

**ZUR FRAGE ÜBER DIE BEZIEHUNG
ZWISCHEN DER GETREIDEERNTE UND
EINIGEN METEOROLOGISCHEN
FAKTOREN IN EESTI**

VON

K. FRISCH

TARTU 1929

**ZUR FRAGE ÜBER DIE BEZIEHUNG
ZWISCHEN DER GETREIDEERNTE UND
EINIGEN METEOROLOGISCHEN
FAKTOREN IN EESTI**

VON

K. FRISCH

TARTU 1929

Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis (Dorpatensis) A XIV. 4.

i201805327

C. Mattiesen, Tartu (Dorpat).

Im folgenden ist ein Versuch gemacht worden eine Beziehung zwischen den Ernteverhältnissen in Eesti und den meteorologischen Faktoren zu finden. Als Untersuchungsmaterial sind dazu einerseits die Angaben des Estnischen Statistischen Zentralbureaus über die Ernte im Kreise Tartu und andererseits die meteorologischen Beobachtungen in Tartu benutzt worden.

Die Angaben über die jährlichen Erntemengen sind in Pud¹⁾ pro Desjatine²⁾ berechnet und stellen den mittleren jährlichen Betrag für den ganzen Kreis dar. Die Angaben beziehen sich auf die Jahre 1900 bis 1926. Zur Untersuchung sind die Ernteangaben vom Kreise Tartu deshalb gewählt worden, weil das meteorologische Observatorium annähernd im Zentrum des Kreises liegt und deshalb die angestellten meteorologischen Beobachtungen (s. Fig. 1) gut mit der Ernte vergleichbar sind. Um über die Ernteverhältnisse im Kreise Tartu eine Übersicht zu gewinnen, sind in der umstehenden Tabelle (1) die erwähnten Erntemengen in Pud pro Desjatine für den Kreis Tartu und für ganz Eesti, und in gleicher Weise die fünfjährigen Mittel sowie die 27-j. Mittel aufgeführt.

Aus der Tabelle ersehen wir, dass zwischen den einzelnen Jahren grosse Schwankungen vorkommen: so fällt zum Beispiel im Kreise Tartu die beste Winterroggenernte mit 92,3 Pud pro Desjatine auf das Jahr 1914, die schlechteste dagegen — mit 44,1 Pud — auf das Jahr 1926. Ein Vergleich der fünfjährigen Mittel zeigt uns, dass auch hier noch die Unterschiede recht gross sind. Das grösste Mittel des Winterroggens fällt auf 1910—1914, während die vorhergehenden wie auch die nachfolgenden Mittel bedeutend niedriger sind. Vermutlich haben

1) Ein Pud gleich 16,38 kg.

2) Eine Desjatine gleich 1,09 Hektar.

Tabelle 1.

	Winterroggen		Hafer		Gerste	
	Tartu	Eesti	Tartu	Eesti	Tartu	Eesti
1900	84,2	75,3	60,4	56,7	72,9	67,7
1901	69,2	65,9	57,4	48,3	58,1	52,8
1902	55,0	51,3	42,1	41,1	51,8	53,2
1903	68,2	62,6	54,6	51,1	63,0	61,0
1904	62,3	59,1	50,2	48,9	59,7	61,3
5-j. Mittel	67,8	62,8	52,9	49,2	61,1	59,2
1905	60,4	61,2	41,2	39,3	56,8	52,1
1906	64,5	60,3	50,8	49,1	60,1	58,5
1907	60,1	57,5	53,6	55,7	62,7	59,8
1908	81,0	75,2	66,2	60,1	70,1	69,0
1909	71,2	71,0	66,8	61,0	72,5	68,1
5-j. Mittel	67,4	65,0	55,7	53,0	64,4	61,5
1910	81,6	74,9	66,4	62,3	72,2	72,9
1911	86,2	75,2	65,2	56,9	73,7	66,3
1912	84,2	77,4	69,7	60,2	68,7	62,2
1913	78,7	70,7	64,4	65,5	64,7	68,8
1914	92,3	79,6	43,9	34,5	37,0	33,9
5-j. Mittel	84,6	75,6	61,9	55,9	63,3	60,8
1915	87,3	82,3	84,2	77,4	80,6	77,8
1916	75,0	68,2	69,4	62,9	65,5	62,7
1917	71,7	66,5	67,1	61,4	65,4	62,0
1918	76,2	67,2	69,1	63,2	65,0	62,3
1919	77,2	69,5	67,9	63,9	65,3	63,2
5-j. Mittel	77,5	70,7	71,5	65,8	68,4	65,6
1920	66,2	56,1	46,9	43,4	40,5	44,1
1921	87,1	80,1	81,7	73,5	77,4	72,6
1922	54,4	56,7	66,1	66,1	54,1	55,2
1923	72,4	62,0	48,1	43,1	48,7	46,0
1924	56,3	53,0	56,5	59,2	51,5	51,6
5-j. Mittel	67,3	61,6	59,9	57,1	54,4	53,9
1925	80,0	72,0	59,3	61,2	49,1	51,4
1926	44,1	51,2	65,4	66,1	55,1	55,5
27-j. Mittel	72,1	66,7	60,5	56,7	61,6	59,7

wir es hier mit einer periodischen Erscheinung zu tun, wobei das Maximum auf die Jahre 1910—1919 fällt. Da die Anzahl von Jahren mit Angaben über die Ernteverhältnisse klein ist, können wir leider über diese Frage keine weiteren Schlüsse ziehen und werden nunmehr einzeln die Beziehung zwischen den

in Eesti am meisten gebauten Kulturpflanzen — Winterroggen, Hafer und Gerste — und den meteorologischen Faktoren behandeln.

Es wäre zu erwarten, dass die Untersuchung besonders fruchtbare Resultate ergäbe, wenn wir dazu die Ernteangaben von einem einzelnen Gesinde verwenden könnten, wo gleichzeitig auch meteorologische Beobachtungen angestellt worden wären. Man könnte dann den Einfluss der einzelnen meteorologischen Elemente auf die Kulturpflanzen in verschiedenen Wachstumsperioden kennen lernen. Da uns leider über die Ernte nur die Mittelwerte des ganzen Kreises Tartu zur Verfügung stehen, können wir die gestellte Frage bloss von einem ganz allgemeinen Standpunkte erörtern.

Es kann nicht geleugnet werden, dass unter den Witterungselementen die Lufttemperatur und die gefallenen Niederschläge wohl den grössten Einfluss auf die Entwicklung der Pflanzen ausüben, weshalb wir im folgenden die Einwirkung der erwähnten Faktoren zunächst auf die Winterroggenernte darstellen werden. Es sind dazu die monatlichen Temperaturmittel von Tartu für April—Juli benutzt, und die Korrelationsfaktoren zwischen den erwähnten Mitteln und den jährlichen Erntemitteln für den Kreis Tartu berechnet worden. Diese Korrelationskoeffizienten (r) mit ihren wahrscheinlichen Fehlern (f) sind in der folgenden Tabelle (2) aufgeführt.

Tabelle 2.

	IV	V	VI	VII
$r =$	+ 0.37	— 0.06	— 0.20	— 0.12
$f =$	± 0.11	± 0.13	± 0.12	± 0.13

Wir sehen hier für den April eine positive Korrelation von 0,37, was uns sagt, dass nach einem kühlen April die Wahrscheinlichkeit einer schlechten Ernte grösser ist, als die einer guten. In den folgenden Monaten Mai, Juni und Juli ist die betreffende Korrelation bedeutend kleiner als im April, woraus sich ergibt, dass zwischen der Roggenernte und den erwähnten Mitteltemperaturen keine engere Beziehung vorhanden ist.

In gleicher Weise sind die Korrelationen zwischen der Winterroggenernte und den monatlichen Mitteln der täglichen Minimumtemperaturen berechnet worden (Tabelle 3).

Tabelle 3.

	IV	V	VI	VII
$r =$	+ 0.27	- 0.26	- 0.35	+ 0.02
$f =$	\pm 0.12	\pm 0.12	\pm 0.11	\pm 0.13

Auch hier ist der wahrscheinliche Fehler im besten Falle nur dreimal kleiner als der Korrelationskoeffizient, was darauf hindeutet, dass die Monatsmittel der Temperatur, wie auch die Mittel der täglichen Minima nicht genügen, um die Einwirkung der Lufttemperatur auf das Wachstum des Winterroggens in Eesti festzustellen.

Ausser der Temperatur üben die Niederschläge einen starken Einfluss auf das Wachsen der Kulturpflanzen aus. Da wir zum Vergleich die Mittelwerte der Getreide des ganzen Kreises vor uns haben, genügen natürlich die Regenbeobachtungen einer einzelnen Station nicht, um eine Beziehung zwischen Ernte und Niederschlagsmengen zu finden, sondern es müsste ein dichtes gleichverteiltes Stationennetz vom ganzen Kreise benutzt werden. Leider hörte in den Kriegsjahren (1916) die Tätigkeit des Regenstationennetzes auf und fand eine neue Organisation der Beobachtungspunkte erst nach dem Ende des Freiheitskrieges statt. Daher fehlen die Niederschlagsbeobachtungen ausser denen des Observatoriums in Tartu von 1916—1921 vollständig. Um jedoch eine Beziehung zwischen den Regenverhältnissen des ganzen Kreises und der Ernte erkennen zu können, haben wir die täglichen Wasserstandsmessungen des Flusses Embach bei Tartu benutzt.

Es sei hierzu bemerkt, dass das ganze Abflussgebiet des Embachs eine Fläche von rund 9958 km² umfasst, und zwar ausser dem Kreise Tartu noch den grössten Teil der Kreise Viljandi (Fellin) und Valga (Walk) (s. Fig. 1).

Die Benutzung des Wasserstandes der Flüsse zu ähnlichen Untersuchungen dürfte im Flachlande vor den direkten Regen-

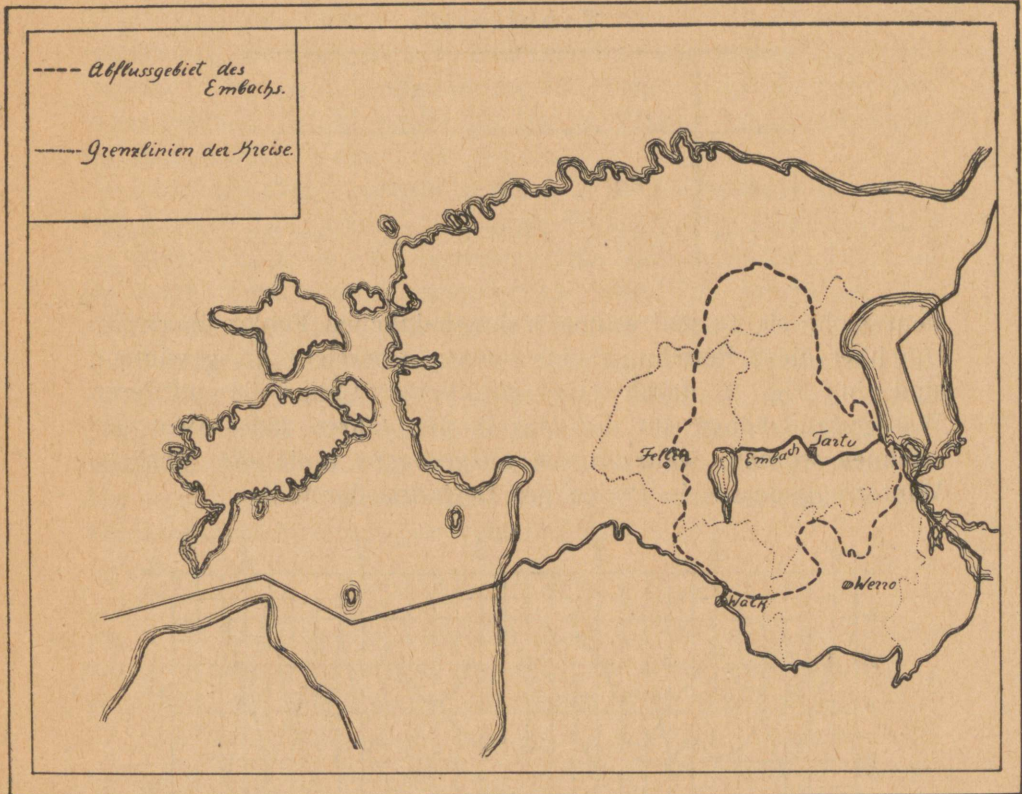


Fig. 1.

messungsangaben den Vorzug verdienen, da die Flusshöhen ausser den vor kurzem gefallenen Niederschlägen auch über die aus früheren Zeiten stammenden Vorräte im ganzen Flussgebiet Auskunft geben.

Um die Beziehung der Regenverhältnisse zur Winterroggenernte festzustellen, sind aus den täglichen Wasserstandsmessungen des Embachs von 13^h die Monatsmittel berechnet und hieraus die Korrelationsfaktoren mit der Ernte bestimmt worden. Die Berechnungen sind durchgeführt für den April, Mai, Juni und Juli und die betreffenden Koeffizienten mit ihren wahrscheinlichen Fehlern in der Tabelle 4 aufgeführt.

Aus dieser Tabelle ersehen wir, dass zwischen dem Wasserstande und der Winterroggenernte mit Ausnahme des Aprils eine ausgeprägte Beziehung vorhanden ist, da der Korrelationskoeffi-

Tabelle 4.

	IV	V	VI	VII
r =	-- 0.24	-- 0.78	-- 0.76	-- 0.75
f =	± 0.12	± 0.05	± 0.05	± 0.06

zient mehr als 13 mal seinen wahrscheinlichen Fehler übertrifft. Um über diese Beziehung eine bessere Übersicht zu gewinnen, sind in Fig. 2 durch eine punktierte Linie die mittleren Wasserstandshöhen für den Mai in den Jahren 1900—1926 verzeichnet worden, während die ausgezogene Linie die jährliche Winterroggenernte in Pud. pro Desjatine darstellt.

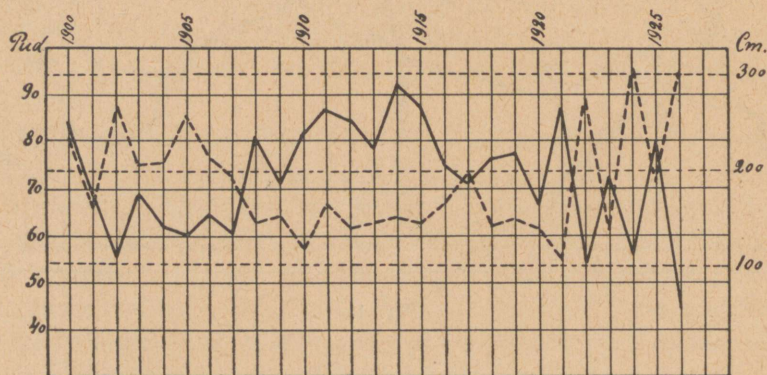


Fig. 2.

— Die mittlere Winterroggenernte in Pud. pro Desjatine im Kreise Tartu.
 Die mittlere Flusshöhe in cm im Mai bei Tartu.

Im allgemeinen sehen wir zwischen beiden Linien einen guten Zusammenhang, welcher vor allem in den letzten Jahren, mit besonders grossem Hochwasser, stark hervortritt. Das grösste Auseinandergehen fällt auf das Jahr 1900, wo, trotz des Hochwassers im Mai, die Winterroggenernte über den Mittelwert stieg, was den geringen Niederschlagsmengen im Mai, Juni und Juli zu verdanken war.

Es sei hier erwähnt, dass eine solche Beziehung zwischen dem Wasserstand des Embachs und der Winterroggenernte sich

nicht auf den Kreis Tartu beschränkt, sondern auch für entferntere Bezirke gilt: so beträgt der Korrelationskoeffizient zwischen der Winterroggenernte im Kreise Viljandi und dem Wasserstande des Embachs im Mai in Tartu — 0.54 mit einem wahrscheinlichen Fehler von ± 0.09 .

Um die Frage zu beantworten, in welchem Masse nach den Daten der Temperatur und der Wasserhöhen des Embachs ein Vorhersagen der Winterroggenernte sich ausführen lässt, ist als erste Annäherung angenommen, dass die jährlichen Abweichungen der Ernte von ihrem Mittelwert eine lineare Funktion der Temperaturabweichungen vom April und der Wasserstandsabweichungen vom Mai sind. Nach der Methode der kleinsten Quadrate lassen sich die unbekanntes Koeffizienten leicht berechnen. Die Gleichung, die die Beziehung der Roggenernte zu den erwähnten Temperaturabweichungen vom April und den Wasserstandsabweichungen vom Mai darstellt, ist:

$$R = 0,18 T - 0,25 W + 72,1,$$

wo R die Roggenernte bedeutet, T — die Abweichung von der mittleren Monatstemperatur im April, W aber die Abweichung vom mittleren Wasserstand des Embachs im Mai bei Tartu.

Nach der Einstellung der zu jedem Jahr gehörigen Abweichungen in die aufgestellte Gleichung lässt sich die Abhängigkeit der jährlichen Winterroggenernte von den erwähnten Faktoren leicht berechnen.

In der umstehenden Fig. 3 sind die in dieser Weise erhaltenen Erntewerte von Jahr zu Jahr durch eine punktierte Linie dargestellt, während die ausgezogene Linie den wirklichen Grössen der Winterroggenernte entspricht.

Grössere Unterschiede treten in den Jahren 1900 und 1920 zutage. Im Jahre 1900 erfolgte trotz eines hohen Frühlingswassers eine gute Ernte, was sich durch die unternormale im Frühling und Sommer gefallene Niederschlagsmenge erklären lässt. Im Jahre 1920 war dagegen die Winterroggenernte bedeutend kleiner als der berechnete Wert, da in diesem Jahre im Juni und Juli eine zu lange Trockenperiode herrschte.

Aus dem Angeführten folgt, dass im Kreise Tartu für eine gute Winterroggenernte in hohem Grade der Wasserstand des Embachs im Frühling massgebend ist, da durch Frühlingshochwasser das Wachstum des Roggens stark leidet. Schon das Hoch-

wasser des vorhergehenden Herbstes übt einen schädlichen Einfluss auf das Wachstum des Winterroggens aus, obwohl hier die Korrelation zwischen Wasserhöhe und Ernte bedeutend kleiner

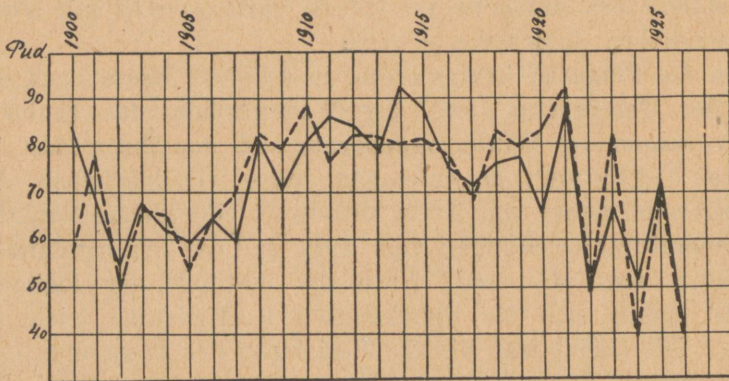


Fig. 3.

..... Die vorausberechnete Winterroggenernte.

—— Die Winterroggenernte in Pud pro Desjatine im Kreise Tartu.

ist als im Frühling. So ist die betreffende Korrelation für September — 0.42 und für Oktober — 0.46 mit den wahrscheinlichen Fehlern ± 0.10 behaftet.

In gleicher Weise sind auch die mittleren Hafer- und Gersternten in Pud pro Desjatine für den Kreis Tartu mit der Lufttemperatur und dem Wasserstande des Embachs bei Tartu verglichen worden.

Für den Hafer sind die betreffenden Korrelationen mit ihren wahrscheinlichen Fehlern in der Tabelle 5 aufgeführt, wobei sich in der ersten Zeile unter „r“ die Korrelationskoeffizienten für die Temperatur bzw. die Wasserstandshöhe für den angegebenen Monat befinden, in der zweiten Zeile unter „f“ die dazugehörigen wahrscheinlichen Fehler.

Die Korrelationen zwischen der Lufttemperatur und der Haferernte sind ebenso wie beim Winterroggen zu klein ausgefallen, was darauf hindeutet, dass die monatlichen Mitteltemperaturen bzw. Mittel der täglichen Minima nicht genügen, um über den Einfluss der Temperatur auf die Ernte zu einem befriedigenden Resultate zu gelangen.

Was aber weiter die Beziehung zwischen Flusshöhe und Haferernte betrifft, so folgt aus den verhältnismässig grossen

negativen Korrelationskoeffizienten, dass auch hier nach einem Frühlings- und Sommerhochwasser im Herbst meist eine schlechte Haferernte zu erwarten ist. Der grösste Korrelationsfaktor ergibt sich für den Monat Juni, wo er seinen wahrscheinlichen Fehler etwa 7 mal übertrifft.

Tabelle 5.

		V	VI	VII	VIII
Hafer — Monatsmittel der Temperatur	$r =$	- 0.22	- 0.11	- 0.20	+ 0.20
	$f =$	\pm 0.12	\pm 0.13	\pm 0.13	\pm 0.13
Hafer — Mittel der täglichen Temperaturminima	$r =$	- 0.39	- 0.25	- 0.14	+ 0.11
	$f =$	\pm 0.11	\pm 0.12	\pm 0.13	\pm 0.13
Hafer — Flusshöhe	$r =$	- 0.58	- 0.62	- 0.56	- 0.60
	$f =$	\pm 0.08	\pm 0.08	\pm 0.09	\pm 0.08

Übersichtshalber sind in der Fig. 4 durch die ausgezogene Linie die jährlichen mittleren Haferernten für den Kreis Tartu ausgedrückt (in Pud pro Desjatine), und durch eine punktierte Linie — die mittleren Wasserstandshöhen des Embachs pro Juli bei Tartu.

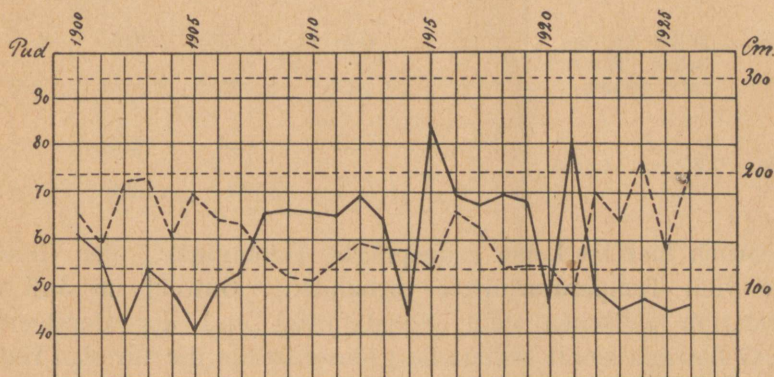


Fig. 4.

..... Die mittlere Flusshöhe in cm im Juni bei Tartu.

———— Die mittlere Haferernte in Pud pro Desjatine im Kreise Tartu.

Das grösste Auseinandergehen ist in den Jahren 1914 und 1925 zu bemerken, wo trotz einer niedrigen Flusshöhe im Sommer, eine schlechte Haferernte erfolgte. Dieses erklärt sich durch die zu lange andauernde Trockenheit im Juni und Juli, wodurch das Getreide vertrocknete.

Die Regressionsgleichung für die betreffende Korrelation im Juni ist:

$$H = -0,19 W + 60,5,$$

wo H die Haferernte bedeutet, W aber die Abweichung vom mittleren Wasserstand des Embachs im Juni bei Tartu.

Recht ähnliche Beziehungen finden wir zwischen den Temperaturmitteln bzw. Flusshöhen und der Gersteuernte. Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten mit ihren wahrscheinlichen Fehlern sind in der folgenden Tabelle (6) aufgeführt. Es bedeutet, wie früher, „ r “ den Korrelationskoeffizienten, „ f “ aber den dazugehörigen wahrscheinlichen Fehler.

Tabelle 6.

		V	VI	VII	VIII
Gerste — Monatsmittel der Temperatur	$r =$	— 0.22	— 0.05	— 0.47	+ 0.16
	$f =$	+ 0.12	+ 0.13	+ 0.10	+ 0.13
Gerste — Mittel der täglichen Temperaturminima	$r =$	— 0.28	— 0.23	— 0.37	+ 0.11
	$f =$	+ 0.12	+ 0.12	+ 0.11	+ 0.13
Gerste — Mittlere Flusshöhe	$r =$	— 0.22	— 0.37	— 0.46	— 0.30
	$f =$	+ 0.12	+ 0.11	+ 0.10	+ 0.12

Auch hier ist keine ausgeprägte Abhängigkeit der Gersteuernte vom Temperaturmittel vorhanden. Obwohl im Juli die Korrelation zwischen dem Monatsmittel und der Gersteuernte — 0,47 beträgt, somit bedeutend grösser ist als die für den Hafer, so können wir daraus doch nicht schliessen, dass die hohen Julitemperaturen direkt schädlich auf das Wachstum der Gerste einwirken: viel eher könnten wir annehmen, dass hier die schädliche Wirkung der geringen Niederschlagsmengen zum Vorschein

kommt, da es ja bekannt ist, dass meist bei hoher Lufttemperatur die Niederschläge gering sind und umgekehrt ¹⁾).

Was weiter die Korrelationskoeffizienten zwischen Gerste und Flusshöhe betrifft, so sind sie in den betrachteten Monaten kleiner als diejenigen zwischen Hafer und Flusshöhe. Auch hieraus lässt sich nicht der Schluss ziehen, dass die Gerste viel weniger unter dem Hochwasser leidet als der Hafer, sondern nur dass die Gerste bei niedriger Flusshöhe oft durch die Spärlichkeit der Niederschläge leidet — eine Gefahr, welche beim Hafer nicht so gross ist.

Eine Voraussage für Hafer- und Gersternten würde laut dem oben Angeführten zu grosse Differenzen im Vergleich zur wirklichen Ernte ergeben, weshalb wir diese Frage nicht näher untersuchen.

Zusammenfassend können wir sagen, dass im Kreise Tartu die Getreideernte oft durch ein Frühlings- bzw. Sommerhochwasser leidet, worauf die grossen negativen Korrelationen zwischen den betreffenden Zahlenreihen hinweisen.

Die erwähnte Beziehung würde noch stärker hervortreten, wenn wir dazu nicht die Erntedaten vom ganzen Kreise Tartu benutzt hätten, sondern die Erntewerte der dem Flusse naheliegenden flachen Bezirke, da ein Teil des Kreises Tartu durch kleine Erhebungen gekennzeichnet ist, auf die die schädliche Wirkung des Hochwassers sich nicht erstreckt.

1) K. Frisch, Die Temperaturabweichungen in Tartu und ihre Bedeutung für die Witterungsprognose. Tartu 1925. (Acta et Comm. Univ. Dorp. A VIII.2). S. 6.

Est A-3845