, ohne dass auf dieselbe ein directer Regen Einfluss gehabt hätte. Diese Verhältnisse mit den anderen extremen verglichen, welche zur Zeit der Regenperiode (Herbst) in Dalmatien obwalten, werden uns in den Stand setzen, die mittlere Länge und Dicke der verschiedenen Wasserschichten zu berechnen.

Mit Aräometern (4 Decimale) und Thermometern ( $^{\circ}$  C) aus der bekannten Wiener Fabrik H. Kappeller ausgerüstet, fuhr ich mit dem Dampfer von Fiume nach Sebenico, um von dort aus die Untersuchungen anzustellen.\*\*\*) Die Resultate der ersten Fahrt (1888) wurden schon, und zwar in kroatischer Sprache, publicirt;\*\*\*) da aber dieselbe den Wenigsten bekannt ist, so sei es mir erlaubt, hier beide Reihen (1888 und 1894) vor das deutsche Forum zu bringen.

Das Krkathal gehört, wie die Mehrzahl der dalmatischen Flüsse, zu denjenigen Bildungen, welche man gewöhnlich als „Durchbruchthal“ bezeichnet. Besser gesagt, das ganze Thal ist

\*) Lorenz: Brakwasserstudien an den adriatischen Küsten (die Mündungen der Narenta, Cetina, Krka und Etsch). Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Wien, Math.-nat. Classe, II. Abthg., Band 54, pg. 6—28

\*\*) Die in der Zrmanja erzielten Resultate werden später mitgetheilt werden.

\*\*\*) Die Mündung der Krka. Agram (Programm der Egl. Oberrealschule), 1890, pg. 5—13 mit Skizzen.

ein Complex von kleineren Längs- und Querthälern, welche dem Flusse einen zickzackförmigen Lauf geben. Seine gesammte Länge misst darum 75.2 km, wogegen eine Gerade von der Quelle des Krkić bis zur Mündung nur 49.4 km lang ist. Die Entwicklung beträgt also 25.8 km oder 34.3%.

Das Wasser, welches von den Bauern Krkić oder kleine Krka (am oberen Laufe) genannt wird, entspringt einer ziemlich tiefen Schlucht, und zwar in der Höhe von etwa 310 m. Hätte sich der Fluss auf einer überall gleichmässig geneigten Fläche eingebettet, so würde sein Gefälle 4.4‰ betragen und auch die Geschwindigkeit nicht unbedeutend sein. Wir werden aber sehen, dass dieselbe (im unteren Laufe) eine schwache ist, was gewiss den vielen Fällen zugeschrieben werden muss. Schon unweit der Quelle findet man den hübschen, 22 m hohen Wasserfall des Krkić, den sogenannten „Topoljski slap“ (Fall von Topolje). Weiter unten sind die Fälle von Bilušić, Ćorić, Manojlović, Puljanski und „Roški slap“ (19 m hoch). Der schönste und bekannteste ist der „Krka-Fall“ (39 m), 6½ km oberhalb Scardona. Es sind also deren sieben! Man weiss, dass am Fusse eines Wasserfalles die Geschwindigkeit fast ganz aufgehoben wird, so dass wir es bei diesem Punkte mit einer gewissermassen anfänglichen Grösse zu thun haben.

Unterhalb des letzten Wasserfalles erreicht die Krka bei Scardona eine Meereshöhe von 3 m, so dass im unteren Laufe das Gefälle nur 0.18‰ beträgt, was eine kleine Geschwindigkeit zur Folge hat. Diese wird aber noch durch zwei Erweiterungen des Flussbettes lahmgelegt: 3½ km unterhalb Scardona durch den Prokljan-See \*) und bei Sebenico durch das bis 0.8 km breite Längsthal. Wenn, abgesehen von der unwesentlichen Wassermenge, welche der Krka ihr kleiner Zufluss — besser Bach (Torrente) — die Goduča zuführt, der Flächeninhalt des Querschnittes im unteren Laufe derselbe bliebe, so würde der benetzte Umfang (wegen der Erweiterungen) grösser sein. In der allgemeinen Formel für die Geschwindigkeit ( $v$ )

$$v = K \sqrt{\frac{F}{p} \cdot \alpha}$$

$F$  = Querschnitt,  $p$  = ben. Umfang,  $\alpha$  = Gefälle

wenn also  $p$  grösser wird, so verkleinert sich  $v$ . Darum verliert die Krka desto mehr Süsswasser je näher der Mündung. Wie man

\*) Der Prokljan-See ist 1.6 km breit, 5.9 km lang, 24 m tief und hat ein Areal von 10.9 km<sup>2</sup>.

sieht, wird das  $v$  von zwei Seiten unterdrückt, so dass selbst sehr kleine Boote ohne jedwelche Mühe den Fluss bis zum Wasserfalle befahren können.

Was den positiven Werth der Geschwindigkeit anbelangt, so ist sie nach Lorenz bei Scardona im Stromstriche = 0.63. Nachdem aber hier  $R = 3.23$ , so müssen wir jene Zahl mit 0.78 multipliciren\*) und erhalten somit als mittlere Geschwindigkeit  $v_1 = 0.49$  m per Sec. (Scardona).

Ich habe diese Geschwindigkeit am Anfang des Canals St. Anton dreimal (1894) mit einem gewöhnlichen Schwimmer gemessen und für die Oberfläche  $v = 0.55$  gefunden. Diese Grösse (da  $R = 1.48$  ist) mit 0.76 multiplicirt, gibt als mittlere Geschwindigkeit  $v_2 = 0.42$  m per Sec. (St. Anton).

Nach Lorenz hat das Querprofil bei Scardona  $504$  m<sup>2</sup>, dasjenige bei St. Anton dagegen nur  $270$  m<sup>2</sup> (siehe weiter unten). Beide Grössen mit den resp. Geschwindigkeiten multiplicirt, geben die Wassermenge

$$M_1 = 247.0 \text{ m}^3 \text{ (Scardona)}$$

$$M_2 = 113.4 \text{ m}^3 \text{ (St. Anton).}$$

Nach diesen Angaben verliert die Krka in ihrem unteren Laufe

$$M_1 - M_2 = 133.6 \text{ m}^3,$$

d. h.  $133.6$  m<sup>3</sup> Süsswasser wird vom Meere in Salzwasser auf der Strecke vom Wasserfalle bis zum Anfange des Canals verwandelt.

Diesen Verlust erleidet die Krka, weil das Meerwasser mit seinen untersten Schichten bis oberhalb Scardona, mit den obersten fast bis zu ihrer Einmündung in den Prokljan-See hineindringt.

Im Kampfe mit dem Flusswasser kann das Meer leicht die Oberhand gewinnen, weil ihm jenes eine kleine Geschwindigkeit entgegenstellt; dasselbe überwindet diese Hindernisse, um nach Möglichkeit bis zu seinem gewöhnlichen Niveau emporzusteigen. Im Prokljan-See und in der Thalerweiterung bei Sebenico steigt das Meer ziemlich hoch, so dass das Flusswasser durch eine relativ dünne Schicht vertreten ist. Diese ist in einem Querprofile stärker (dicker) dort wo das Flusswasser eine grössere Geschwindigkeit besitzt; und eine querüber gezogene Grenzlinie zwischen dem Fluss- und Meerwasser (= benetzter Umfang) erscheint als eine

\*) Kutter: Bewegung des Wassers in Canälen und Flüssen. Berlin, 1885. Tabelle III pag. 133.

nach unten gebogene Curve. Ist dagegen die Geschwindigkeit klein, so hat diese Grenzlinie die Form nahezu einer Geraden. Dies erhellt aus den Angaben über den Salzgehalt, welche von mir (1894) auf einer Querlinie von Sebenico zu dem entgegengesetzten Ufer gefunden worden sind. Es sei dabei bemerkt, dass ich die grösstmögliche Sorgfalt angewandt habe, um mit dem Aräometer richtige Werthe zu erhalten. Die Reduction des specifischen Gewichtes auf die Temperatur 17·5° C geschah nach der Krümmel'schen Tabelle\*); aus diesem reducirten specifischen Gewichte wurde der Salzgehalt in Percenten gerechnet nach der Formel:

$$p = \left[ S \left( \frac{175}{175} \right) - 1 \right] \cdot 131$$

Der Coefficient 131 wurde für die Adria von den Herren Köststorfer, Wolf und Luksch\*\*) als giltig gefunden und ohne Weiteres bei diesen Untersuchungen in Anwendung gebracht.

Das Wasser wurde aus der Tiefe mittelst eines Ellipsoides\*\*\*) geschöpft, bei dem die äussere Röhre horizontal ist. Durch diese kleine Abänderung sind wir im Stande, Wasser aus einer und derselben Schicht heraus zu befördern, was bei solchen Untersuchungen von Belang ist.

Um Werthe frei vom Einflusse der Gezeiten zu erhalten, wurde die ungefähre Zeit des Stillstandes zwischen Ebbe und Fluth für den 24. August vorausberechnet und dazu die mittlere Hafenzzeit für Sebenico†) zu 6<sup>h</sup> 10' festgestellt.

So konnte ich am 24. August um 1/4 6<sup>h</sup> am auf der oben angedeuteten Querlinie die Beobachtungen mit einem Boote anfangen. Die Resultate waren folgende:

\*) Krümmel: Ueber die Bestimmung des specifischen Gewichtes des Seewassers an Bord. Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie. Berlin 1890., Heft 10, pag. 381—395.

\*\*) Wolf und Luksch: Berichte an die königl. ung. Seebehörde. Fiume 1877—1878. Siehe auch: Physikalische Untersuchungen im adriat. und sicil.-jon. Meere. Wien, 1881.

\*\*\*) Ueber dieses Instrument vergl.: Lorenz l. c. S. 27.

†) Die Hafenzzeit wurde nach den Angaben für Lesina (4<sup>h</sup> 33') und Zara (7<sup>h</sup> 46') durch Interpolation gefunden (Hann, Hochstetter, Pokorny: Allgemeine Erdkunde. II. Auflage. Prag 1886, pag. 243).

Beobachtungspunkt	Salzgehalt ‰		
	a	b	e
Stunde . .	5 <sup>h</sup> 15' am	5 <sup>h</sup> 32'	6 <sup>h</sup> 10'
Tiefe 0·05 m .	1·32*)	1·23*)	1·31
" 1— m .	2·15	2·09	2·12
" 2— m	—	3·59	—
" 5— m .	—	3·79	—

Daraus ersieht man, dass die Krka durch die Mitte des Längsthalles läuft und ihre Schicht bis 3‰ kaum 1·2 m dick ist. Bereits im Jahre 1888 am 5. August untersuchte ich das Wasser auch am Eingange des Canals auf beiden Seiten des Flusses. Die erzielten Werthe sind:

Beobachtungspunkt	Salzgehalt ‰				Mittel aus d f
	Linkes Ufer		Rechtes Ufer		
	d	c	f	g	
Stunde . . . .	7 <sup>h</sup> 10' am	8 <sup>h</sup> 0' am	9 <sup>h</sup> am	9 <sup>h</sup> 45' am	
Tiefe 0·05 . .	1·93	1·90	2·11	2·12	2·02
1 . . . . .	1·97	—	—	—	—
2 . . . . .	3·34	3·34	3·59	—	3·46
3 . . . . .	3·73	3·73	—	—	—
5 . . . . .	3·77	3·77	3·73	—	3·75
10 . . . . .	3·84	3·83	3·78	—	3·81
11 . . . . .	3·86	—	—	—	—
15 . . . . .	—	3·87	—	—	—

Ich muss gestehen, dass mir damals (1888) die hohe Differenz zwischen dem Salzgehalte pro 0·05 m und 2 m Tiefe bei dem Beobachtungspunkte d zu auffallend schien; ich erneuerte darum den Versuch um einen möglichen Fehler auszuschliessen. Das Resultat ergab aber wieder 3·34‰.

Es lag natürlich nahe, dass die Krka hier kaum 2 m tief ist; ich wollte aber genauer ihre Tiefe kennen lernen. In der Tiefe von 1 m war der Salzgehalt 1·97‰, so dass ich auf eine circa 1·9 m dicke Schicht schliessen konnte. Zu diesem Schlusse wurde ich auch durch die Luftbläschen\*\*) bewogen, welche vom Grunde zur Oberfläche kamen: man hat sehr gut sehen können, wie die-

\*) An diesen Punkten war der Salzgehalt im Jahre 1888 bei a = 1·34‰ (21. August um 9<sup>h</sup> 40' am) und bei b = 1·25‰ (22. August um 9<sup>h</sup> 57' am).

\*\*) Ich arbeitete im Jahre 1888 mit einer Flasche mit Korkverschluss.

selben in 2 m Tiefe von der Meeresströmung nach NE (gegen Sebenico) und in das Flusswasser gekommen (1·9 m), von diesem nach SW (gegen das offene Meer) getrieben wurden.

Mit Bezug auf die obigen Zahlen möchte ich mir erlauben, eine Bemerkung zu machen. Die Werte pro 0·05 des rechtseitigen Ufers sind (im Mittel) um 0·20 ‰ höher als die des linkseitigen: es ist das gewiss ein Zeichen, dass sich hier die Krka mehr an dieses als an jenes Ufer hält.

Um auch Werthe aus der Gegend oberhalb Sebenico zu haben, wurde das Wasser (am selben Tage um 11<sup>h</sup> am) an der mit (3 km oberhalb Sebenico) bezeichneten Stelle untersucht:

Salzgehalt ‰	
Beobachtungspunkt s	
Stunde 11 <sup>h</sup> am 1894	
Tiefe 0·05 m	0·59 ‰
" 1	" 0·78 "
" 2	" 2·66 "
" 5	" 3·76 "

Nachmittags trat um circa  $\frac{1}{2}$  6' Stille ein und ich setzte die Untersuchungen im Canal selbst an vier Punkten fort:

		Salzgehalt ‰			
Beobachtungspunkt	Mittel der vorg. Tab.	h	m	p	r
1894					
Stunde pm	—	4 <sup>h</sup> 50'	5 <sup>h</sup> 40'	6 <sup>h</sup> 20'	6 <sup>h</sup> 50'
Tiefe 0·05 m	2·02	2·52	3·09	3·42	3·62
" 1 "	—	2·75	—	—	—
" 2 "	3·46	3·58	3·69	—	—
" 5 "	3·75	3·79	3·81	3·80	—
" 10 "	3·80	3·86	—	—	—

Die Krka wird natürlich immer dünner bis sie ausserhalb des Canals (bei r) verschwindet. Alle diese Zahlen neben einigen der vier ersten Reihen von Lorenz\*) wurden auf Millimeterpapier eingezeichnet und Isohalien in den verschiedenen Tiefen und für das Längsprofil der Krka gezogen. Daraus wurde die Länge (an der Oberfläche) der einzelnen Stufen des Salzgehaltes und ihre mittlere Tiefe berechnet:

\*) loco cit. Tabelle zu S. 6.

		Länge der Krka	Mittlere Tiefe
Vom	Wasserfalle bis 0·00 ‰	8·8 km	0·84 m
"	" " 1·00 "	19·1 "	1·91 "
"	" " 2·00 "	20·5 "	2·09 "
"	" " 3·00 "	22·3 "	2·25 "
"	" " Mündung	22·8 "	23·36 "

Das ganze Längsprofil (bis zum Boden) hat also eine mittlere Tiefe von 23·36 m; die Krka allein aber eine solche von nur 2·25 m (9·6 ‰ von 23·36), wenn man natürlich annimmt, dass jene bei 3 ‰ Salzgehalt ein Fluss zu sein aufhört. Ueberhaupt sind die mittleren Tiefen der 1 ‰, 2 ‰ und 3 ‰ Stufen nicht allzuweit von einander (0·34 m), was auf einen sehr schnellen Uebergang des süßen in das salzige Wasser deutet.

Die Planimetrierung des gesammten unteren Laufes der Krka (mit dem Prokljan-See) lieferte ein Areal von 20·44 km<sup>2</sup> und die hypsographische Methode eine mittlere Tiefe von 12·4 m.

Der Inhalt der Oberfläche vertheilt sich nach den einzelnen Graden des Salzgehaltes folgendermassen

		km <sup>2</sup>	‰
Von dem	Wasserfalle bis zur äussersten Grenze des 0 ‰	3·21	15·7
" "	0 ‰ " " " " " 1 "	13·57	66·4
" "	1 " " " " " 2 "	2·55	12·5
" "	2 " " " " " 3 "	0·87	4·3
" "	3 " " " Mündung	0·23	1·1

Zusammen = 20·43 100·0

Man sieht daraus, dass das süsse Wasser (0 ‰) einen sehr kleinen Theil (16 ‰) der ganzen Oberfläche, wogegen das halbsüsse (bis 1 ‰) fast 7 Zehntel einnimmt.

Um eine, wenn auch nicht allzu richtige Idee über den Cubik-Inhalt der unteren Krka zu haben, wurde die mittlere Profiltiefe (bis 3 ‰) = 2·25 m mit dem respectiven Flächeninhalt (20·2 km<sup>2</sup>) multiplicirt. Man erhält dadurch eine Wassermasse von

$$Q = 0·045 \text{ km}^3$$

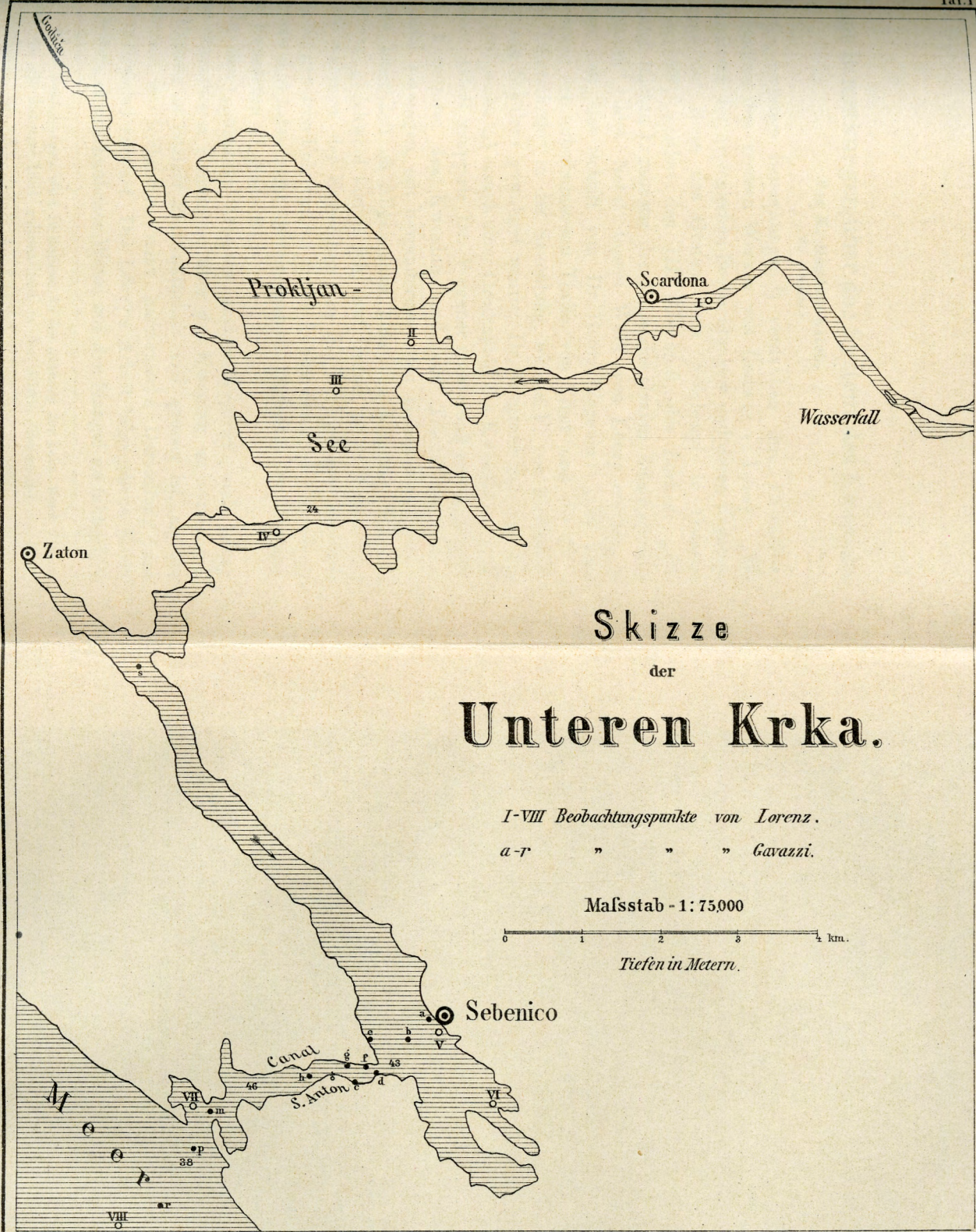
Nach den reducirten (1876—1890) Beobachtungen zu Knin, dürfte man die jährliche Regenmenge für das Gebiet der oberen Krka (bis zum Wasserfalle) zu 90 cm veranschlagen. Um den unteren Lauf der Krka auszufüllen, würde es nothwendig sein, dass sich alle 90 cm aus einer Fläche von 50 km<sup>2</sup> in den Fluss hineingiessen.

Eine sorgfältige Messung des Gebietes des oberen Laufes (auf der sogen. Generalstabskarte 1: 75.000) ergab als dessen Flächeninhalt  $1560 \text{ km}^2$ . Auf diesem Terrain sammeln sich in einem Jahre  $1'404 \text{ km}^3$  Regenwasser, welches in keinem Verhältnisse mit der jährlichen Abflussmenge (bei Scardona) steht.

Es darf uns nicht wundern, ein solches Resultat erzielt zu haben: man weiss ja sehr gut, wie leicht das Wasser in einen verkarsteten Boden versickert. Dasselbe sammelt sich aus weiten, unterirdischen Gegenden, welche nicht dem oberirdischen Einzugsgebiete des Flusssystemes gehören, und tritt dann als mächtige Quelle zu Tage, um den Fluss zu verstärken. Man hat ganz beliebig angenommen, dass etwa 33 % der Regenmenge oberflächlich abfliessen; wir möchten aber in unserem Falle diese Grösse auf die Hälfte reduciren, da die Verdunstung auf dem Karste eine sehr starke ist.

---





Skizze  
der  
Unteren Krka.

*I-VIII Beobachtungspunkte von Lorenz.*

*a-r " " " Gavazzi.*

Mafsstab - 1:75.000

0 1 2 3 4 km.

*Tiefen in Metern.*