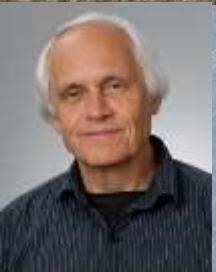


Hydrogeologi vid bedömning av föroreningsrisker från små avlopp

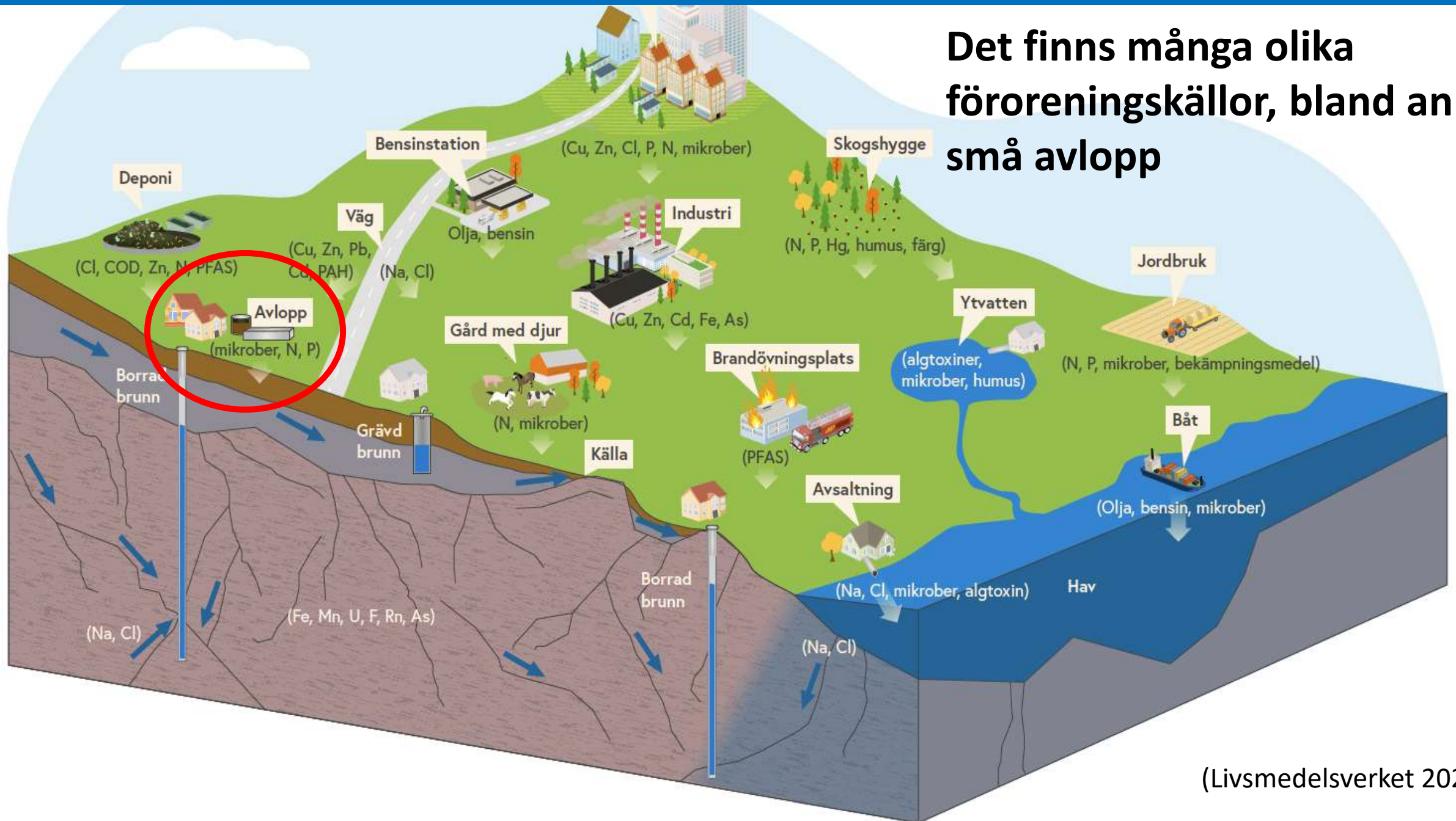


Bosse Olofsson

Professor emeritus i Miljögeologi

KTH / Aquater

Det finns många olika föroreningskällor, bland annat små avlopp

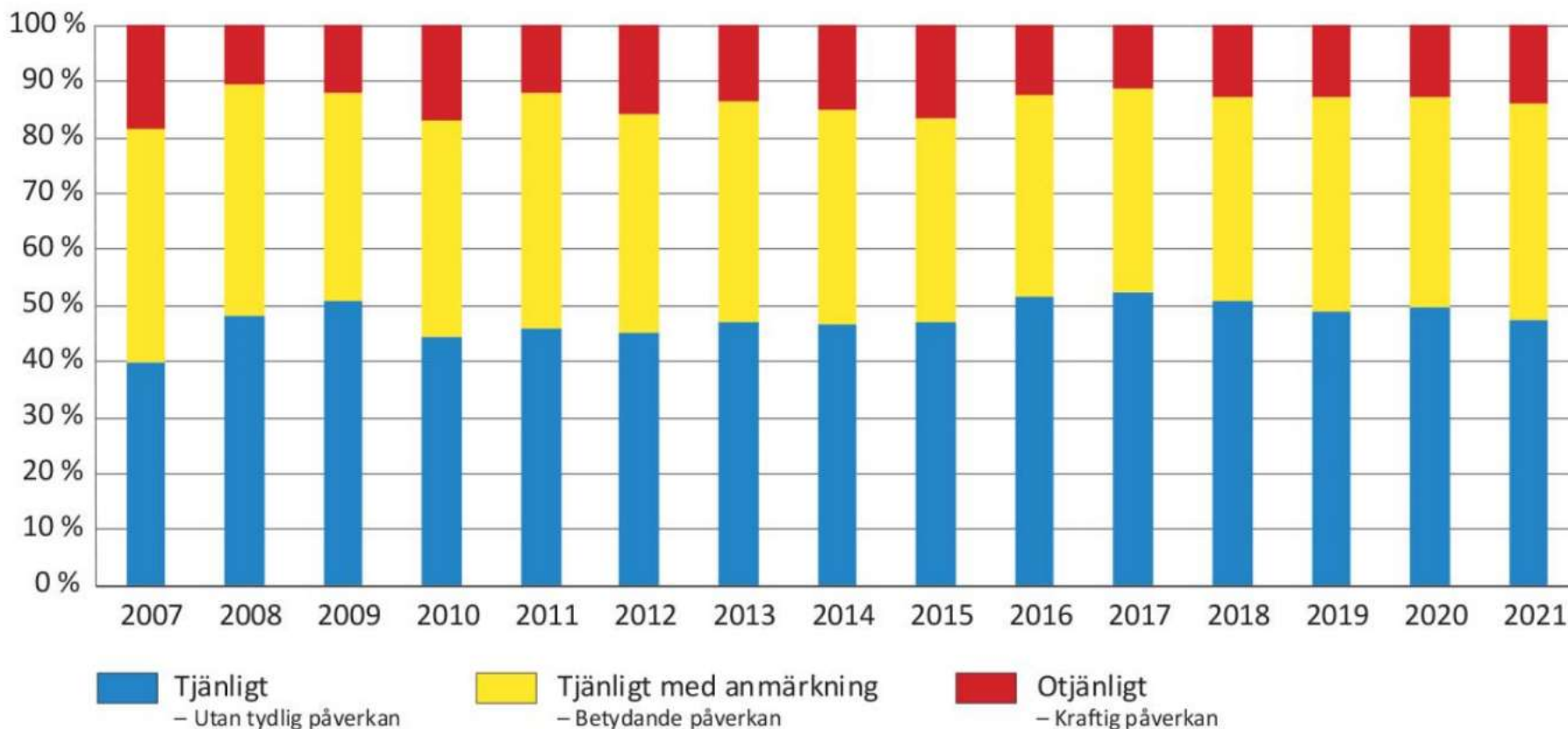


INNEHÅLL

- Bakgrund
- Hydrogeologiska begrepp, Sveriges hydrogeologi
- Lokalisering av enskilda avlopp
- Hänsyn till heterogenitet och anisotropi
- Föroreningstransport (transporttider och avstånd)

Den som anmäler eller söker tillstånd för infiltration ska kunna visa att verksamheten kan bedrivas miljömässigt godtagbart (omvänd bevisbörda), kunskapskravet samt försiktighetsprincipen (MB 2 kap 1-3§§)

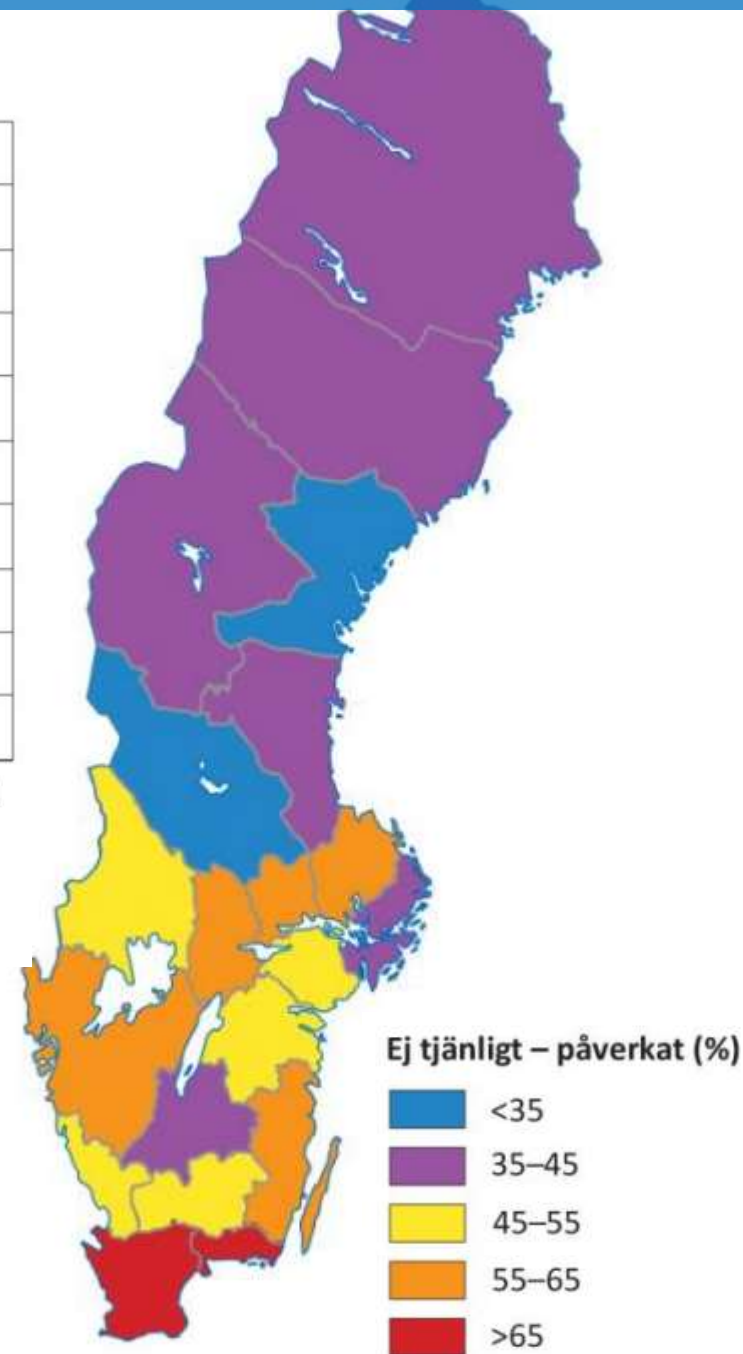
Enskilda brunnar, dricksvattenpåverkan



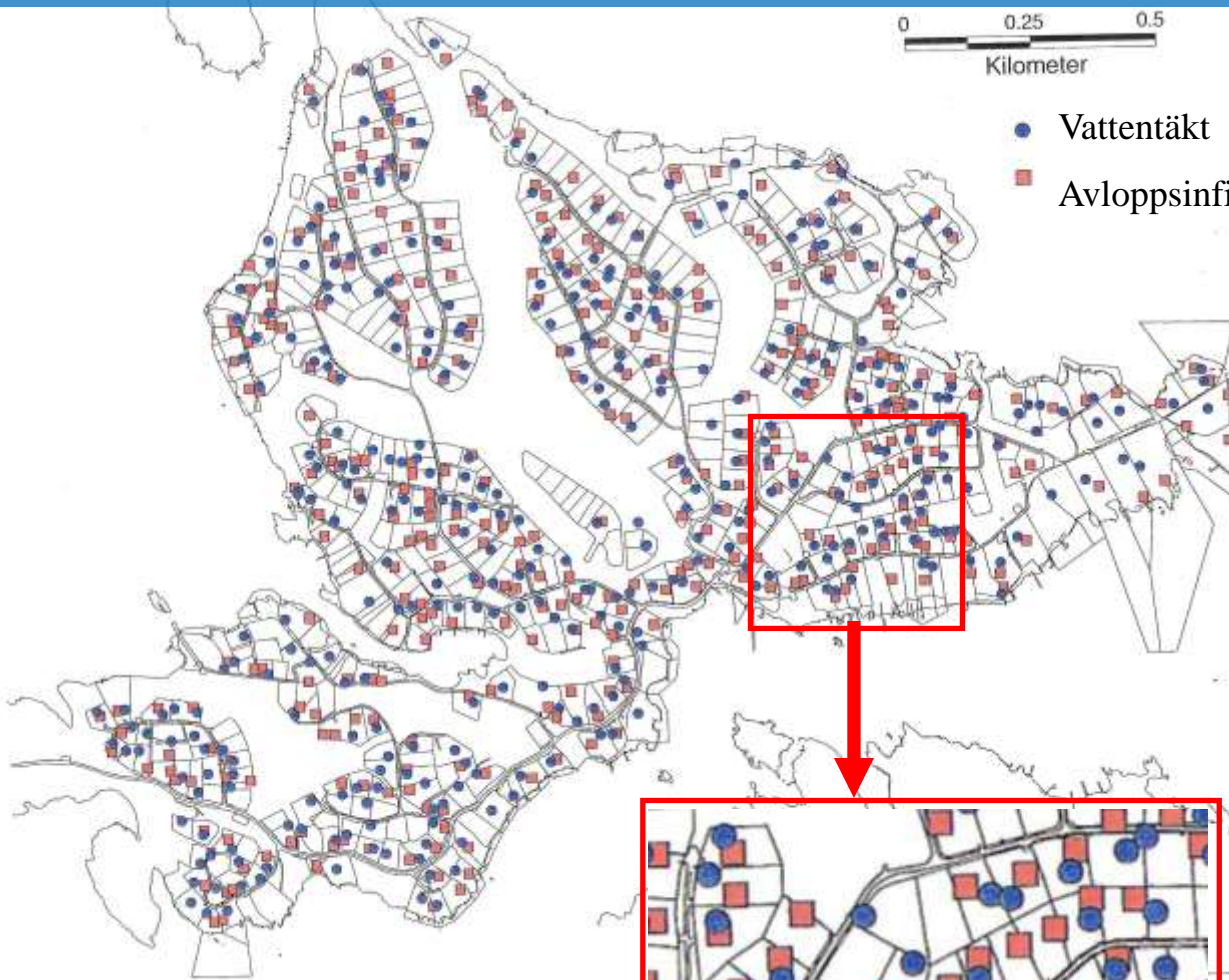
N=92000

Tjänlighetsklassning av kväveföreningar, fosfat, klorid och bakterier (n=92 000)

(SGU Rapport 2022:13)



Vattenproblem från avlopp



- Cl>40mg/l
- ▼ Bakterier och nitrat
- ◆ Rn>100Bq/l

Exempel på en ö med många hus och uppenbart sanitära problem till följd av små avlopp – obs endast BDT



Bedömningsgrunder

- Vägledning för prövning av små avloppsanläggningar, HaV
- Länsstyrelsens GIS-stöd för små avlopp (huvudsakligen risk för hälsa, fosfor, kväve) baserat på tillgängliga digitala data, ger översiktlig bedömning.
- Små avloppsanläggningar. Naturvårdsverkets handbok till allmänna råd, 2008:3 samt Bilagor till handboken
- SGUs digitala kartor (berg, genomsläpplighet, jord, jordmäktighet mm)
- Litteratur inom Hydrogeologi



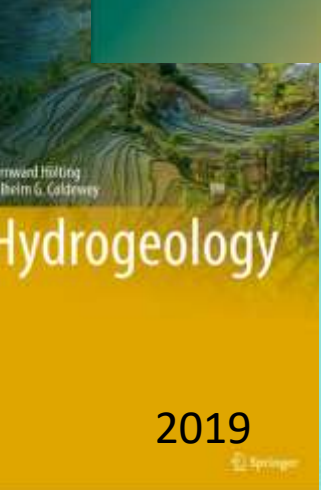
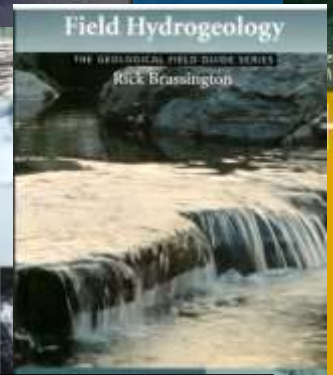
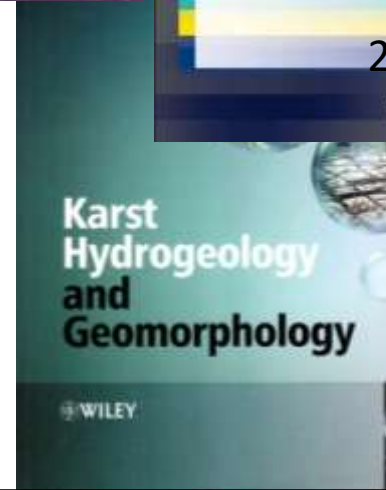
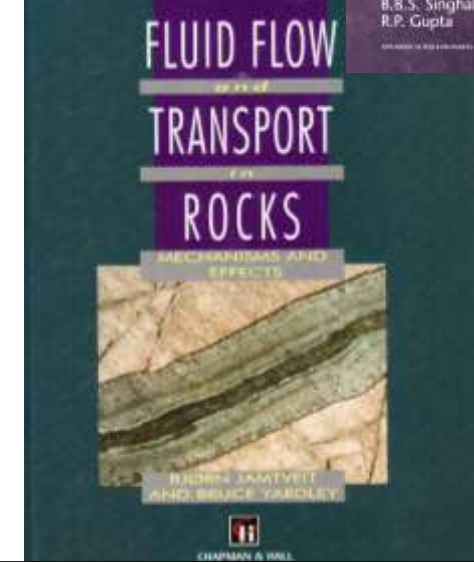
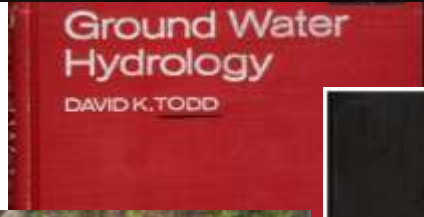
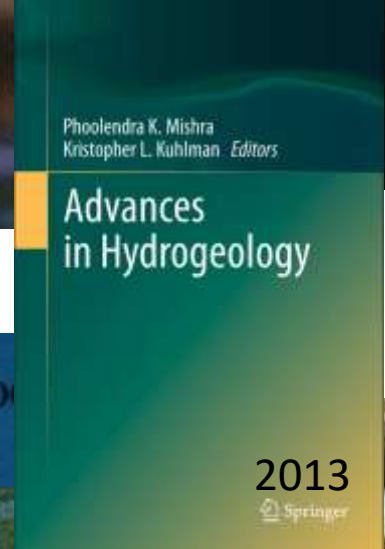
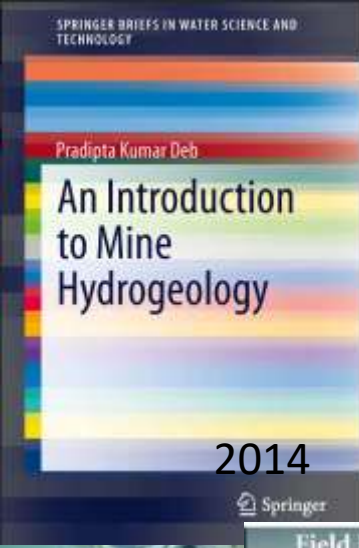
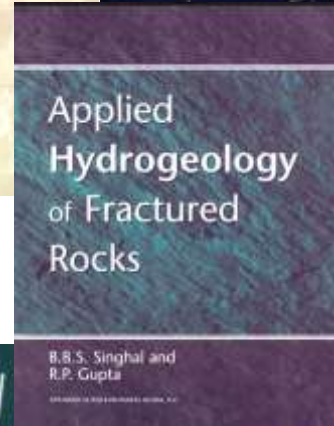
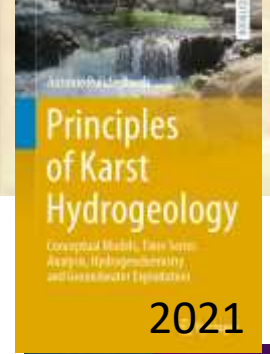
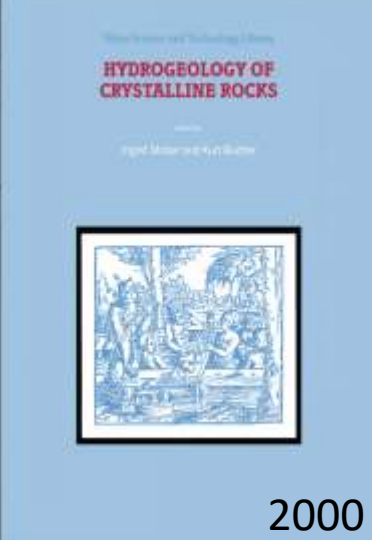
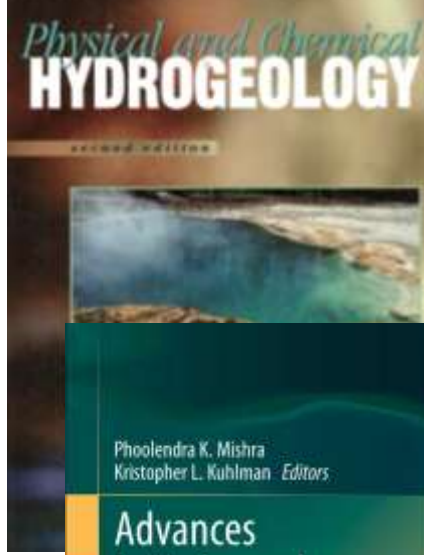
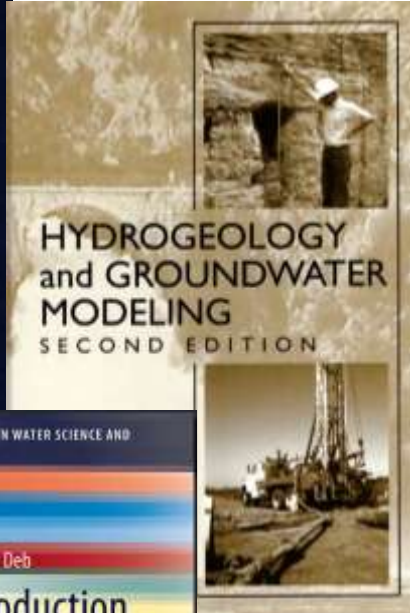
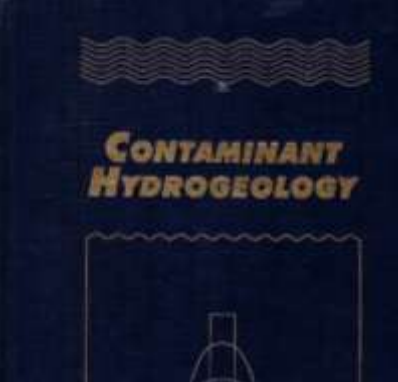
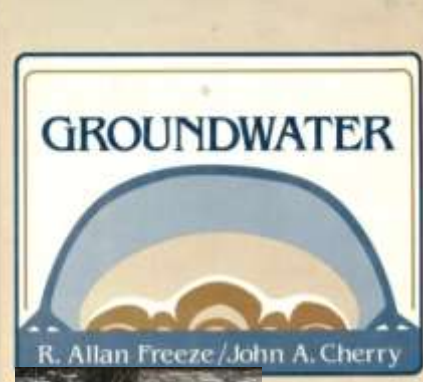
Små avloppsanläggningar
Handbok till allmänna råd



Bilagor till handboken
Små avloppsanläggningar

NV Handbok 2008:3





2000

2013
Springer

2014
Springer

2019
Springer

2010
Springer

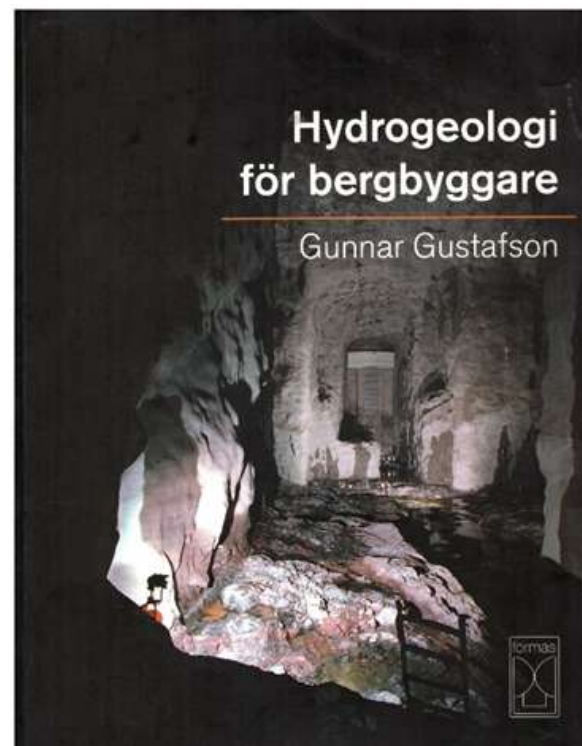
En del av mina böcker i bokhyllan



Grip & Rodhe 1985



Knutsson & Morfeldt 2002



Gustafson 2009



Kan laddas ner från Livsmedelsverket



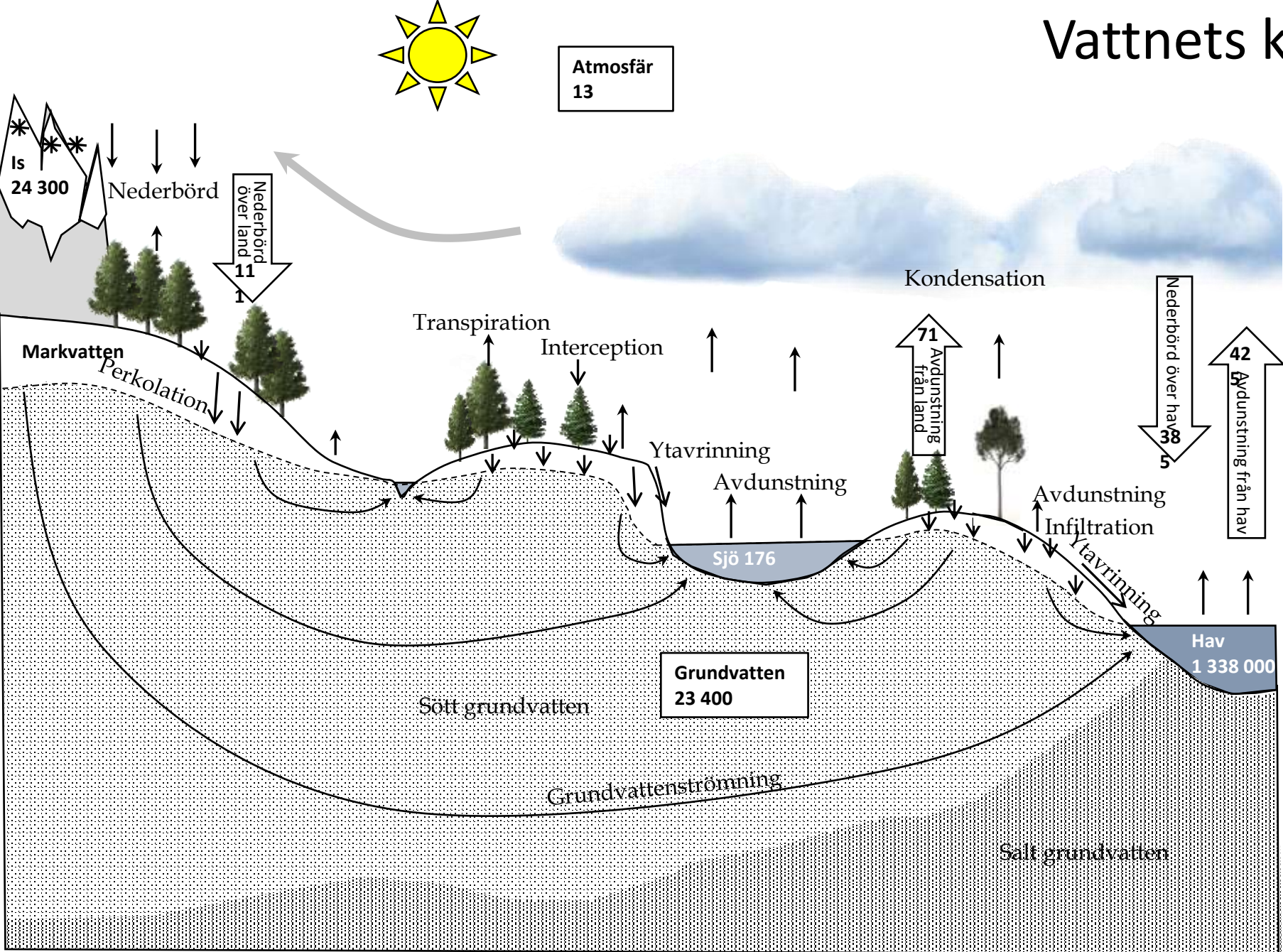
Sparrenbom m.fl 2022



Finns också mycket på SGUs hemsida (www.SGU.se)

Grundvattenlitteratur som speglar svenska förhållanden

Vattnets kretslopp



(efter Sparrenbom m fl 2022)

Vilka faktorer påverkar risken för föroreningsspredning?

- Avloppsanläggningens utformning
- **Strömningsvägen ner till grundvattnet (perkolationen)**
 - Jordart (vertikal genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet), specifik partikelyta, jordartens heterogenitet och anisotropi, mineral kemi)
 - Mäktighet på omättad zon
 - Grundvattennivåns variation
- **Strömningen i grundvattnet**
 - Jordart, bergart (horisontell genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet), partikelyta, heterogenitet och anisotropi, effektiv (kinematisk) porositet)
 - Grundvattennivåns lutning
 - Dispersion (spredning)
- **Recipientens läge, typ och utformning**
 - Nivå i förhållande till avloppsanläggningen
 - Avstånd från anläggningen
 - Typ av recipient (vattentäkt i berg, vattentäkt i jord, källa, ytvattendrag eller sjö/hav)



Viktiga begrepp inom hydrogeologi

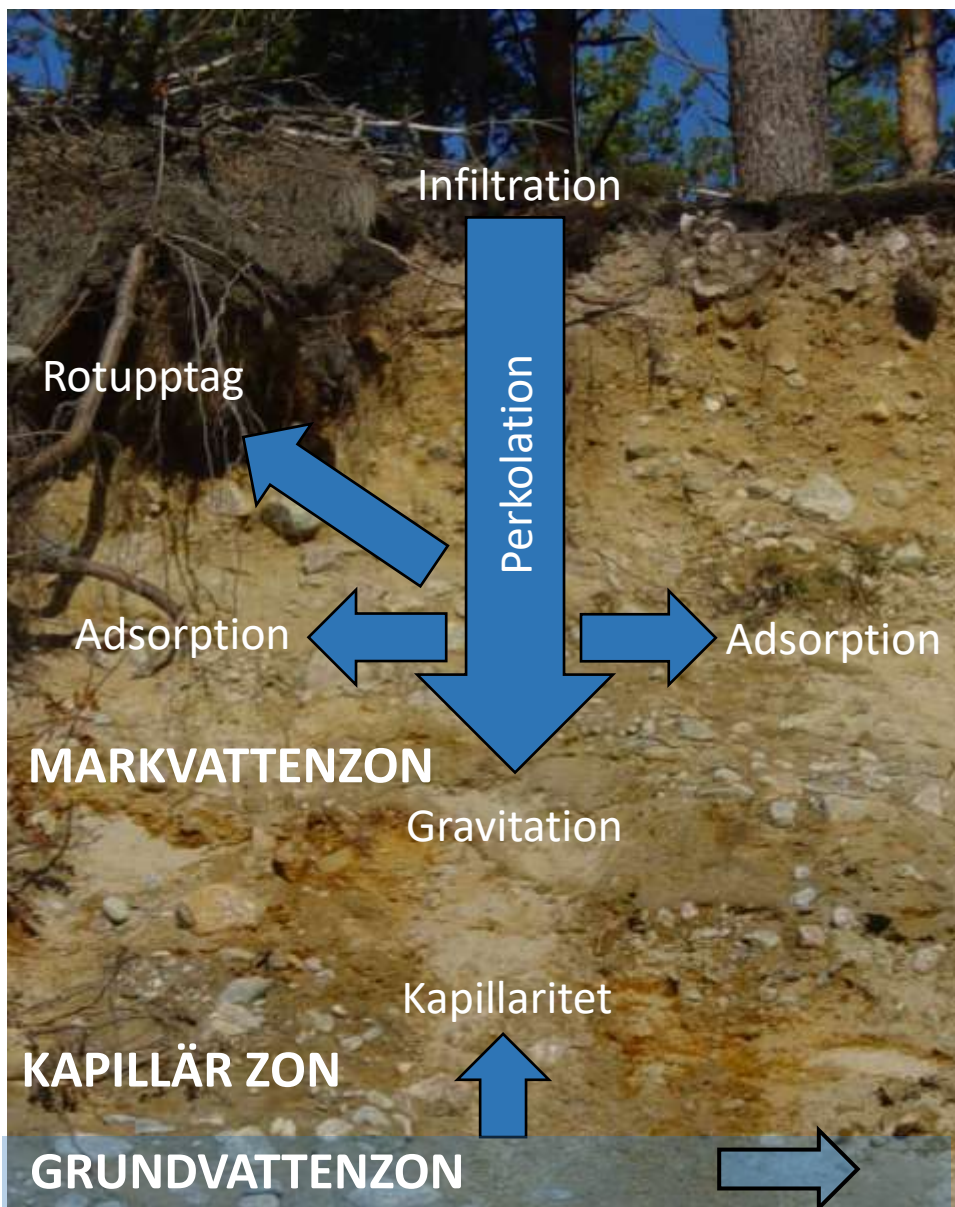
PERMEABILITET ett materials genomsläpplighet mätt i flöde per tidsenhet över en enhetsyta vinkelrät mot strömningsriktningen vid hydrauliska gradienten 1 (k , m^2 eller Darcy = $10^{-12} m^2$)

HYDRAULISK KONDUKTIVITET som ovan men med hänsyn tagen till vätskans egenskaper (temperatur, viskositet) (K , m/s)

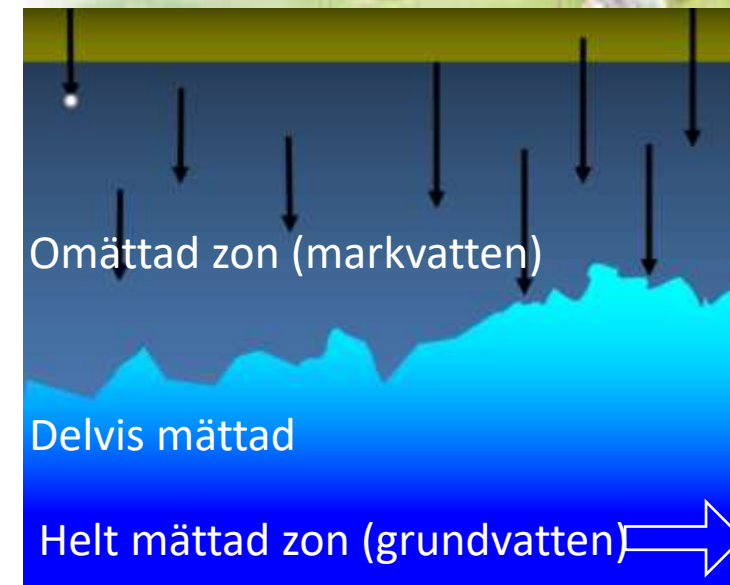
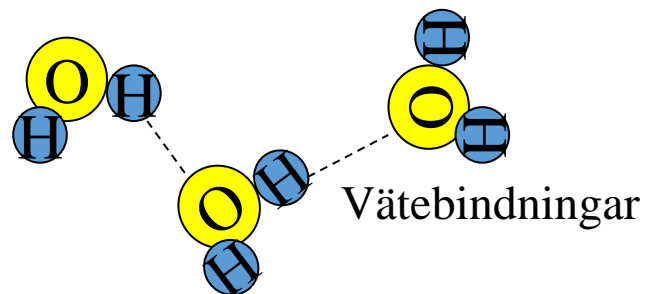
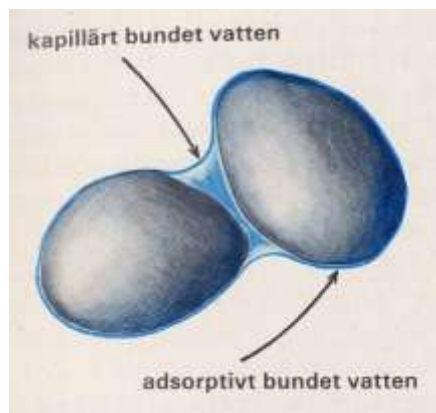
POROSITET (n , %): (=total porositet) den sammanlagda volymen av porer och hålrum i procent av den totala volymen av en jord och bergart.

EFFEKTIV POROSITET (n_e , %) (=kinematisk porositet). Volymen av de porer och hålrum där vattnet kan strömma fritt

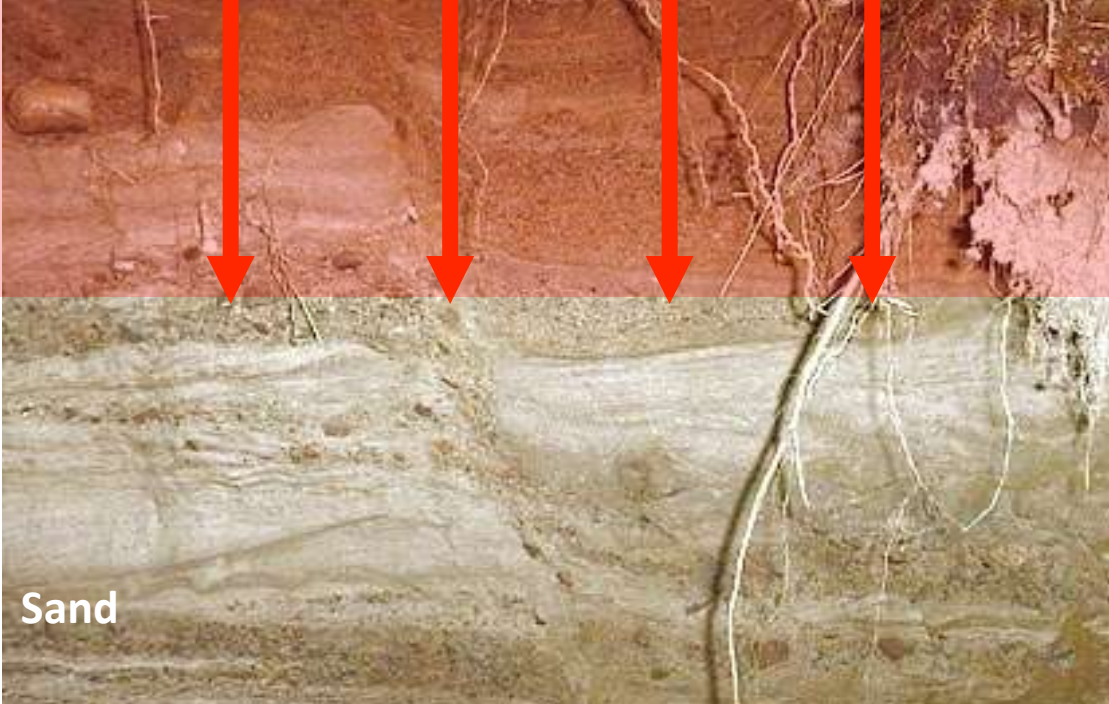
Perkolation



I den **omättade zonen** (**markvattenzonen**) rör sig det infiltrerade vattnet neråt (perkolerar) där gravitationen är större än de kvarhållande krafterna. Här finns gaser (syre och koldioxid) och därigenom tid och möjlighet att bryta ner mikrober. Adsorption av föroreningar sker på partikelytor.

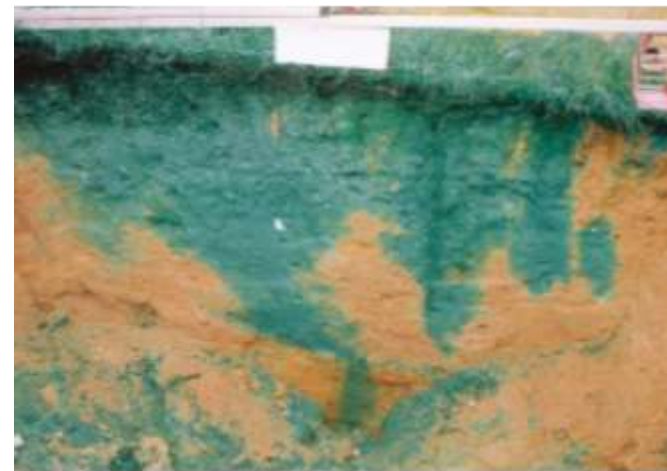


I den **mättade** zonen är alla porer vattenfyllda och vattentrycket högre än atmosfärstrycket. I den **omättade** zonen är atmosfärstrycket högre och gas tränger in. Vid grundvattenytan är trycken lika.

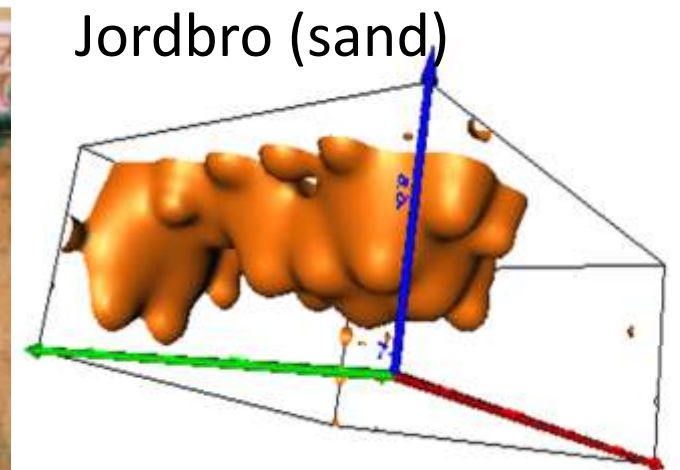


Mycket viktigt att ta hänsyn till markens egenskaper (vertikal hydraulisk konduktivitet, heterogenitet, anisotropi).

Våra antaganden tex beträffande vertikal homogenitet utgår oftast från isotropa och homogena förhållanden. Verkligheten är dock anisotrop och heterogen, vilket man bör ta hänsyn till i bedömningarna.

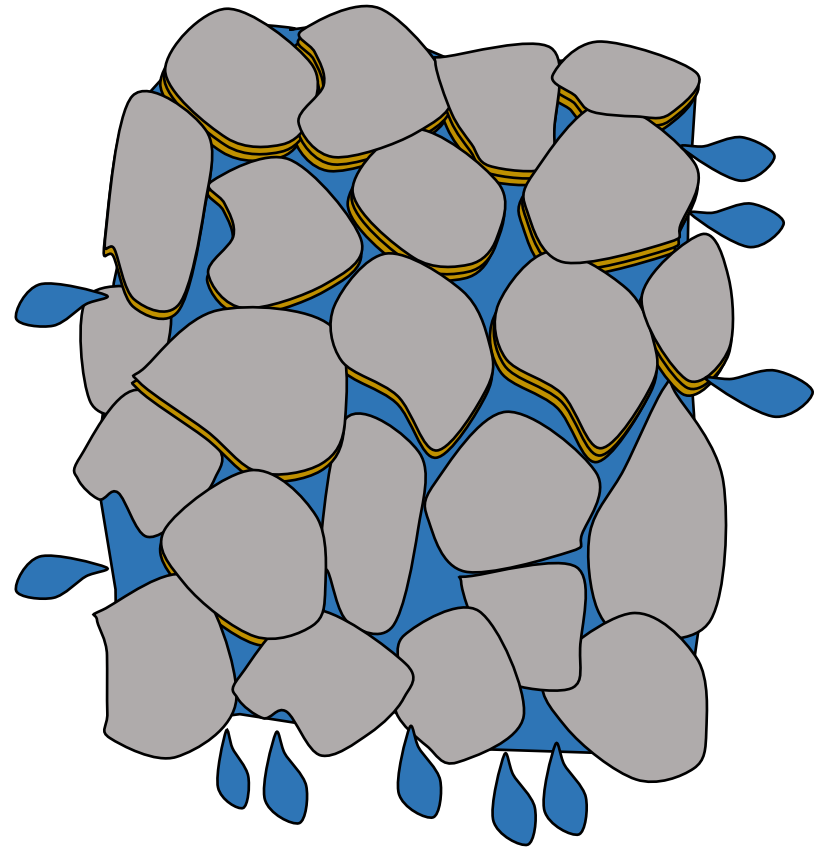


Spårämnesförsök med färgämnen i sand längs danska motorvägar (Jensen 2004).

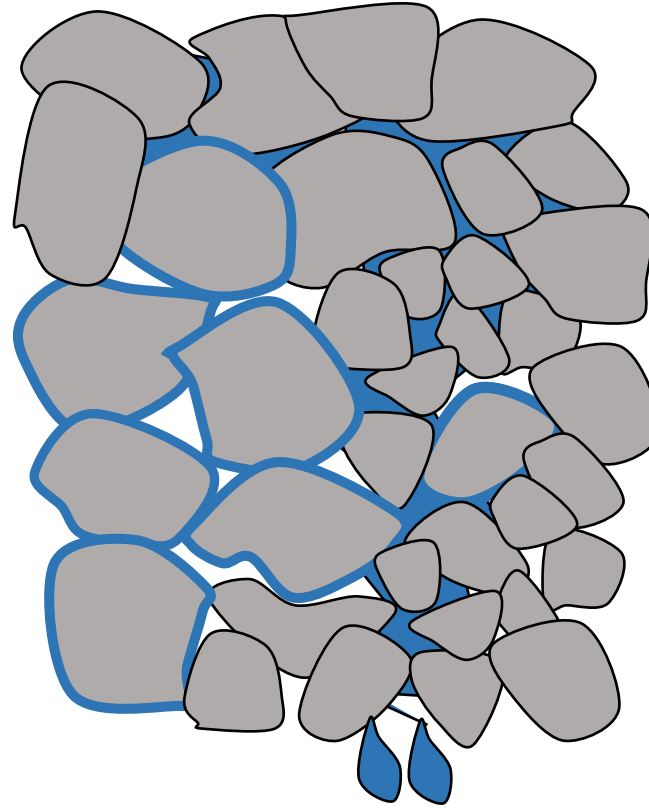


Spårämnesförsök med klorid i sand. Nedträngning efter 1 tim, 3D-modellerad utifrån geofysiska mätningar (Olofsson m fl 2018).

Perkolation



**Helt mättat flöde
(mättad zon)**



**Lokalt mättat flöde
(omättad zon)**



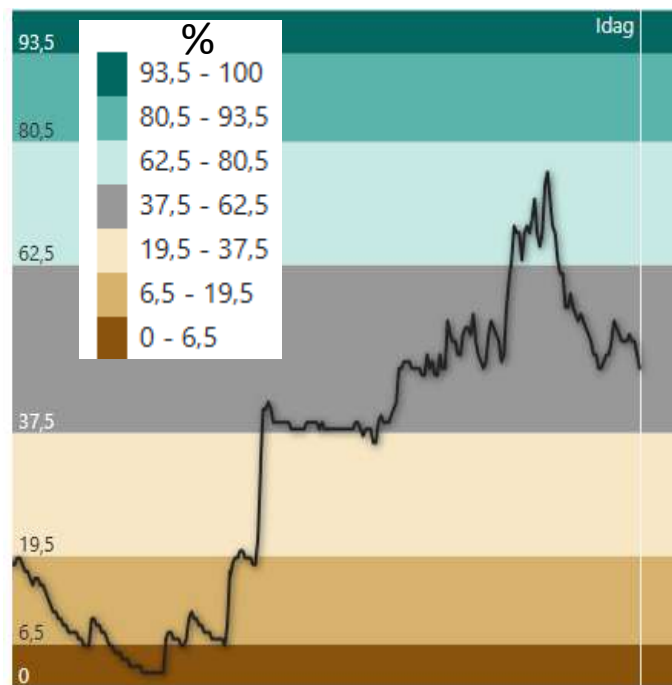
Eftersom marken är starkt heterogen går det således inte att prediktera perkolationen i varje punkt, varken rumsligt eller tidsmässigt utan det är en skalfråga. Vid avloppsinfiltration måste därför de lokala geologiska förhållandena vara kända.

Mäktigheten på den omättade zonen

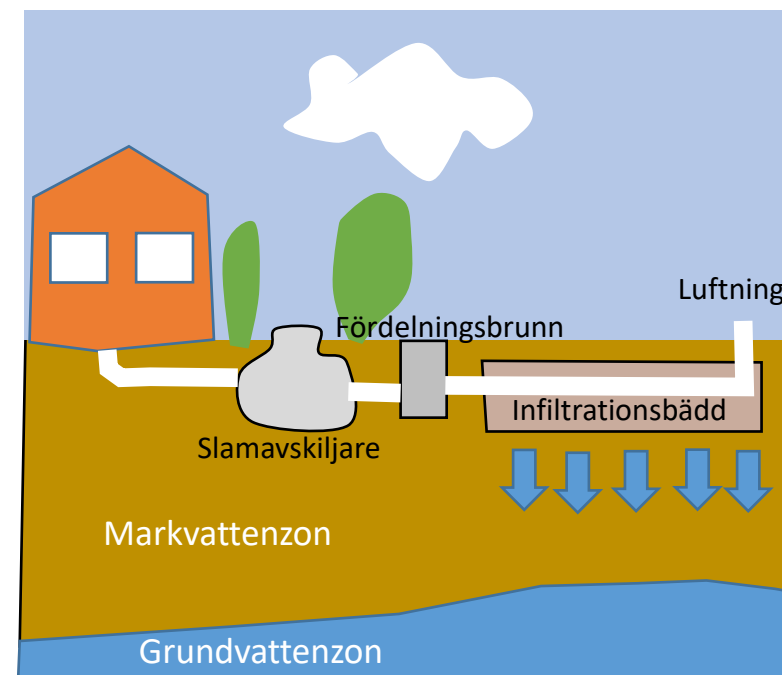
- Bör alltid överstiga 1 m vid **dimensionerande grundvattennivå (GR_{dim})**
 - $GR_{dim} = \text{Uppmätt nivå}(GR_{obs}) + \text{Naturlig grundvattenvariation}(FH_{mag}) + \text{Uppkoningsseffekt}(FH_{inf})$



Provgrop

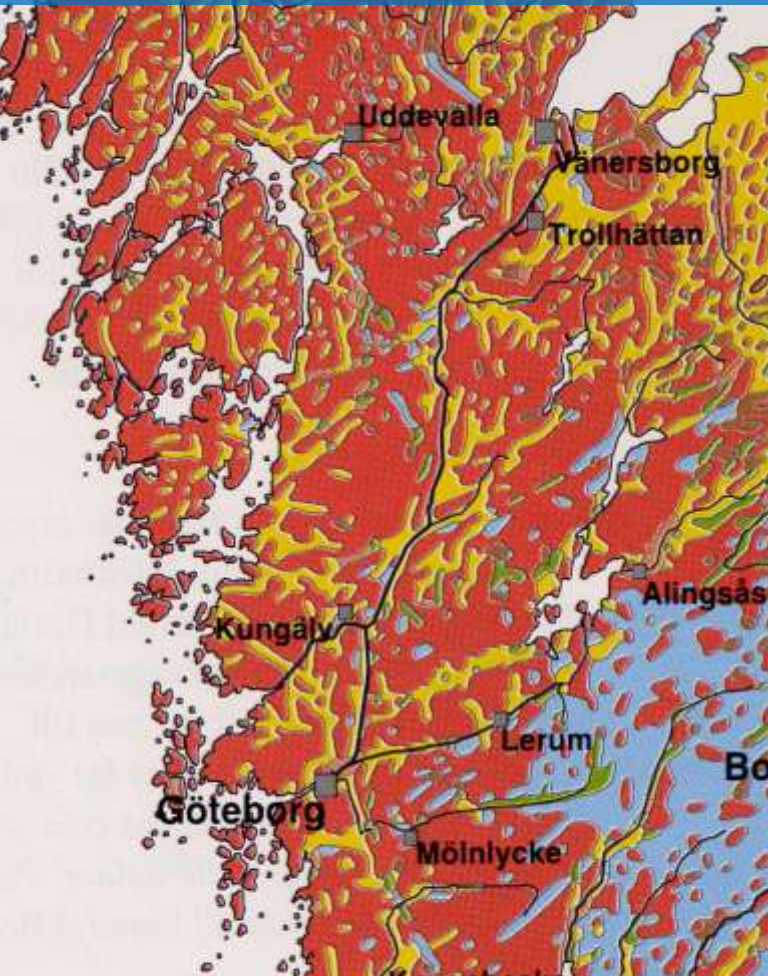


Lokal uppfyllnadsgrad + tabell



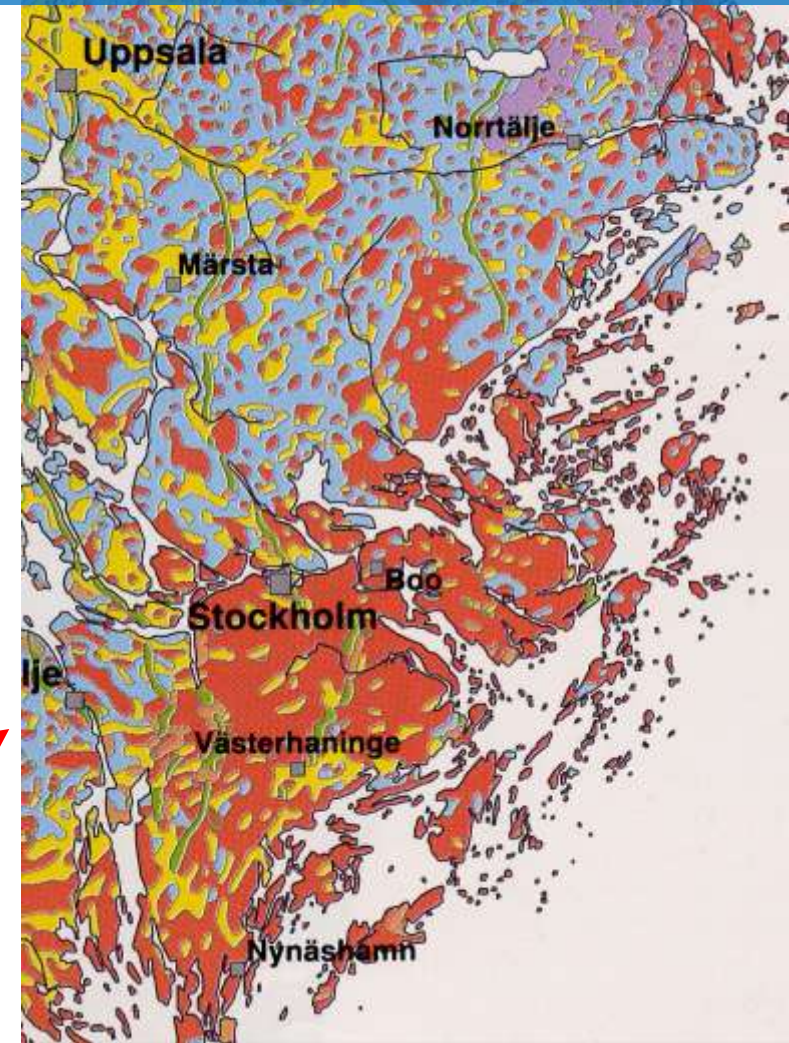
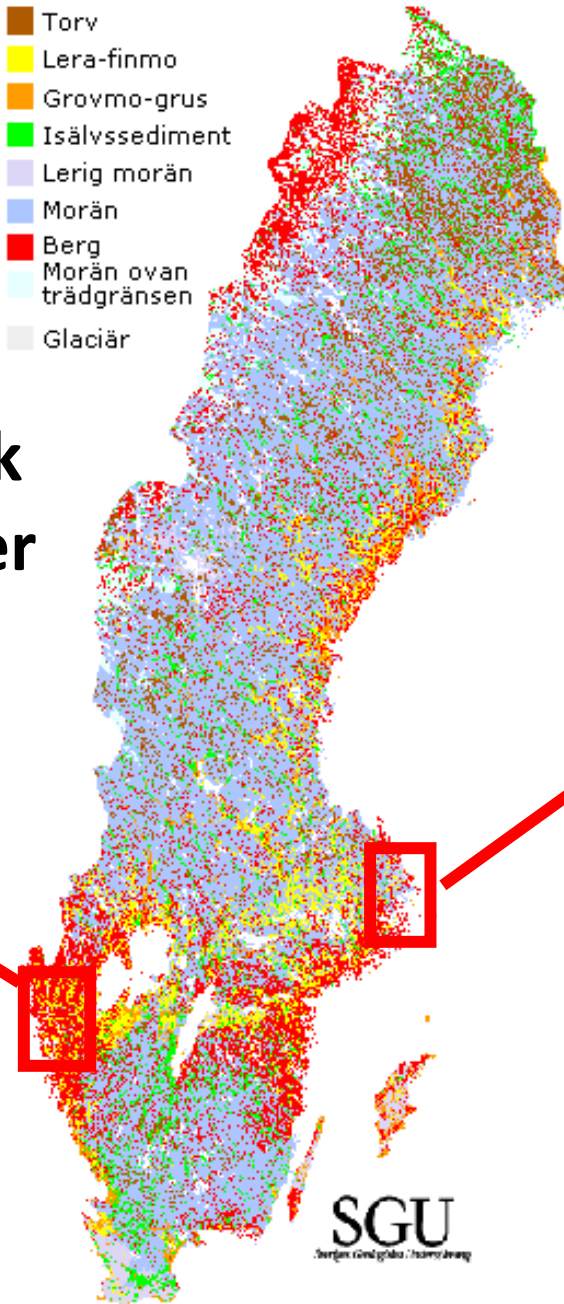
Markens genomsläpplighet + grundvattenzonens mäktighet + graf

Geologiska förutsättningar för avloppsinfiltration



Geologisk karta över Sverige

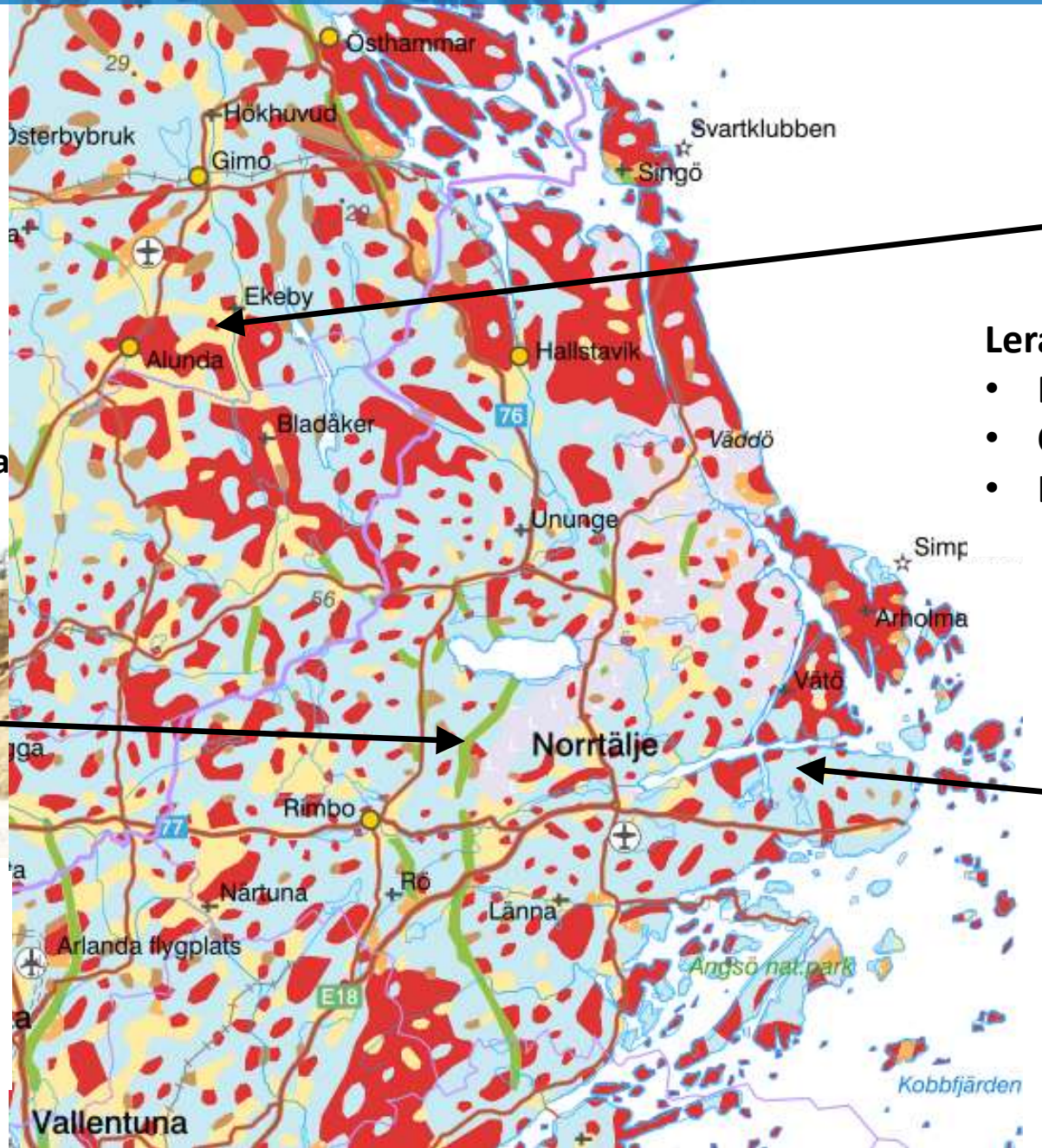
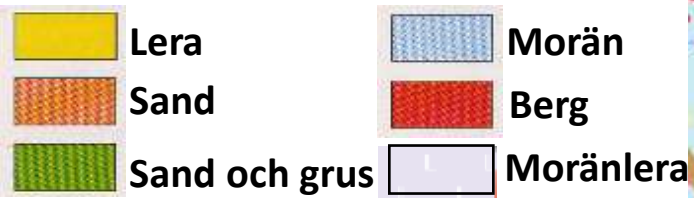
- Torv
- Lera-finmo
- Grovmo-grus
- Isälvs sediment
- Lerig morän
- Morän
- Berg
- Morän ovan trädgränsen
- Glaciär



- Lera
- Sand
- Rullstensåsar (sand, grus)
- Morän
- Berg

Jordlagren i Sverige består till 75% av morän som ofta lämpar sig väl för infiltration från små avloppsanläggningar. Lämpligheten beror dock på kornstorleksfördelning och jordmäktighet. Områden med tunna eller obefintliga jordlager finns främst i kustområdena

Geologiska förutsättningar för avloppsinfiltration



Lera (varvig glaciallera):

- Effektiv porositet 0.05-1%
- Ofta måttlig till stor jordmaktighet
- Låg genomsläpplighet



Sand:

- Effektiv porositet >20%
- Ofta stor jordmaktighet
- Hög genomsläpplighet

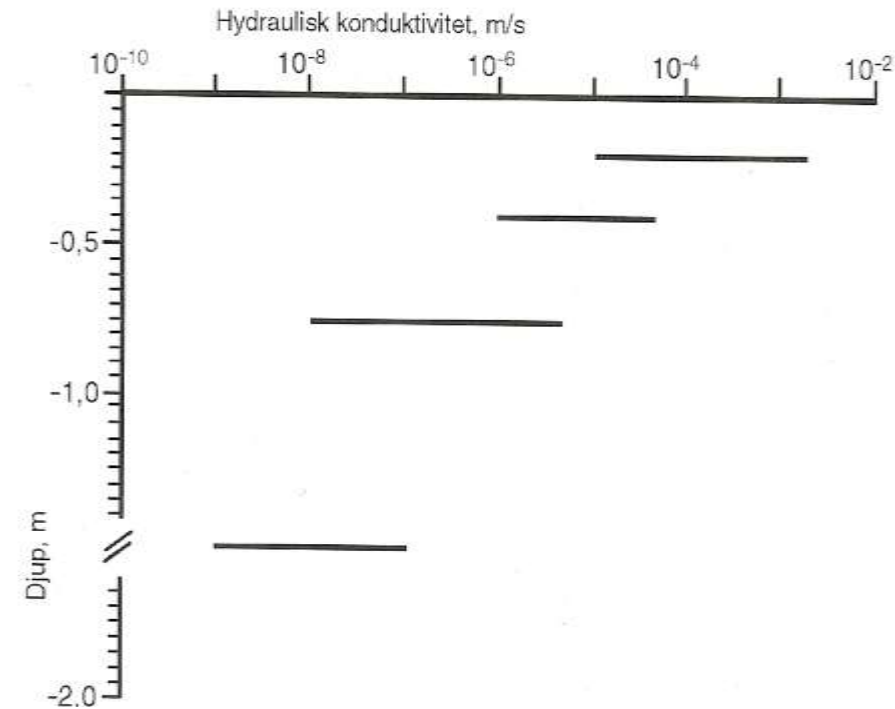


Morän (sandig):

- Effektiv porositet 3-5%
- Liten-stor jordmaktighet
- Hög-låg genomsläpplighet

Variation av hydraulisk konduktivitet för olika jordarter

Sorterad jordart	Osorterad	Hydr Kond m/s
Fingrus		$10^{-1} - 10^{-3}$
Grovsand		$10^{-2} - 10^{-4}$
Mellansand		$10^{-3} - 10^{-5}$
Grovmo(finsand)		$10^{-4} - 10^{-6}$
Finmo (silt)	Grusig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$
	Sandig morän	$10^{-6} - 10^{-8}$
Mjäla (silt)	Moig morän	$10^{-7} - 10^{-9}$
	Lerig morän	$10^{-8} - 10^{-10}$
Lera	Moränlera	$< 10^{-9}$



Hydraulisk konduktivitet i morän. Minskar vanligtvis med djupet

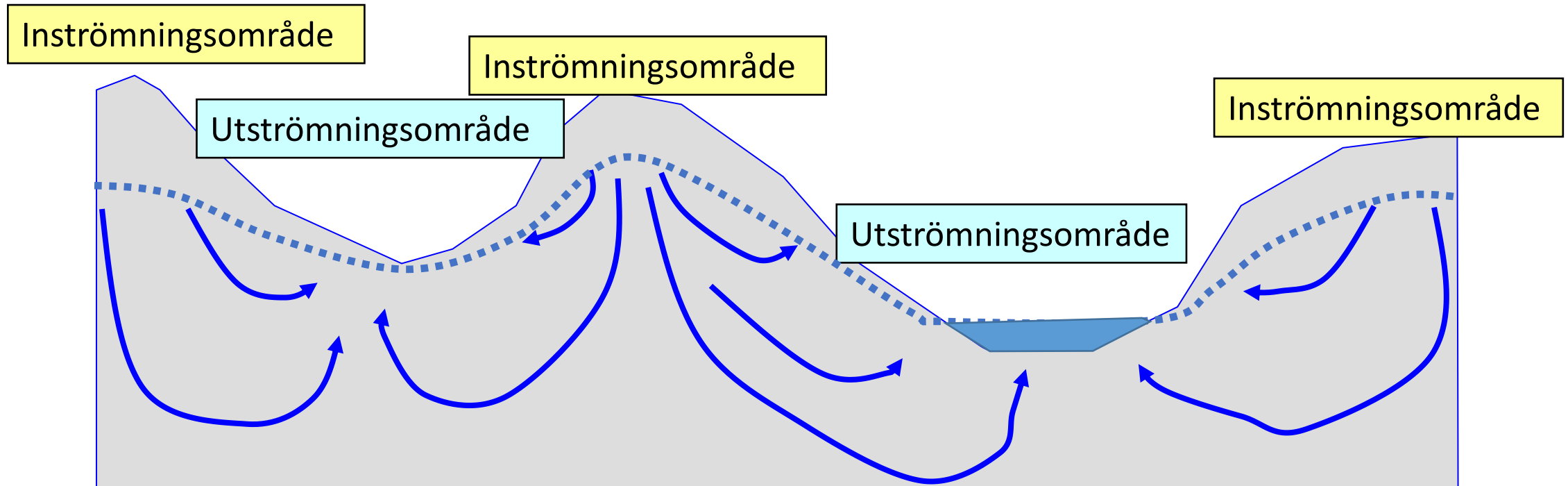
Skattad jordmäktighet



(SGU 2025)

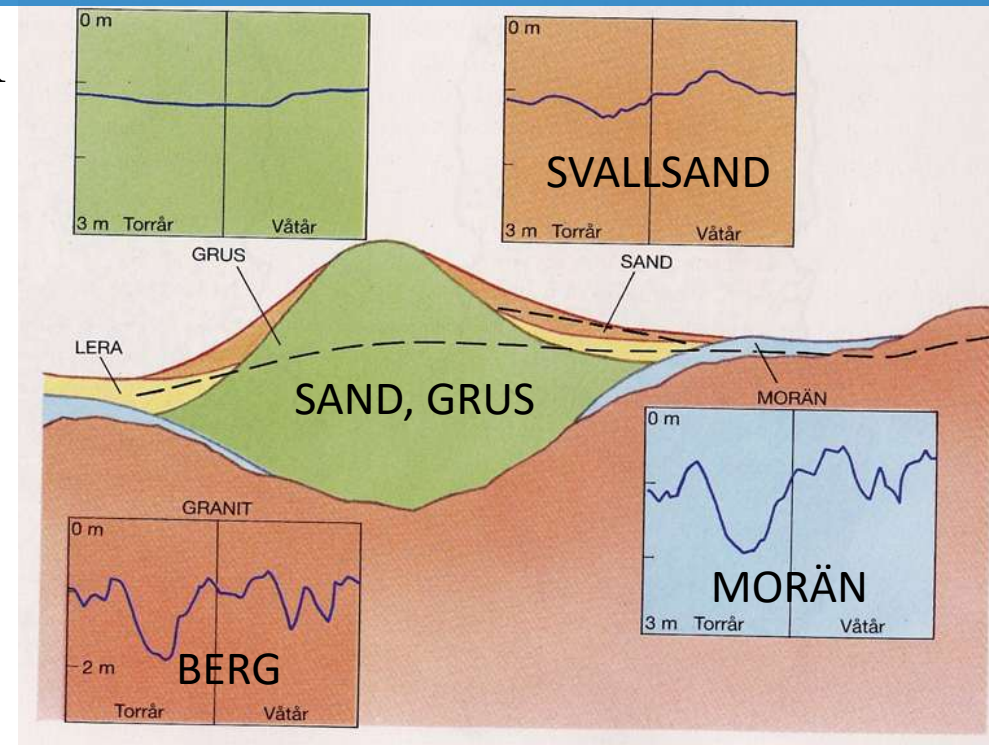
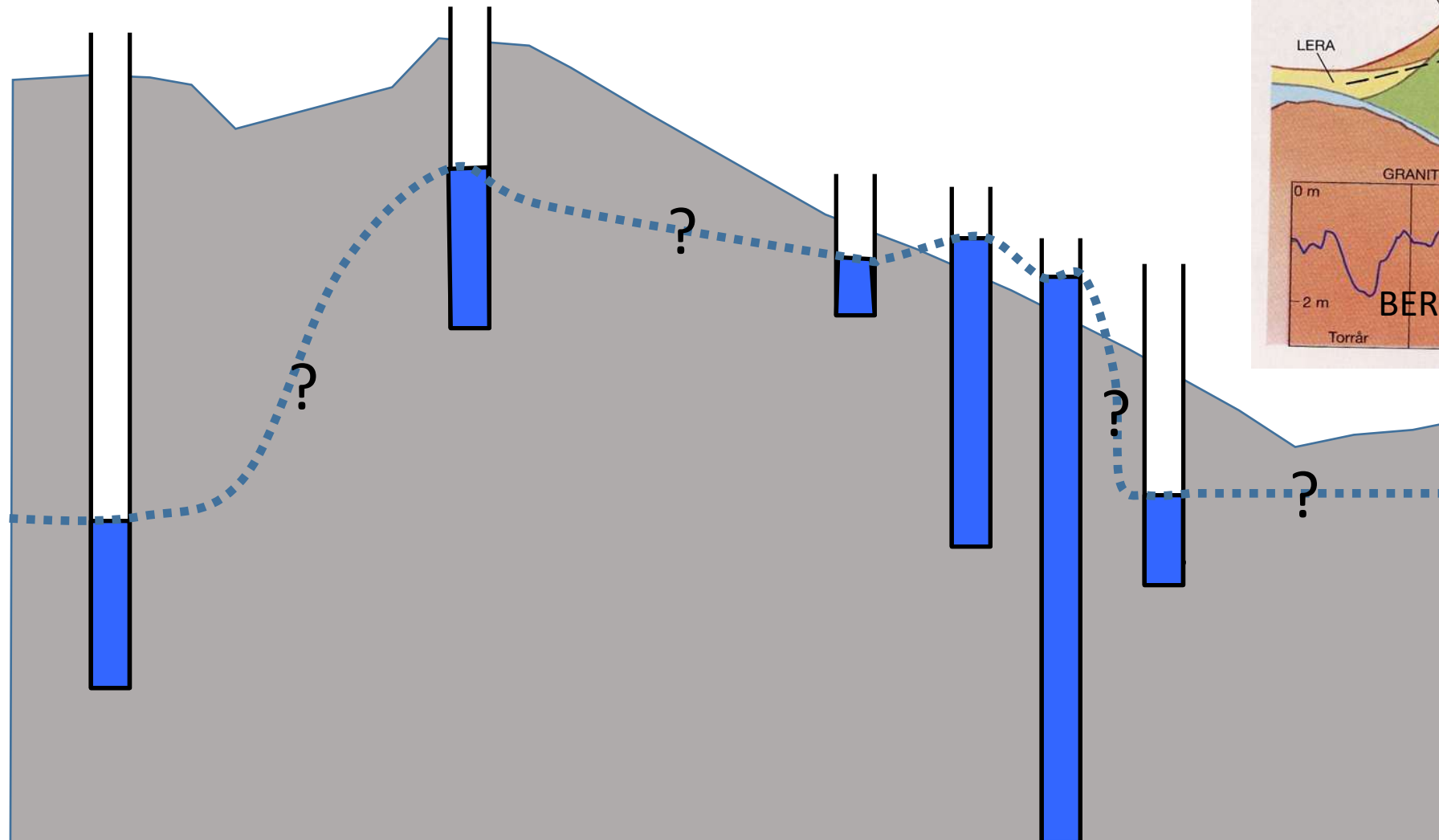
Grundvattennivå

- Finns inga regionala kartor över djupet till grundvatten, måste undersökas lokalt
- Följer ofta topografin och är ofta yt nära i lågpunkter (utströmningsområden)
- Kan ligga djupt i höjdområden
- Oftast djupt (>10m) i isälvsavlagringar (sand, grus), ytligt i lera och torv (0-2 m)
- Varierar stort i moränområden (0-5 m) beroende på topografi



Grundvattennivåer varierar över tid och rum




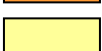

För att förstå grundvattennivån samt grundvattnets strömning och variation måste vi ha en geologisk grundsyn

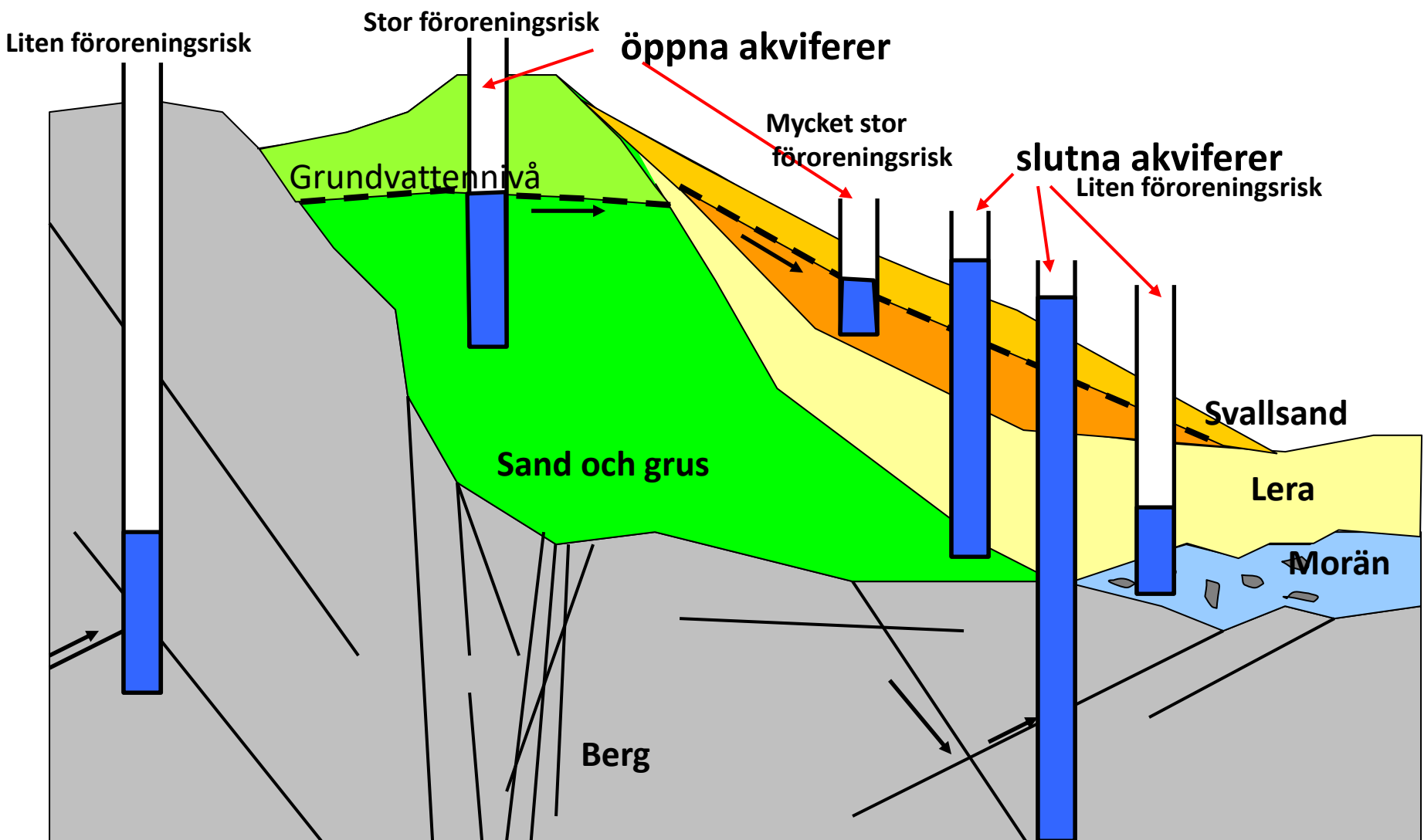


Nivåvariationer

- Dagligen (tideffekt, lufttryck, nederbörd, avdunstning)
- Vecka (lufttryck, nederbörd, avdunstning)
- Säsong (klimatiska variationer)
- Trender (långtidsförändringar)
- Grundvattenuttag mm

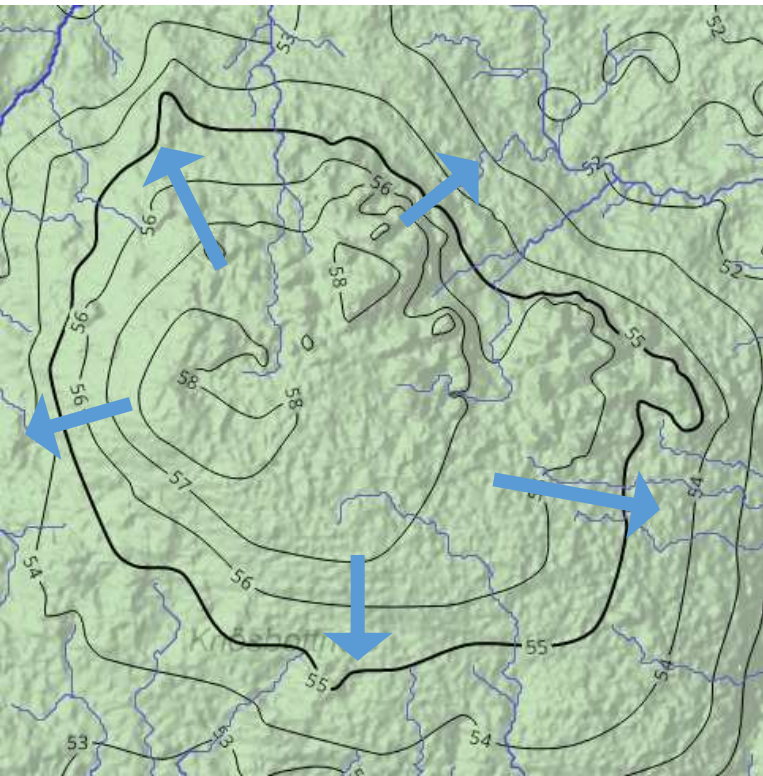
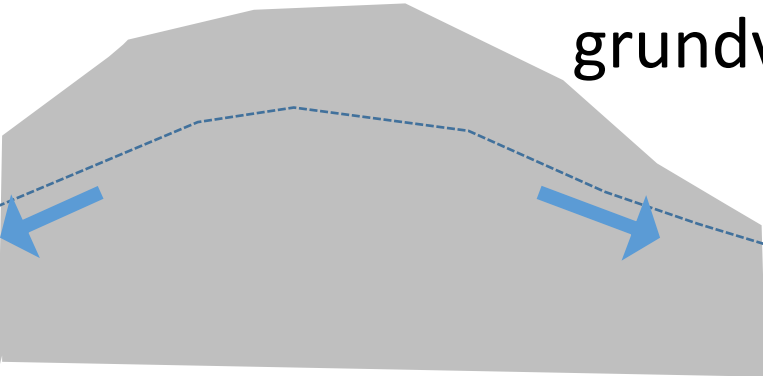
Grundvattennivåerna utgör tryckkytor som beror på de geologiska förhållandena.

- Berg 
- Sand och grus (mättad/omättad) 
- Svallsand (mättad/omättad) 
- Lera 
- Morän 

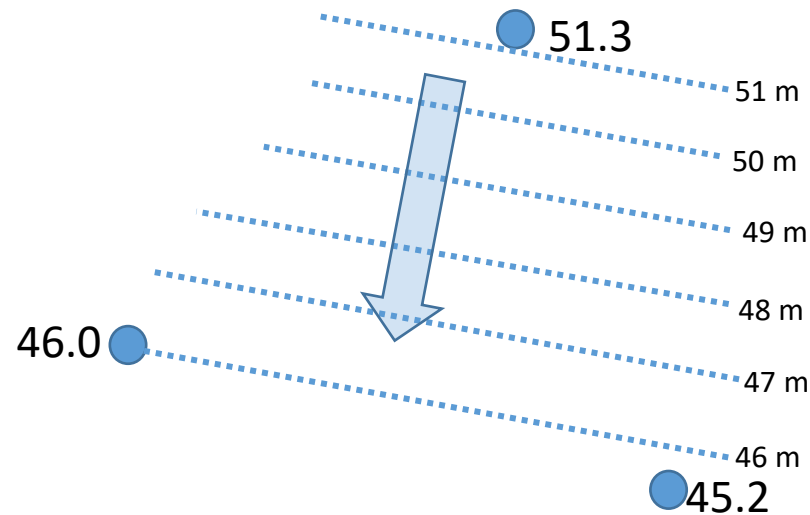
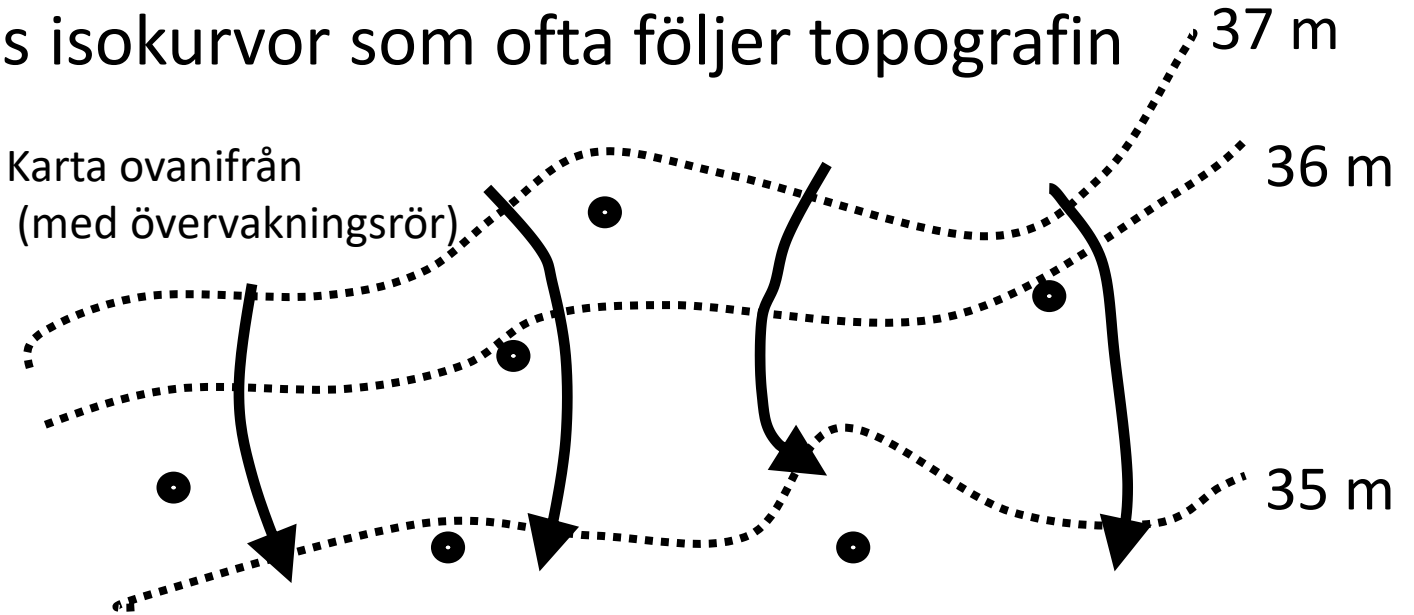


Grundvattnets strömning

- Grundvattnets strömning sker generellt vinkelrätt mot grundvattennivåns isokurvor som ofta följer topografin

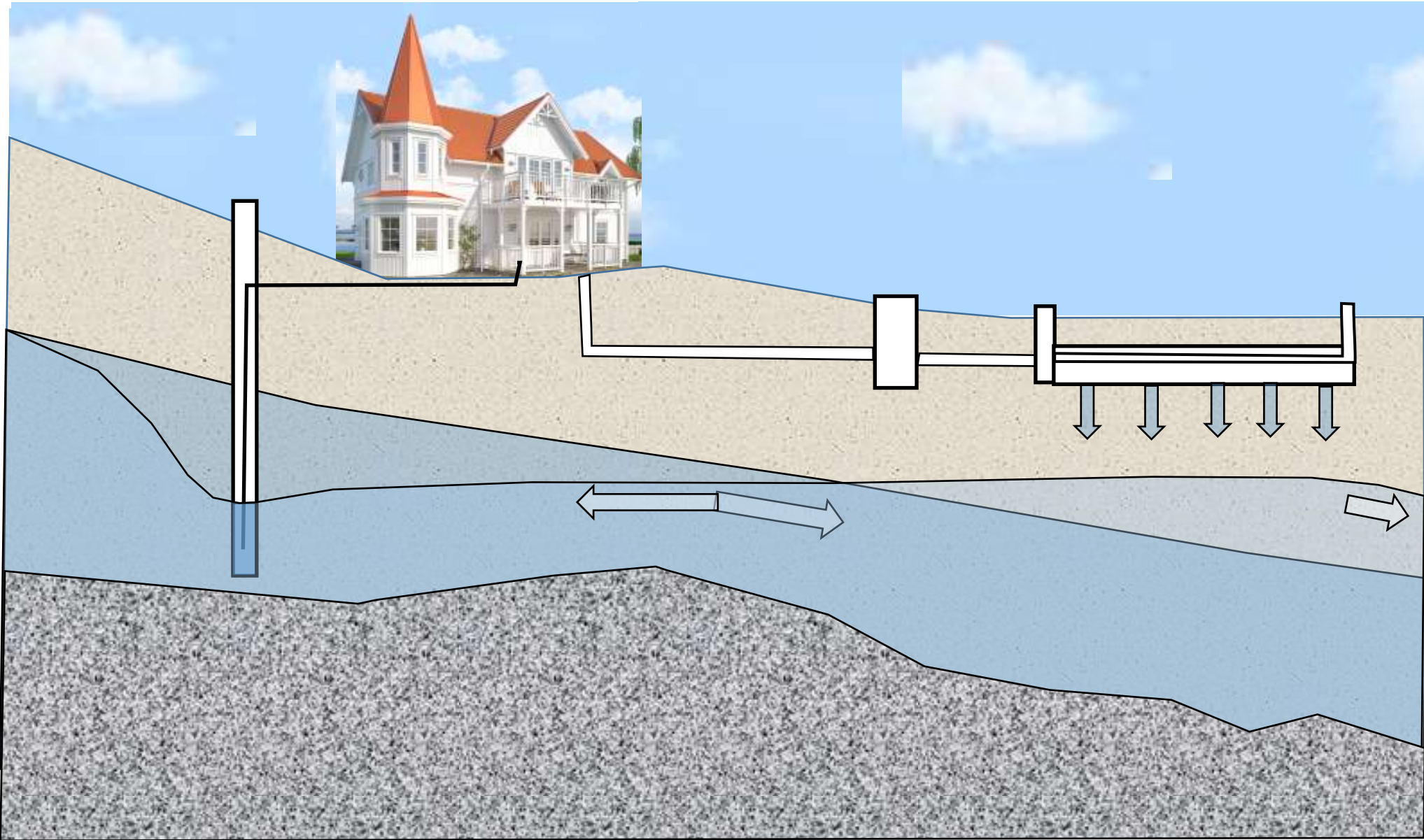


Karta ovanifrån
(med övervakningsrör)



Minst 3 punkter krävs
men de måste sitta i
samma
grundvattenmagasin

Grundvattennivå



Grundvattenströmning



Empirisk ekvation

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{dh}{dx}$$

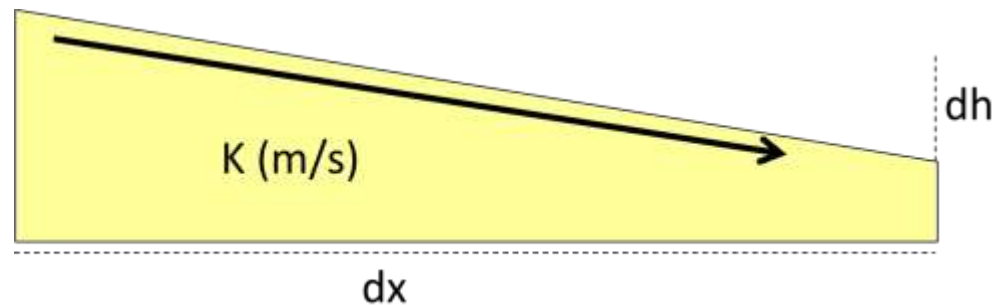
Q=vattenföringen (m³/s)

A=tvärsnittsarean (m²)

dh/dx=grundvattenytans lutning (m/m)

K=hydraulisk konduktivitet (m/s)

Henri Darcy 1803-1858,
Dijon, Frankrike



★ Darcyhastigheten

$$V_D = \frac{Q}{A} = -K \frac{dh}{dx}$$

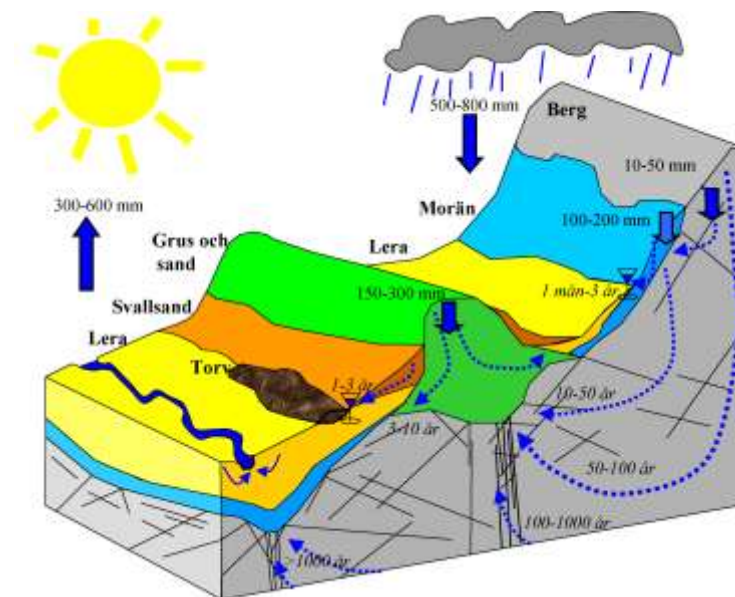
★ Den genomsnittliga partikelhastigheten

$$V_P = \frac{V_D}{p} \quad p = \text{strömningsporositeten}$$

★ Den verkliga partikelhastigheten i varje punkt (okänd p g a såväl turbulent som laminärt flöde i porerna)

Prövning av små avlopp baseras på topografisk lokalisering och geologiska förhållanden mellan avloppsanläggning och vattentäkt. Utgår från beräkningar enligt Darcys lag som presenteras som tabeller

Kräver en GOD hydrogeologisk kunskap

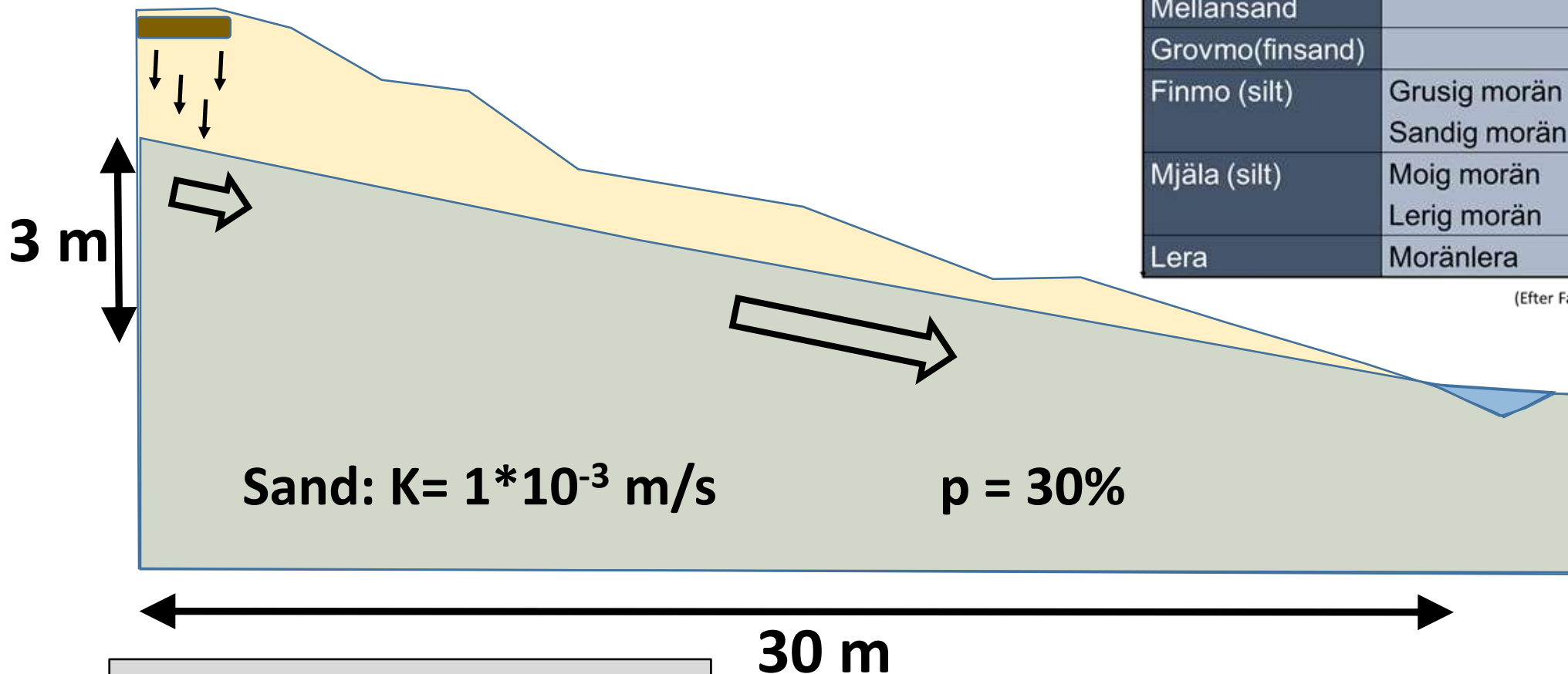


Infiltration nedströms vattentäkt i jord

Marklutning	Finare jord	Grövre jord	Morän
< 5 %	30	50	30
5-15 %	20	30	20

Grundvattenströmning

Hur lång tid tar det för en markförorening som läckt ner till grundvattnet i en sandavlagring att nå en bäck 30 m nerströms? Höjdskillnaden är 3 m.



Sorterad jordart	Osorterad	Hydr Kond m/s
Fingrus		$10^{-1} - 10^{-3}$
Grovsand		$10^{-2} - 10^{-4}$
Mellansand		$10^{-3} - 10^{-5}$
Grovmo(finsand)		$10^{-4} - 10^{-6}$
Finmo (silt)	Grusig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$
	Sandig morän	$10^{-6} - 10^{-8}$
Mjåla (silt)	Moig morän	$10^{-7} - 10^{-9}$
	Lerig morän	$10^{-8} - 10^{-10}$
Lera	Moränlera	$< 10^{-9}$

(Efter Fagerström och Wiesel 1972)

Svar: $dh/dx = -3 / 30 = -0.1$
 $V_D = -0.001 \times -0.1 = 0.0001 \text{ m/s}$
 $v_p = 0.0001 / 0.3 = 0.00033 \text{ m/s}$
Tid : $30 / 0.00033 = 91\,000 \text{ s} = 25 \text{ tim}$

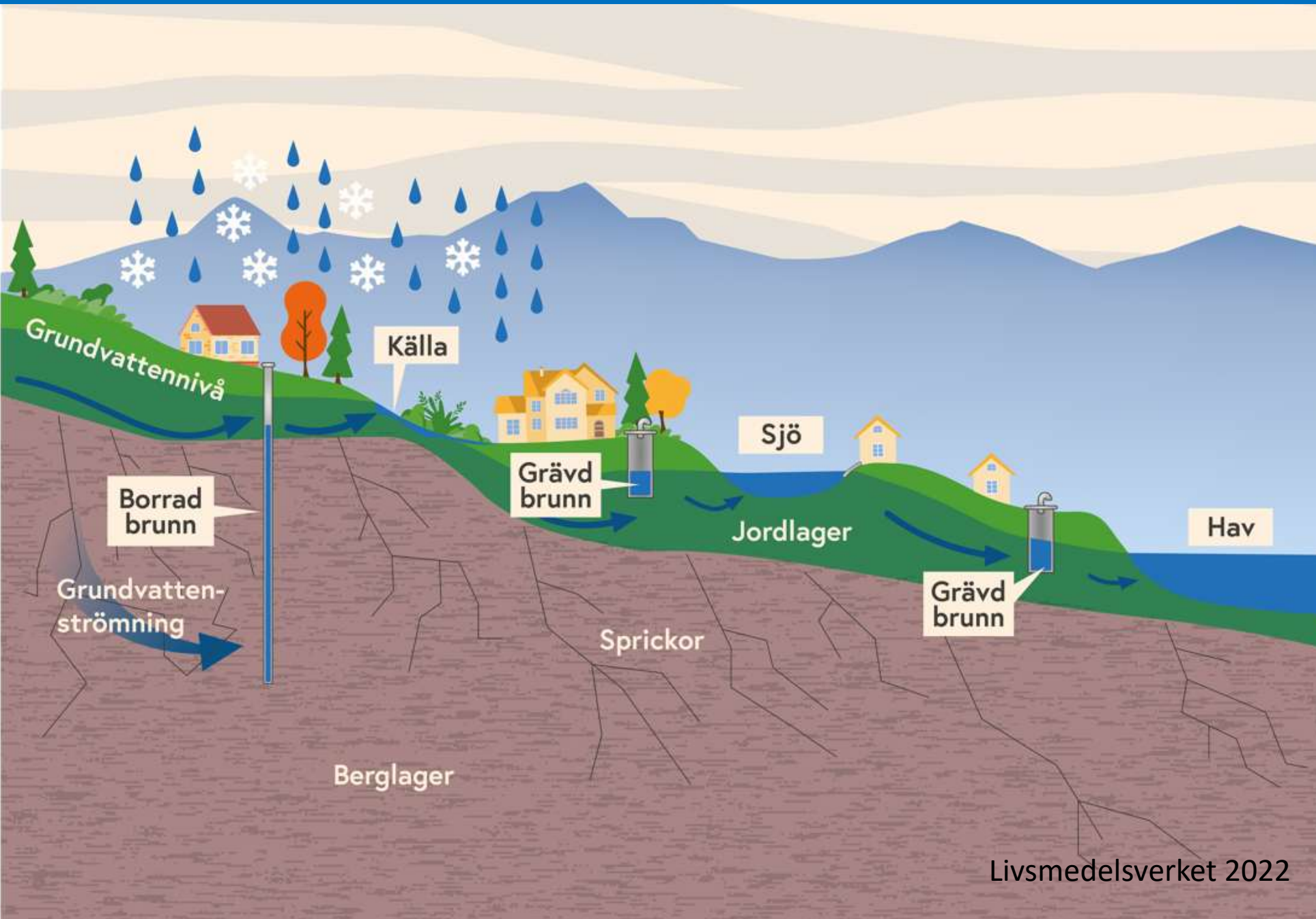
Spridning, RIB



Spread



Grundvattenströmning



Grundvattenströmningen kan antingen gå genom jordlagren eller berg.

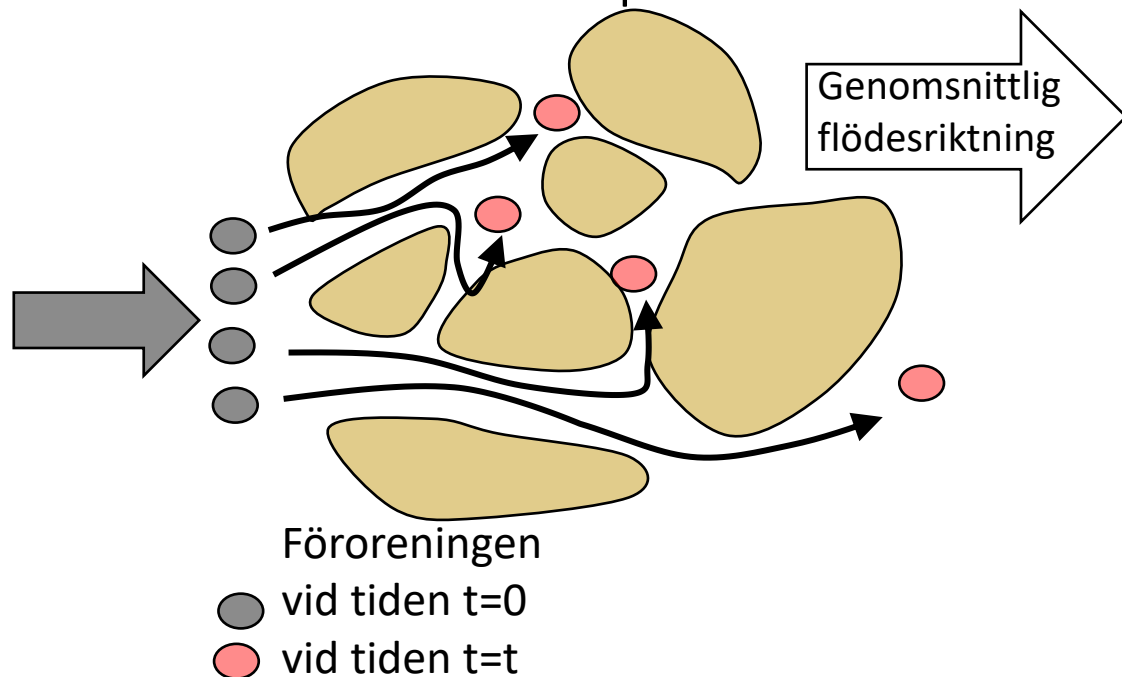
Föroreningsspredning genom jord kan påverka källor, grävda brunnar, ytvattendrag och sjöar.

För strömning genom jord används vanligtvis Darcys lag

Samtliga tabeller i vägledningen tar dock inte hänsyn till

- Dispersion (dvs spridningen)
- Hydraulisk heterogenitet och anisotropi i marken
- Akvifärens storlek (t ex möjlighet till utspädning)

Allmän dispersion, dvs **spridning** genom turbulens och olika transportsträckor



Rullstensås: Hög genomsläpplighet, stor spridning, stor vattenvolym, stor utspädning, stor omättad zon

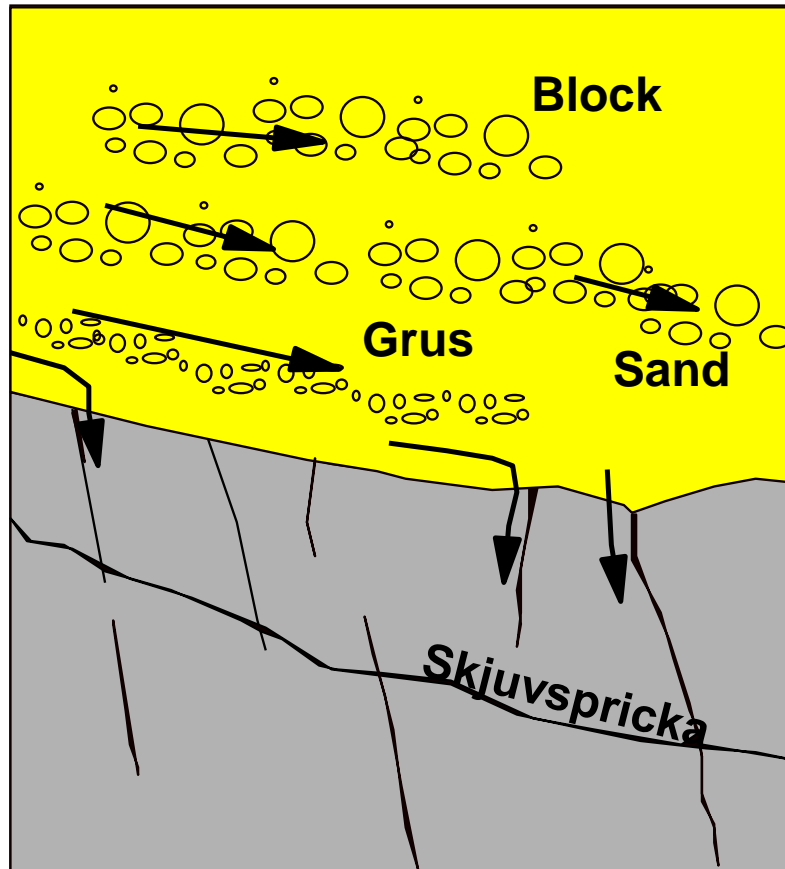


Morän: Måttlig genomsläpplighet, måttlig spridning, liten vattenvolym, liten utspädning, måttlig omättad zon

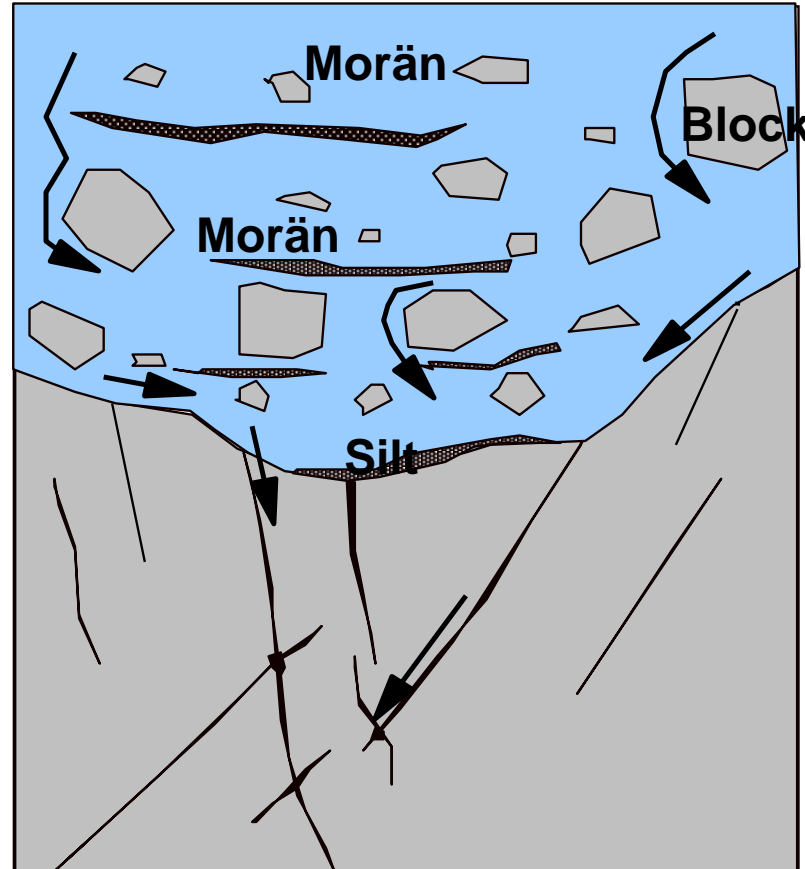
Föroreningsspredning

Bergborrade brunnar vanligast (>1 milj), dock mest energibrunnar utan uttag

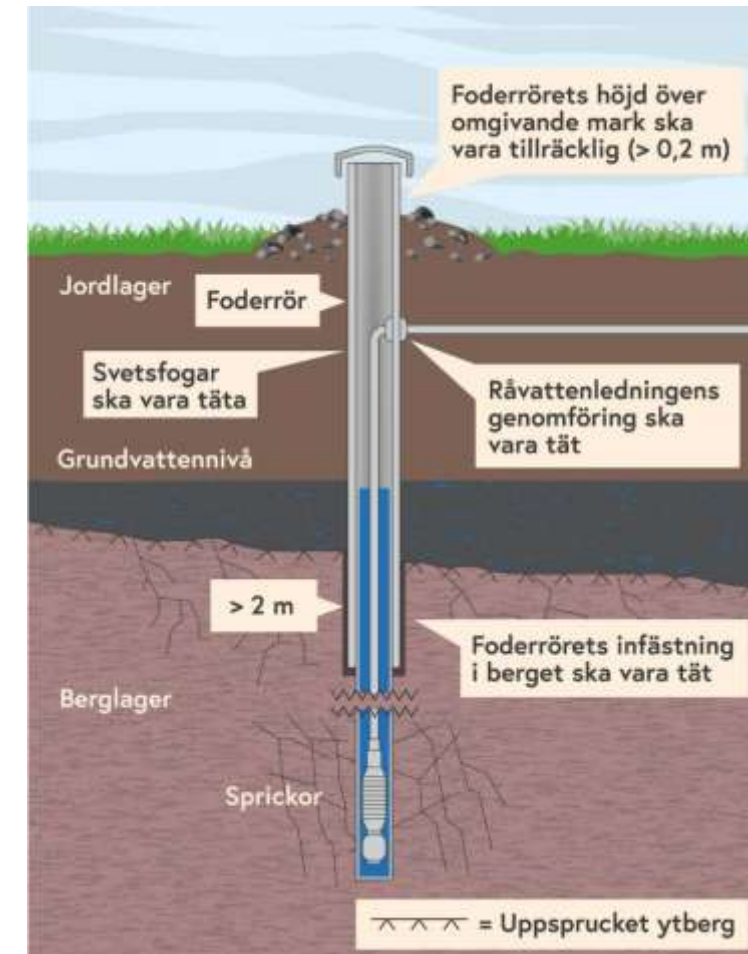
Vattenflöde från sandjord till berg



Vattenflöde från morän till berg



NORMBRUNN 16



(Livsmedelsverket 2022)

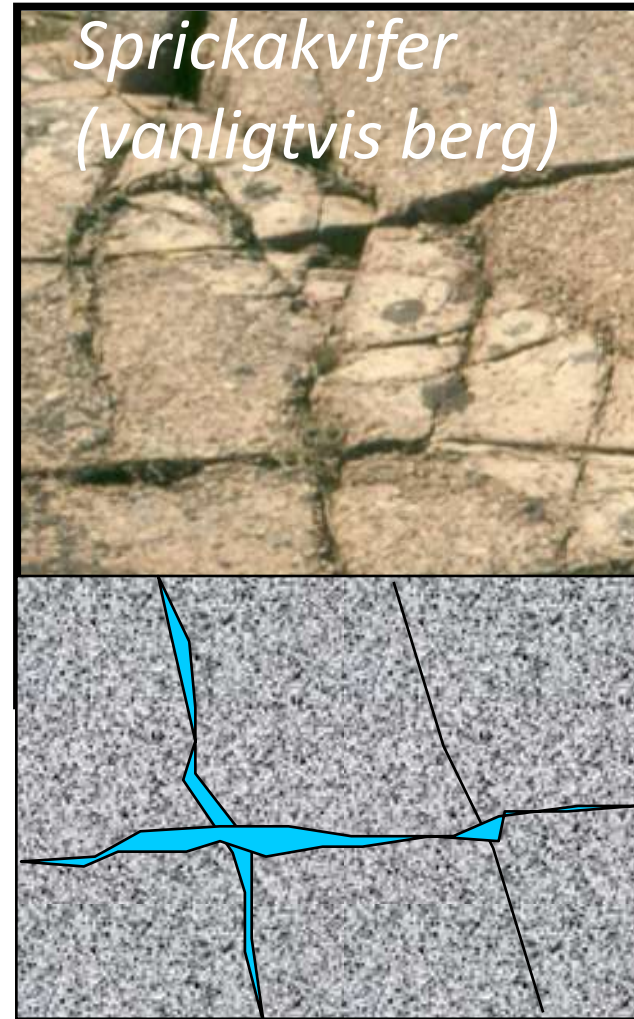
Risken för föroreningsspredning från jord till berg beror på:

- jordlagrens sammansättning och dess heterogenitet
- berggrundens spricksystem och sprickornas orientering
- kontaktzonen mellan jord och berg

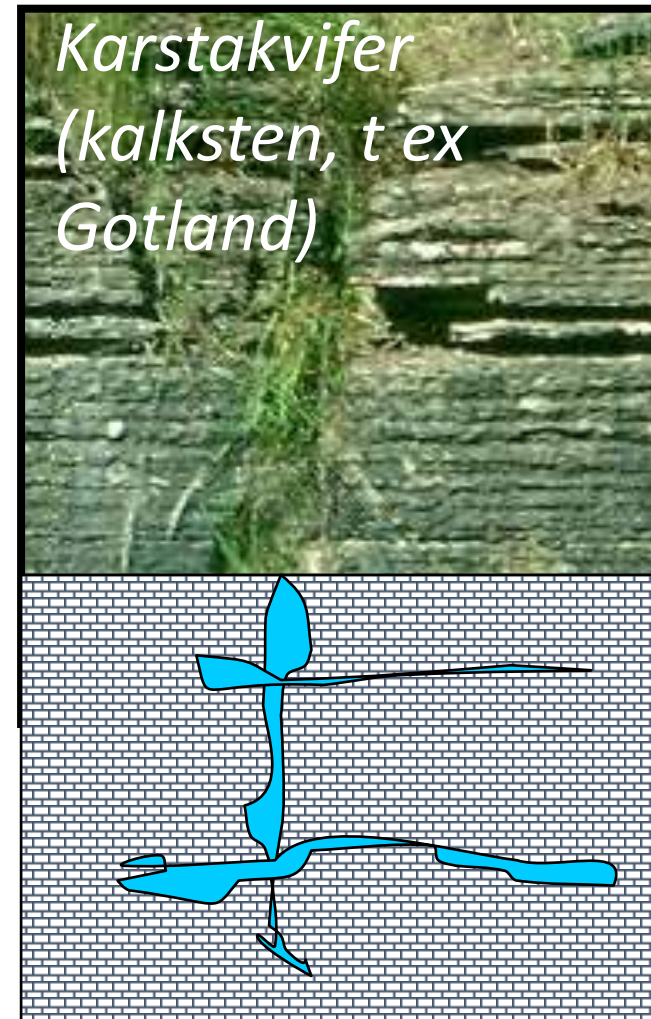
Akviferstyper



Darcys lag kan ofta användas



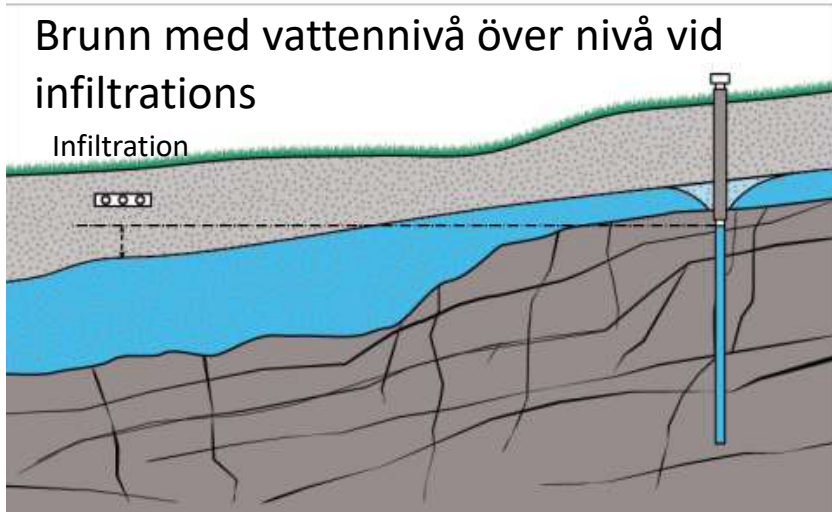
Sprickorientering måste beaktas
(snabb transport i sprickor)



Mycket svårpredikterat (ofta
mycket snabb transport)

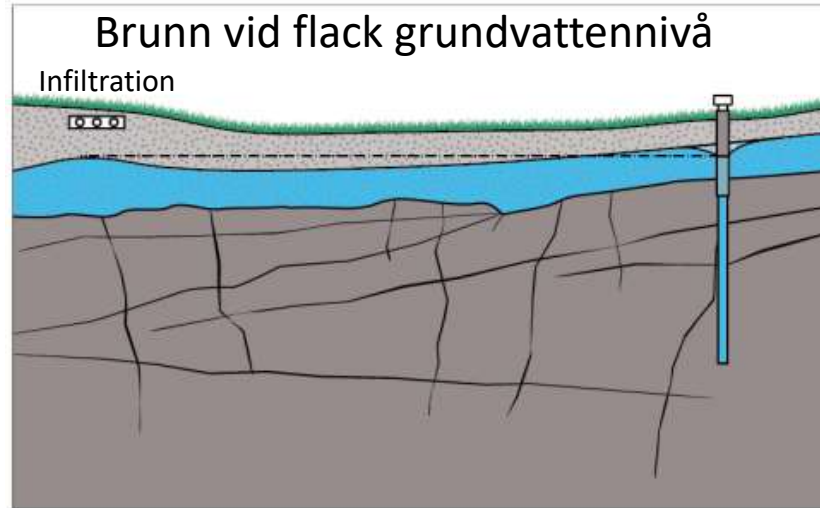
Föroreningsspredning

Brunn med vattennivå över nivå vid infiltrations



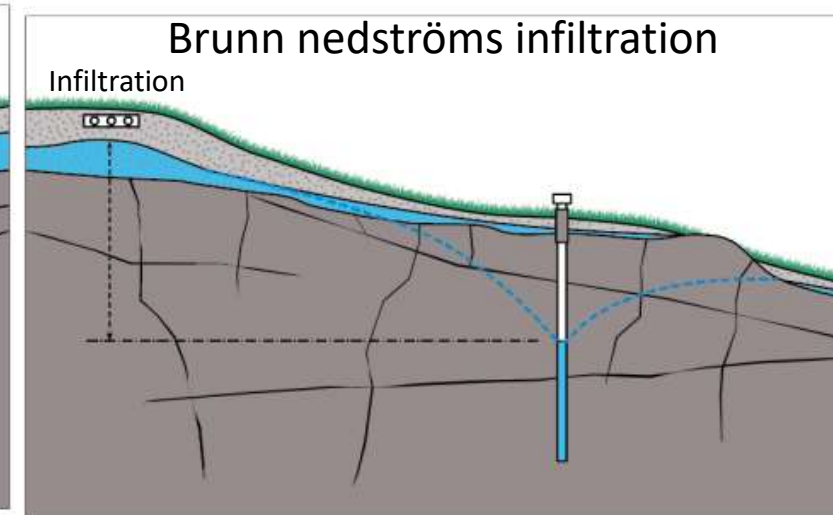
30-40 m

Brunn vid flack grundvattennivå



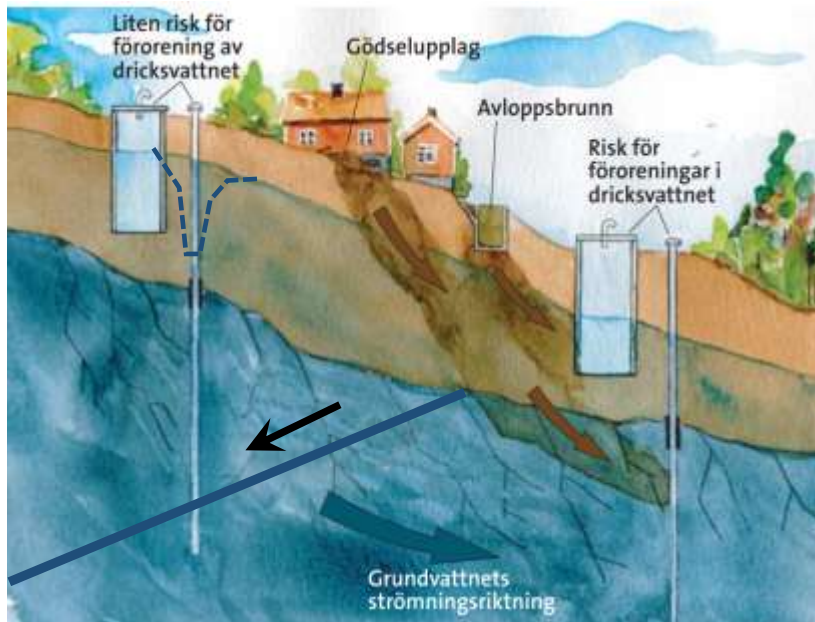
40-60 m

Brunn nedströms infiltration



80-100 m

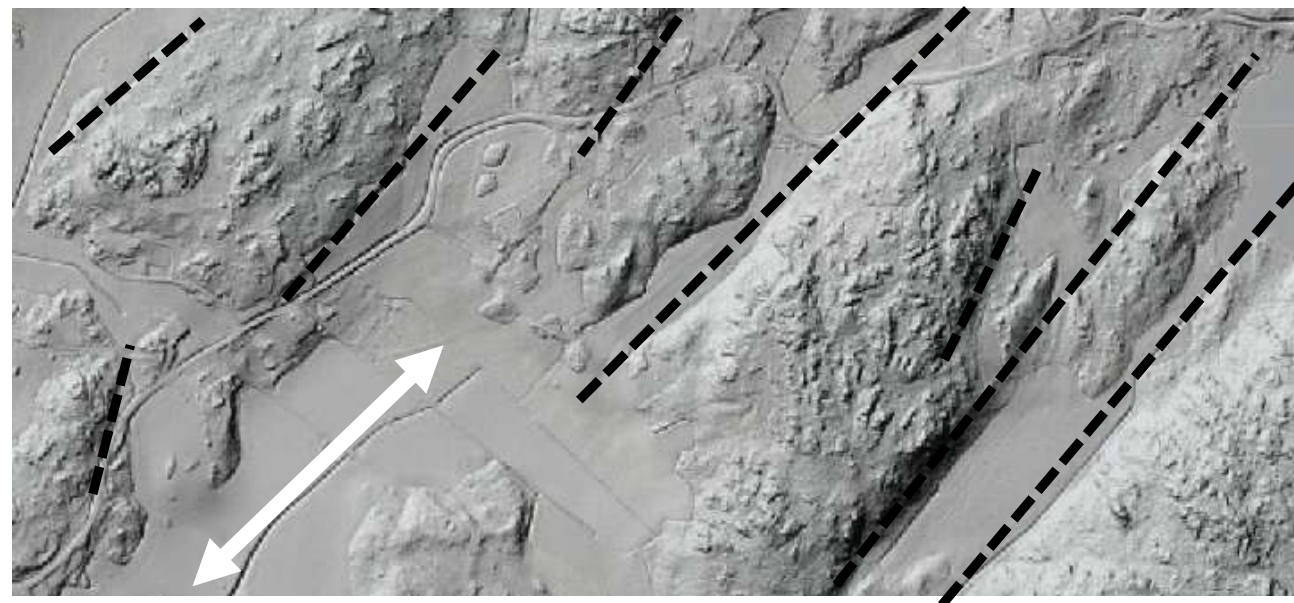
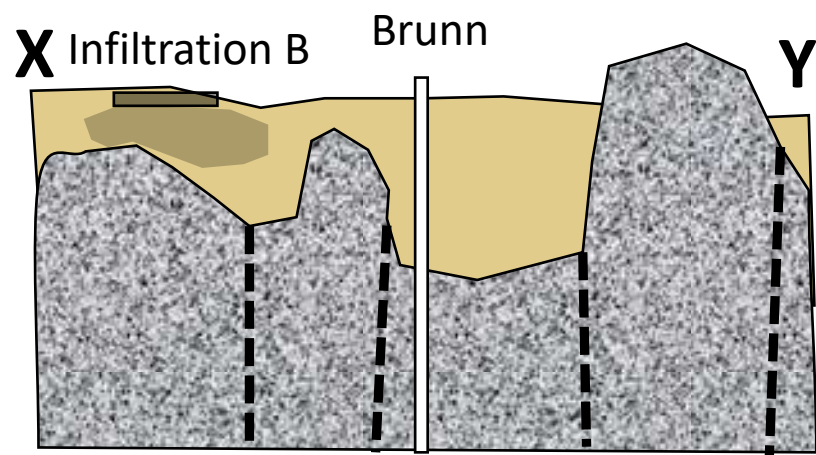
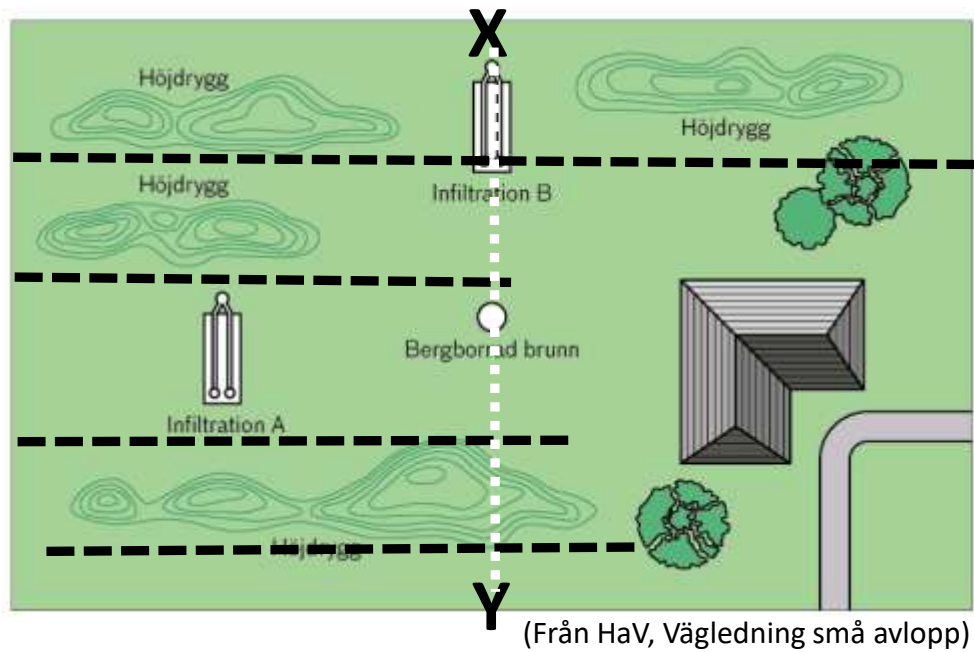
(Hav, Vägledning små avlopp)



(SGU 2016)

Viktigt således att ta hänsyn till brunnen vattennivå i förhållande till grundvattennivån vid infiltrationsanläggningen samt eventuella vattenledande strukturer i berget

Föroreningsspredning



Föroreningsspredning

Exempel på hur sprickzon kan se ut

<3 sprickor/m

>10 sprickor/m

<3 sprickor/m

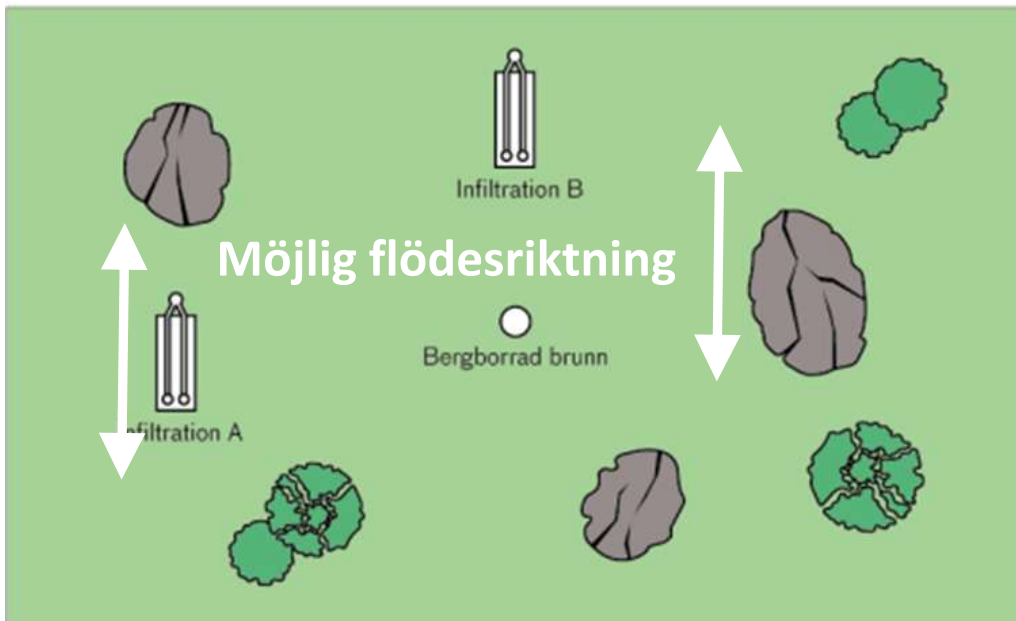


1 m



Brunnar får i regel vatten från lutande eller flacka zoner

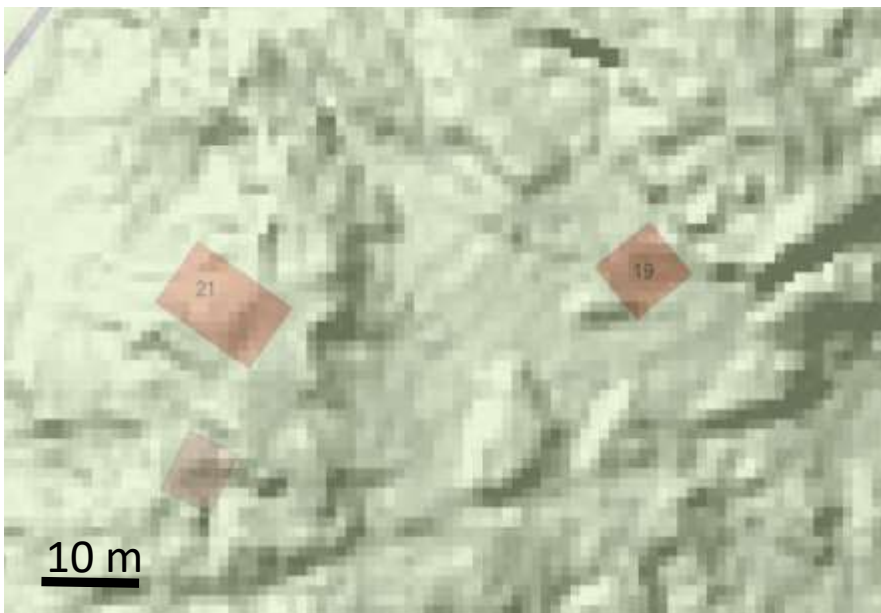
Föroreningsspredning



(Från HaV, Vägledning små avlopp)

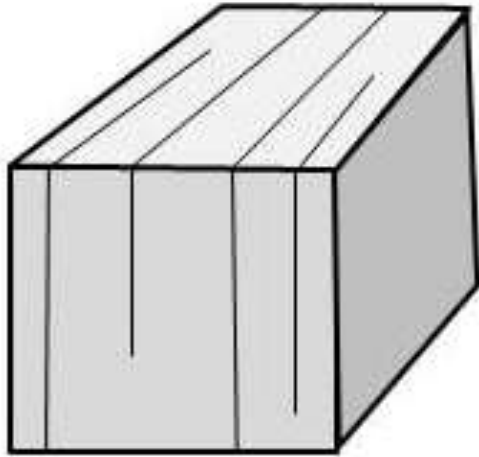


Kan krävas sprickmätningar i fält

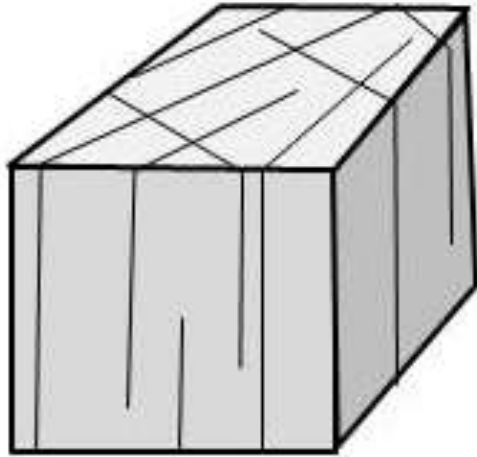


Höjddata räcker oftast inte för lokal sprickbedömning, lokala fältstudier krävs

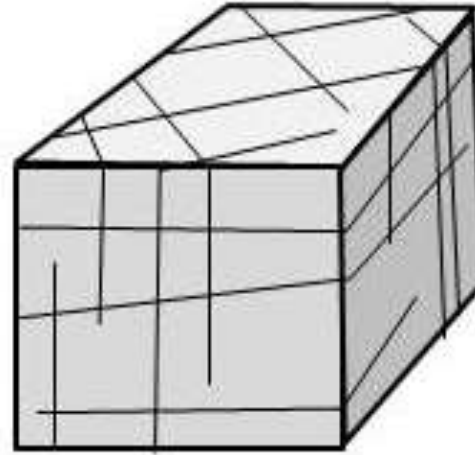
Föroreningsspridning



Ett sprickset



Två sprickset



Tre sprickset

Ett sprickset innebär strömning i en riktning, flera sprickset ökar spridningen

Spricktyp är också av stor betydelse (öppna, slutna mm)



Ett sprickriktning



2-3 ortogonala sprickriktningar



Flera sprickriktningar

SLUTORD

Vid anläggande och tillsyn av infiltrationsanläggningar är det av stor betydelse:

- Fastställa sannolik strömningsriktning
- Bedöma grundvattennivåns djup och lutning
- Bedöma jord-materialets genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet)
- Bedöma akvifärens storlek, strömningsporositet
- Bedöma recipientens typ, läge och känslighet
- Det krävs nästan alltid någon form av fältstudie och en hydrogeologisk grundsyn

Tack!

