



Hydrologie / Hydrometrie

Die **Hydrologie** = Wissenschaft (Lehre) vom Wasser, im Sinne seiner Eigenschaften und seiner Erscheinungsformen auf und unter der Landoberfläche. Sie befasst sich mit den Zusammenhängen und Wechselwirkungen der Erscheinungsformen des Wassers mit umgebenden Medien, seinem Kreislauf seiner Verteilung auf und unter der Landoberfläche und deren Veränderungen durch menschliche (anthropoge) Einwirkungen.

Gleichwertiger Begriff: *Gewässerkunde*.

DIN 4049, Teil I: Hydrologie; Begriffe quantitativ. Deutsche Normen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln 1979. (In Überarbeitung!)

Die **Hydrometrie** = Lehre von der Gewinnung, der Übertragung und Verarbeitung von hydrologischen Messgrößen (Daten) auf die Gewässer und deren *Einzugsgebiete*.

Dyck/Peschke: Grundlagen der Hydrologie, Verlag für Bauwesen, Berlin 1989.



Weitere Begriffe (in DIN 4049 T1 nicht alle enthalten):

Hydrographie:

Beschreibende und darstellende Hydrologie; Beschreibung der physikalischen Zustände in der Hydrosphäre.

(U.a. Aufgabengebiet des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH, früher DHI) in Hamburg und Rostock.

Durchzuführende Messungen und Berechnungen bezüglich

a. Verteilung von Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff, Dichte, Strömungen etc. und

b. Beobachtung des Transportes der Wassermassen u. Verfolgung der Wasserstände.

Hydrosphäre: Flüsse, Seen, Meere.

Unterteilung der Hydrologie:

Potamologie/Flusskunde: Hydrologie der Fließgewässer.

Limnologie/Seenkunde: H. der Seen (stehende Gewässer).

Ozeanologie: Hydrologie der Meere (Meereskunde).



Aktivitäten des BSH:

Dienstsitze in Hamburg und Rostock mit insges. 965 Mitarbeitern.
Haushalt 1998: 160 Mio. DM, davon Investitionen 57 Mio. DM.
Forschungsschiffe: Komet (weltweit modernstes Vermessungsschiff), Gauß, Atair, Wega, Deneb, Mercator/Bessel.

Aufgaben:

- Förderung der Seeschifffahrt, Ausbildungsförderung, Kongresse etc.
- Schiffsvermessung, Internationales Schiffsregister umfasst 538 Schiffe.
- Baumusterprüfung etc. für Navigations- u. Funkausrüstung.
- Seevermessung, Wracksuche, Neuvermessung der Küstenlinie.
- Unterhaltung des Nautischen Informationssystems, Seekarten, Seebücher, Leuchfeuerverzeichnisse, Nachrichten für Seefahrer, Entwicklung Elektronische Seekarte.
- Überwachung der Einhaltung der Meeresumweltvorschriften, z.B. radioaktive Abfälle in Kara- und Barentssee: Radionuklide in Wasser, Sediment u. Fisch geringer als in der Irischen See; Algenwachstum in Nord- u. Ostsee infolge Nitrateintrag; Bußgelder für Ölrückstände.
- Meereskundliche Dienste: Gezeitenvorausberechnung, Wasserstands- und Sturmflutvorhersagen, Seegangsvorhersagedienst, erdmagnetischer Dienst.
- Meereskundliche Untersuchungen: Anstieg der Temperatur in d. Nordsee $0,4^{\circ}\text{C}$ in den letzten 100 Jahre, - jedoch Salzgehalt etwa konstant.



Ingenieurhydrologie als Grundlage wasserwirtschaftlicher Planungen ist ein interdisziplinäres Fachgebiet und umfasst Aspekte aus der

Hydrometeorologie:

Wissenschaft von den Erscheinungen des Wassers in der Luft-hülle und seinen Wechselwirkungen mit dem Wasser der Erdoberfläche/Erdrinde.

Glaziologie:

Wissenschaft von der Entstehung, den Formen, der Wirkung und der Verbreitung des Eises auf der festen Erde; vergl. auch *Kryologie* (Eis- u. Kältekunde). Aktuelle Forschungsproblematik: Schrumpfung der Gletscher

Geohydrologie/ Hydrogeologie:

Wissenschaft von den Erscheinungen des Wassers in der Erd-rinde. Darüber hinaus: Klimatologie, Hydrogeographie, Hydrobio-logie, Ozeanologie u.a.

Benutzt werden Verfahren der *Hydrographie* und der *Hydrometrie*.



Atmosphäre:

Als Atmosphäre wird die bis in eine Höhe von etwa 500 km reichende Gashölle des Planeten Erde bezeichnet. Sie besteht in Erdnähe zu 78,1% aus *Stickstoff*, zu 21% aus *Sauerstoff* und zu 0,9% aus dem Edelgas Argon. Dazu kommen Spurengase, z.B. → Kohlendioxid (0,035%). Zwei Drittel der Gasmasse befinden sich in der untersten Schicht der Atmosphäre, der bis in etwa 12 km Höhe reichenden Troposphäre. Darüber schließt sich die Stratosphäre an, in der sich auch die → *Ozonschicht* befindet (in 20 -30 km Höhe); es folgen *Meso- und Thermosphäre*.

Der Mensch verändert die Atmosphäre und damit das Klima der Erde durch den Ausstoß von Gasen und Aerosolen.

Aktuelle Forschungsproblematik: Globale Klimaveränderung (Global Climate Change).

Es folgt ein Glossar zur Thematik:

Beeinflussung der Atmosphäre durch den Menschen.



AEROSOLE:

Gemische flüssiger oder fester Stoffe mit Luft. Aerosole sind z.B. Nebel, Wolken, Staub- und Aschewolken, Rauch.

FCKW:

Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe sind chemisch sehr stabile, ungiftige Gase, die jahrzehntelang etwa als Kältemittel in Kühlschränken und als Treibmittel in Spraydosen eingesetzt wurden. Sie steigen im Lauf der Jahre in die → Ozonschicht der Atmosphäre auf und zerstören dort das Ozon. Außerdem tragen sie zum → Treibhauseffekt bei.

KOHLENDIOXID (CO₂):

Das Verbrennungsprodukt des Kohlenstoffs ist ein farb- und geruchloses, ungiftiges Gas. Es wird bei der Atmung von Pflanzen und Tieren sowie beim Verbrennen von Holz, Kohle, Erdöl oder Erdgas in die Atmosphäre entlassen und *trägt wesentlich zum → Treibhauseffekt bei.*



METHAN (CH₄):

Das farb- und geruchlose, ungiftige Gas ist Hauptbestandteil von Erdgas und Biogas. Es entsteht bei Fäulnisprozessen, z.B. in Sümpfen, Reisfeldern, beim Wiederkäuen der Kühe, in Mülldeponien und Klärschlamm und *trägt zum →Treibhauseffekt bei.*

OZON (O₃): Eine kurzlebige Verbindung aus drei Sauerstoff-Atomen; *stechend riechendes, chemisch aggressives, gesundheitsschädliches Gas.* Entsteht aus Sauerstoff(O₂) z.B. bei starker Einstrahlung von UV-(ultraviolettem) Licht, vor allem in der →Ozonschicht der Stratosphäre (in 20 bis 30 km Höhe). *In Bodennähe kann sich im Sommer unter dem Einfluss von Autoabgasen Ozon bilden (Sommersmog). Dieses bodennahe Ozon trägt zum →Treibhauseffekt bei.*



OZONLOCH:

Ein Bereich der → Ozonschicht über der Antarktis, in dem das Ozon regelmäßig im antarktischen Frühjahr (September/Oktober) stark abgebaut wird. Dadurch gelangt *ungefiltertes, schädliches UV-Licht bis zum Erdboden*.

OZONSCHICHT:

Eine Luftschicht in der Stratosphäre in etwa 20 - 30 km Höhe, in der sich durch das UV-Licht der Sonne besonders viel Ozon bildet. Dabei wird ein Großteil der schädlichen UV-Strahlung absorbiert. Verschiedene durch den Menschen produzierte Gase, vor allem die FCKW, bauen das → Ozon in der Ozonschicht ab. Folge: Mehr UV-Licht gelangt bis an die Erdoberfläche, es kommt vermehrt zu Verbrennungen an Pflanzen sowie zu Sonnenbrand, Hautkrebs und Grauem Star.



TREIBHAUSEFFEKT:

Die Aufheizung der Troposphäre unter dem Einfluss von Treibhausgasen, vor allem → Kohlendioxid. Diese Gase lassen wie das Glas eines Treibhauses das direkte Sonnenlicht ungehindert passieren, absorbieren aber einen großen Teil der von der Erdoberfläche reflektierten oder abgestrahlten Licht- und Wärmestrahlung, wodurch sich die Wärmeaufnahme der Troposphäre erhöht. *Ohne den natürlichen Treibhauseffekt des Kohlendioxids wäre es allerdings auf der Erde viel kälter.*

Der vom Menschen verursachte zusätzliche Treibhauseffekt soll zu 50% auf Kohlendioxid aus der Verbrennung von Holz und fossilen Energieträgern (Kohle, Erdöl, Erdgas), zu 25% auf FCKW und verwandten Gasen, zu 13% auf Methan, zu 7% auf Ozon in Bodennähe und zu etwa 5% auf Lachgas(N_2O) beruhen.



KÜHLHAUSEFFEKT:

Die dem → Treibhauseffekt *entgegengesetzte* Wirkung von bestimmten → Aerosolen in der Erdatmosphäre, etwa von *Vulkanasche*, Rauchgasen aus Kraftwerken. Aerosole verringern die Sonneneinstrahlung und führen zu einer *Abkühlung* der Troposphäre.

Nach neuesten Forschungen am MIT wird die *Entstehung von Eiszeiten* auf den *großräumigen Verbrauch von CO₂* bei der *chemischen Verwitterung* insbesondere von Konglomeraten zurückgeführt (grobkörniges Sedimentgestein aus gerundeten Gesteinstrümmern (Geröllen), die durch tonige, kalkige, kieselige Bindemittel verkittet sind).

Solche Prozesse finden unter dem Einfluss des Monsuns insbesondere im Himalaja statt, wo derartiges Gestein bis in Höhen von 6000m (= früherer Meeresboden) gefunden wurde. Alle großen Flüsse Asiens haben dort ihren Ursprung. In den vergangenen Mio. von Jahren lag die mittlere Temperatur auf der Erde *lediglich* zwischen -50 u. $+45^{\circ}\text{C}$.



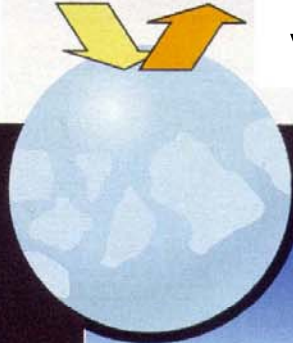
Planet im Schüttelfieber

Der Zyklus der Supereiszeiten

Sonnenstrahlung
Rückstrahlung der Erde



1 Vor rund 750 Millionen Jahren sind alle Kontinente in Äquatornähe versammelt. Diese Konstellation begünstigt einen fatalen Aufschaukelungsprozess: Bildet sich an den Polen vermehrt Eis, so wirft dieses einen großen Teil der Sonnenstrahlung ins All zurück. Dies kühlt wiederum die Erde ab und verstärkt so die Eisbildung.



2 Irgendwann erstarrt der ganze Planet. Eine Eisdecke erstickt fast alles Leben in den Ozeanen, nur die Vulkane schmelzen Löcher in den weißen Panzer und schleudern das Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2) in die Atmosphäre.

Durchschnittstemperatur -50°C
Extrem trockene Atmosphäre
 CO_2 -Konzentration sehr niedrig



Durchschnittstemperatur $+45^\circ\text{C}$
Feuchtheiße Atmosphäre
 CO_2 -Konzentration extrem hoch

4 Schließlich kippt das Klima ins umgekehrte Extrem, und der ganze Erdball schwitzt in schwüler Tropenhitze. Erst wenn das Treibhausgas aus der Luft ausgewaschen ist, bildet sich wieder Eis an den Polen – der Zyklus beginnt von neuem.



3 Da es auf dem Frostplaneten keine Niederschläge gibt, wird das Kohlendioxid nicht vom Regen ausgewaschen; es reichert sich im Laufe von Jahrmillionen in der Luft an. Irgendwann reicht der Treibhauseffekt aus, um den Eispanzer aufzuschmelzen: Je größer die Löcher im Eis, desto weniger Wärme wird ins All zurückgestrahlt.



Michail Budyko, Leningrad

(1960er Jahre)

Paul Hoffman, Daniel Schrag; Havard University

(1999)



Geschichtliche Vorstellungen und Daten vom Wasserkreislauf:

Heraklit (540 - 480 v. Chr.): *Panta rhei = Alles fließt. Alles Sein befindet sich im Strom des Entstehens und Vergehens.*

Platon (427 – 347 v. Chr.): *Karsterscheinungen im Mittelmeerraum waren Grundlage seiner Röhrentheorie, nach der Ströme v. Feuer, Wasser und Luft ruhelos im Erdinnern in Adern und Röhren umhergetrieben werden).*

Aristoteles (384 – 322 v. Chr.): Ursache von Quellen ist *Kondensationsvorgang*, bei dem eindringende *feuchte* Luft Wasser an kalten Höhlenwänden ausscheidet.

Während des rd. 1000-jährigen Mittelalters (5. – Beg.16. Jahrh.) bedingt durch die Dominanz der Kirche kein Fortschritt in der hydrologischen Forschung !

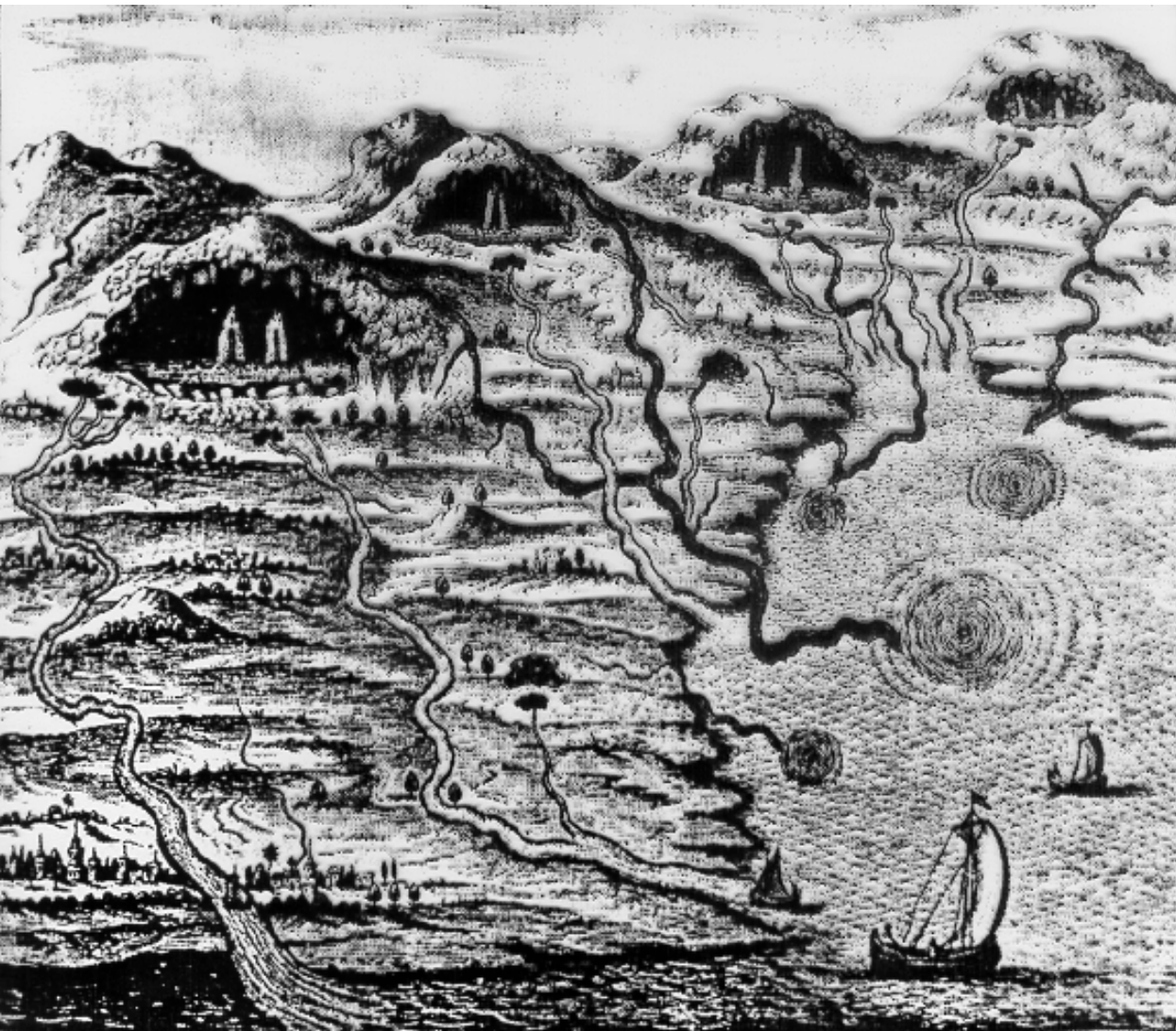
Ausnahme:

Leonardo da Vinci (1452 - 1519): Erste Definition des Kreislaufes *Niederschlag - Abfluss- Verdunstung.*



Rückfall zu den Vorstellungen der Antike:

A. Kirchner (1601 - 1680): Röhrentheorie & Tide.



Winde, Wolkenmassen und die Gezeiten verstärken periodischen Druck auf den Meeresgrund derart, dass Wasser durch unterirdische Röhren in Vorratsbehälter im Bergesinneren aufsteigt. Das aus Quellen austretende Wasser gelangt über Flüsse ins Meer zurück.



Ende 17. Jahrhundert:

Vollständiger hydrologischer Kreislauf bekannt als
Zirkulation von Wasser und Wasserdampf über der gesamten Erde,

d.h., Zirkulation durchdringt Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre.

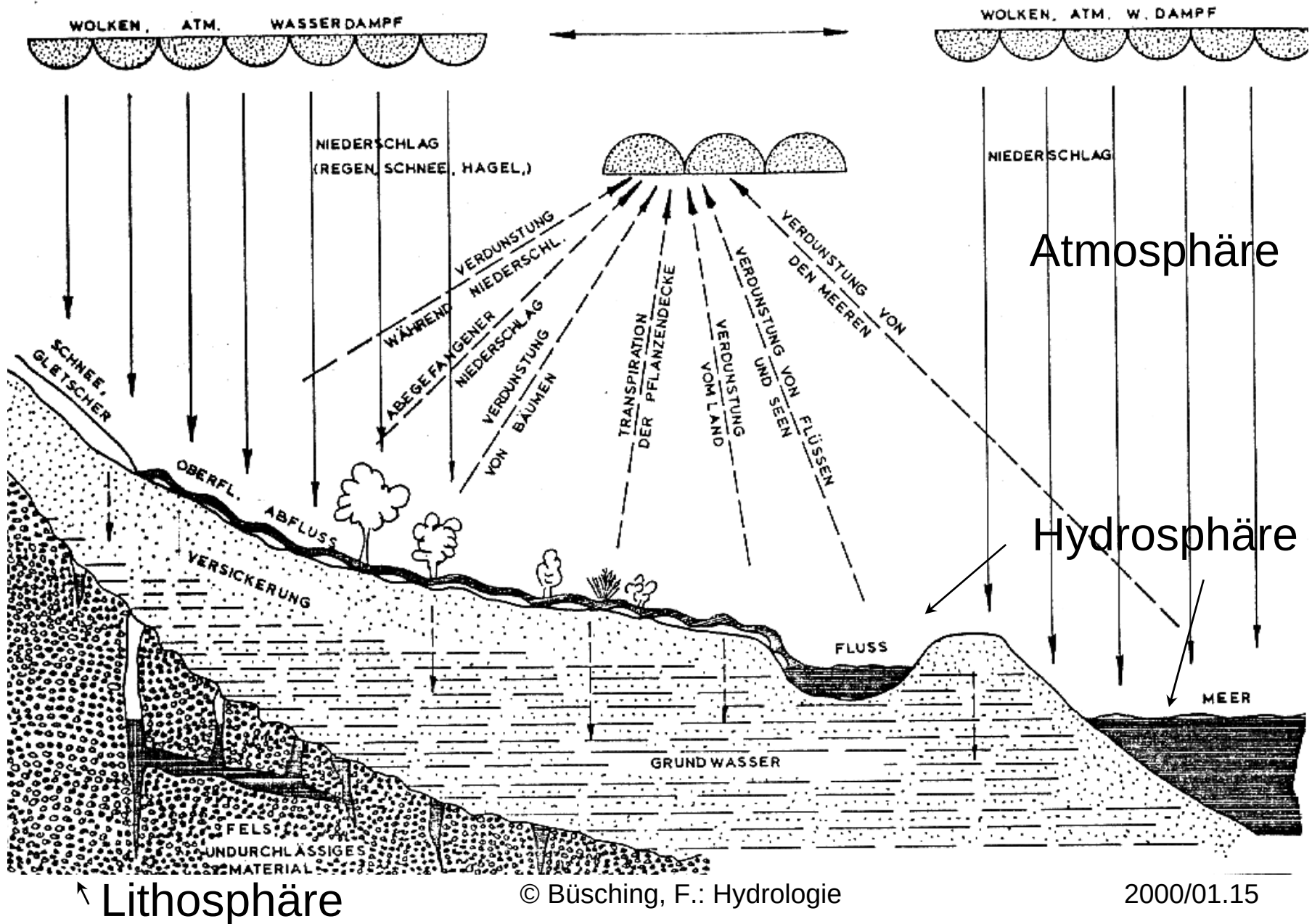
Antriebskräfte des Kreislaufes:

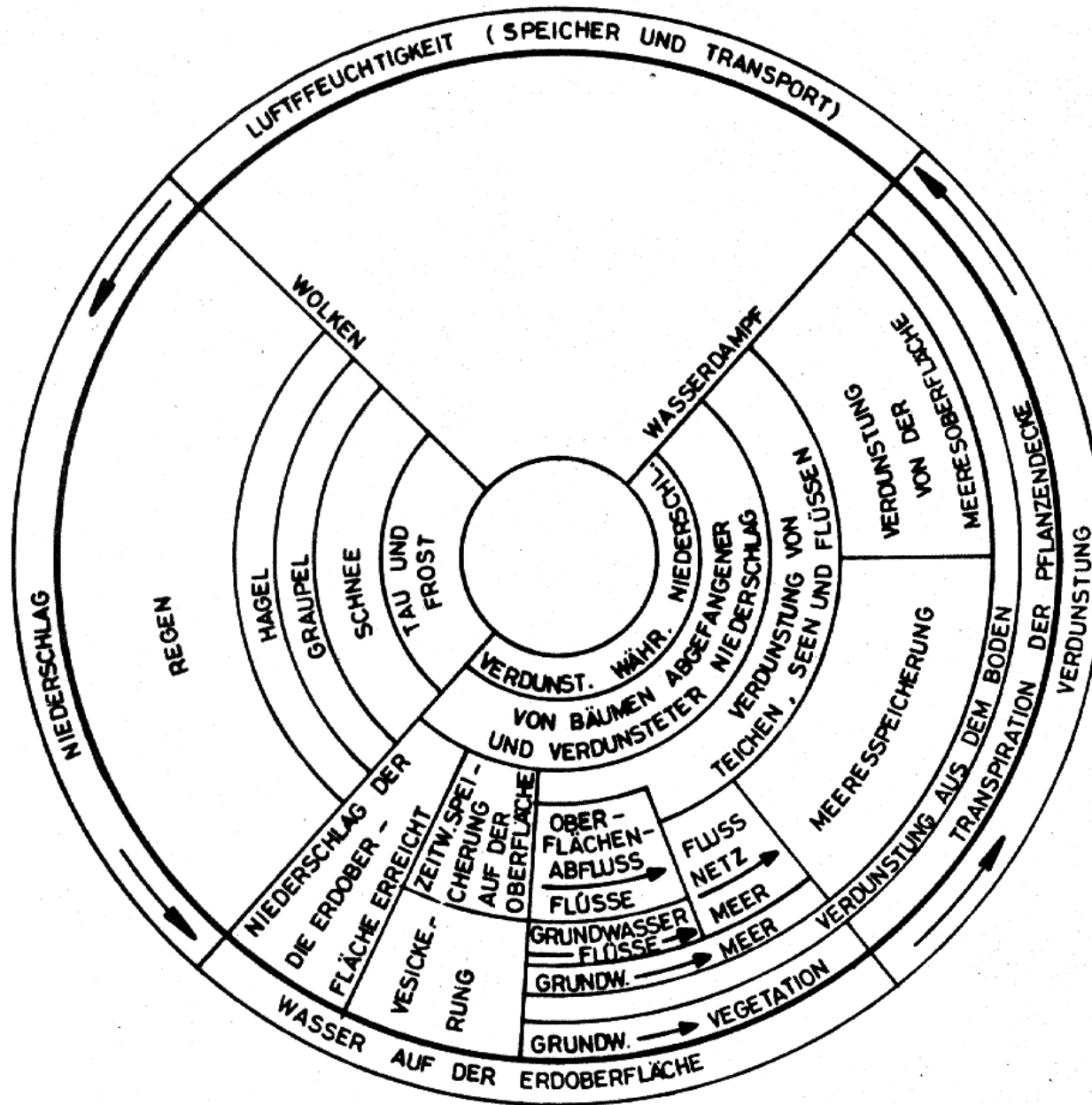
Sonnenenergie - Wärmekonvektion - Gravitation.

Antike Aufzeichnung hydrologischer Messdaten
zur Begründung von Steuererhebungen:

- 2800 v. Chr. Palermotafeln (52-jährige systematische Aufzeichnungen der Nilwasserstände)
- 400 v. Chr. Regenmesser im Indusgebiet.

Wasserkreislauf global





Relative Anteile der Komponenten.

Ort	Wasser- volumen in km ³	% vom Gesamt- volumen
Süßwasserseen	125000	0,0090
Salzwasserseen	104000	0,0080
Flüsse und Bäche	1250	0,0001
Bodenfeuchtigkeit und oberflächennahes Grundwasser	67000	0,0050
Grundwasser bis 800m	4160000	0,3100
Grundwasser unter 800m	4160000	0,3100
Zw.-Summe Festland	8617250	0,6421
Gletscher, Polkappen	28000000	2,1500
Atmosphäre	13000	0,0010
Ozeane	1320000000	97,2069
Insgesamt	1356630250	100,0000

Der Gesamtwasservorrat der Erde entspricht gleichverteilt über der Erdoberfläche einer Wasserhülle der Dicke 240m. Davon nur rd. 0,63% direkt nutzbar!

Neuere Zahlenangaben:



Gesamtvorkommen Wasser auf der Erde:

1,38 Mrd. km³.

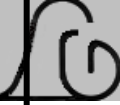
Davon Süßwasser:

2,5%.

Umrechnungen:

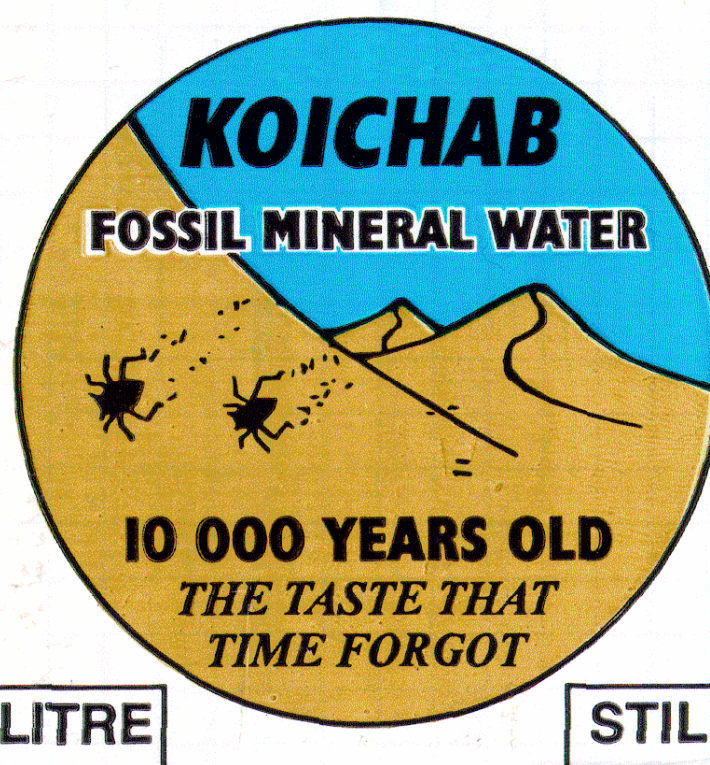
1km³ = 10⁹m³ = 1 Mrd m³ (Kubikkilometer)

1hm³ = 10⁶m³ = 1 Mio m³ (Kubikhektometer)



Süßwasser in Teilen der Hydrosphäre	Volumen in km ³	% des Süßwasser- vorrates	Periode der Erneuerung
Unterirdisches Wasser (Gravitations- u. Kapillarwasser)	10530000	30,1	1400 bis 3100 a
Bodenfeuchte	16500	0,05	280 – 365 d
Gletscher und ständig liegende Schneedecke			
- Antarktis	21600000	61,7	9700 a
- Grönland	2340000	6,68	9700 a
- Arktische Inseln	83500	0,24	9700 a
- Gebirge	40600	0,12	1600 a
Unterirdisches Eis in Dauerfrostböden	300000	0,86	10000 -16000 a
Süßwasserseen	91000	0,26	17 a
Sumpfgebiete	11470	0,03	5 a
Flüsse	2120	0,006	12 – 16 d
Biologisches Wasser	1120	0,003	Einige h bis 7 d
Wasser in der Atmosphäre	12900	0,04	8 – 9 d
Summen:	35029210	100,00	

Fluoride: 0.3, Sulphate: 22, Potassium: 5,
Nitrate: 2.9, Chloride: 30, Magnesium: 29,
Calcium: 42, Sodium: 40 (mg/l) pH: 8.2



Scaled by nature beneath the shifting sands of the Namib
Desert for 10 000 years. Bottled at Kolmanskop by KTC,
P.O. Box 357, Luderitz, Namibia. Ph/Fax: (0) 6331 2445.

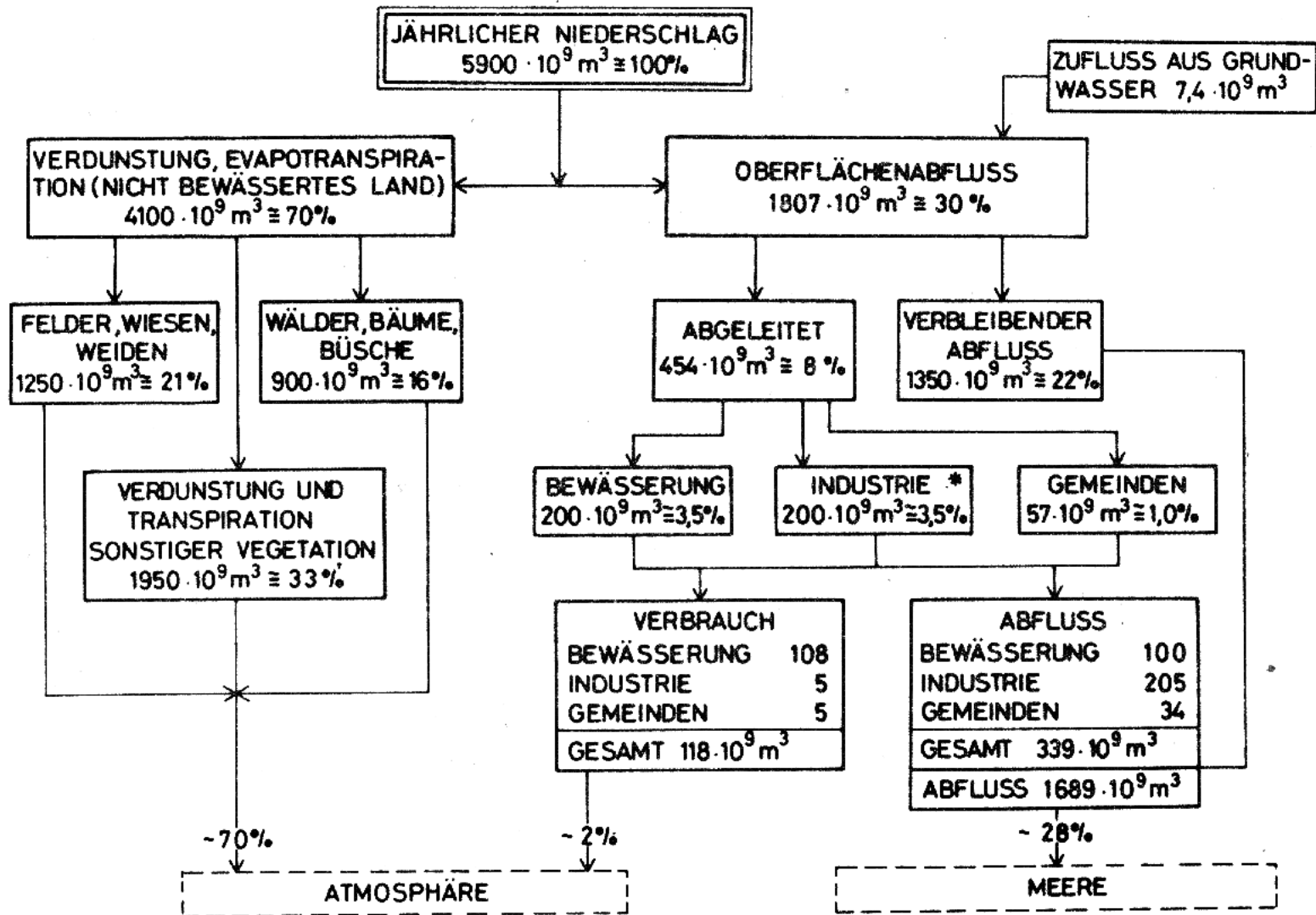


Für die Wasserversorgung der Stadt Lüderitz (Namibia) besteht erst seit 1968 eine 113km lange Pipeline, in der fossiles Wasser aus Brunnen der Koichab - Pfanne (abflussloses Gebiet) aus der NAMIB-Wüste gefördert wird. Früher: Transport aus dem Landesinneren in Straußeneiern o. Seehundsblasen; nach 1890 Meerwasserkondensator, später per Schiff aus Kapstadt oder 350km per Bahn aus Keetmanshoop (Großer Fischfluss, dort heute die NAUTE-Talsperre).

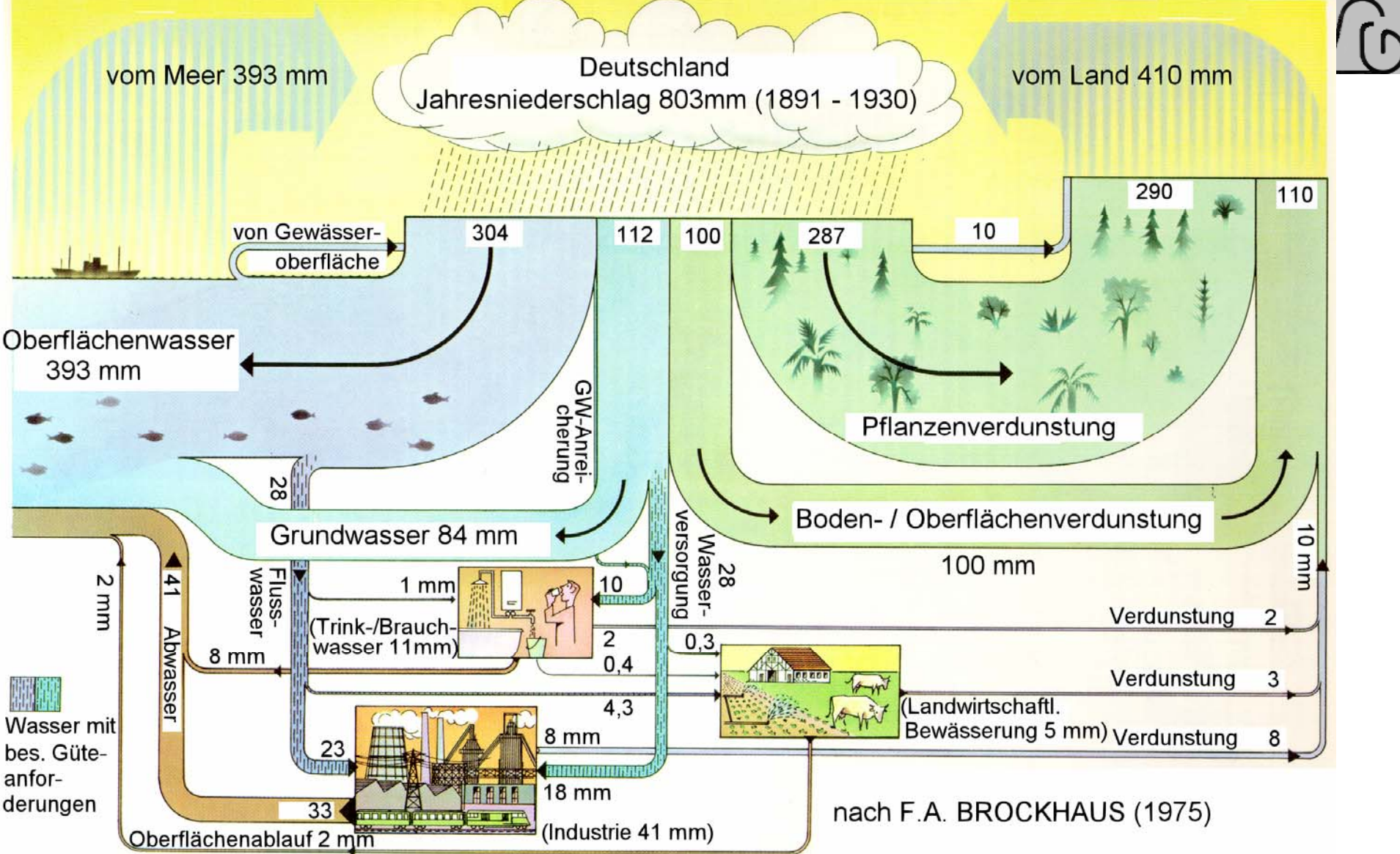
Wasserkreislauf der USA



MITTLERE VERTEILUNG DES NIEDERSCHLAGS IN DEN U.S.A. [2]



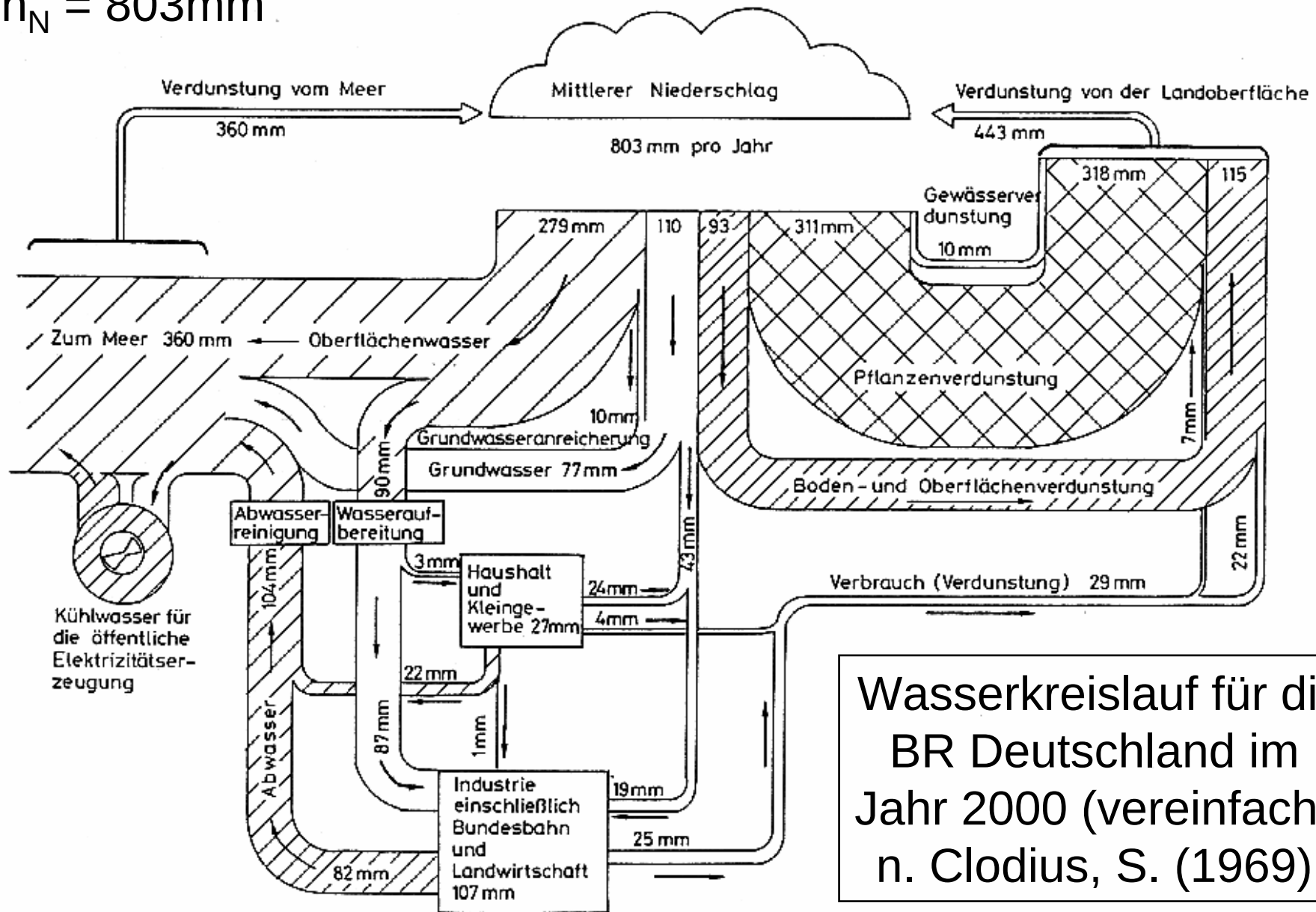
$$ET : Q = 72 : 28$$



$$h_N = 803\text{mm}$$

$$ET : Q = 56 : 44$$

$$h_N = 803 \text{ mm}$$



Wasserkreislauf für die
BR Deutschland im
Jahr 2000 (vereinfacht)
n. Clodius, S. (1969).

$$ET : Q = 52 : 48$$

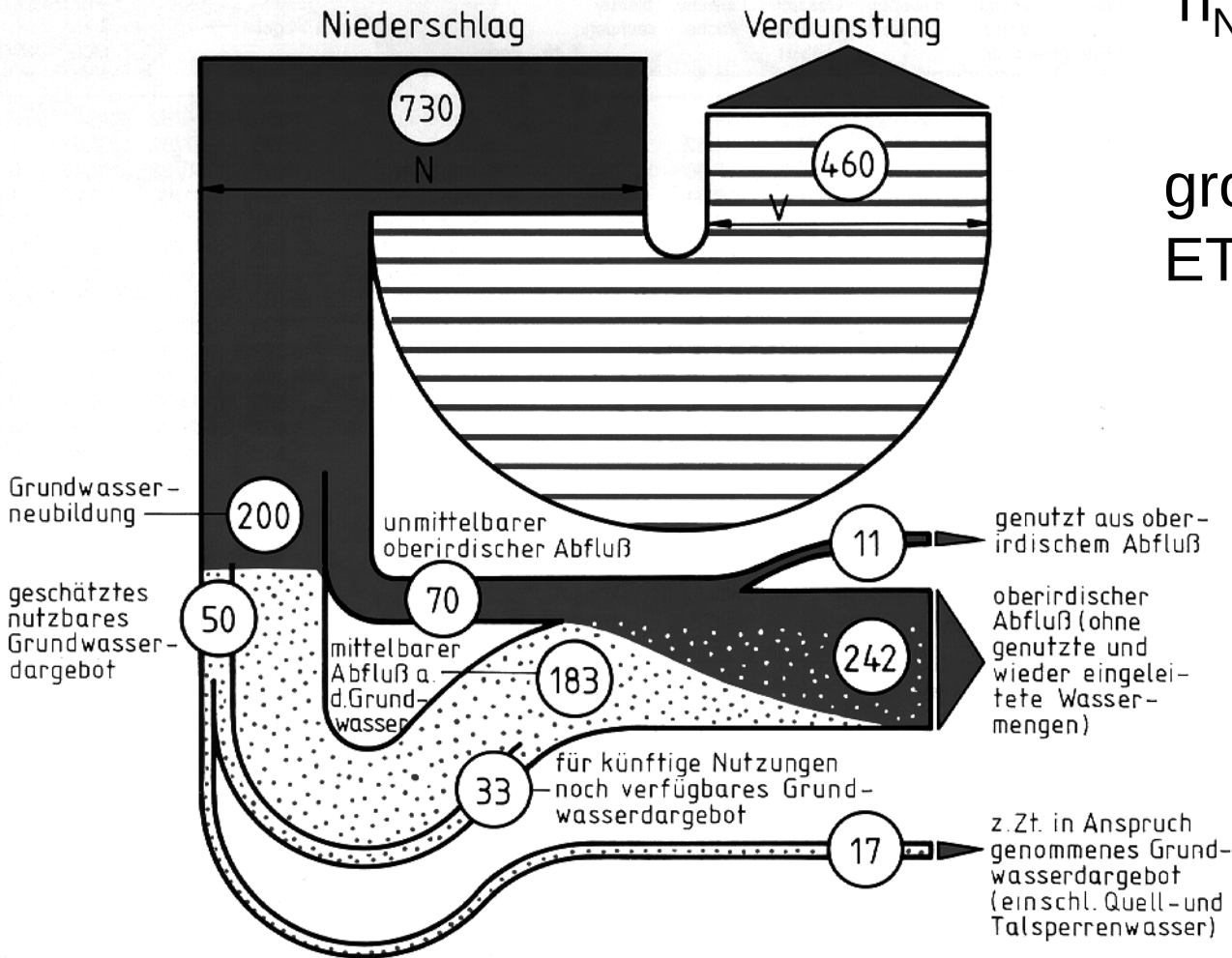


$$h_N = 730\text{mm} < 803\text{mm}$$

$$ET : Q = 63 : 37$$

grob:

$$ET:Q = 2/3:1/3 > 1/2:1/2$$



Innerhalb Deutschlands relativ große Unterschiede bei der Wasserbilanz.

Ursache ist offenbar der Rhein.

Wasserhaushaltsgleichung: N (Niederschlag) = A (Abfluß) + V (Verdunstung)



Aus DIN 4049 T1:

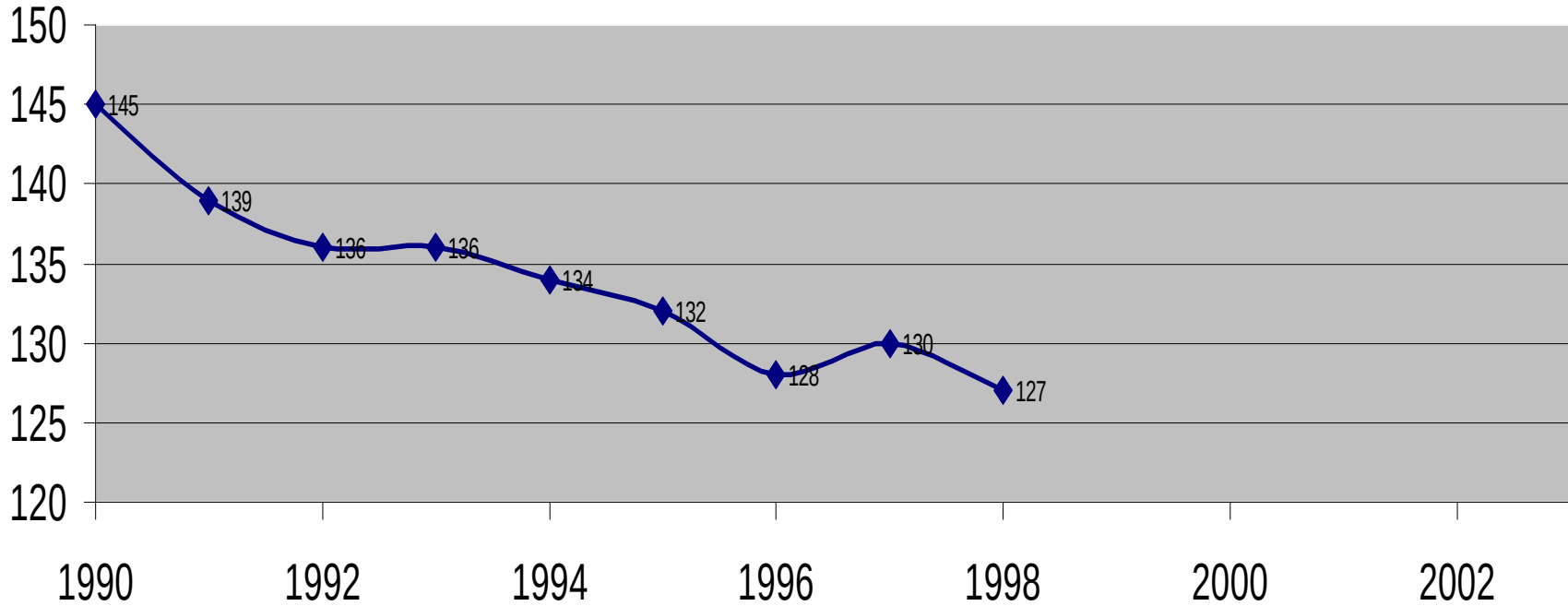
Wasserkreislauf:

Ständige Folge der Zustands- und Ortsänderungen des Wassers mit den Hauptkomponenten *Niederschlag, Abfluss, Verdunstung* und atmosphärischer *Wasserdampftransport*.

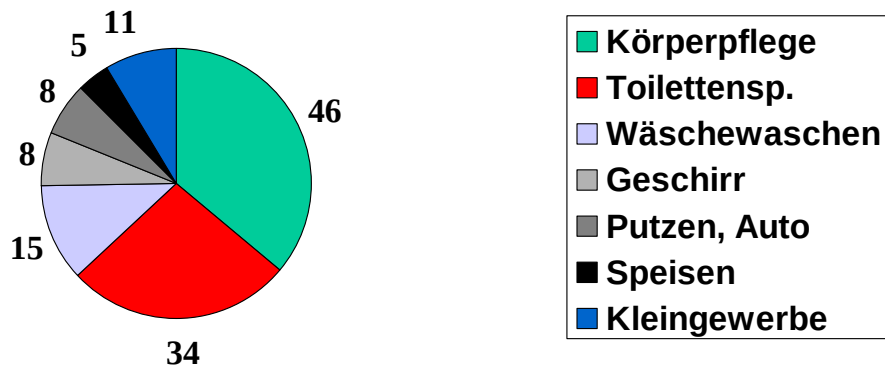
Wasserbilanz:

Mengenmäßige Erfassung von Komponenten des Wasserkreislaufs und der Vorratsänderung in einem Betrachtungsgebiet während einer Betrachtungszeitspanne.

Trinkwasserverbrauch in Deutschland [l/E·T]:



1998: 127 l/E.T





Wasserbilanz-/Wasserhaushaltsgleichung

für ein Gebiet für eine Zeitspanne t:

$$h_N - h_A - h_V \pm h_S = 0 \text{ in mm}$$

h_N :Niederschlagshöhe in mm

h_V :Verdunstungshöhe in mm

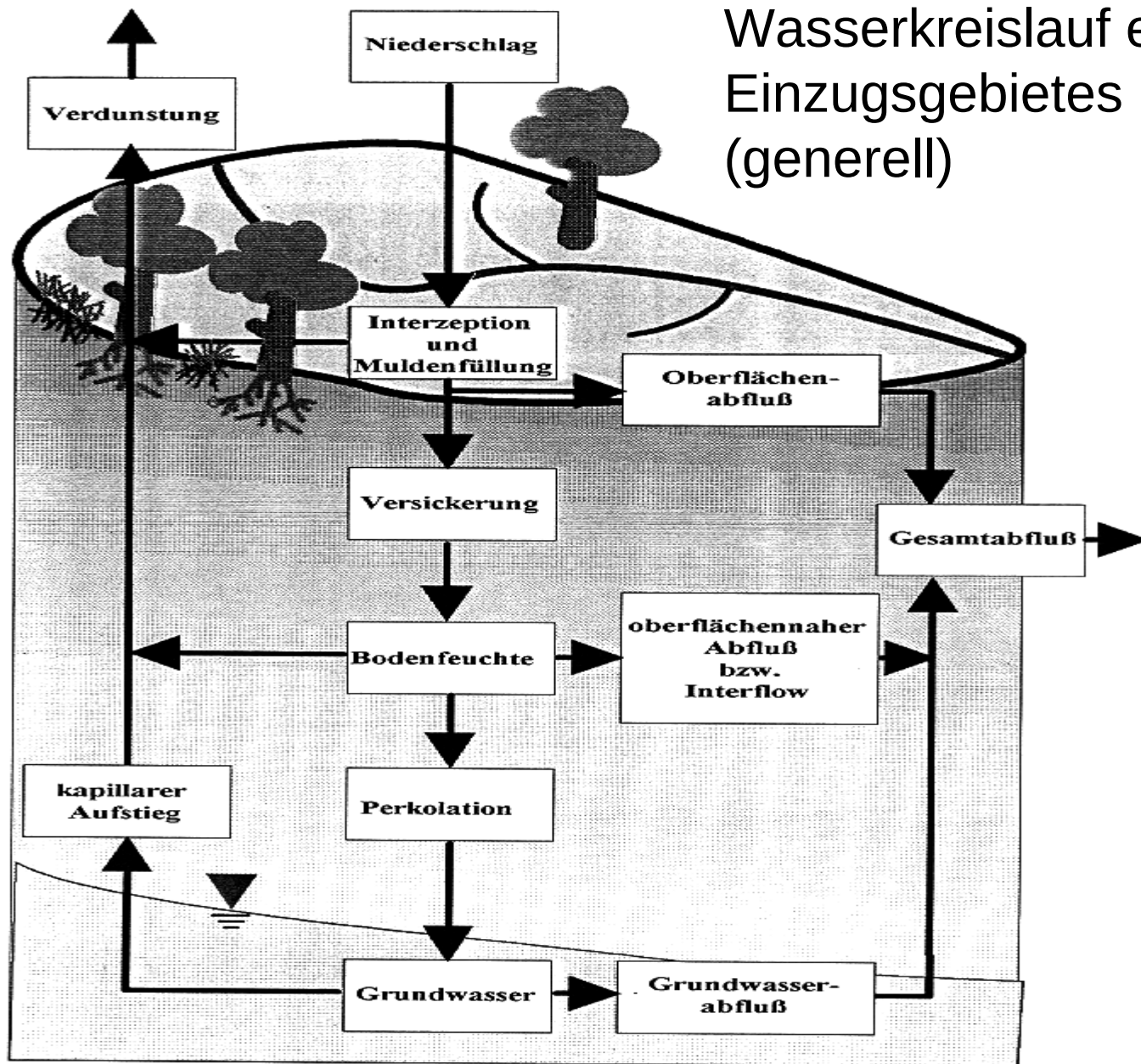
h_A :Abflusshöhe am Gebietsauslass (Kontrollpunkt) in mm,
ggf. als Summe von ober- und unterirdischem Abfluss

h_S :Speicherung in mm

Eine mögliche Zeitspanne ist ein **Wasserwirtschaftsjahr (WWJ)**
(= hydrologisches Jahr).

Das deutsche Wasserwirtschaftsjahr beginnt am 1. November
und endet am 31. Oktober. (WWJ 1998: 01.11.97 - 31.10.98.)

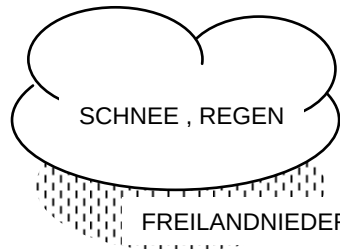
Wasserkreislauf eines Einzugsgebietes (generell)



Ebene



Mittelgebirge



SCHNEE , REGEN

FREILANDNIEDERSCHLAG

GEFALLENER-
(Schnee, Regen)
AGESETZTER-
(Reif, Tau)
ABGEFANGENER-
(Nebel, Frost)
NIEDERSCHLAG

INTERZEPTION

TRANSPIRATION

INFILTRATION

INTERZEPTIONS-
VERDUNSTUNG

BODENVER-
DUNSTUNG

Streu

Schnee

INTERZEPTION

TRANSPIRATION

INFILTRATION

INTERZEPTIONS-
VERDUNSTUNG

Streu

BODENVER-
DUNSTUNG

ABSICKERUNG

WASSERAUF-
NAHME

SPEICHERUNG

OBERFLÄCHEN-/
OBERFLÄCHENNAHER-
ABFLUSS

ZWISCHENABFLUSS

SEEVERDUNSTUNG

Gewässer

ABSICKERUNG

SPEICHERUNG

GRUNDWASSERABFLUSS

TIEFENVERSICKERUNG / GRUNDWASSERNEUBILDUNG

KAPILLARRAUM

GRUNDWASSERLEITER

GRUNDWASSERSOHL

Wasserkreislauf auf Topographie bezogen

© Büsching, F.: Hydrologie

2000/01.29



Niederschlag (P):

Aus der Lufthülle ausgeschiedenes Wasser.

Niederschlagshöhe h_N :

Wasserdargebot aus atmosphärischen Niederschlägen an einem bestimmten Ort, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche in mm.

Verdunstung (E):

Vorgang, bei dem Wasser vom flüssigen oder festen Zustand in den gasförmigen (Wasserdampf) bei einer Temperatur unter dem Siedepunkt übergeht.

Verdunstungshöhe h_v :

Wasserabgabe durch *Landverdunstung* oder durch *Seeverdunstung* an einem bestimmten Ort, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche in mm.



Potentielle Verdunstung:

Maximal mögliche Verdunstungshöhe, die sich unter gegebenen meteorologischen Gegebenheiten über einer Landfläche ergibt, wenn hier keine Begrenzung des Wassernachschubs herrscht.

Aktuelle Verdunstung (= effektive Verdunstung):

Tatsächliche Verdunstungshöhe, die sich unter den gegebenen meteorologischen Gegebenheiten und aufgrund des jeweils verfügbaren Wassers ergibt.

Abfluss (Q):

Allgemein: Unter dem Einfluss der Schwerkraft auf und unter der Landoberfläche sich bewegendes Wasser.

Quantitativ: Wasservolumen aus einem Einzugsgebiet, das durch den Abflussquerschnitt in einer Zeiteinheit fließt.

Abflusshöhe:

Quotient aus Abflusssumme und zugehörigem Einzugsgebiet.

Einheit: mm.



Speicherung:

Rücklage/Aufbrauch: Vergrößerung/Verkleinerung des ober- und unterirdischen Wasservorrats, gemittelt über ein bestimmtes Gebiet, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche in mm.

Interzeption:

Vorgang, bei dem Niederschlag an Pflanzenoberflächen aufgefangen und vorübergehend gespeichert wird. Ein Teil des zurückgehaltenen Wassers verdunstet von dort wieder (*Interzeptionsverdunstung*).

Transpiration (T):

Vorgang, bei dem Pflanzen (und Tiere) durch biologische Prozesse Wasser an die umgebende Luft abgeben.

Evaporation (E):

Verdunstung von Wasserflächen und der mehr oder weniger feuchten Bodenoberfläche.



Evapotranspiration (ET):

Gesamtheit von Bodenverdunstung, Pflanzenverdunstung und Interzeptionsverdunstung.

Abflussaufteilung: Überschreitet die zu einem Zeitpunkt herrschende Niederschlagsintensität (vergl. später) die zum selben Zeitpunkt herrschende Infiltrationsrate, entsteht:

Oberflächenabfluss Q_o :

Teil des Abflusses, der oberirdisch dem Vorfluter zufließt, ohne in den Boden infiltriert zu sein.

Der infiltrierte Niederschlag wird zu

Grundwasser $Q_G = Q_{Gw}$ und

Interflow = Zwischenschichtabfluß Q_i .

Perkolation, Durchsickerung:

Durchgang des Wassers durch den Sickerraum (Grundwasserneubildung).