Werk

Titel: Die Flächen des Stoffaustausches im Säugetierkörper

Autor: Pütter, A.

Ort: Berlin

Jahr: 1913

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0001|log944

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

Länge noch weit unterhalb der Wellenlänge der sichtbaren Strahlen liegt; sie beträgt etwa nur $^1/_{10000}$ der Lichtwellenlänge, hat also in absolutem Maß die ungeheuer kleine Länge von rund einhundertmillionstel Millimeter. Es taucht daher hier die Frage auf, ob wir auch mit den Röntgenstrahlen Gittererscheinungen hervorrufen können. Diese Frage ist insofern noch für die Erkenntnis der Röntgenstrahlen von tieferer Bedeutung, als der Nachweis von Gittererscheinungen mit Entschiedenheit für das *Vorhandensein regelmäßiger Wellenzüge in der Röntgenstrahlung* spricht, während die bisherige Auffassung der Röntgenstrahlen als einer unregelmäßigen Folge stoßartiger Impulse keine Gittererscheinungen erwarten ließ.

Wollte man aber mit den Röntgenstrahlen Gittererscheinungen sichtbar machen, so mußte man dazu viel feinere Strukturen verwenden, als sie je die Hand oder die Teilmaschine des Feinmechanikers herstellen kann. Denn die Gitterkonstanten unserer besten optischen Gitter sind im Vergleich zur Wellenlänge der Röntgenstrahlen noch immer so ungeheuer groß, daß die einzelnen Gitterspektren im Beugungsbild untrennbar dicht zusammenfallen würden.

Es war *Max Laue*, der auf den einfachen und schönen Gedanken kam, *daß uns ja die Natur selbst in den Kristallen Gitterstrukturen von außerordentlicher Feinheit und Regelmäßigkeit darbietet*, die für die Erzeugung von Gittererscheinungen im Gebiete der Röntgenstrahlen geeignet seien[1]). Denn seit *Bravais* ist es bekannt, daß die Moleküle der Kristalle ein regelmäßiges, je nach dem Kristallsystem verschiedenes, gitterartiges Netzwerk bilden. Der Unterschied gegen die optischen und elektrischen Gitter besteht darin, daß wir es hier nicht mehr mit ebenen Gittern zu tun haben, sondern mit *Raumgittern*. Obgleich dieser letzte Umstand theoretisch eine erhebliche Komplikation bedeutet, gelang es *Laue* dennoch, eine angenäherte Theorie durchzuführen.

Die Rechnung von *Laue* zeigte, daß die Gittererscheinung hier nicht, wie im optischen Falle, aus einem strichartigen Zentralbild und einer Reihe paralleler strichartiger Seitenmaxima besteht, sondern daß sich hier rings um ein unabgelenktes Zentralbild eine Reihe einzelner Punkte gruppiert, die im Fall eines regulären Kristalls auf Kreisen liegen. *Die Symmetrie dieser Punktfigur entspricht stets genau der Symmetrie des durchstrahlten Kristalls.*

Diese Folgerungen der Theorie haben auf *Laues* Veranlassung *Friedrich* und *Knipping* experimentell geprüft und mit wunderbarer Genauigkeit bestätigt gefunden. Die mit den verschiedensten Kristalltypen hergestellten Röntgenphotogramme zeigen Punktmuster von erstaunlicher Schärfe und Schönheit und lassen stets die charakteristische Kristallsymmetrie deutlich erkennen.

Trotz der kurzen Zeit, die seit *Laues* Entdeckung verflossen ist, hat sich bereits eine ganze Reihe interessanter Versuche denen von *Friedrich* und *Knipping* angeschlossen; besonders ist außer dem Durchgang der Röntgenstrahlen durch Kristalle auch ihre regelmäßige Reflexion an Glimmer und Gips eingehend untersucht worden.

So hat man in den Photogrammen der durch Kristalle hindurchgegangenen oder an ihrer Oberfläche reflektierten Röntgenstrahlen einerseits ein neues Mittel in der Hand, um den Kristalltypus zu erkennen. Andererseits aber darf man wohl erwarten, mit Hilfe der Kristallgitter auch die Natur der Röntgenstrahlung zu ergründen, und die in ihr enthaltenen Wellen in derselben Weise zu analysieren und zu messen, wie die Lichtwellen mit Hilfe der optischen Gitter.

[1]) Vergl. z. B. diese Zeitschrift *I*, 1913, S. 105 ff.

Die Flächen des Stoffaustausches im Säugetierkörper.

Von Prof. Dr. August Pütter, Bonn.

Die Beschäftigung mit den Problemen des Stoffaustausches im Säugetierkörper, mit den Fragen nach der Resorption und Sekretion von Gasen, Wasser, Salzen und organischen Stoffen in den verschiedenen Organen, führt überall auf die Frage, wie groß die *Flächen* sind, die das Sekret liefern, das wir in seiner Menge und Zusammensetzung beobachten, wie groß die Flächen sind, welche die Stoffe aufsaugen, die wir oft mit so erheblicher Geschwindigkeit aus resorbierenden Organen verschwinden sehen.

In der anatomischen und physiologischen Literatur findet man nur ganz vereinzelte Angaben über diese Größen: für die Größe der resorbierenden Fläche der Lunge liegen Schätzungen und Bestimmungen vor, die Gesamtfläche der roten Blutkörperchen, die beim Menschen etwa 3000 m² beträgt, ist eine bekannte Zahl, die schon erkennen läßt, wie bedeutend die Flächenentwicklung einer bestimmten Zellart werden kann.

Je feiner verteilt irgendwelche Materie ist, desto deutlicher tritt die Wirkung der Oberfläche hervor, und wir haben in den Absorptionserscheinungen an fein verteilten Stoffen, z. B. an Tierkohle, in den Erscheinungen der explosionsartig raschen Verbrennung von Mehl- oder Kohlenstaub, die besten Beispiele dafür, daß die Oberflächenentwicklung von maßgebender Bedeutung für den Ablauf von Reaktionen ist, daß mit zunehmender Oberflächenentwicklung ganz neue, erstaunliche Phänomene an einem System zur Beobachtung kommen können.

In der Physiologie der Resorption und Sekretion ist es üblich, einige extreme Beispiele von besonders raschem Stofftransport in der Form anzuführen, daß man angibt, das Wievielfache des eigenen Volumens ein Organ pro Tag an Sekret abgibt, oder was dasselbe ist, die Sekretmenge für 1000 g Organ und eine Stunde mitzuteilen. Die beistehende kleine Zusammenstellung gibt einige solche Zahlen. Danach sondert die Speicheldrüse im Mittel fast ihr eigenes Volumen pro Stunde ab, und diese Sekretmenge kann noch erheblich stei-

gen, so daß das eigene Volumen schon in einer halben Stunde zur Absonderung gelangt.

	Sekretmengen in Vielfachen des eigenen Volumens pro Tag	Sekretmengen auf 1000 g pro Stunde ccm
Niere, Erwachsen	5,3	220
Niere, Kind von 2—3 Wochen	12,5	520
Pankreas	12,5	520
Speicheldrüse	20,0	830

Solche Zahlen sind aber nicht geeignet, uns eine Vorstellung von den Leistungen der secernierenden Organe zu vermitteln: Das Sekret wird ja von einer *Fläche* geliefert, und um sich ein zutreffendes Bild davon zu machen, welche Leistung ein Organ der Sekretion oder auch ein solches der Resorption vollbringt, muß man die gelieferte Sekretmenge nicht mit der *Masse* des Organs vergleichen, sondern mit der Größe der *Fläche,* die die Leistung vollbringt.

Der Grund dafür, daß eine solche Betrachtung bisher nicht durchgeführt wurde, liegt wohl wesentlich darin, daß wir keine generelle Methode besitzen, um Flächen von so verwickelter Form zu *messen,* wie sie etwa die absondernden Flächen der Drüsenschläuche oder Drüsenbläschen, oder die resorbierenden Flächen der Zotten in der Darmschleimhaut darstellen.

Daß der Bau der Drüsen wie der Resorptionsorgane unter dem Gesichtspunkte der Flächenvergrößerung zu verstehen sei, ist eine allbekannte Lehre der Anatomie und Entwicklungsgeschichte; für die Physiologie aber erwächst die Aufgabe, die *absolute Größe* dieser durch Ein- und Ausstülpungen so bedeutend vergrößerten Flächen zu ermitteln, und durch Vergleichung der Leistungen, die von den verschiedenen Organen pro Flächeneinheit vollbracht werden, eine Vorstellung von den Leistungsähnlichkeiten und Leistungsunähnlichkeiten der einzelnen Organe desselben Organismus, der homologen Organe verschiedener Organismen und desselben Organs in verschiedenen Entwicklungsstadien zu gewinnen.

Die Flächen, um die es sich dabei handelt, können zwar, wie gesagt, nicht direkt *gemessen,* wohl aber mit einer für die erste Orientierung völlig hinreichenden Genauigkeit *berechnet* werden.

Denken wir uns den einfachsten Fall, daß ein Organ aus ganz gleich großen und gleichmäßig gelagerten kugelförmigen Bläschen von Epithelzellen bestünde, also kein Bindegewebe, keine Blutgefäße und keine ableitenden Wege für das Sekret besäße, so ist ohne weiteres einzusehen, daß eine einfache Messung des Durchmessers der Bläschen und eine Bestimmung ihrer Zahl in einer Raumeinheit genügen würde, um die Größe der arbeitenden Fläche genau zu berechnen. Die Abweichungen, die ein wirkliches Organ von einem derartigen, gedachten, zeigt, erschweren zwar die Rechnung und nehmen ihr die mathematische Genauigkeit, machen sie aber keineswegs unmöglich.

Auf Schnitten kann man mit dem Zeichenapparat die Flächen umgrenzen, die von Ausführgängen, Blutgefäßen und Bindegewebe eingenommen werden, und daraus deren Anteil am Aufbau des gesamten Organs berechnen. Die Messung einer genügenden Anzahl von Drüsenbläschen oder Drüsenschläuchen führt auf hinreichend genaue Mittelwerte für die Dimensionen dieser Teile. Auf diese Weise würden etwa die Flächen der Speicheldrüsen und des Pankreas zu berechnen sein (s. u.). Für andere Anordnungsarten der Elementarteile, wie sie z. B. die Drüsenschläuche des Dünndarms, die aufgeknäulten Schweißdrüsen, die Dünndarmzotten darstellen, lassen sich die Rechnungen in analoger, zum Teil noch einfacherer Weise durchführen. Ganz besondere Schwierigkeiten bietet bei ihrem komplizierten Bau die Berechnung der Fläche der *Niere.* Die schönen Untersuchungen *Peters* über den Bau dieses Organs geben aber auch hier die Möglichkeit der Berechnung. *Peter* hat für den Menschen wie für eine Reihe von Säugetieren die genauen Dimensionen aller einzelnen Abschnitte der Harnkanälchen angegeben, so daß die Fläche eines solchen leicht zu berechnen ist. Es bleibt also nur die *Zahl* der Harnkanälchen in einer Niere zu bestimmen, um die Gesamtfläche angeben zu können. Jedes Harnkanälchen hat bei den höheren Säugetieren einen und nur einen „Glomerulus", einen Blutgefäßknäul, der schon eben mit bloßem Auge und sehr leicht bei ganz schwacher Vergrößerung zu sehen ist. Auf den Glomerulus folgt das Hauptstück des Harnkanälchens, oder der Tubulus contortus (*b,* Fig. 1), hierauf der dünne Teil der Henleschen Schleife (*c,* Fig. 1), dann der dicke Teil der Schleife (*d,* Fig. 1), und endlich das „Schaltstück" (*e,* Fig. 1). Gelingt es, die Glomeruli zu zählen, so kennt man die Zahl der Harnkanälchen. Es ist nun nicht schwer, die Ausdehnung der Rindenfläche der Niere zu bestimmen, unter welcher die Glomeruli liegen, und auch die Zählung der Glomeruli auf bestimmten Flächen grober Schnitte, die senkrecht zur Nierenoberfläche geführt sind, bereitet keine Schwierigkeiten. So kann man berechnen, wie viele Glomeruli unter einem cm^2 der Nierenoberfläche liegen, und da die ganze Fläche der Nierenrinde gemessen ist, ergibt sich ohne weiteres die Gesamtzahl der Harnkanälchen. Dafür, daß diese Methode zu brauchbaren Resultaten führt, hat man die Möglichkeit einer Kontrolle: Es ist bekannt, daß sich beim Menschen nach der Geburt keine neuen Glomeruli mehr bilden, und so muß die Zahl, die für die Niere eines Neugeborenen ermittelt ist, mit derjenigen übereinstimmen, die für den Erwachsenen oder für irgend ein Entwicklungsstadium dazwischen gefunden wird. In der Tat ergeben sich folgende Zahlen:

	Fläche der Nierenrinde	Zahl der Glomeruli unter 1 cm^2	Gesamtzahl der Glomeruli
Neugeborener .	48 cm^2	36 000	1 720 000
Erwachsener . .	513 „	5 419	1 710 000

Der wahrscheinliche Fehler der Bestimmungen beträgt etwa 2 %, so daß ein Unterschied der beiden Zahlen um 30 000 innerhalb der Fehlergrenzen liegen würde, und die tatsächliche geringere Differenz als Zufall zu betrachten ist. Aus der Zahl der Harnkanälchen und der Fläche der einzelnen Kanälchen berechnet sich leicht die ganze harnabsondernde Fläche der Niere, und zwar beträgt ihre Größe beim Menschen 7,8 m².

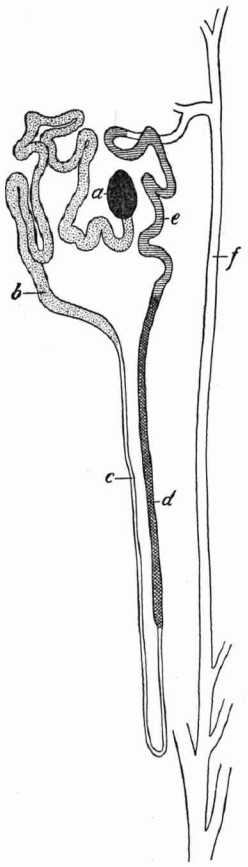

Fig. 1: Schema des Baues der Niere nach *Peter* (etwas verändert).
a Glomerulus, *b* Hauptstück oder Tubulus contortus, *c* und *d* Henlesche Schleife, *c* dünner, *d* dicker Schleifenteil, *e* Schaltstück, *f* Ausführgang.

Diese Fläche liefert pro Tag 1600 cm³ Harn, d. h. die Niere secerniert pro 1 m² in einer Stunde 8,6 cm³.

Das ist aber nur ein grober Mittelwert, der den Durchschnitt der Leistungen der fünf Abschnitte angibt, die sich an der Harnbereitung beteiligen: des Glomerulus, des Hauptstücks, des dünnen und des dicken Teils der Henleschen Schleife und des Schaltstückes. Die einzelnen Abschnitte können sehr verschieden hohe Leistungen vollbringen, ja, man muß noch mit der Möglichkeit einer Rückresorption in bestimmten Teilen der Niere rechnen, und nur die algebraische Summe aller dieser Prozesse gibt den Wert von 8,6 cm³ pro m² und Stunde. Mit diesem Werte für den Menschen allein ist nicht viel gewonnen, es lassen sich aber auch für einige Haussäugetiere die entsprechenden Zahlen angeben, wie sie die folgende Tabelle bringt.

Tierart	Nierenfläche in m²	Harnmenge in cm³	Harnmenge pro m² und Stunde
Kaninchen . . .	0,39	65	*6,9*
Katze	1,20	190	*6,6*
Schaf.	3,50	700	*8,33*
Mensch.	7,80	1600	*8,60*
Rind	39,30	8000	*8,48*

Diese Zahlen zeigen schon eine weitgehende Übereinstimmung zwischen den Leistungen der Nieren der verschiedenen Säugetiere, wenn man sie auf die Einheit der Fläche bezieht, und lehren so die innere Berechtigung einer derartigen Vergleichung. Man kann aber in der Vergleichung noch einen Schritt weiter gehen: Wenn wir annehmen, daß die homologen Abschnitte der verschiedenen Nieren pro Flächeneinheit bei normaler Beanspruchung *gleich viel* Sekret liefern, so können wir für alle fünf Abschnitte der Niere die absolute Menge des Sekretes pro m²-Stunde berechnen, wenn wir von fünf Tieren die täglichen Harnmengen kennen. Bekannt sind die Flächengrößen der einzelnen Abschnitte und die Summe der Sekrete aller fünf Abschnitte zusammen, denn diese Summe ist ja die tägliche Harnmenge.

Wir hätten also z. B. für den Menschen folgende Gleichung mit 5 Unbekannten:

$$0{,}498\,u + 4{,}25\,v + 0{,}48\,x + 1{,}55\,y + 0{,}98\,z = 1600,$$

wobei u die Sekretmenge im Glomerulus, v diejenige im Hauptstück, x im dünnen Schleifenteil, y im dicken Schleifenteil und z im Schaltstück ist. Die Faktoren vor den Buchstaben sind die Flächengrößen der entsprechenden Abschnitte in m² und auf der rechten Seite der Gleichung steht die tägliche Harnmenge mit 1600 cm³. Wenn wir die entsprechenden Gleichungen von noch weiteren vier Säugetieren haben, so können wir aus diesen fünf Gleichungen die fünf Unbekannten berechnen, wenn unsere Voraussetzung zutrifft, daß die homologen Nierenabschnitte gleiche Sekretmengen liefern.

Das System der fünf Gleichungen läßt sich nun in der Tat auflösen und liefert folgende Werte für die fünf Unbekannten:

Sekretmenge		pro m² u. Stunde
Glomerulus	u	+ 13,90
Hauptstück	v	+ 9,16
dünner Schleifenteil	x	− 8,35
dicker Schleifenteil	y	+ 12,50
Schaltstück	z	+ 4,16

Das Auffälligste an diesem Resultat ist, daß eine Erfüllung der Gleichungen nur möglich ist, wenn der Wert von x, d. h. der Wert der Ausscheidung im dünnen Teil der Henleschen Schleife, *negativ* wird, wenn also an dieser Stelle *keine Sekretion*, sondern eine *Resorption* stattfindet. Das ergibt

sich bei dieser Methode der Vergleichung als einfach rechnerisches Resultat, ohne irgend eine andere Voraussetzung als die, daß die Sekretmengen homologer Abschnitte der Nieren verschiedener Tiere einander gleich sind. Die histologische Untersuchung lehrt nun, daß im dünnen Teil der Henleschen Schleife die *Sekretgranula fehlen,* die die Histologie als so charakteristisch für secernierende Zellen erkannt hat, so daß hiernach der Schluß berechtigt war, daß in diesem Teil der Niere keine Sekretion stattfindet. Unsere Vergleichung führt noch einen Schritt weiter und zeigt eine *Rückresorption.* Die Menge der resorbierten Flüssigkeit beträgt im höchsten Falle (beim Kaninchen) etwa 25 % der Flüssigkeitsmenge, die im Glomerulus und im Hauptstück zusammen geliefert wird, beim Menschen nur 9,5 % dieser Menge, bei Schaf und Katze 10—11 %, und beim Rind 16,7 %. Es ist hieraus schon zu ersehen, daß diese Rückresorption nicht imstande ist, jene Eindickung zu bewirken, die nach *Ludwigs* Theorie der Harnbereitung das Filtrat aus dem Blutserum, welches im Glomerulus ausgeschieden werden sollte, in den weiteren Abschnitten der Niere erleiden müßte. Die Vergleichung des Anteils, den der dünne Schleifenteil an der Zusammensetzung der ganzen Nierenfläche nimmt, macht es unwahrscheinlich, daß ihm eine wesentliche Rolle bei der Harnbereitung zukommt. Bei den hier näher betrachteten Säugetieren schwankt die relative Flächengröße zwischen 6,2 % (Mensch) und 18,0 % (Kaninchen) der Gesamtfläche, bei primitiven Säugern aber ist sie noch viel geringer und macht beim Ameisenigel (Echidna) nur 0,85 % der ganzen Fläche aus.

Außer der Größe der Wasserausscheidung kann man natürlich auch diejenige irgendwelcher gelösten Stoffe im Verhältnis zur Flächengröße betrachten. Am interessantesten erscheint da die Größe der Stickstoffausscheidung, und auch sie zeigt weitgehende Übereinstimmung zwischen Flächengröße der Niere und Menge des ausgeschiedenen Stickstoffs, wie die folgenden Daten lehren.

	Fläche in m^2	Stickstoffausscheidung pro Tag in g	Stickstoffausscheidung pro m^2 u. Stunde
Schaf	3,20	5,6	73
Mensch . . .	7,12	13,0	75
Rind	34,20	64,0	78

Von Interesse ist endlich auch die Vergleichung der Leistung der Niere beim Neugeborenen und beim Erwachsenen. Die Menge der pro Flächeneinheit ausgeschiedenen Flüssigkeitsmenge ist in beiden Entwicklungsstadien *dieselbe,* wie die folgenden Zahlen zeigen:

	Fläche	tägliche Harnmenge	Harnmenge pro m^2 u. Stunde
Kind von 2—3 Wochen	1,44	300	8,70
Erwachsener .	7,80	1600	8,60

Ein Kind von 2,85 kg hat 1,44 m^2 Nierenfläche, ein Erwachsener von 72 kg 7,80 m^2. Welche dieser beiden Flächen ist relativ, d. h. im Verhältnis zum Körpergewicht, die größere?

Um diese Frage zu beantworten, muß man sich an den Satz erinnern, daß bei ähnlichen Körpern die Flächen im Verhältnis der Quadrate der Lineardimensionen stehen, die Gewichte im Verhältnis der Kuben der Lineardimensionen. Mathematisch ausgedrückt heißt das: bei ähnlichen Körpern ist der Quotient $\frac{\sqrt{F}}{\sqrt[3]{P}}$ konstant, wenn F die Fläche und P das Gewicht bedeutet. Wir nehmen hierbei die Gewichte in g, die Flächen in cm^2, und erhalten als Maß für die Größe der Nierenflächen folgende Zahlen:

$$\sqrt{14\,400} = 120, \quad \sqrt[3]{2\,850} = 14{,}2, \quad \frac{\sqrt{F}}{\sqrt[3]{P}} = 8{,}45,$$

$$\sqrt{78\,000} = 280. \quad \sqrt[3]{72\,000} = 41{,}6, \quad \frac{\sqrt{F}}{\sqrt[3]{P}} = 6{,}72.$$

Die Nierengröße des Kindes wird also gemessen durch die Zahl 8,45, jene des Erwachsenen durch die Zahl 6,72. Es ist also die kindliche Niere relativ viel größer als die Niere des Erwachsenen, aber pro Einheit der secernierenden Fläche liefern sie gleich viel Sekret. Bei ähnlicher Vergrößerung würde die Fläche beim Erwachsenen 12 m^2 betragen müssen, statt der 7,8 m^2, die sie tatsächlich hat. Es ist nun interessant, daß bis etwa zum 8. oder 9. Lebensjahr hin die Niere so groß bleibt, wie sie beim Neugeborenen ist, und erst dann die relative Verkleinerung eintritt. Die Zahl, welche die „Nierengröße" mißt, beträgt für die verschiedenen Lebensalter wie folgt:

Alter von 3 Wochen	8,45
„ „ 5 Monaten	8,10
„ „ 1,5 Jahren	8,80
„ „ 6 Jahren	8,28
„ „ 9 Jahren	8,31
Erwachsenen	6,72.

Als zweites Beispiel der Vergleichung von Leistung und Flächengröße wollen wir die *Enzym liefernden Drüsen* betrachten.

Für die Drüsen der Magenschleimhaut ist die Berechnung der Flächengröße nur ziemlich ungenau durchzuführen, dagegen läßt sich die Fläche der Speicheldrüsen, des Pankreas und der Dünndarmdrüsen leicht nach den Prinzipien berechnen, die schon oben entwickelt wurden, und wir erhalten folgende Zahlen:

	Fläche in m^2	Sekretmenge in cm^3	Sekretmenge pro m^2 u. Stunde	
Speicheldrüsen	11,0	1000—1500	3,8—5,7	Mittel 4,5
Pankreas . . .	11,0	800—1200	3,0—4,6	
Dünndarmkrypten. . .	14,5	1500—2000	4,0—5,7	

Diese Drüsen sind also in ihrer mittleren Leistung pro m^2 und Stunde einander sehr ähn-

lich, sie liefern alle etwa 4,5 cm³ Sekret. Den Typus, den sie repräsentieren, können wir noch weiter dadurch kennzeichnen, daß die maximale Sekretmenge, die auf kürzere Zeit bei starker Reizung geliefert werden kann, mit 13—14 cm³, pro m² und Stunde, die mittlere Leistung nur etwa um das Dreifache übertrifft.

Es ist vielleicht nicht ohne Interesse, hier zu erwähnen, daß die Sekretion des dünnflüssigen Schleims, den der Blutegel absondert, nachdem er Blut gesogen hat, mit derselben Geschwindigkeit erfolgt wie die Sekretion in den Enzyme bereitenden Drüsen des Menschen. Die Blutegelhaut liefert in dem angegebenen Zustande 4 cm³ Sekret pro m² und Stunde.

Die ganze Menge der Sekrete, die von den Speicheldrüsen, dem Magen, dem Pankreas und der Dünndarmschleimhaut geliefert werden, und dazu die ganze Menge der täglich aufgenommenen Nahrung, d. h. zusammen 7,2—9,8 Liter, müssen mit Ausnahme der geringen Mengen, die im Kot erscheinen, von der Dünndarmschleimhaut resorbiert werden, und es fragt sich, wie groß die Fläche ist, die diese Leistung vollbringt. Durch die zahlreichen feinen Zotten wird die resorbierende Fläche der Darmschleimhaut so bedeutend vergrößert, daß auf 1 cm² Darmschleimhaut entfallen:

im Duodenum .	23,5 cm²	Zottenfläche
im Jejunum . .	30,0 cm²	„
im Ileum . . .	14,3 cm²	„

So stellt die gesamte resorbierende Fläche ein Areal von 43 m² dar, das im Mittel pro m² und Stunde 7,0—9,5 cm³ resorbiert, und im Maximum mehr als dreimal so viel, mindestens 23—25 cm³ resorbieren kann. Die Flüssigkeitsaufnahme geschieht hier also mit derselben Geschwindigkeit wie die Flüssigkeitsabgabe in den Hauptstücken der Niere, wo 9,2 cm³ secerniert werden.

Einen ganz anderen Typus der Leistung stellen die *Schweißdrüsen* dar. Ihre aktive Fläche berechnet sich beim Menschen zu 1,5 m², so daß bei einer mittleren täglichen Schweißmenge von 650 bis 700 cm³, wie *Schwenkenbecher* sie angibt, auf einen m² pro Stunde als mittlere Leistung 18,7 cm³ entfallen, also noch etwas mehr, wie im Glomerulus der Niere (13,9) oder im dicken Schleifenteil (12,5) secerniert wird. Besonders bemerkenswert ist aber die Fähigkeit dieses Drüsentypus, seine Leistung ganz ungeheuer zu steigern, denn wenn, wie es beobachtet worden ist, in einer Stunde bei abundantem Schwitzen 500—600 cm³ secerniert werden, so bedeutet das pro m² und Stunde 335 bis 400 cm³ und stellt der mittleren Leistung gegenüber eine Steigerung auf das 22 fache dar.

Wie in bezug auf die mittlere Leistung, so scheinen auch in bezug auf die Leistungsgrenze die Glomeruli der Niere die meiste funktionelle Ähnlichkeit mit den Schweißdrüsen zu haben. Die *stündliche* Harnmenge kann bei reichlicher Flüssigkeitszufuhr von 70 cm³ (normal) auf 731 cm³ steigen, d. h. auf das 11 fache des Normalwertes, und da sich sicher nicht alle Abschnitte gleichmäßig an dieser Steigerung beteiligen, muß die maximale sekretorische Leistung der Glomeruli die Norm noch erheblich mehr übersteigen. Wir würden die angegebene gewaltige Harnflut bekommen, wenn wir annehmen, daß die Sekretion in den Hauptstücken der Niere und in den Schaltstücken im Verhältnis von 1 : 3, in den Glomerulis und im dicken Teil der Schleife im Verhältnis von 1 : 22 gesteigert sei, d. h. daß die Prozesse des Stoffaustausches in Hauptstück und Schaltstück nach dem Typus der Speicheldrüsen bzw. des Dünndarmepithels verliefen, im Glomerulus und im dicken Teil der Schleife nach dem Schweißdrüsentypus.

Wie wir den Typus der Speicheldrüsenleistung in der Blutegelhaut wiederfanden, so können wir den Schweißdrüsen- bzw. Glomerulustypus in dem Wassertransport durch die Pellicula einer Reihe Ciliater Infusorien wiederfinden. Die Größe dieses Wassertransportes kann man aus der Leistung der kontraktilen Vakuolen dieser Tiere ermitteln, die beständig die Flüssigkeitsmengen entfernen, welche durch die Pellicula in die Zelle eintreten. Es ergibt sich, daß die Resorption durch die Zelloberfläche bei diesen Einzelligen 16,4—30,9 cm³ pro m² und Stunde beträgt, eine Menge, die wohl noch weiterer Steigerung fähig ist und durchaus der Leistung der Schweißdrüsen entspricht.

Außer dem Speicheldrüsen- und dem Schweißdrüsentypus können wir noch den der Leistung der *Gallenkapillaren* unterscheiden. Die Fläche der Gallenkapillaren ist eine sehr große und dürfte für den Menschen mit 30 m² eher zu niedrig als zu hoch veranschlagt sein. Durch diese Fläche werden pro Tag nur 500—1100 cm³ Sekret transportiert, was pro m² und Stunde 0,69 bis 1,53 cm³ bedeutet, eine Leistung, die hinter derjenigen des Speicheldrüsentypus um das 3—7 fache zurückbleibt. Es liegt nahe, daran zu denken, daß die besonderen Löslichkeitsverhältnisse der Gallensäuren und des Cholesterins, die hier zur Absonderung gelangen, eine der Bedingungen darstellen, die einen so geringfügigen Flüssigkeitstransport bewirken.

Die größte Fläche des Stoffaustausches stellen im Säugetierkörper die kapillaren Blutgefäße dar. Ihre Entwicklung ist in den einzelnen Organen sehr verschieden, läßt sich aber meist mit ziemlicher Genauigkeit berechnen, da die Anordnung gewöhnlich eine sehr regelmäßige ist. Sehr verbreitet ist z. B. der Typus eines räumlichen Maschenwerkes mit kubischen oder prismatischen Maschenräumen, einen weiteren typischen Fall bilden flächenhaft ausgebreitete Kapillarnetze, welche kugelige Gebilde (Fettläppchen, Drüsenläppchen) umspinnen.

Man kann sich eine Vorstellung von der relativen Ausdehnung der Kapillaren in den einzelnen Organen machen, wenn man angibt, wie groß die Fläche der Kapillaren ist, die auf einen cm³ des Organs entfallen, und kann diese Zahl als die „spezifische aktive Fläche“ der Kapillaren des Organs bezeichnen. Die folgende Zusammenstellung gibt diesen Wert für einige Organe bzw. Organsysteme.