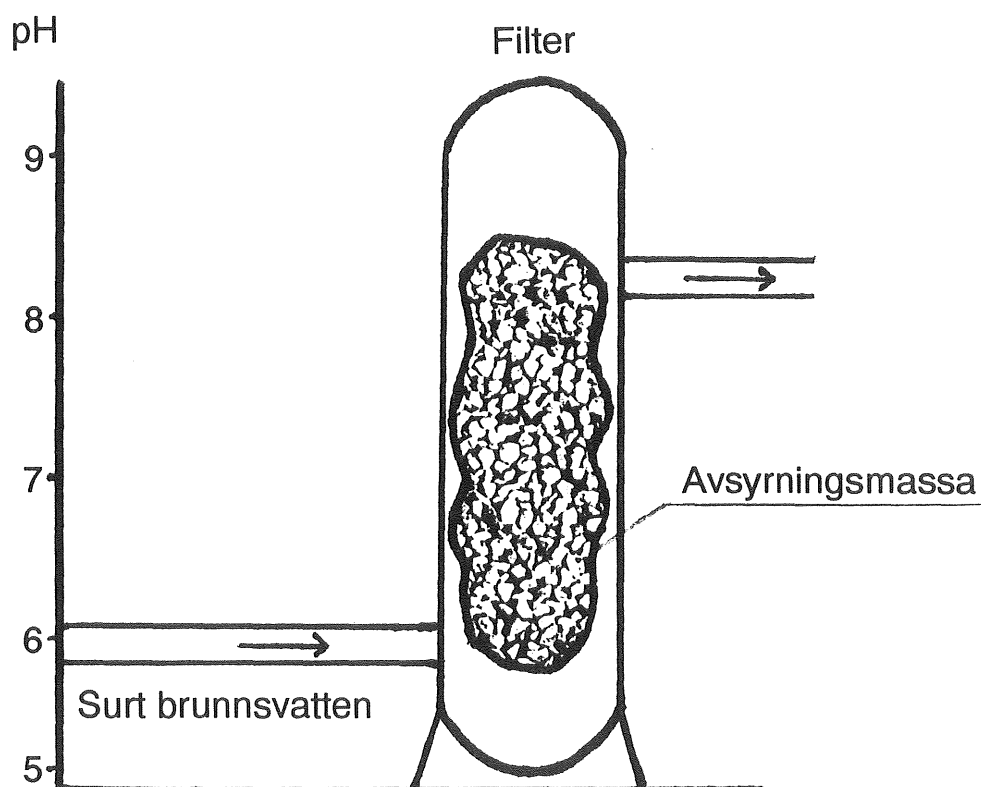


Filtermassor för avsyrring

- en undersökning av dess egenskaper
för behandling av sura brunnsvatten



Gittan Horkeby



Institutionen för
vattenförsörjnings- och avloppsteknik

Adress:

Institutionen för VA-teknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg

ISSN 0280-4034

Nyckelord: avsyring, brunsvatten, kalkstensmassa, halvbränd dolomit, pH-höjning

Filtermassor för avsyring - en undersökning av dess egenskaper för behandling av sura brunsvatten

Gittan Horkeby

FÖRORD

Föreliggande arbete omfattar en undersökning av filtermassor, som används för att höja pH-värdet på sura vatten i enskilda vattentäkter. Avsikten med arbetet har varit att avgöra massornas förmåga att höja pH-värdet på sura vatten vid standardiserade betingelser. Resultaten har jämförts med resultat hämtade från internationell litteratur.

Projektet har genomförts vid institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Chalmers tekniska högskola, och försöksstationen vid Göteborgs vattenreningsverk, Lackarebäckverket i Mölndal.

Undersökningen ingår som ett delprojekt i projektet "Åtgärder mot försurat brunnsvatten", som leds av Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) i samarbete med Statens Livsmedelsverk (SLV) och finansieras av Miljö- och Energidepartementet.

Göteborg i april 1992

Gittan Horkeby

REFERAT

Den pågående försurningen av miljön har medfört, att grundvattnet på många håll blivit surt. Detta orsakar problem med korrosion på utrustning vid enskilda vattentäkter. För att motverka detta kan vattnet behandlas i filterenheter med avsyrningsmassor, som reagerar med vattnet, vars pH-värde, alkalinitet och hårdhet därmed höjs.

Vid institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Chalmers tekniska högskola, har olika avsyrningsmassor av typ kalksten, CaCO_3 , respektive halvbränd dolomit, CaCO_3MgO , med varierande kornstorlek undersökts i försöksfilter. Vid försöken har dessutom filterbäddhöjd, vattnets sammansättning och flödes hastighet varierats. Litteraturgenomgång har genomförts på tidigare internationella undersökningar inom området.

Resultaten visar att kalkstensmassa är lämplig att använda vid mycket mjuka vatten med relativt låg halt kolsyra. Vid hårdare vatten med högre halt kolsyra är det lämpligt att använda halvbränd dolomitmassa. Halvbränd dolomit höjer pH-värdet snabbare och till ett högre värde än kalksten. Det är därför nödvändigt med kontinuerligt flöde i filtret för att inte uppehållstiden ska bli lång och därmed pH-värdet oacceptabelt högt. Önskvärt pH-värde för att minska korrosion är 7.5-9. Nya halvbrända dolomitmassor ger ett mycket högt pH-värde på vattnet. Efter en tids användning minskar detta något. Inverkan av massornas kornstorlek är tydligast för kalkstensmassor, där ökad kornstorlek kräver ökad uppehållstid.

ABSTRACT

Private water-supply wells, fed by acid groundwater, commonly have problems with corrosion of household connections. To mitigate these problems the water can be treated in filter units containing calcareous materials. After reaction with these materials, pH, alkalinity and total hardness increase.

At the Department of Sanitary Engineering, Chalmers University of Technology, filter materials for neutralisation have been investigated. The materials were crushed limestone (CaCO_3) and semicalcinated dolomite (CaCO_3MgO). During the examination; particle size, depth of contact, water quality and fluid velocity have been varied. A literature review has been carried out.

The results show that limestone is suitable for treating very soft waters with a relatively low concentration of carbon dioxide. When treating medium hard water with a relatively high concentration of carbon dioxide, a semicalcinated, dolomitic filter material is recommended. When this mineral is used the pH of the filtered water will reach a higher pH in a shorter reaction time than when treated with limestone. It is therefore necessary to have a continuous flow through the bed to limit the retention time and a high pH-value. The desired pH-value for a treated water, to minimize corrosion problems, is 7.5-9. Fresh semicalcinated, dolomitic materials, will result in a very high initial pH-value on the filtered water which decreases after some weeks of use. The effect of different particle size of the filter material is most obvious for limestone where an increasing particle size requires an increasing reaction time.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	SIDA
FÖRORD	i
REFERAT	iii
ABSTRACT	v
INNEHÅLL	vii
1. SAMMANFATTNING	1
2. INLEDNING	5
3. BAKGRUND	7
3.1 Försurning och korrosion	7
3.2 Kemiska jämviktsreaktioner i vatten	8
3.3 Kalkkolsyrajämvikt och avsyrrning - historik	10
4. NEUTRALISATIONSMETODER FÖR SURA VATTEN	15
4.1 Luftning	15
4.2 Behandling med kemikalier	15
4.3 Behandling med kalksten	16
4.4 Behandling med halvbränd dolomit	16
5. AVSYRNINGSMASSOR	17
5.1 Kalkstensmassor	17
5.1.1 Sammansättning och utseende för några vanliga kalkstensmassor	17
5.1.2 Funktion och egenskaper hos kalkstensmassor	18
5.2 Dolomitmassor	19
5.2.1 Sammansättning och utseende för några vanliga halvbrända dolomitmassor	19
5.2.2 Funktion och egenskaper hos halvbrända dolomitmassor	20
6. LITTERATURSAMMANFATTNING	23
6.1 Upplösning av kalksten i sura vatten	23
6.2 Upplösning av dolomit i sura vatten	29
6.3 Upplösning av halvbränd dolomit i sura vatten	31
6.4 Avsyrrning av vatten med olika filtermaterial och anläggningstyper	32
7. UNDERSÖKNINGENS SYFTE OCH UTFÖRANDE	47
7.1 Val av massor	47
7.2 Försöksanläggning	47
7.3 Filterdimensionering	48

7.4	Undersökta vattentyper	49
7.5	Provtagning och analys	49
7.6	Spolning av filterbädden	50
8.	RESULTAT	51
8.1	Massornas kornstorlek och kornform	51
8.2	Råvattensammansättning	52
8.3	Filtrerat vatten	52
8.3.1	Höjning av pH-värde	53
8.3.2	Hårdhetshöjning	58
8.3.2.1	Filtrering genom kalksten	58
8.3.2.2	Filtrering genom halvbränd dolomit	59
8.3.3	Alkalinitetshöjning	61
8.4	Filterspolning	63
8.5	Jämförelse med firmafilter	64
9.	JÄMFÖRELSE MED TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR	65
9.1	Jämförelse med beräkningsmodell enligt Letterman	65
9.2	Jämförelse med beräkningsmodell enligt Baldauf	66
9.3	Jämförelse med beräkning utgående från produktinformation	66
10.	SLUTSATSER	67
10.1	Avsyring med kalkstensmassor	67
10.2	Avsyring med halvbrända dolomitmassor	67
11.	FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER	69
12.	SYMBOLFÖRTECKNING	71
13.	REFERENSER	73
	BILAGOR	Nr
	Produktinformation	1-8
	Siktkurvor	9
	Foto på massor	10
	Avsyrningskurvor	11
	Omräkningstabell	12

1. SAMMANFATTNING

Många enskilda brunnar i Sverige har surt vatten. Detta orsakar problem med korrosion på utrustning vid enskilda vattentäkter. För att höja pH och förhindra korrosion används olika typer av filter, som består av en bädd med avsyrningsmassa, vilken reagerar med vattnet, vars pH-värde, alkalinitet och hårdhet höjs.

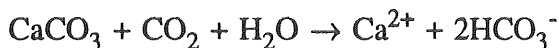
I litteraturen anges något varierande uppgifter på vilken sammansättning ett vatten bör ha för att minska risken för korrosionsangrepp. Vattensammansättningen är också beroende av vilket ledningsmaterial som är aktuellt. Enligt Lind-Johansson (1989) är en lämplig vattensammansättning vid kombination av koppar-järnledningar enligt nedan:

pH	8-8.5
TIC	>60 mg HCO ₃ ⁻ /l (TIC = Total inorganic carbon, Totalt oorganiskt kol)
Kalcium	15-30 mg Ca ²⁺ /l

Enligt SLV (Statens Livsmedelsverk) bör ur korrosionssynpunkt vattnets pH-värde vara 7.5-9.

Två olika huvudtyper av avsyrningsmassor finns för behandling av sura brunnsvatten. Dessa är kalkstensmassor och halvbrända dolomitmassor. Varje massatyp representeras på marknaden av några olika massor med skiftande ursprung, varierande kemisk sammansättning, struktur och kornstorlek.

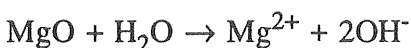
Kalkstensmassor består till största delen av kalciumkarbonat, CaCO₃, (~ 99 %). Koldioxid i vattnet reagerar med kalciumkarbonat enligt:



Reaktionen går mot kalk-kolsyrajämvikt, då kalciumkarbonat varken löses upp eller fälls ut. Relativt lång kontakttid mellan vatten och kalksten krävs, eftersom reaktionen går långsamt. Reaktionshastigheten avtar också då reaktionen går mot jämvikt.

Halvbrända dolomitmassor framställs genom delförbränning av mineralet dolomit, CaCO₃MgCO₃. Vid förbränningen bortgår CO₂ och den halvbrända dolomiten har sammansättningen CaCO₃MgO. Halten MgO ligger vanligen på 20-30 % för halvbrända dolomitmassor. Syntetiska halvbrända dolomitmassor framställs genom totalförbränning av en dolomitbergart med efterföljande hydrering, granulering och rekarbonisering.

Halvbrända dolomitmassor höjer snabbt pH-värdet i ett vatten. Detta beror på att magnesiumoxiden är löslig och reagerar enligt nedan:



Vattnets pH-värde kan därvid höjas till 10-11. Vid närvaro av koldioxid sker följdreaktionen OH⁻ + CO₂ → HCO₃⁻.

Om all CO_2 förbrukas, kommer även HCO_3^- att reagera med OH^- enligt:



Vid närvaro av kalcium kan kalciumkarbonat fällas ut och orsaka sammankittning av massan.

Efter en tids användning av en halvbränd dolomitmassa erhålls ett lägre pH-värde på det filtrerade vattnet än om massan är ny. Detta p g a att andelen magnesiumoxid i massan minskar och kalciumkarbonat börjar lösas upp och bidrager till avsyningen.

I litteraturen finns redovisat ett flertal undersökningar på upplösning av kalksten i sura vatten.

Plummer et al (1972) har studerat upplösningskinetiken för kalkstensbergarten kalcit i CO_2 -haltigt vatten. De visar att upplösningshastigheten av kalcit vid låga pH-värden, <5 , är en funktion av H^+ -koncentrationen, medan vid högre pH-värden, CO_2 -halten har större betydelse.

Plummer et al har kommit fram till följande hastighetsreaktion:

$$R = k_1\{\text{H}^+\} + k_2\{\text{H}_2\text{CO}_3\} + k_3\{\text{H}_2\text{O}\} - k_4\{\text{Ca}^{2+}\}\{\text{HCO}_3^-\}$$

k_1 - k_3 är temperaturberoende konstanter.

k_4 är en funktion av temperatur och $\log P_{\text{CO}_2}$

{ } = aktiviteten för ämnet

Även upplösning av halvbränd dolomit har studerats och redovisats i litteraturen.

Enligt Reijnen (1976) kan den totala avsyrningshastigheten med halvbränd dolomit tecknas enligt:

$$-d[\text{CO}_2]/dt = k_1[\text{CO}_3^{2-}][\text{CO}_2] - k_2[\text{HCO}_3^-]^2 + k_3[\text{OH}^-][\text{CO}_2]$$

där k_1 - k_3 är reaktionshastighetskonstanter för tillhörande jämviktsreaktioner.

[] = koncentrationen för ämnet, mol/l.

I föreliggande arbete har några olika kalkstens- respektive halvbrända dolomitmassor studerats med avseende på dess förmåga att höja olika sura vattens pH-värde vid varierande uppehållstid och kornstorlek. De kalkstensmassor som undersöktes var Aqua Ring, Filterkarb., Hydrokarbonat och Hydrolit-Ca. Undersökta halvbrända dolomitmassor var Magno-dol, Redolit och Akdolit-gran.

Massorna studerades i plexiglaskolonner med en inre diameter på 6 cm och höjden 2 m. Bäddhöjden varierade mellan 40 och 120 cm. Vattnet som filtrerades passerade filtret nedströms. Hastigheten genom kolonnen varierade mellan 5 och 20 m/h. Vid försöken studerades vatten med olika sammansättning. Det ena var ett mycket mjukt

vatten med en totalhårdhet på 13 mg Ca^{2+} /l och alkalinitet ~ 7 mg HCO_3^- /l. Det andra vattnet var något hårdare, totalhårdhet ~ 30 mg Ca^{2+} /l och hade högre alkalinitet, ~ 35 mg HCO_3^- /l. Båda vattentyperna hade ett pH-värde på ~ 6.5 . Undersökningen visar att erhållet pH-värde på filtrerat vatten varierar med typ av massa, kornstorlek, råvattensammansättning, uppehållstid och massans ålder. Upphållstiden beräknades som skenbar uppehållstid, d v s total bäddvolym/flöde. Vid filtrering av det mjuka vattnet genom en kalkstensmassa med kornstorlek på 1-2 mm erhöles efter ca 5 minuters uppehållstid ett pH-värde på ~ 8.6 i det filtrerade vattnet. Vid filtrering av det något hårdare vattnet erhöles för samma massatyp ett pH på 7.6 efter ca 10 min. uppehållstid.

Vid filtrering genom halvbränd dolomit är inte jämvikts-pH begränsande för pH-värdet på det filtrerade vattnet. Ett pH-värde på ~ 9 erhöles redan vid 1-2 minuters uppehållstid i filtret. Vid filtrering av det hårdare vattnet erhöles pH 9 vid något längre uppehållstid i filtret. Undersökningen visar att vid filtrering av det hårdare vattnet genom halvbränd dolomit minskar kalciumhalten i det filtrerade vattnet när pH-värdet stiger över ~ 8 . Detta tyder på att kalciumkarbonat fälls ut. Höjning av vattnets totalhårdhet beror alltså enbart på ökning av magnesiumhalten vid filtrering genom halvbränd dolomit. Vid filtrering genom kalksten är det däremot endast kalciumhalten som höjs.

Resultat från föreliggande undersökning har också jämförts med resultat från beräkningsmodeller enligt Letterman (1991) respektive Baldauf (1991). Med modell enligt Letterman beräknas erforderlig filterbäddhöjd för avsyring av ett vatten med kalkstensmassa. Resultaten visar att vid given bäddhöjd erhöles enligt Letterman ett pH-värde som var 0.3-0.5 enheter högre än vid föreliggande undersökning. Enligt Baldaufs modell beräknas skenbar uppehållstid för minskning av aggressiv kolsyra i ett vatten vid filtrering genom kalksten. Överensstämmelsen är relativt god jämfört med försök från föreliggande rapport.

2. INLEDNING

Många enskilda brunnar i Sverige har ett surt eller försurat vatten. Detta medför att problem uppstår vid användningen av vattnet. Problemen kan vara av både hälso-mässig och teknisk art. Höga kopparhalter, höga aluminiumhalter, pittingangrepp på rör och vattenskador är problem som kan nämnas. För att höja pH och förhindra korrosion används olika typer av filter, som består av en bädd med avsyrningsmassa, vilken reagerar med vattnet. För att dessa filter skall fungera är det väsentligt att ha information om olika massors förmåga att vid olika uppehållstider och hydrauliska betingelser höja ett vattens pH-värde.

Syftet med föreliggande arbete har varit att undersöka de på marknaden vanligast förekommande avsyrningsmassornas förmåga att höja pH-värdet i sura vatten så att det blir mellan 7,5 och 9. Dessutom är det av stort intresse att jämföra resultat från undersökningar och anläggningar internationellt, varför en litteraturgenomgång genomförts.

3. BAKGRUND

3.1 Försurning och korrosion

Den pågående försurningen av miljön har påverkat sjöar och vattendrag samt grundvattnet. Man kan skilja på två orsaker till försurning av grundvatten, dels den naturliga och dels den på grund av yttre miljöpåverkan. Den naturliga försurningen orsakas av en ökning av CO₂-halten vid nedbrytning av organiskt material. Om berggrunden är kalkfattig får vattnet låg vätekarbonathalt, vilket ger låg buffertkapacitet och vattnets pH-värde sjunker.

Den yttre miljöpåverkan i form av svavel- och kvävedeposition sänker alkaliniteten och pH-värdet, samt höjer sulfathalten i grundvattnet. Svavel- och kvävedepositionen medför starkare syror än kolsyra, vilket i sin tur medför att försurningen ökar även ner i djupare marklager och till lägre pH-värden. Detta medför att andra buffertsystem än karbonat aktiveras i marken, vilket är den bidragande orsaken till att aluminiumhalten i vattnet ökar. Tabell 1 visar pH-värdet för olika buffertsystem enligt Nilgård och Popovic (1984) och Lekander (1991).

Tabell 1. Dominerande buffertsystem i jord vid olika pH-värden (Lekander 1991)

pH 6,2 - 8,6 (neutralt)	Karbonatbuffringsområde
$\text{CaCO}_3 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{Ca}^{2+}$	
pH 5,0 - 6,2 (svagt surt)	Silikatbuffringsområde
$(\text{Me-SiO}_4)_n + 2n \text{H}^+ \rightarrow (\text{SiO}_2)_n + n \text{H}_2\text{O} + \text{Me}^{2+}$	
pH 4,2 - 5,0 (måttligt surt)	Katjonbyte
$\text{Kolloid-Me} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Kolloid-H} + \text{Me}^+$	
pH 3,0 - 4,2 (starkt surt)	Aluminiumbuffringsområde
$\text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+ \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O}$	
pH < 3,0 (extremt surt)	Järnbuffringsområde
$\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O}$	

Det låga pH-värdet orsakar dessutom problem i privata vattentäkter i form av korrosion på utrustning. Korrosion av koppar har visat sig vara störst vid $\text{pH} < 6$ och $\text{pH} > 11$ (Lind-Johansson 1989, Mattsson & Fredriksson 1968). Man kan skilja på allmän och lokal korrosion.

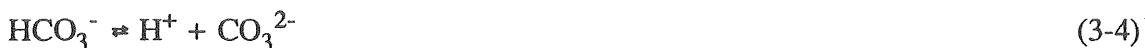
Den allmänna korrosionen som angriper hela ytan är mest negativ ur hälsomässig synpunkt, eftersom den medför en förhöjd kopparhalt i vattnet. Små barn kan få ont i magen och diaréer som t o m kan orsaka dödsfall p g a för hög kopparkoncentration i vattnet. Andra problem av estetisk art är att blonda personer kan få grönaktigt hår efter tvättning och sanitetsporcelain blir grönfärgat av kopparhaltigt vatten (Mattsson 1987, Vårt dricksvatten 1990).

Den lokala korrosionen orsakar däremot ofta skador av teknisk art, såsom läckage och förstörda varmvattenberedare, vilket i sin tur kan orsaka kostsamma vattenskadorna.

Järnkorrosionen ökar vid både höga och låga pH-värden, varför neutralt pH är bäst för att minska korrosionen (Lind-Johansson 1989). Utlösning av järn från installationer kan även medföra estetiska problem i form av missfärgad tvätt och sanitetsporcelain (Vårt dricksvatten 1990).

3.2 Kemiska jämviktsreaktioner i vatten

För vatten i jämvikt med luftens koldioxid gäller följande kemiska jämviktsreaktioner (Stumm och Morgan 1981):



med tillhörande jämviktsekvationer:

$$K_H = \frac{[\text{CO}_2\text{aq}]}{P_{\text{CO}_2}} \quad (3-5)$$

där

$$[\text{CO}_2\text{aq}] = [\text{CO}_2\text{aq}] + [\text{H}_2\text{CO}_3] \text{ mol/l} \quad (3-6)$$

K_H = Henrys konstant

P_{CO_2} = partialtrycket för CO_2 i gasfasen

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \quad \text{mol/l} \quad (3-7)$$

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad \text{mol/l} \quad (3-8)$$

[] = koncentration av ämnet i mol/l

K_1 = Kolsyrans första syrakonstant

K_2 = Kolsyrans andra syrakonstant

Plummer och Busenberg (1982) har studerat CO_2 - H_2O -system och nya empiriska värden på K_H , K_1 och K_2 har erhållits.

$$\log K_H = 108.3865 + 0.01985076T - \frac{6919.53}{T} - 40.45154 \log T + \frac{669365}{T^2} \quad (3-9)$$

$$\log K_1 = -356.3094 - 0.06091964 T + \frac{21834.37}{T} + 126.8339 \log T - \frac{1684915}{T^2} \quad (3-10)$$

$$\log K_2 = -107.8871 - 0.03252849 T + \frac{5151.79}{T} + 38.92561 \log T - \frac{563713.9}{T^2} \quad (3-11)$$

som gäller upp till 250°C.

T = temperatur i K.

Lösligheten av kalciumkarbonat har också stor betydelse för vattnets sammansättning. För jämviktsreaktionen



gäller jämviktsekvationen

$$K_s = [Ca^{2+}][CO_3^{2-}] \quad (3-13)$$

Plummer och Busenberg (1982) har studerat upplösning av kalцит i vatten och angivit ett värde på löslighetsprodukten, K_s , som funktion av temperaturen.

$$\log K_s = -171.9065 - 0.077993T + \frac{2839.319}{T} + 71.595 \log T \quad (3-14)$$

som gäller upp till 90°C.

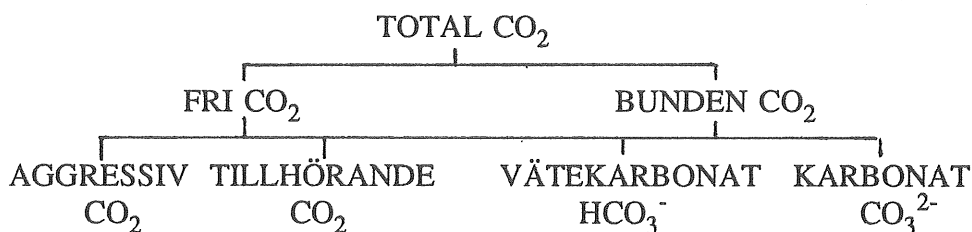
I tabell 2 anges värden på jämviktskonstanterna beräknade vid olika temperaturer enligt Plummer och Busenberg (1982).

Tabell 2 Jämviktskonstanter för karbonatsystemet (Drever 1988)

T (°C)	pK_{CO_2}	pK_1	pK_2	pK_{cal}
0	1.11	6.58	10.63	8.38
5	1.19	6.52	10.55	8.39
10	1.27	6.46	10.49	8.41
15	1.34	6.42	10.43	8.43
20	1.41	6.38	10.38	8.45
25	1.47	6.35	10.33	8.48
30	1.52	6.33	10.29	8.51
45	1.67	6.29	10.20	8.62
60	1.78	6.29	10.14	8.76
80	1.90	6.34	10.13	8.99
90	1.94	6.38	10.14	9.12

3.3 Kalkkolsyrjämvikt och avsyrring - historik

Redan i början av 1900-talet framlade Tillmans et al (1927) en teori om sambandet mellan olika kolsyraformer i ett vatten och vad detta har för betydelse ur korrosions-synpunkt på järnledningar. Figur 1 visar de olika former av kolsyra som förekommer i vatten (Tillmans 1912).

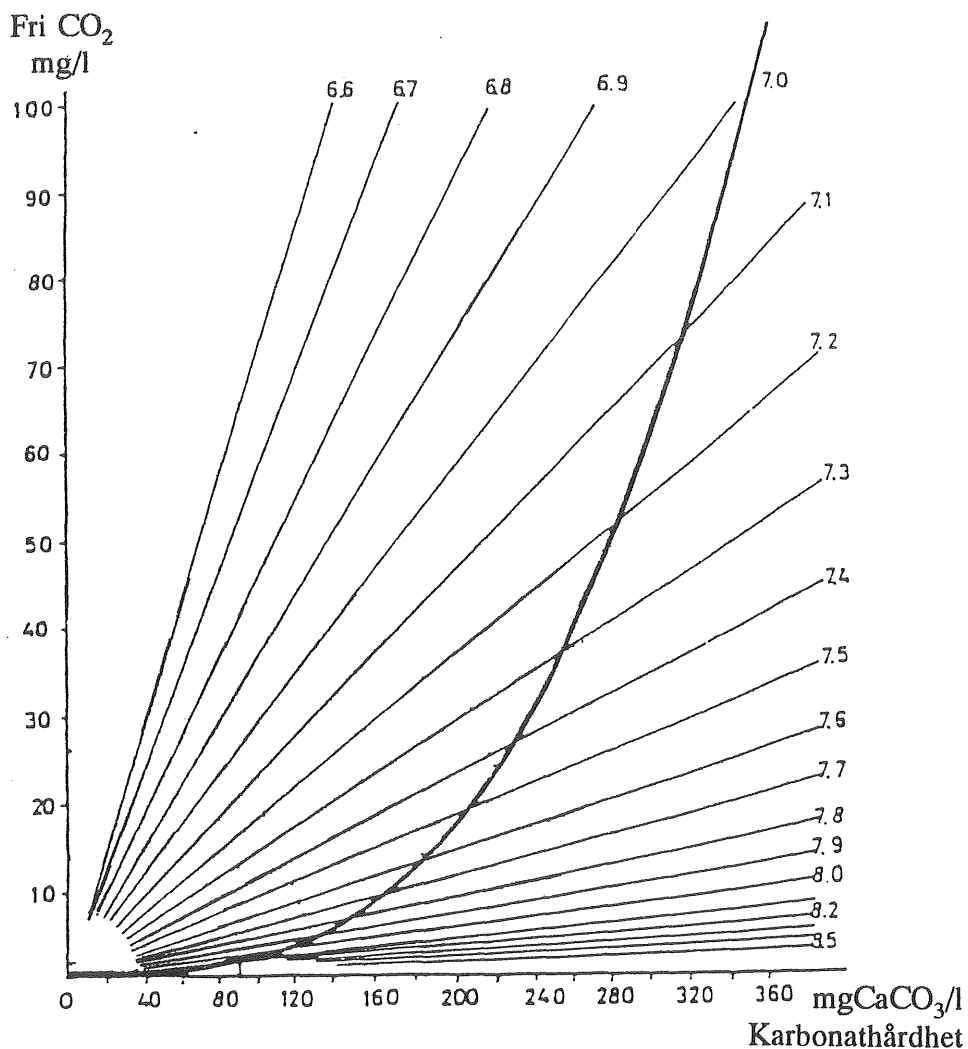


Figur 1. Kolsyraformer i vatten

Bunden CO_2 är den mängd kolsyra som föreligger som CO_3^{2-} och HCO_3^- . Total fri CO_2 delas upp i två olika former, tillhörande CO_2 och aggressiv CO_2 . Tillhörande CO_2 är den mängd som fordras för att lösa en viss given mängd CaCO_3 enligt reaktionen:



Om det förekommer ett överskott av CO_2 benämnes denna aggressiv kolsyra. Jämvikten mellan kalciumkarbonat och kolsyra har undersökts experimentellt av Tillmans (1912) och åskådliggörs i ett diagram under beteckningen Tillmans kurva, figur 2.



Figur 2. Tillmans jämviktskurva vid 17°C (efter Tillmans 1912)

I Tillmans teori har man bortsett från vattnets innehåll av karbonatjoner i förhållande till vätekarbonatjoner. Vidare antar Tillmans att koncentrationen av Ca²⁺-joner är ekvivalent med koncentrationen av vätekarbonatjoner. Jämviktskurvan (figur 2) delar upp fri CO₂ i tillhörande CO₂ (alla värden under kurvan) och aggressiv CO₂ (alla värden över kurvan).

Det hävdas att ett vatten med en sammansättning som ligger över jämviktskurvan är aggressivt mot ledningsmaterial, medan vatten med sammansättning under jämviktskurvan har förmågan att bilda ett skyddande CaCO₃-skikt på metallytan (von Harpe 1979). Minskning av aggressiv CO₂ och/eller ökning av karbonathården kan överföra ett vatten till jämvikt och eliminera den aggressiva egenskapen. Vid beräkning av tillhörande CO₂ i ett vatten kan man använda den mer allmänna Tillmanska satsen (von Harpe 1979, Hässelbarth 1963), som lyder:

$$\text{CO}_2\text{tillh} = \frac{K}{f} [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{HCO}_3^-]^2 \quad (3-16)$$

K är en funktion av temperaturen (se tabell 8 kap. 6.4)

f är en funktion av totalhårdheten (se tabell 9 kap. 6.4)

Det har utvecklats flera metoder för att beräkna s k korrosionsindex, som visar om vattnet har förmågan att bilda eller lösa upp kalciumkarbonat. Dessa anger alltså om ett vatten är omättat, mättat eller övermättat med avseende på CaCO_3 . Denna kemiska reaktion är beroende av CO_2^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} -halten och pH-värdet i vattnet. Indexen har ofta använts för att avgöra om vattnet är aggressivt mot olika ledningsmaterial.

Lind-Johansson (1989) ger en sammanställning av index kända från litteraturen. Index enligt Langlier respektive Ryznar är vanliga när det gäller att avgöra om ett vatten har förmågan att bilda ett CaCO_3 -skikt på ledningarna. Dessa används ofta i samband med järnledningar då korrosionen av dessa anses minska när ett CaCO_3 -skikt utvecklas på metallytan. Detta gäller dock inte för kopparrör, där utfälld CaCO_3 i stället kan öka korrosionen (von Franqué et al 1975, Gilbert 1966, Campbell och Turner 1980).

I Langliers index, LI, (Langlier 1936) anges skillnaden mellan vattnets aktuella pH-värde och pH-värdet vid mättnadsjämvikt (pH_s) för en given kalciumkoncentration och alkalinitet i vattnet.

$$\text{LI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (3-17)$$

där pH = vattnets aktuella pH-värde

pH_s = pH-värdet vid mättnadsjämvikt som beräknas enligt nedan:

$$\text{pH}_s = \text{pK}_2 - \text{pK}_s + \text{p} [\text{Ca}^{2+}] + \text{p} [\text{alk}] \quad (3-18)$$

$$[\text{alk}] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \text{ mol/l} \quad (3-19)$$

Ett vatten med $\text{LI} < 0$ är aggressivt i den meningen att det kan lösa mer CaCO_3 medan ett vatten med $\text{LI} > 0$ har förmåga att ge utfällning av CaCO_3 .

Ryznar (1944) utvecklade ett index, RI, som definieras enligt:

$$\text{RI} = 2 \text{pH}_s - \text{pH} \quad (3-20)$$

Ryznar anser att CaCO_3 utgör ett skydd mot korrosion och anger att skyddsskiktetsbildningen minskar och korrosionen ökar när RI stiger över 7.

Milette et al (1980) har tagit fram ett index som gäller för asbestcimentrör. Detta benämns Aggressivitetsindex, AI, och definieras enligt:

$$AI = \text{pH} + \log ([\text{Ca}^{2+}][\text{alk}]) \quad (3-21)$$

$[\text{Ca}^{2+}]$ och $[\text{alk}]$ anges i mg CaCO_3/l

Detta index anger om vattnet löser upp CaCO_3 . Enligt Milette et al är vattnet inte aggressivt mot asbestcimentrör om $AI > 12$. Detta index kan användas som korrosionsindex på betong, cement eller cementbelagda ledningar, vilket ofta förekommer inom kommunala ledningsnät.

Feigenbaum et al (1978) utvecklade ett empiriskt index, Y, där hänsyn tas till påverkan av klorid och sulfat på kalciumkarbonatutfällningen.

$$Y = AH + B([\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}])e^{-0,25H} + C \quad (3-22)$$

$$A = 35 \cdot 10^{-4}$$

$$B = 0.34$$

$$C = 19.0$$

$$H = [\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]^2/[\text{CO}_2]$$

$Y > 500$ liten korrosionsrisk

$Y < 200$ stor korrosionsrisk

$[\text{Cl}^-]$, $[\text{SO}_4^{2-}]$, $[\text{Ca}^{2+}]$, $[\text{CO}_2]$ mg/l

$[\text{HCO}_3^-]$ mg CaCO_3/l

Då ledningsmaterial i fastigheter oftast är koppar krävs andra kriterier på vattensammansättning än de som anges av olika typer av korrosionsindex. Enligt Lind-Johansson (1989) är lämplig vattensammansättning för att minska korrosionen på järn-, koppar- respektive kombinerade järn-kopparledningar enligt tabell 3.

Tabell 3. Rekommenderad vattensammansättning för järn-, koppar- respektive kombinerade järn-kopparledningar (Lind-Johansson 1989)

Parameter	Kopparledning	Järnledning	Komb. koppar- och järnledning
pH	8.5 - 9	6.5 - 8	8 - 8.5
Total halt av karbonatföreningar	< 20 mg HCO_3^-/l	> 60 mg HCO_3^-/l	> 60 mg HCO_3^-/l
Kalcium	< 10 mg Ca^{2+}/l	20-40 mg Ca^{2+}/l	15-30 mg Ca^{2+}/l
Klorid	så lågt som möjligt	så lågt som möjligt	så lågt som möjligt
Sulfat	så lågt som möjligt	så lågt som möjligt	så lågt som möjligt

Korrosion på olika typer av ledningsmaterial har även studerats av van den Hoven och van Eekeren (1988). Undersökta ledningsmaterial var bly, koppar, mässing, asbestcement och järn. Nedan redovisas vattenkvalitetskriterier för att minska korrosionen på koppar respektive järn enligt Hoven och Eekeren.

Koppar

$\text{pH} > 0.38 \cdot \text{TIC} + 1.5[\text{SO}_4^{2-}] + 5.3$; för att inte överskrida 3 mg Cu/l efter 16 timmars stillestånd

$\text{TIC} > 2 \text{ mmol/l}$; för att undvika pittingangrepp

Järn

$\text{pH} > 7.5$

$\text{TIC} > 0.5$

$([\text{Cl}^-] + 2[\text{SO}_4^{2-}])/\text{TIC} < 1$

TIC = Totalt oorganiskt kol mmol/l

$[\text{SO}_4^{2-}]$ = Sulfatkoncentration mmol/l

$[\text{Cl}^-]$ = Kloridkoncentration mmol/l

Gemensamt för samtliga index och rekommendationer för vattensammansättning är att pH-värdet har stor betydelse.

Det råder dock olika uppfattning om hur vätekarbonathalten påverkar kopparkorrosionen. Ytterligare forskning pågår för närvarande inom detta område.

En beräkningsjämförelse av olika index och vattensammansättningsrekommendationer ger något varierande resultat vad avser om ett vatten är aggressivt mot järnrör eller ej. Ett vatten som enligt Langlier inte är aggressivt mot järnrör, kan enligt andra index och rekommendationer vara aggressivt. Detta beror på att kravet på vätekarbonathalt varierar. Feigenbaum tar också hänsyn till halten av Cl^- och SO_4^{2-} i vattnet. Dessa halter inverkar enligt Feigbaums index endast vid mycket mjuka och kolsyra-rika vatten.

4. NEUTRALISATIONSMETODER FÖR SURA VATTEN

Det finns några olika metoder att förändra ett vattens pH-värde:

- luftning
- behandling med kemikalier
- behandling med kalksten
- behandling med halvbränd dolomit

4.1 Luftning

Vid luftning minskas mängden aggressiv kolsyra enligt Henrys lag $[\text{CO}_2\text{aq}] = K_{\text{H}} \cdot P_{\text{CO}_2}$

Önskvärt är att lufta bort så mycket CO_2 från vattnet att man får ett haltförhållande som representeras av jämviktskurvan, enl figur 2. I praktiken kan man dock inte minska halten fri kolsyra längre ner än till 5-10 mg CO_2/l (Hedberg 1984).

4.2 Behandling med kemikalier

Avsyring av vatten kan ske genom dosering med olika kemikalier såsom kalciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), natriumhydroxid (NaOH) eller natriumkarbonat (Na_2CO_3). Vid doseringen används vattenlösning av respektive ämne.

Vid avsyring med $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sker följande bruttoreaktion:



En för hög dosering av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kan emellertid medföra utfällning av CaCO_3 , som i sin tur kan orsaka igensättningsproblem. Kalciumhydroxiddosering kräver därför noggranna analytiska data på vattnet som ska behandlas och noga kontrollerad dosering. Denna metod är därför inte lämplig vid mindre anläggningar, såsom privata vattentäcker.

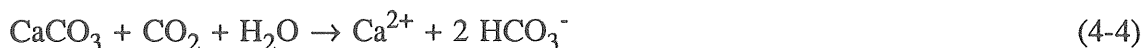
Med natriumhydroxid och natriumkarbonat sker avsyringen enligt de kemiska reaktionerna:



Doseringen av dessa är enklare än kalciumhydroxiddosering, eftersom kalciumhalten i vattnet inte ökar vid avsyringen, varför risken med igensättningsproblem med utfälld CaCO_3 är mycket liten.

4.3 Behandling med kalksten

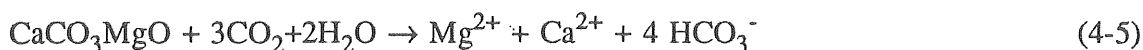
Vid avsyrrning med kalksten, som huvudsakligen är uppbyggt av kalciumkarbonat (se kap. 5.1) erhålls följande reaktion:



Reaktionen går mot kalkkolsyrjämvikt, varför pH-värdet på det behandlade vattnet inte kan bli för högt. Nackdelen med kalksten är att reaktionen går relativt långsamt och ett för lågt pH-värde kan erhållas på det behandlade vattnet, om reaktionstiden är för kort.

4.4 Behandling med halvbränd dolomit

I kolsyrehaltigt vatten reagerar halvbränd dolomit enligt nedan:



Nackdelen vid användning av dolomit är att pH-värdet på vattnet kan höjas för mycket om all CO_2 reagerat och mer MgO löses ut från dolomiten varvid $\text{Mg}(\text{OH})_2$ bildas. Detta medför ett högt pH-värde som i sin tur kan bidra till utfällningar och igensättningar (se kap. 6.3).

5. AVSYRNINGSMASSOR

Två olika huvudtyper av avsyrningsmassor finns för behandling av sura vatten. Dessa är kalkstensmassor och dolomitiska massor av halvbränd typ. Varje massatyp representeras på marknaden av några olika massor med skiftande ursprung, varierande kemisk sammansättning och kornstorlek.

5.1 Kalkstensmassor

Kalkstensmassor består till största delen av kalciumkarbonat, CaCO_3 . Halten CaCO_3 är ofta mer än 99 %. Sammansättningen kan variera något mellan olika massor, beroende på ursprung och bildningssätt. För kalciumkarbonat är vid atmosfärstryck mineralet calcit (kalkspat) den stabila och enda bergartsbildande modifikationen. I naturen förekommer olika typer av kalksten beroende på bildningssätt. Den sedimentära mikrokristallina kalkstenen består ofta av kalcitskal från döda organismer, fossil, sammankittade av kemiskt utfälld karbonat. Den kan också ha bildats genom utfällning av kalciumkarbonat i havsvatten.

En annan typ av sedimentär kalksten är krita, en vit något spröd typ, helt uppbyggd av kalcitskal, så små att de kan ses endast i mikroskop och sammankittade av finkornigt kalciumkarbonat.

Marmor är en typ av kalksten, som hör till de metamorfa bergarterna. Dessa har bildats när sedimentära bergarter utsatts för högt tryck och temperatur. Marmor är alltså en makrokristallin form av kalksten.

5.1.1 Sammansättning och utseende för några vanliga kalkstensmassor

Nedan ges en översiktlig sammanställning av förekommande kalkstensmassor vad avser kemisk sammansättning och kornstorlek, tabell 4. Utförligare beskrivning av massorna erhålls i produktblad för varje enskild massa, bilaga 1-5.

Tabell 4 visar att sammansättningen hos de olika massorna är mycket lika med undantag av Hydrolit-Ca, som innehåller mer MgO än de andra. Denna massa är också porösare och skiljer sig utseendemässigt från de andra massorna.

Tabell 4. Sammansättning och kornstorlek för kalkstensmassor (enligt produktionsformationsblad)
 $(Me_m O_n = \sum Fe_2O_3 + Al_2O_3 + SiO_2)$

Massa	Kornstorlek [mm]	CaCO ₃ %	MgO %	Me _m O _n %	Bilaga
Hydrokarbonat (Weiss, Weissjura-ε)	0.7 - 1.4 1.2 - 1.8 1.8 - 2.5	99.5	0.16	0.18	1
Hydrokarbonat (grau)	0.7 - 1.4 1.2 - 1.8 1.8 - 2.5	99.1	0.4	0.4	1
Hydroлит-Ca	0.5 - 2.5	87	4.9	1.0	2
Filterkarb	0.8 - 1.2 1.2 - 1.8	99.21	0.22	0.4	3
Aqua Ring		99.76	≤0.21	≤0.21	4
Juraperle (Neutralit)	0.5 - 0.7 0.7 - 1.2 1.0 - 1.5 1.0 - 2.0 1.2 - 1.8 1.8 - 2.5 2.5 - 4.0	99.36		0.38	5

5.1.2 Funktion och egenskaper hos kalkstensmassor

Rena kalkstensmassor (CaCO₃ > 99 %) är lämpliga att använda vid avsyring av mycket mjuka vatten med relativt låg halt koldioxid. Kalkstenen reagerar med CO₂ i vattnet enligt nedan (se även kap. 6.1):



Vid avsyring av vatten med hög halt koldioxid kan det vara lämpligt med luftning av vattnet före behandling med kalksten. Luftningen medför minskad förbrukning av kalkstensmassa samt minskad hårdhet på det behandlade vattnet. För vatten som behandlas med kalksten fordras en relativt lång uppehållstid, eftersom reaktionen går långsamt. Reaktionen går mot kalk-kolsyrajämvikt och jämvikts-pH (pH_s). Vid lågbelastning eller driftstopp i anläggningen är det därför ingen risk att pH-värdet på det behandlade vattnet blir för högt. Om däremot uppehållstiden är för kort blir pH-värdet i stället för lågt. Önskvärdt pH ur korrosionssynpunkt är 7.5-9.

Kalkstensmassorna har också en filtrerande effekt på vattnet med avseende på grumlighet, järn och mangan. Mängden järn och mangan i vattnet bör dock inte vara för hög (enligt produktinformation Fe < 0.5 mg/l, Mn < 0,05 mg/l, enligt Reijnen 1979 Fe <0.2-0.3 mg/l och Mn 0 mg/l), eftersom kalkstensytan kan blockeras och avsyrningskapaciteten därmed minskar. För att frigöra massan från eventuellt avsatta suspenderade ämnen samt järn och mangan rekommenderas att filterbädden backspolas regelbundet.

5.2 Dolomitmassor

Dolomitmassor härstammar från bergarten dolomit som består av mineralet med samma namn och sammansättningen $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$. Kemiskt sett skiljer den sig från vanlig kalksten genom sin rikedom på magnesium. Strukturellt är den dock annorlunda genom att omkristallisering av karbonaterna har ägt rum och att kornen har blivit grövre. Detta har medfört att de kalkskal och fragment, som från början fanns i den vanliga kalkstenen, ur vilken dolomiten uppkom, i stor utsträckning förstörts. Dolomit är därför en fossilfattig sedimentär bergart. Den uppstår till en del genom utbyte av kalcium i kalkitkalksten mot magnesium, men kan troligen också bildas direkt genom utfällning av mineralet dolomit ur vatten, speciellt där avdunstningen är stark och magnesiumanrikning i vattnet äger rum. Dolomit kan liksom kalksten omvandlas till den metamorfa bergarten marmor.

Då dolomit massor reagerar mycket långsamt med kolsyra i vatten används vanligen en halvbränd form av dolomit för avsyring av vatten. Dessa halvbrända dolomitmassor framställs genom upphettning av dolomit. Vid 700°C erhålls en delförbränning, varvid CO_2 avgår enligt reaktionen:



Andelen MgO är därmed högre än i kalkstensmassor. Halten MgO ligger vanligen på 20-30 % för halvbrända dolomitmassor.

Det finns dessutom syntetiska dolomitmassor. Dessa framställs genom total förbränning av en dolomitbergart med efterföljande hydrering, granulering och rekarbonisering. Vid hydreringen övergår en del av magnesiumoxiden till magnesiumhydroxid. Även en del av kalciumoxiden kan övergå till hydroxid. Detta kan medföra att pH-värdet på ett vatten som ska avsyras "chockhöjs" upp till ca 12.

5.2.1 Sammansättning och utseende för några vanliga halvbrända dolomitmassor

I tabell 5 visas sammansättning och kornstorlek för halvbrända dolomitmassor, som marknadsförs i Sverige. Utförligare beskrivning för respektive massa erhålls i produktblad, bilaga 6-8. Sammansättningen för massorna följer gränserna enligt en tysk standard, DIN 19621. Enligt denna skall summan av magnesiumoxid och magnesiumhydroxid vara minst 23 % räknat som MgO.

Tabell 5 Sammansättning och kornstorlek för halvbrända dolomitmassor (enligt produktinformationsblad)
 $(Me_m O_n = \sum Fe_2O_3 + Al_2O_3 + SiO_2)$

Massa	Kornstorlek [mm]	CaCO ₃ %	MgO+ Mg(OH) ₂ %	Me _m O _n %	Bilaga
Magno-dol	0.5 - 2.5 2.0 - 4.5	73.3	26.0	0.9	6
Akdolit-gran	0.5 - 1.2 0.5 - 2.5 2.0 - 4.5 4.0 - 7.0	71.7	25.8	0.9	7
Aquadol (Habradol)	0.8 - 1.2 0.8 - 2.5 2.0 - 4.5	ca 70	26-28	0.5	8
Redolit	1.0 - 3.0	ca 70	26-28	0.5	8

5.2.2 Funktion och egenskaper hos halvbrända dolomitmassor

Halvbrända dolomitmassor benämnes ofta vara av typen "snabba massor". Detta beroende på att de lätt reagerar och höjer pH-värdet i vatten (se kap. 6.3). Magnesiumoxiden i massan löser upp sig i vatten utan närvaro av koldioxid enligt:



Vattnets pH-värde kan därvid höjas till 10-11. Vid närvaro av koldioxid sker följdre-aktionen:



Vid tillräckligt lång reaktionstid med magnesiumoxid enligt (5-3) kommer även HCO₃⁻ att förbrukas:



Vid hårda vatten kan kalciumkarbonat fällas ut till följd av att kalkkolsyrjämvikten överskrids, och orsaka sammankittning av massan. För att undvika detta rekommenderas att belastningen på ett filter inte understiger 30 % av den beräknade normala funktionen, vilket även innebär att filtret måste gå kontinuerligt (Reijnen 1976, von Harpe 1979).

Efter en tids användning av en halvbränd dolomitisk massa sänks pH-värdet på det filtrerade vattnet p g a att MgO och eventuellt Mg(OH)₂ har lösts ut och kvarvarande CaCO₃ i massan bidrager till avsyrringen.

Halvbrända dolomitmassor är lämpliga att använda vid sura vatten med hög CO₂-halt, som inte har alltför hög hårdhet eller vätekarbonathalt. Vattnet bör heller inte innehålla för mycket järn och mangan (Fe < 0.5 mg/l, Mn < 0.05 mg/l), eftersom avsyrringseffekten annars minskar p g a blockering av partikelytan (von Harpe 1979, Produktinformation).

6. LITTERATURSAMMANFATTNING

För att kunna dimensionera och bygga upp behandlingsutrustningar, typ avsyrningsfilter, för sura vatten är det nödvändigt att känna till reaktionsmekanismerna och kinetiken för upplösning av kalkstens- och dolomitmassor.

I följande avsnitt redovisas erfarenheter från undersökningar, där man studerat upplösning av kalksten respektive dolomit i sura vatten under varierande betingelser. Avsnittet behandlar undersökningar där förhållandena är jämförbara med föreliggande arbete.

Dessutom redovisas en sammanställning av undersökningar, utförda internationellt, där man använt olika typer av filtermassor för att avsyra vatten.

6.1 Upplösning av kalksten i sura vatten

Ett stort antal undersökningar har gjorts på upplösning av kalksten i sura vatten under olika betingelser. (Plummer et al 1978, Berner och Morse 1974, Lund et al 1975, Pearson feb 1975, Barton och Vatanatham 1976, Herman 1982, Sverdrup och Bjerle 1982, Sjöberg och Rickard 1983, Letterman et al 1986, Compton et al 1989).

De allmänna neutralisations- och upplösningsreaktionerna kan tecknas enligt:



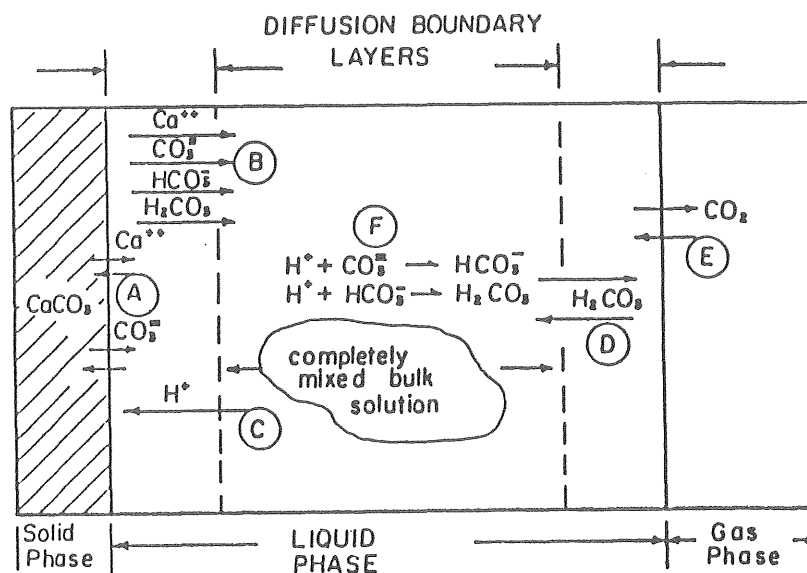
Vilken av reaktionerna som är dominerande beror på vattnets pH-värde och kolsyrahalt. Vid surt ytvatten i jämvikt med luftens CO_2 är kolsyrahalten relativt låg varför följande förlopp är det dominerande: (Sverdrup och Bjerle 1982)



I kontakt med luft avgår en del av den bildade kolsyran tills jämvikt uppnåtts.

Vid sura grundvatten som ofta har en relativt hög halt kolsyra följer upplösning av kalksten i stort sett förloppet enligt ovan upp till pH 6. Över pH 6 har kolsyra större inverkan på upplösningen.

Letterman et al (1986) visar de olika reaktionsförlöppen i en schematisk figur, figur 3.



Figur 3. Schematisk beskrivning av kalciumkarbonatupplösningsprocessen (Letterman et al 1986)

Reaktion A i figur 3 representerar upplösning av den fasta fasen dvs frigörande av kalcium och karbonat till lösningen. Detta steg kan vara en kombination av reaktantadsorption (t ex H^+ , H_2O) på $CaCO_3$ ytan, kemisk reaktion med ytan och desorption av reaktionsprodukter.

Upplösningshastigheten av ytan och hastigheten med vilken vätskefasemin ändras är troligen kontrollerad av transporten av vätejoner till ytan (reaktion C) eller transport av reaktionsprodukter (Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- och H_2CO_3) bort från ytan (reaktion B). Om en gasfas är närvarande, som i figur 3, kommer vätskefasemin att påverkas av transporten av reaktionsprodukter från eller gasfas-komponenter till vätskefasen (reaktion D och E). Det är också möjligt, som framgår av reaktion F, att en homogen vätskefasreaktion mellan kolsyrans olika former påverkar den kemiska sammansättningen i vätskefasen och lösningen i gränsskikten.

Sverdrup och Bjerle (1982) konstaterar att upplösning av kalcit i sura vatten kan delas upp i två steg. Det första steget innebär transport av reaktanter från vätskefasen till reaktionsytan genom diffusion. Det andra steget är den kemiska reaktionen på partikelytan. Upplösningen av kalcit studerades främst med avseende på partikelstorlek och pH-värde. Försöken utfördes vid konstant pH i en behållare med omrörning, så att partiklarna fördelas i vätskan och tillståndet kan jämföras med fritt fall. Partiklarna hade en diameter på 10-400 μm .

För upplösning av en sfärisk partikel med radien större än 10 μm gäller följande samband:

$$1 - (M/M_0)^{1/3} = K_M \cdot \Delta C \cdot M_E \cdot t / R_0 \rho \quad (6-7)$$

där

- M = massa
- M_0 = ursprunglig massa
- K_M = masstransportkoefficient
- ΔC = koncentrationsskillnad
- M_E = omräkningsfaktor från mol till kg
- R_0 = ursprunglig partikelradie
- ρ = partikeldensitet

Den teoretiska masstransportkoefficienten beräknades enligt

$$K_M = \frac{D}{d} (2 + 0.6 \cdot Re^{1/2} \cdot Sc^{1/3}) \quad (6-8)$$

D = diffusivitet

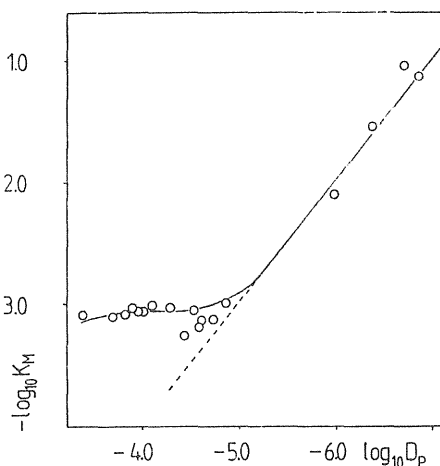
d = partikeldiameter

Re = Reynolds tal

Sc = Schmidts tal

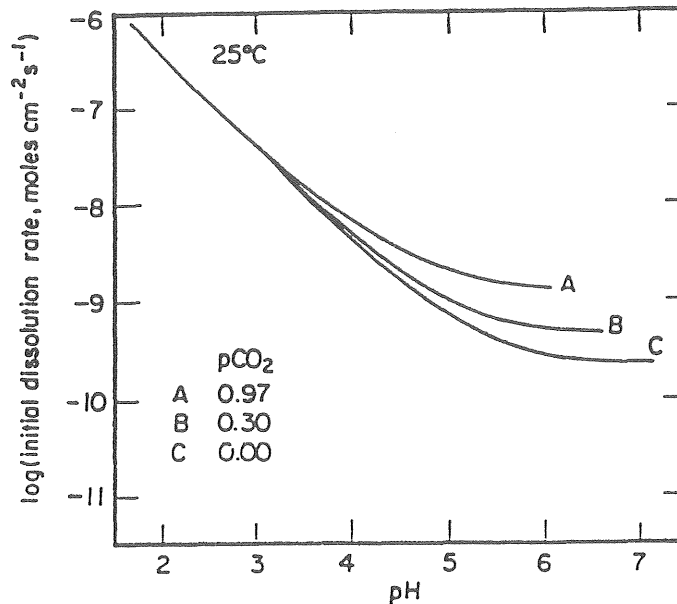
De uppmätta masstransportkoefficienterna jämfördes med de beräknade, med mycket god korrelation, som framgår av figur 4.

Upplösningen av kalцит visade sig vara vätejon-diffusionskontrollerad mellan pH 2.0 och 6.5.



Figur 4 Samband mellan masstransportkoefficient och partikeldiameter. Uppmätt masstransportkoefficient är markerad med ringar. Den heldragna linjen motsvarar teoretiskt beräknad masstransportkoefficient (Sverdrup och Bjerle 1982)

Plummer et al (1978) har studerat upplösningskinetiken för kalцит i CO₂-haltigt vatten. De visar att upplösningshastigheten av kalцит vid låga pH-värden < 5 är en funktion av H⁺-koncentrationen, medan vid högre pH-värden CO₂ - halten har större betydelse. Figur 5 visar sambanden vid 25°C.



Figur 5 Initial kalцитupplösningshastighet som funktion av lösningens pH-värde och partialtryck för CO₂ (Plummer et al 1978)

Undersökningen har lett fram till följande hastighetsekvation.

$$R = k_1 \{H^+\} + k_2 \{H_2CO_3^*\} + k_3 \{H_2O\} - k_4 \{Ca^{2+}\} \cdot \{HCO_3^-\} \quad (6-9)$$

R = Reaktionshastighet för upplösning av CaCO₃

{ } = aktiviteten för ämnet



k₁, k₂, k₃ och k₄ är temperaturberoende hastighetskonstanter.

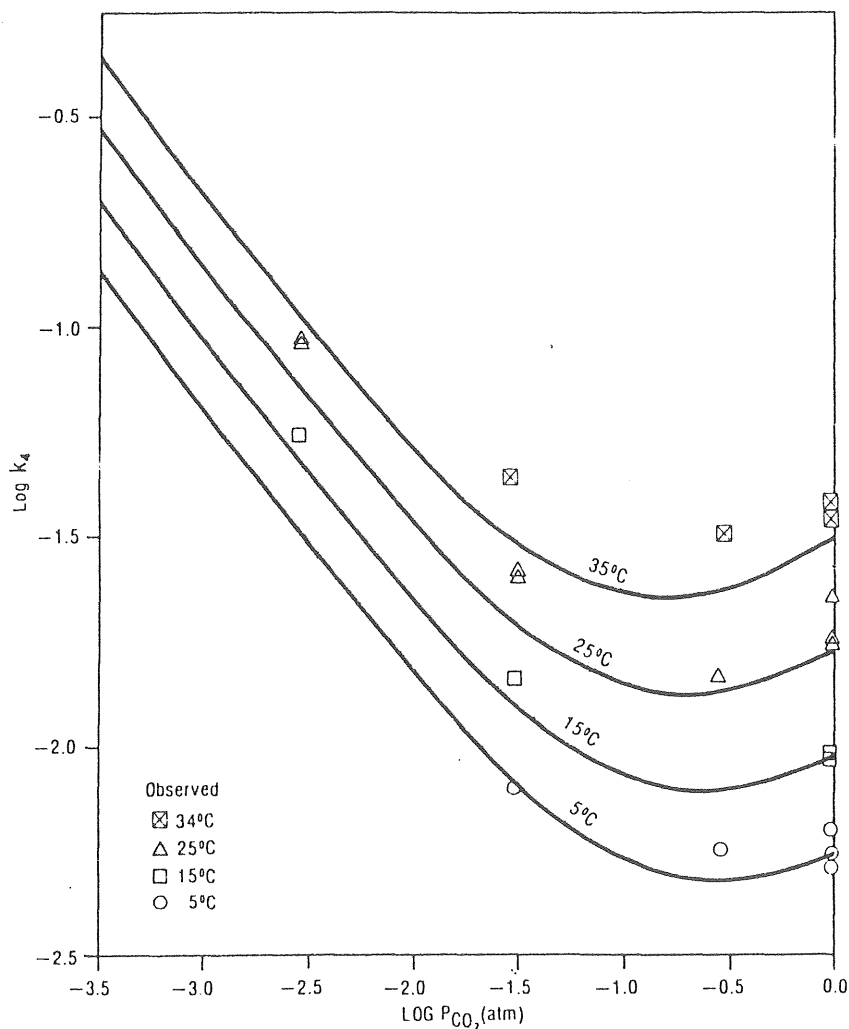
$$\log k_1 = 0.198 - \frac{444}{T} \quad (6-11)$$

$$\log k_2 = 2.84 - \frac{2177}{T} \quad (6-12)$$

$$\log k_3 = -5.86 - \frac{317}{T} \quad \text{vid } T < 298.15 \text{ K} \quad (6-13)$$

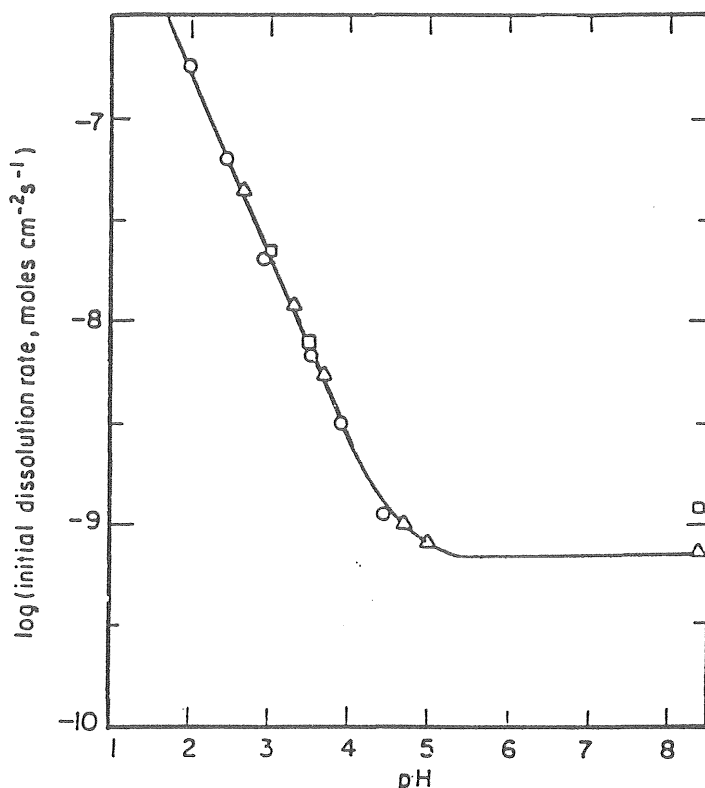
$$\log k_3 = -1.10 - \frac{1737}{T} \quad \text{vid } T > 298.15 \text{ K} \quad (6-14)$$

$\log k_4$ är en funktion av temperatur och $\log P_{\text{CO}_2}$ och visas i figur 6.



Figur 6 Jämförelse mellan teoretiska och observerade värden på $\log k_4$ (Plummer et al 1978)

Sjöberg och Rickard (1984) studerade den initiala upplösningshastigheten av kalcit i CO_2 -haltigt vatten vid konstant pH. Försöken utfördes med en roterande kalcitskiva i en sluten behållare med N_2 -atmosfär. Inverkan av atmosfärens CO_2 elimineras på detta sätt. Figur 7 visar den initiala upplösningshastigheten av kalcit som funktion av pH-värdet i vätskefasen vid 25°C och en rotationshastighet på kalcitskivan med 1000 rpm. Upplösningshastigheten minskar med ökande pH-värde till pH 5. För högre pH-värden är upplösningshastigheten konstant. Dessa resultat stämmer överens med Plummer et al (1978).



Figur 7 Initial kalcitupplösningshastighet som funktion av lösningens pH-värde, utan närvaro av atmosfärens CO₂ (Sjöberg och Rickard 1984)

Även Herman (1982) har studerat upplösning av kalcit i CO₂-haltigt vatten vid olika temperaturer. Upplösningshastigheten minskade när pH-värdet ökades från 5.5 till 5.8. Dessutom ökar upplösningshastigheten vid ökande halt H₂CO₃. Herman konstaterar att då systemet är i närheten av jämvikt är det ytreaktioner som bestämmer upplösningshastigheten.

Berner och Morse (1974) har studerat upplösningen av kalcit i havsvatten och i NaCl - CaCl₂-lösning med samma jonstyrka och kalciumkoncentration som i havsvatten, i ett pH-intervall 3,9 - 7,5 och P_{CO2} 1 - 10^{-4.5} atm.

Upplösningshastigheten befanns vara betydligt mindre än den som förutsågs vara kontrollerad av jondiffusion vid pH större än 4. Det var i stället ytreaktionen med H⁺ som kontrollerade hastigheten. Vid pH 3.9 - 4 approximeras hastigheten med den förutsagda diffusionskontrollerade upplösningen, men endast om H₂CO₃ kan försummas som reaktionsämne.

Hastigheten vid måttlig till hög undermättnadsgrad är i stort sett oberoende av P_{CO2} för ett givet pH och ökar linjärt med minskande pH. Det linjära beroendet beror troligen på adsorption av H⁺ på partikelytan.

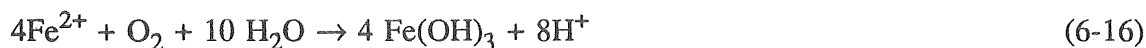
Barton och Vatanatham (1976) studerade neutralisationskinetiken för metallhaltiga sura avloppsvatten och kalksten.

Bruttoreaktionen kan tecknas:



I undersökningen har modeller studerats där man har varierat: partikelstorlek, stökiometri, temperatur, koldioxidhalt, anjonkoncentration och metallkoncentration.

Undersökningen visade att upplösningsreaktionen kontrolleras av vätejon diffusion i pH-intervallet 2.5-6. Den drivande kraften är alltså skillnaden mellan vätejonkoncentration i vätskefasen och koncentrationen vid den fasta ytan. Även kalkstenens täthet och kornens diameter påverkar upplösningshastigheten. Närvaro av järn och aluminium medför att en längre reaktionstid krävs för att komma till jämvikts-pH i vattnet. Vid pH över 6 oxideras Fe^{2+} till Fe^{3+} enligt



Detta medför också att pH-värdet tillfälligt sjunker.

Compton et al (1989) har vid sina undersökningar kommit fram till att upplösningen av kalcit i sura vatten, $\text{pH} < 5.6$, vid hög masstransport bestäms av första ordningens heterogena reaktion med H^+ vid ytan och inte av diffusion som många författare hävdar. Detta innebär, att upplösningshastigheten av kalcit, som är ytreaktionskontrollerad, är långsammare än tidigare beskrivet.

Sammanfattningsvis kan sägas, att upplösningen av kalcit är beroende av en rad faktorer, såsom pH-värde, kolsyrahalt, vätskefasens hastighet, undermättnad eller nära jämviktstillstånd, temperatur samt kalcitpartiklarnas struktur och storlek.

Refererade undersökningar visar att upplösningshastigheten av kalcit är en funktion av vätejonkoncentrationen i vattnet, vid pH lägre än 5-6. D v s upplösningshastigheten ökar vid minskande pH. Vid högre pH har CO_2 -halten större inverkan på upplösningshastigheten. Vid frånvaro av CO_2 i vattnet är hastigheten konstant vid ökande pH. Däremot råder det något delade meningar om upplösningshastigheten är diffusions- eller ytreaktionskontrollerad vid låga pH-värden.

6.2 Upplösning av dolomit i sura vatten

Busenberg och Plummer (1982) har studerat upplösning av dolomit ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$) i sura vatten vid olika temperatur och kolsyrahalt.

Två steg studerades vid upplösningen av dolomit. Ett snabbt icke-stökiometriskt upplösningssteg från den ursprungliga dolomitytan där CaCO_3 löses snabbare än MgCO_3 , vilket resulterar i en MgCO_3 -berikad yta. I nästa steg, det viktigaste steget, upplöses båda komponenterna stökiometriskt. Upplösningshastigheten av dolomit

beskrivs med ekvationen:

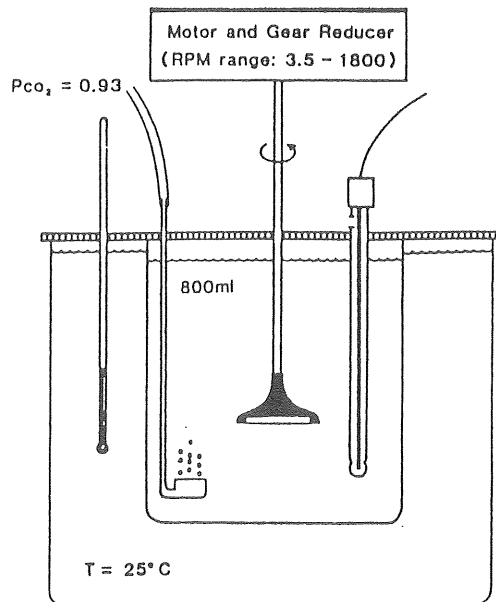
$$R = k_1\{H^+\}^{1/2} + k_2\{H_2CO_3^*\}^{1/2} + k_3\{H_2O\}^{1/2} - k_4\{HCO_3^-\} \quad (6-17)$$

R = upplösningshastighet

k_1 - k_4 = hastighetskonstanter

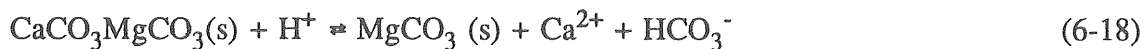
Hastighetskonstanterna kan vara funktioner av dolomitens uppbyggnadsform. Hastighetskonstanten k_4 är oberoende av dolomitens ursprung, men en funktion av $FeCO_3$ -halten i dolomiten.

Herman och White (1985) undersökte upplösning av dolomit i CO_2 -haltigt vatten vid olika temperaturer 0° , 15° och $25^\circ C$. Försöken utfördes med en roterande skiva. Figur 8 visar försöksapparaturen.



Figur 8 Schematisk beskrivning av försöksapparaturen (Herman och White 1985)

Upplösningen av dolomit beskrevs med följande reaktioner:



där den andra reaktionen är långsam och hastighetsbestämmande.

Herman och White hävdar, att kornstorleken på materialet har liten betydelse för upplösningshastigheten, som dock ökar den något vid minskande kornstorlek. Hastigheten minskade även i takt med att lösningen blev mer mättad. Upplösningen studerades vid både laminärt och turbulent flöde. Hastigheten var ungefär dubbelt så hög vid turbulent som vid laminärt flöde vid mycket omättade lösningar. Undersökningen visade att ytreaktioner är hastighetsbegränsande i upplösningsreaktionen.

Materialet studerades i elektronmikroskop före och efter en viss upplösningstid. Efter ca 200 timmar har de yttre kanterna på kornen lösts upp och enskilda kristaller frigjorts. Små rester av olösliga kvartskorn har blivit synliga.

Herman och White konstaterade att upplösningshastigheten som observerades stämmer i stort sett överens med resultaten enligt Busenberg och Plummer (1982).

Även Sverdrup och Bjerle (1982) konstaterar med sina försök att ytreaktionen är långsammare än diffusionsprocessen. Upplösningshastigheten är alltså bestämd av hastigheten för den kemiska reaktionen på ytan.

6.3 Upplösning av halvbränd dolomit i sura vatten

Halvbränd dolomit framställs genom termisk behandling, till 700°C, av dolomit enligt följande reaktion (Reijnen 1988):



Halvbränd dolomit upplöses mycket snabbare än dolomit, eftersom MgO är mycket mer lösligt än MgCO₃.

När halvbränd dolomit reagerar med kolsyra och vatten sker följande bruttoreaktion:



Följande kemiska reaktioner har betydelse vid upplösning av halvbränd dolomit i kolsyrerik vatten (Reijnen 1976):



Bruttoreaktion för avsyring med MgO.



Bruttoreaktion för CaCO₃ utfällning i alkalisk miljö.



Bruttoreaktion för avsyring med CaCO_3 .

MgO löses snabbt enligt reaktion (6-22). Runt kornen uppstår ett diffusionsskikt med hög halt Mg^{2+} och OH^- . Ett högt pH ~ 10 kan därvid erhållas i vätskefasen. OH^- jonerna i diffusionsskiktet reagerar med CO_2 enligt reaktion (6-23).

Bildning av HCO_3^- och det höga pH-värdet kan bidra till utfällning av CaCO_3 , som blockerar MgO-kristallen för vidare upplösning och reaktion (6-30) kommer att ske i det CO_2 -haltiga vattnet. Den totala avsyrningshastigheten med halvbränd dolomit kan tecknas.

$$-\frac{d[\text{CO}_2]}{dt} = k_1[\text{CO}_3^{2-}][\text{CO}_2] - k_2[\text{HCO}_3^-]^2 + k_3[\text{OH}^-][\text{CO}_2] \quad (6-31)$$

k_1 , k_2 och k_3 är reaktionshastighetskonstanter för reaktion (6-29) respektive reaktion (6-23). (k_1 gäller när reaktion 6-29 går åt vänster och k_2 när reaktionen går åt höger).

6.4 Avsyring av vatten med olika filtermaterial och anläggningstyper

Kalkstensfiltrering är en sedan länge känd metod för att avsyra vatten och därmed minska ledningskorrosion, som beror på lågt pH.

För något mer än 100 år sedan fastställde Heyer (1888) att det mjuka sura vattnet måste alkaliserats för att motverka förgiftningar p g a bly från ledningarna (Baldauf 1991). Redan 1906 användes kalksten i Frankfurt för avsyring av vatten. Halvbränd dolomit användes första gången som avsyrningsmassa 1934 (Reijnen 1979). I början av 1900-talet kom Tillmans med sin teori om korrosionsbekämpning. Även skyddsskiktetsbildningen kom upp till diskussion vid denna tidpunkt.

I följande avsnitt redovisas de senaste årens erfarenheter och resultat från undersökningar med avsyrningsförsök vid användning av kalksten eller halvbränd dolomit.

Tyngdpunkten har lagts på undersökningar där man behandlat dricksvatten (Reijnen 1976, Reijnen 1979, Reijnen 1980, Reijnen och van Paassen 1985, Reijnen 1988, von Harpe 1979, Land och Bühl 1979, Spindler 1980, Vaillencourt 1981, Wons 1981, Volpicelli et al 1981, Oomen et al 1983, Rahm och Gunnarsson 1983, Hedberg 1983, Hedberg 1984, Letterman et al 1986, Letterman 1991, Baldauf 1986, Baldauf och Henkel 1991, Beforth 1987, Göhle 1987).

Andra användningsområden är kalkning av sjöar (Sverdrup 1985) och avsyring av dräneringsvatten från kolgruvor (Pearson och McDonnell feb 1975, jun 1975).

Reijnen och medarbetare i Nederländerna har under många år studerat förmågan hos kalksten och halvbränd dolomit att avsyra vatten i både laboratorie- och fullskala. Vid avsyring vill man som resultat få ett vatten med sammansättning enligt nedan (Reijnen 1979):

Alkalinitet

minimum: 1 mmol/l (61 mg/l)

önskvärt: > 2 mmol/l

pH 8-8.3

LI

minimum: svagt negativt

önskvärt: positivt, 0-0.3

Vattensammansättningen har valts för att minska korrosionen av bly, koppar och asbestcement i ledningar.

Vid avsyring av vatten med kalksten erhålls en ökning av vätekarbonathalten med 2.77 mg vid reaktion med 1 mgCO₂. Avsyring med halvbränd dolomit ger en vätekarbonatökning på 1.85 mg per mgCO₂. Ett surt vatten som har en vätekarbonathalt på ≥ 61 mg/l kan därför luftas för att minska kolsyrahalten. Enligt Reijnen (1979) är det emellertid risk för pitting-angrepp på koppar p g a syreinhållet efter luftning.

Avsyring med kalksten ger vid tillräckligt lång uppehållstid en konstant vattensammansättning, eftersom upplösningen stannar när kalkkolsyrajämvikt inställt sig. Detta medför att pH-värdet inte kan bli för högt, även om filtren belastas intermittent. För kort uppehållstid i ett filter kan däremot medföra att pH-värdet på det behandlade vattnet blir för lågt. Halten kolsyra och vätekarbonat i ett råvatten har betydelse för hur lång kontakttid som behövs med kalksten för att få ett pH ≥ 8. Figur 9 visar detta förhållande för Juraperle med kornstorlek 1.2-1.8 mm och vattentemperatur 10°C (Reijnen 1980). Vid försöken hade råvattnet en kalciumhalt på 10 mg/l.

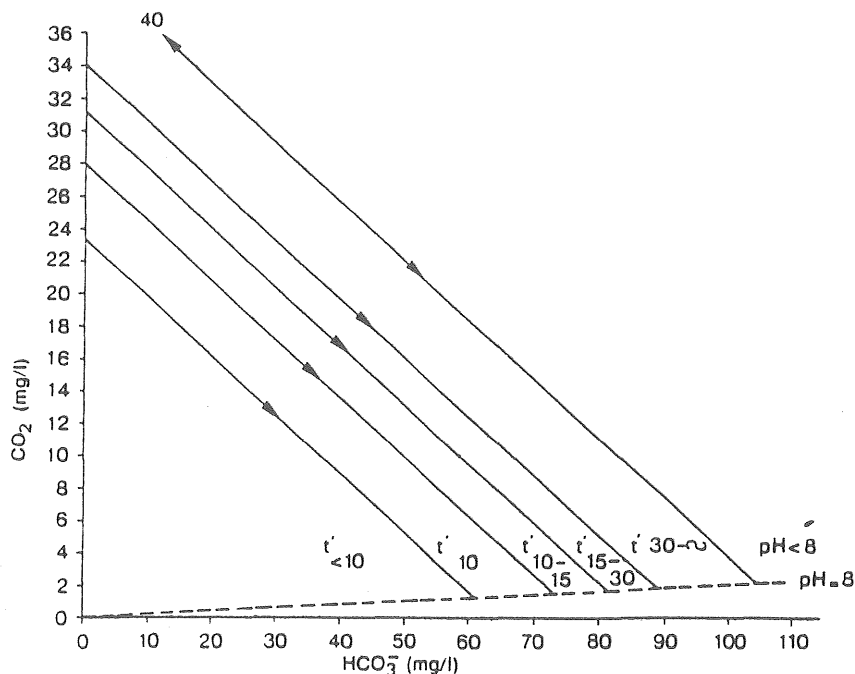
Eftersom kalksten reagerar relativt långsamt är det ofta nödvändigt med stora filtervolymer för att få en tillräckligt lång uppehållstid. Ibland kan det vara nödvändigt att kombinera med luftning för att minska koldioxidhalten (Reijnen 1988, Beforth 1987).

Om karbonathårdenheten för ett vatten exempelvis är ca 1°dH och fri kolsyra ca 100 mg/l är det lämpligt att lufta vattnet först, så att kolsyrahalten går ner till ca 30 mg/l och därefter avsyra med kalksten (Beforth 1987).

Den teoretiska förbrukningen av CaCO₃ vid avsyring är 2.3 g/g CO₂. I praktiken uppgår det till ca 2.5 g/g CO₂ inklusive spolförluster.

Några fullskaleförsök har gjorts med avsyring med kalkstensmassor och halvbränd dolomit (Reijnen 1979). I Apeldoorn hade man haft problem med sammankittning av den använda dolomitiska massan (Magno-syn). I några filter bytte man ut materialet mot kalkstensmassa. I tabell 6 visas resultaten från avsyring med Magno-syn respektive kalksten. Sammansättningen på vattnet efter Magno-syn-filtret varierade

mycket p g a störningar med stopp i filterbädden. Man nådde heller inte upp till den önskade halten för vätekarbonat (61 mg/l). Filtrering genom kalksten gav däremot precis godtagbara värden.



Figur 9 Erforderlig skenbar uppehållstid i minuter för att erhålla pH >8 vid filtrering genom Juraperle (1.2-1.8 mm) vid olika CO₂ och HCO₃⁻-halt. (Reijnen 1980)

Tabell 6 Resultat från avsyning med Magno-syn och kalksten (Reijnen 1979)

	råvatten	efter luftning	efter luftning och Magno-syn h = 1,3 m * v = 9 m/h **	efter luftning och kalksten 1,8 - 2,5 mm h = 1,3 m * v = 9 m/h **
pH	6,2/6,4	6,5	6,8/9,0	7,9/8,0
SI	neg ***	neg	— 0/neg	— 0
CO ₂ (mg/l)	25/30	15/20	0/12	2/3
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	20/25	20/25	25/50	65/80
Fe (mg/l)	1,2	1,2	0,03/1,0	0,1
Mn (mg/l)	0,05	0,05	0,01/0,09	afw.

* filterbäddhöjd

** filtreringshastighet

*** kalkaggressiv

Råvattnet vid försöken innehöll en viss mängd järn och mangan. Kalkstensbädden spolades därför 3 ggr/vecka för att få bort avsatt järn och mangan. Spolningen utfördes först med luft (33 N m³/m²/h), därefter med luft (33 N m³/m²/h) och vatten (18

m³/m²/h) och slutligen med vatten (18 m³/m²/h).

Vid ett försök med behandling av grundvatten vid en pumpstation i Wezep jämfördes filtrering genom Akdolit-gran, kalkdosering, kalkstensfiltrering med olika hastigheter och kalkstensfiltrering med efterdosering med lut. Resultaten redovisas i tabell 7 och visar att kalkdosering inte ger önskad vattensammansättning. Vatten från filtrering genom Akdolit-gran ligger precis på gränsen. Långsam filtrering genom kalksten ger ett bra resultat på behandlat vatten. Bästa resultatet erhöles efter en snabbare filtrering genom kalksten och efterdosering med natronlut.

Tabell 7 Avsyrningsförsök i Wezep (Reijnen 1979)

	råvatten	efter Akdolit-gran h = 2 m v = 20 m/h	efter kalk-dosering	efter kalksten * h = 3 m v = 5 m/h	efter kalksten * h = 3 m v = 15 m/h	efter kalksten * h = 3 m v = 15 m/h och Na(OH)
pH	6,2/6,3	8,4	8/8,5 **	7,8	7,6	8/8,3 **
SI	neg	± 0	± 0	— 0	— 0;neg	± 0
CO ₂ (mg/l)	25/30	1/2	1/2	3	5/6	1/2
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	30	60	55	95	85	90
Fe (mg/l)	0,2/0,4	afw.	0,2/0,4	afw.	afw.	afw.
Mn (mg/l)	0,03	afw.	0,03	afw.	afw.	afw.

* korastorlek 1,2-1,8 mm

** justerbart

Försöksresultaten visar att jonsvaga vatten med relativt låg halt koldioxid är lämpliga att filtrera genom kalksten för att minska halten aggressiv kolsyra. Om inte upphållstiden är tillräckligt lång för att få rätt sammansättning på vattnet kan det i vissa fall vara lämpligt med en föregående luftning för att minska CO₂-halten eller en efterdosering med lut. Enligt Reijnen (1979) bör vatten som behandlas med kalkstensfiltrering inte innehålla mer än 0,2-0,3 mg järn/l och inget mangan eller suspenderat material. En ökande järn- och manganhalt medför att avsyrningseffekten minskar (Oomen et al 1983). Vid avsyrning av ett vatten som innehöll ca 8 mg Fe/l erhöles ett värde på LI (Langliers index), som låg ca 0,5 enheter lägre än vid avsyrning av ett järnfritt vatten.

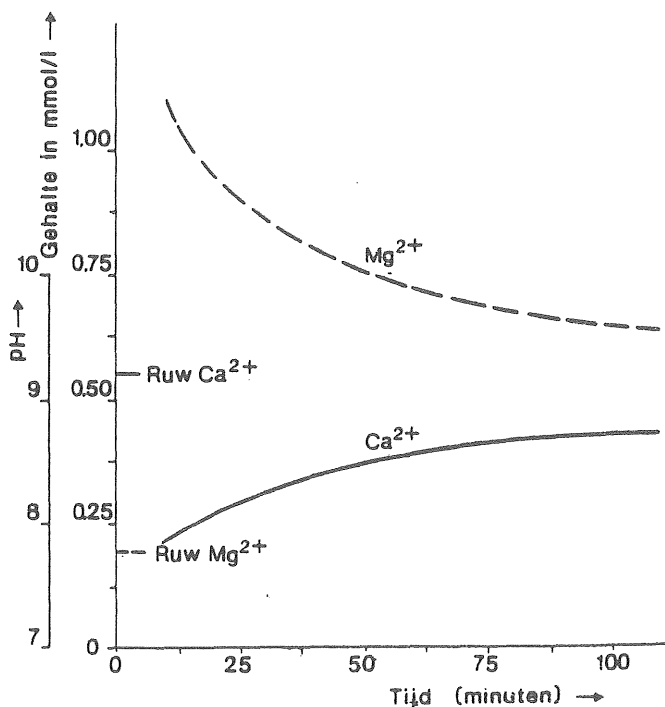
Reijnen har också mer ingående studerat avsyrning med dolomitiska material och sammansättningen hos dessa (Reijnen 1976). Naturliga och syntetiska halvbrända dolomitiska material studerades med avseende på kemisk sammansättning och uppbyggnad. Resultatet visar att syntetiska material kan innehålla för mycket Ca(OH)₂. Detta bidrar till att filtermassan lätt klibbar samman. pH-värdet på det behandlade vattnet kan teoretiskt uppgå till 12,3 p g a Ca(OH)₂ medan Mg(OH)₂ kan ge ett pH-värde upp till 11. Detta och en ökande mängd Ca²⁺ kan bidra till CaCO₃-utfällning i anläggningen. Risken för sammankittning av massan är alltså större vid användning av syntetiska dolomitiska filtermaterial än vid naturliga halvbrända dolomitiska material. De syntetiska massorna innehöll flera procent Ca(OH)₂ medan de naturliga innehöll mindre än 1 %.

Reijnen påpekar hur viktigt det är med kontinuerlig drift av ett dolomitfilter för att

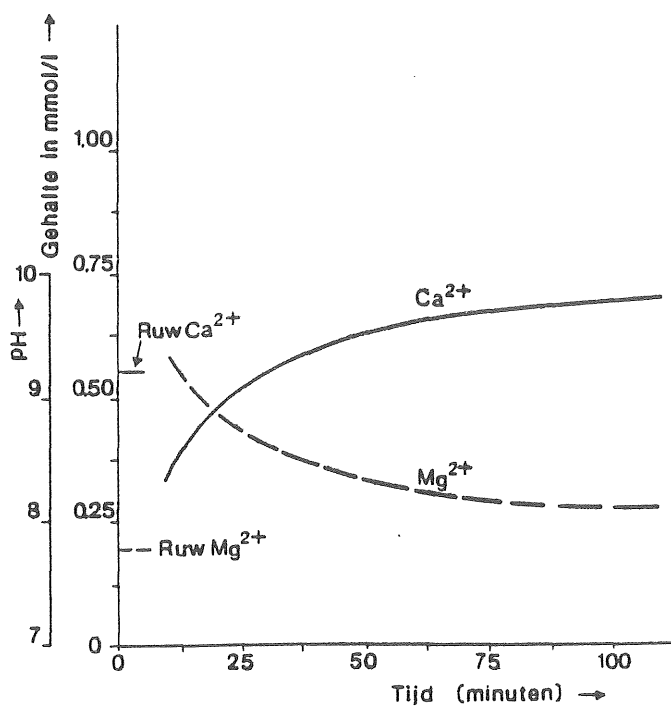
slippa förhöjt pH och CaCO_3 -utfällning. Det är också viktigt, att spola filtren regelbundet för att minska risken för sammankittning p g a utfällning.

Avsyrningskapaciteten hos en dolomitisk massa avtar med tiden (Reijnen 1988). Mängden MgO som löses ut från massan minskar med tiden och CaCO_3 löses ut och bidrar till avsyningen. Detta förlopp är långsammare och avsyningen avtar.

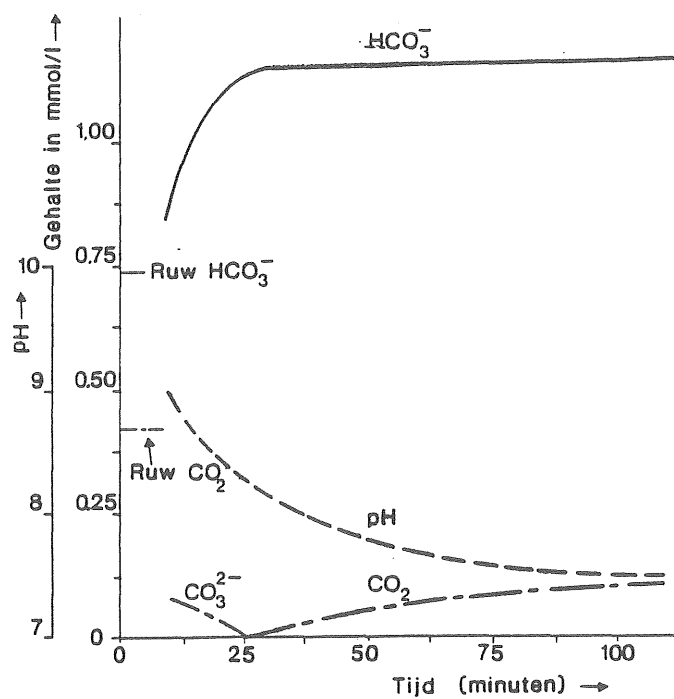
Försök utfördes vid en pumpstation i Heumensoord med två filter med syntetiskt dolomitiskt filtermaterial. Efter stillestånd startades båda filtren, varav det ena med nypåfyllt material. I det nypåfyllda filtret löstes mycket magnesiumoxid upp och pH-värdet steg över 10. Genom att kalciumkarbonat avsattes på filtermaterialet erhöles de första minuterna en lägre kalciumhalt på filtrerat vatten än för råvattnet. I det andra filtret minskade avsyrningsförmågan för MgO och ökade p g a CaCO_3 -upplösning. Kalciumhalten på det filtrerade vattnet blev högre än för råvattnet. Efter en viss tid ökade dock CO_2 -halten, vilket tyder på att avsyningen inte var fullständig. Resultaten framgår av figur 10, 11, 12.



Figur 10 Förändring av Ca^{2+} - och Mg^{2+} -halten efter återstart av ett nypåfyllt filter (Reijnen 1988)



Figur 11 Förändring av Ca^{2+} - och Mg^{2+} -halten efter återstart av ett icke nypåfyllt filter (Reijnen 1988)



Figur 12 Förändring av pH, HCO_3^- och CO_3^{2-} efter återstart av ett icke nypåfyllt filter (Reijnen 1988)

Enligt Reijnen (1991) har de flesta vattenverk i Nederländerna slutat använda halvbränd dolomit för avsyring av vatten. Krossad kalksten används i stället. För femton år sedan använde tre vattenverk krossad kalksten, medan det idag är mer än 25 vattenverk som använder detta material. Speciellt vid små anläggningar har krossad kalksten visat sig vara att föredraga. Vid användning av halvbränd dolomit hade man ofta problem i form av för högt pH och sammanklibbning av filtermassa.

Von Harpe (1979) behandlar i sin handbok för vatteningenjörer användningen av Neodol för avsyring av vatten. Neodol är en halvbränd dolomitmassa med ca 70 % CaCO₃ och 27 % MgO. I handboken ges vissa begränsningar med avseende på råvattensammansättning för användning av Neodol.

Karbonathårdhet < 180 mg CaCO₃/l
 Kalciumhårdhet < 360 mg CaCO₃/l
 Aggressiv kolsyra < 40 mg/l (dock inte mindre än 20 mg/l)
 Järn < 2 mg/l
 Mangan < 0.05 mg/l

Dessutom ges instruktioner för beräkning av erforderlig specifik mängd Neodol för avsyring av vatten. Följande analysdata på råvattnet behövs: Temperatur, totalhårdhet, alkalinitet och fri kolsyra.

Mängden aggressiv kolsyra beräknas enligt:

$$\text{CO}_2\text{aggr} = \text{CO}_2\text{fri} - \text{CO}_2\text{tillh} \quad (6-32)$$

$$\text{CO}_2\text{tillh} = \frac{K}{f} [\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]^2 \quad (6-33)$$

K och f fås ur tabell 8 och 9.

CO₂tillh som mg CO₂/l
 [Ca²⁺] kalciumhårdhet som mg CaCO₃/l
 [HCO₃⁻] alkalinitet som mg CaCO₃/l

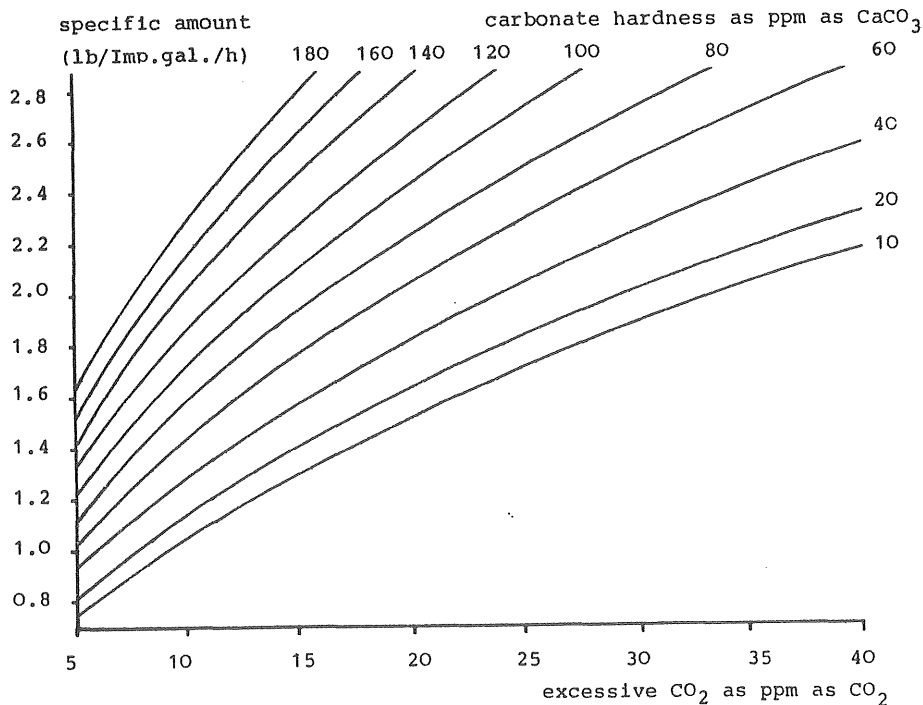
Tabell 8 Faktor K som funktion av temperaturen

° C	° F	K	° C	° F	K
0	32.0	0.0736	11	51.8	0.1091
1	33.8	0.0762	12	53.6	0.1132
2	35.6	0.0789	13	55.4	0.1172
3	37.4	0.0816	14	57.2	0.1216
4	39.2	0.0845	15	59.0	0.1261
5	41.0	0.0875	16	60.8	0.1309
6	42.8	0.0908	17	62.6	0.1358
7	44.6	0.0942	18	64.2	0.1406
8	46.4	0.0978	19	66.2	0.1458
9	48.2	0.1014	20	68.0	0.1513
10	50.0	0.1052	21	69.8	0.1570

Tabell 9 Faktor f som funktion av totalhårdheten uttryckt som mgCaCO₃/l

TH	f	TH	f	TH	f
10	49400	130	62100	250	67850
20	51600	140	62600	260	68250
30	53100	150	63300	270	68550
40	54500	160	63800	280	68850
50	55650	170	64300	290	69300
60	56750	180	64750	300	69500
70	57650	190	65200	310	69850
80	58450	200	65700	320	70200
90	59300	210	66150	330	70500
100	59950	220	66600	340	70750
110	60750	230	67000	350	71050
120	61450	240	67400	360	71350

Med kännedom om CO₂aggr och karbonathårdheten kan man gå in i figur 13 och avläsa mängd Neodol. Figur 13 gäller för Neodol grade I med kornstorlek 0.5-2.5 mm och vattentemperatur 10°C.



Figur 13 Erforderlig mängd Neodol som funktion av fri kolsyra och karbonathårdhet (von Harpe 1979)

Lang och Bühl (1979) har studerat avsyring av några olika vattentyper med den mikrokristallina kalkstensmassan Juraperle. Juraperle framställs av kalkstenen Weissjura-ε. Lang och Bühl diskuterar möjligheten till skyddsskiktetsbildning i järnled-

ningar efter avsyring med kalksten respektive halvbränd dolomit. De konstaterar att avsyring av ett mjukt vatten med halvbränd dolomit kan ge en för låg kalciumvätekarbonathalt för att få en skyddsskiktsbildning. Dessutom kräver en anläggning med halvbränd dolomit mer tillsyn och backspolning på grund av sammankittningsrisken.

Lang och Bühl använder begreppet specifik belastning, S , för att ange mängd vatten som filtreras genom 1 m³ massa per timma,

$$S = \frac{\text{m}^3 \text{vatten}}{\text{m}^3 \text{massa} \cdot \text{h}}$$

Uppehållstiden beräknas enligt

$$T = \frac{1}{S} \cdot 60 \text{ [min]} \quad (6-34)$$

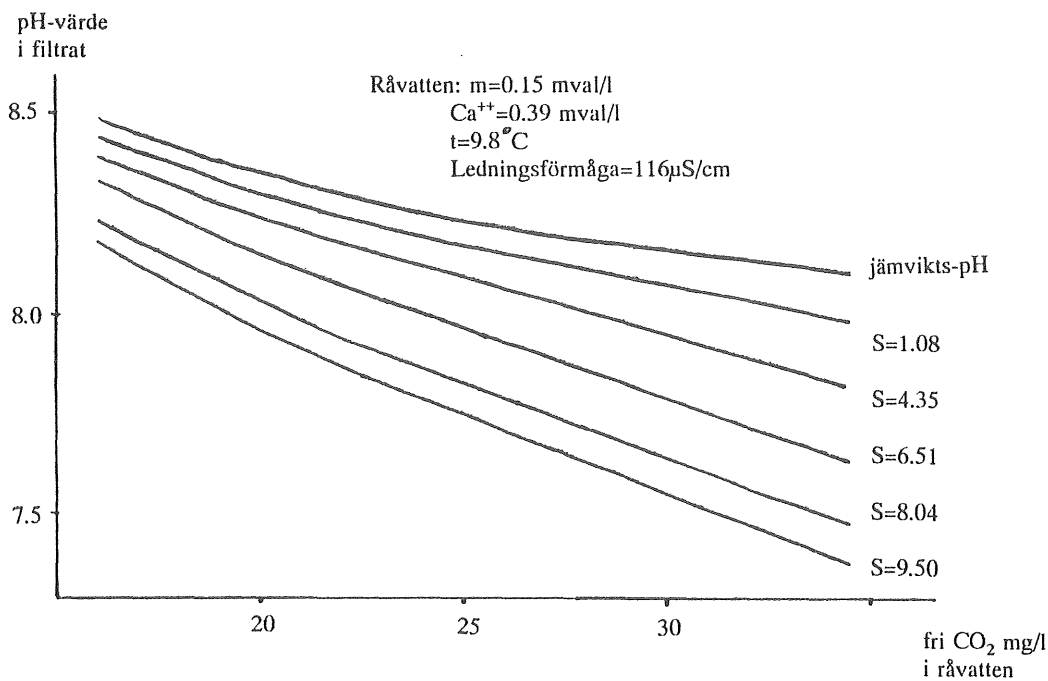
Reaktionstiden är beroende av massans kornstorlek och råvattensammansättning. I rapporten visas i diagramform avsyringseffekt på vatten med olika karbonathårdhet, kolsyrahalt och specifik belastning i filtret. Dessa diagram kan användas för att ta fram lämplig filtervolym för att avsyra ett vatten med en viss sammansättning till ett önskat pH-värde, figur 14.

Lämplig råvattensammansättning vid avsyring med Juraperle är enligt Lang och Bühl enligt nedan:

Fe < 2 mg/l
Mn < 0.3 mg/l
NH₄⁺ < 0.3 mg/l
Susp. material < 5 mg/l
CO₂fri < 40 mg/l
Karbonathårdhet < 5°dH

Högre halter kräver tätare backspolningsrutiner. Ammonium oxideras till nitrit och nitrat vid höjt pH under bildning av H⁺.

En fullständig kemisk analys utfördes på Juraperle bl a med avseende på tungmetaller. Resultaten framgår av tabell 10.



Figur 14 Avsyrningseffekt för Juraperle JW K000 vid olika belastning (Lang och Bühl 1979)

Tabell 10 Kemisk analys på Juraperle enligt Lang och Bühl (1979)

Ämne	halt mg/g
Arsenik	0.00025
Bly	0.00025
Kadmium	< 0.00025
Krom	< 0.002
Cyanid	< 0.00002
Fluorid	0.2
Nitrat	0.06
Kvicksilver	0.00002
Selen	0.0009
Sulfat	2.4
Zink	0.005
Polyaromatiska kolväten	0.00001

Vid filtrering av ett vatten med 40 mg CO₂/l genom Juraperle upplöses ca 0.1 g massa per liter vatten. Detta innebär att mängden av ovan angivna ämnen i mg per liter filtrerat vatten blir ca 1/10 av mängden per gram massa.

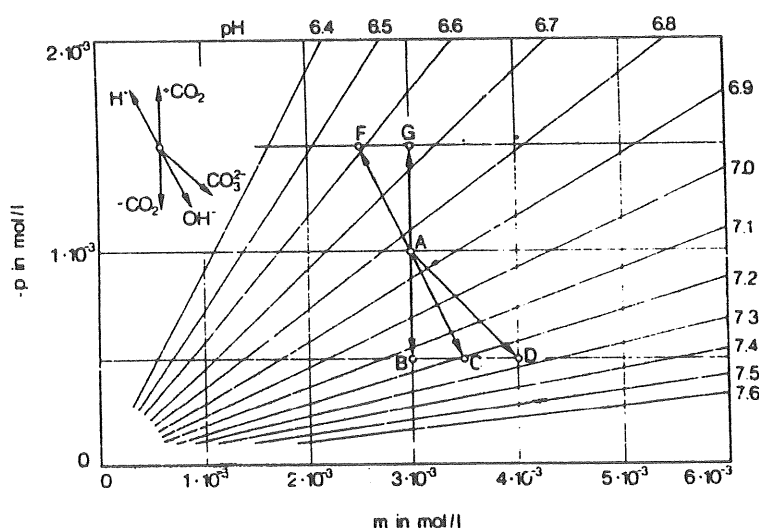
Spindler (1980) diskuterar hur olika avsyrningsmetoder påverkar ett vattens kalkkolsyrjämvikt. Han redogör också för samband mellan förändring i kalkkolsyrssystemet (pH, buffertkapacitet och CaCO₃-utfällning) som funktion av p- och m-värde vid tillsats av olika avsyrningsmedel.

$$p = -[\text{CO}_2] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+] \quad (6-35)$$

$$m = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+] \quad (6-36)$$

Bestämning av p-värde sker genom titrering med saltsyra och indikatorn phenolftalein eller potentiometriskt till pH 8.3. Även m-värde bestäms genom titrering med saltsyra men med indikatorn metylorange eller potentiometriskt till pH 4.3.

Figur 15 visar samband mellan p- och m-värde för ett vatten och hur pH-värdet ändras vid tillsats av olika tillsatsämnen (förändringen visas för tillsatsmängden 1 mol/m³).



Figur 15 Förändring av pH-, p- och m-värde vid tillsats av H⁺, OH⁻, CO₃²⁻ eller CO₂ (Spindler 1980)

Baldauf (1991) har utgående från dessa samband och experimentella avsyrningsförsök tagit fram en beräkningsmodell för erforderlig mängd kalksten vid olika betingelser, t ex råvattensammansättning, temperatur och uppehållstid. Försöken utfördes med försöksfilter med en diameter på 300 mm och bäddhöjd på 1-2 m. Provtagning gjordes vid olika bädddjup. Försöksfiltren kördes i drygt en månad. Dessutom kördes små labfilter. In- och utgående vatten analyserades på parametrar väsentliga för kalkkolsyrejämvikten (temperatur, pH, p- och m-värde, totalhårdhet, ledningsförmåga, kalcitlösningsförmåga). Hela försöket utfördes med järn-, mangan- och aluminiumfria

vatten. Vid försöken användes en handelsprodukt med kornstorleken 1.2-1.8 mm och med en CaCO_3 andel på > 99 %. För att ta fram avsyrningshastigheten som funktion av CO_2 -koncentrationen gjordes försöken med vätekarbonatfritt råvatten. Man undersökte samband mellan kontakttid, råvattnets (m-2p)-värde och löst mängd kalksten.

Följande empiriskt framtagna samband sattes upp:

$$\text{EBCT} = k_1(m-2p) + k_2(m-2p)^2 + k_3 \quad (6-37)$$

EBCT = Empty Bed Contact Time = skenbar uppehållstid [min]

konstanterna k_1 , k_2 , och k_3 är specifika för varje massatyp och kornstorlek. I föreliggande undersökning erhöles

$$k_1 = 5.76 - 1.9 [D_c^E] \quad (6-38)$$

$$k_2 = 0.956[D_c^E]^{-0.73} \quad \text{gäller för vatten där } D_c^E < 0.13 \text{ mol/m}^3 \quad (6-39)$$

$$k_2 = 0.242[D_c^E]^{-1.404} \quad \text{gäller för vatten där } D_c^E \geq 0.13 \text{ mol/m}^3 \quad (6-40)$$

$$k_3 = -8.9[D_c^E]^{0.919} \quad (6-41)$$

D_c^E = kalcitlösningsförmågan i det filtrerade vattnet, $\text{molCaCO}_3/\text{m}^3$.

Ovanstående samband gäller för temperaturen 7°C . En höjning av temperaturen ökar avsyrningshastigheten. En korrektionsfaktor för kontakttiden vid annan temperatur än 7°C togs fram från experimentella försök och tecknas enligt:

$$F_T = 1.911 - (0.192T) + (1.06 \cdot 10^{-2} \cdot T^2) - (2.4 \cdot 10^{-4} \cdot T^3) \quad T = ^\circ\text{C} \quad (6-42)$$

Kontakttiden kan också beräknas för vätekarbonathaltiga vatten.

$$\begin{aligned} \text{EBCT} = & 1.9(D_c^A - D_c^E)(m-2p) + 0.242 [(D_c^E)^{-1.404} - (D_c^A)^{-1.404}] (m-2p)^2 + \\ & + 8.9 [(D_c^A)^{0.919} - (D_c^E)^{0.919}] \end{aligned} \quad (6-43)$$

för $D_c^A, D_c^E \geq 0.13 \text{ mol/m}^3$

D_c^A = kalcitlösningsförmågan i råvattnet, $\text{mol CaCO}_3/\text{m}^3$.

Upphållstider beräknade på detta sätt jämfördes med experimentella resultat. Överensstämmelsen var mycket god.

Letterman et al (1986) och Letterman et al (1991) redogör för försök med filterbäddar med krossad kalksten och dess förmåga att motverka korrosion av surt vatten genom höjning av pH-värde, kalciumhalt och alkalinitet. Upplösning av kalciumkarbonat i en packad bädd med krossad kalksten redovisas med en modell, där steady-state-förhållande antages. I modellen fås bädd-djupet som funktion av vätskefasens

kalciumkoncentration.

$$L = \ln[(C_{eq} - C_{bL}) / (C_{eq} - C_{bo})] : [(K_0 a \epsilon / U_s) - 2d(K_0 a \epsilon / U_s)^2] \quad (6-44)$$

L = Bädd-djupet

C_{eq} = Kalciumkoncentrationen i vätskan vid jämvikt

C_{bL} = Kalciumkoncentrationen i vätskan

C_{bo} = Kalciumkoncentrationen i ingående vätska

K_0 = Totala upplösningshastighetskonstanten

$a = \frac{6(1-\epsilon)}{d\Psi\epsilon}$ = Ytan hos kalkstenspartiklarna per enhetsvolym av mellanliggande vätska

ϵ = Bäddporositet

U_s = Vätskehastighet i tom kolonn

d = Kalkstenspartiklarnas medeldiameter

Ψ = Partikelfärisitet

Vid försöken användes kolonner med kalkstensmassor med olika kornstorlek.

Kolonnernas diameter var 15.2 respektive 38.1 cm. Höjden var 3.5 respektive 2.1 m. Partikelstorleken varierade mellan 0.54 och 3.2 cm. Kalkstenen kom från Boonvill, New York och hade följande katjonsammansättning:

Ca 85 %

Al 12.3 %

Mg 2.4 %

Fe, Mn, Zn, Cu, Cd < 0.1 %

I tabell 11 visas värdena för några parametrar vid försöket.

Tabell 11 Värden på parametrar som användes vid bestämning av K_0 (Letterman et al 1991)

Parameter (1)	Range (2)
Superficial velocity U ,	0.9–72 cm/min
Influent pH, pH_0	3.4–6.0
Influent calcium concentration C_{b0}	0–5.2 mg Ca/L ($0–1.3 \times 10^{-4}$ mols/L)
Temperature T	9°–22° C
Volume-mean particle diameter d	0.55–3.20 cm
bed porosity ϵ	0.41–0.49

Provtagning gjordes utmed hela kolonnen. För att minska effekten av CO_2 -utbyte mättes pH direkt i provtagningspunkten. Utgående från experimentella försök, jämviktsberäkningar och ekvationsmodellen enligt ovan bestämdes K_0 . Den beskrivna modellen har använts för att tillverka ett dataprogram kallat DESCONE (Letterman och Kothari) och en uppsättning av nomogram som kan användas vid filterdimensionering.

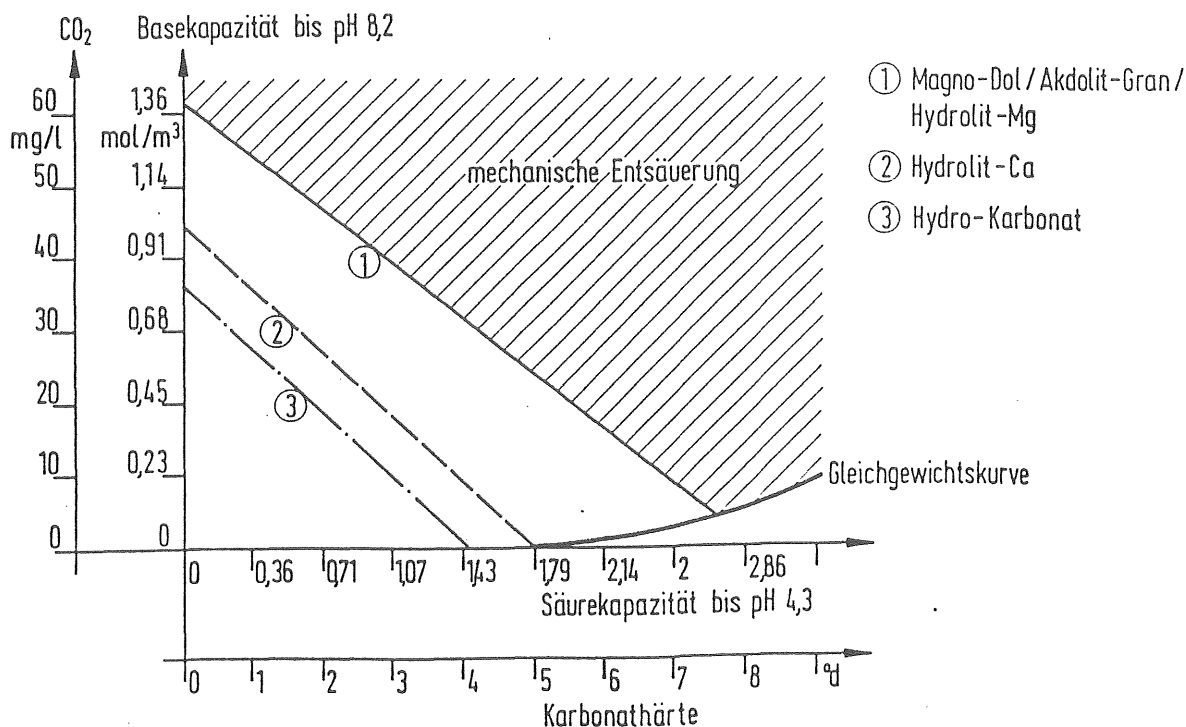
Modellen har utvecklats med antagandet att vattnet strömmar genom kalkstensbädden utan kontakt med luftens koldioxid.

Beforth (1987) tar upp synpunkter på avsyrring av olika vatten med olika typer av avsyrringsmaterial. I tabell 12 visas några vanliga avsyrringsmaterial med reaktionsmekanismer och förbrukning.

Tabell 12 Kemiska egenskaper för olika avsyrringsmedel (Beforth 1987)

Materialtyp	Produktbezeichnung	Chem. Hauptbestandteile	chemische Reaktion	Verbrauch		Aufhärtung °d
				g/g theor.	CO_2 prakt.	
Dolomitiskt Filtermaterial	MAGNO-DOL (splittig)	$CaCO_3 \times MgO$	$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$	1,06	1,3	1,0
	AKDOLIT-GRAN (kugelig)		$MgO + 2CO_2 + H_2O \rightarrow Mg(HCO_3)_2$			
Calciumkarbonat	HYDRO-KARBONAT "grau" HYDRO-KARBONAT "weiß, Weißjura" HYDROLIT-Ca	$CaCO_3$	$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$	2,28	2,5	1,28
Magnesit	HYDROLIT-Mg	$MgO + Mg(OH)_2$	$MgO + 2CO_2 + H_2O \rightarrow Mg(HCO_3)_2$ $Mg(OH)_2 + 2CO_2 \rightarrow Mg(HCO_3)_2$	0,75	0,9	0,65
Vitkalkhydrat	MAGNO-TRINKWASSER-HYDRAT	$Ca(OH)_2$	$Ca(OH)_2 + 2CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$	0,84	-	0,64
Natronlauge	-	NaOH	$NaOH + CO_2 \rightarrow NaHCO_3$	0,91	-	0,7 ("scheinbare" Härte)

Beforth visar med hjälp av figur 16, där vattnets CO_2 -halt visas som funktion av karbonathårdhet, vilken avsyrringsmetod som är lämplig.



Figur 16 Schematisk beskrivning av lämplig avsyrningsmetod för olika vattentyper (Beforth 1987)

Pearson et al (feb 1975, jun 1975) har studerat kalkstensbarriärer för att neutralisera sura dräneringsvatten från kolgruvor. Som en första del i dessa studier undersöktes kinetiken för den hastighetsbestämmande reaktionen mellan krossad kalksten och surt vatten. Två reaktioner bestämmer den totala neutralisationsprocessen: reaktion mellan vätejoner och kalksten samt utbyte av CO₂ som därvid bildas. Hastigheten av båda dessa reaktioner kontrolleras av diffusionen av reaktanter till eller produkter från reaktionsytan.

Differentialekvationer härleddes för att beskriva hastigheten för förbrukning av vätejoner och balansen för kolsyraformer i sura vatten när det neutraliseras med krossad kalksten. Dessa ekvationer kan användas för dimensionering av processer för neutralisation av sura avlopp med krossad kalksten. Pearson et al visar diagram som kan användas vid dimensioneringen. Dessa gäller för pH 4.5 - 6.5 på utgående vatten.

Några studier med avsyrningsmassor och filterenheter har utförts i Sverige (Hedberg 1983, Hedberg 1984, Rahm 1983, Göhle 1984). Dessa behandlas dock inte närmare i detta avsnitt. Volpicelli (1981) och Oomen (1983) har undersökt avsyrring av vatten som innehåller aluminium respektive järn.

7. UNDERSÖKNINGENS SYFTE OCH UTFÖRANDE

I föreliggande arbete har de på marknaden i Sverige vanligaste kalkstens- och halvbrända dolomitmassorna undersökts vid standardiserade betingelser.

Av intresse har varit att se hur vatten med olika sammansättning påverkas vid filtrering genom olika massor med varierande kornstorlek och varierande uppehållstid i filtret. Upphållstiden har ändrats både med vattenflödes hastighet och bäddhöjd.

Även inverkan av massornas "ålder" har i vissa fall studerats.

7.1 Val av massor

För att välja vilka massor som skulle studeras i föreliggande undersökning gjordes en inventering av vilka massor som används av filterleverantörer i Sverige. Utifrån detta valdes de vanligaste kalkstens- respektive halvbrända dolomitmassorna ut för undersökning, tabell 13.

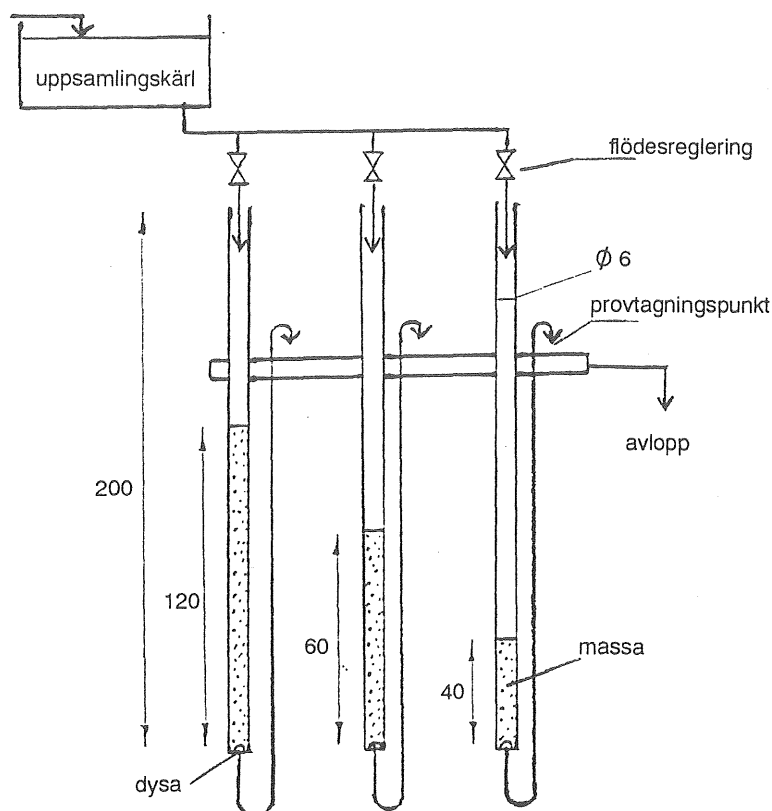
Tabell 13 Undersökta avsyrningsmassor

Massa	Typ
Hydrolit-Ca	kalksten
Hydrokarbonat Weiss, Weissjura-ε	kalksten
Filterkarb	kalksten
Magno-dol	halvbränd dolomit
Akdolit-gran	halvbränd dolomit
Redolit	halvbränd dolomit

Undersökningen kompletterades med ytterligare några försök på en kalkstensmassa, Aqua Ring, som har en mycket stor kornstorlek jämfört med de andra massorna. Dessa resultat är av intresse att jämföra med resultat enligt Letterman et al 1986.

7.2 Försöksanläggning

Undersökningen utfördes i VA-tekniks försöksstation vid Göteborgs vattenreningsverk, Lackarebäck. Massornas avsyrningssegenskaper studerades i tio stycken parallellkopplade plexiglaskolonner, där vattnet passerar bädden nedströms, figur 17.



Figur 17 Principskiss av försöksanläggning (måttangivelser i cm)

Vattnet som ska filtreras leds till ett uppsamlingskärl med bräddavlopp. Därifrån leds vattnet via flödesregleringsventiler till kolonnerna. Vattnet filtreras nedströms genom bädden. Utloppet från kolonnerna leds via en plastslang till avlopp på en höjd ovanför bäddytan för att inte filtermassan ska bli torr vid eventuellt vattenstopp. Filtermassan i kolonnerna hålls kvar med en botten försedd med en dysa som endast släpper igenom filtrerat vatten.

7.3 Filterdimensionering

Försökskolonnerna som var tillverkade av plexiglasrör hade en invändig diameter på 6 cm och en höjd på 2 m. Kolonnerna packades med avsyrningsmassa till olika bäddhöjd, 40, 80 och 120 cm. Vattnet filtrerades kontinuerligt genom filterbädden med olika flödes hastighet, som varierade mellan ca 0.2-1 l/min. Tabell 14 visar motsvarande flöde i ett konventionellt filter avsett för ett privat hushåll. Dessutom anges den skenbara, beräknade uppehållstiden, T, för tre olika flödes hastigheter och två bäddhöjder.

$$T = \frac{\text{bäddvolym [l]}}{\text{flödes hastighet [l/min]}}$$

Tabell 14 Flöden och uppehållstider för försöksfiltren och ett konventionellt filter.
 Konventionellt filter: $\varnothing = 0.3 \text{ m}$ ($A = 0.071 \text{ m}^2$)
 Försöksfilter: $\varnothing = 0.06 \text{ m}$ ($A = 0.0028 \text{ m}^2$)

Konventionellt filter		Upphållstid		Försöksfilter	
Flöde		[min]		Flöde	
[l/min]	[m/h]	h=0.8 m	h=1.2 m	[l/min]	[m/h]
6	5.1	9.5	14	0.24	5.1
12	10.1	4.5	7.2	0.47	10.1
24	20.3	2.4	3.5	0.95	20.3

7.4 Undersökta vattentyper

Avsyrningsförloppet vid användning av filtermassor är mycket beroende av råvattnets sammansättning. Därför studerades två olika vattentyper, ett mycket mjukt vatten med låg vätekarbonathalt och ett hårdare, mer buffrat vatten, se tabell 15. Järn- och manganhalten i råvattnet var vid samtliga försök låg ($\text{Fe} < 0.05 \text{ mg/l}$, $\text{Mn} < 0.03 \text{ mg/l}$).

Tabell 15 Ungefärlig sammansättning på två vattentyper som studerats

Vattentyp	pH	HCO_3^- [mg/l]	Totalhårdhet [mgCa/l]	CO_2 fri [mg/l]
Vatten 1	ca 6.5	ca 7	ca 13	ca 5
Vatten 2	ca 6.5	ca 35	ca 30	ca 35

Det mjuka vattnet (vatten 1) togs direkt efter snabbfiltrering från vattenverkets renade vatten innan detta slut-pH-justerades. Vattnet leddes från verkets anläggning till försökshallen i en slang med hävertverkan. Det hårdare vattnet (vatten 2) erhöles genom dosering av $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCl_2 och CO_2 till vatten 1. Vattnet "tillverkades" satsvis och pumpades till uppsamlingskärlet.

7.5 Provtagning och analys

Provtagning för analys gjordes på vattnet före och efter filterkolonnerna. Denna provtagning utfördes 1-2 timmar efter flödesinställning av råvattnet till kolonnerna. Vid varje provtagningstillfälle mättes exakt flödeshastighet, genom att mäta utgående vattenvolym, l/min. Tabell 16 visar vilka analyser som utfördes och vilka metoder som användes.

Tabell 16 Analyser utförda på råvatten respektive filtrerat vatten. (Ca²⁺, Mg²⁺ och CO₂ utfördes ej på alla prov.)

Analys	Råvatten	Filtrerat vatten	Metod
pH	x	x	SS028122
Alkalinitet	x	x	SS028139
Totalhårdhet	x	x	SS028121
Kalcium	x	x	SS028161
Magnesium	x	x	SS028161
Fri kolsyra	x	enstaka	Standard methods (1989)
Temperatur	x	-	

Proven analyserades direkt med avseende på pH, alkalinitet och kolsyra för att få en så liten förändring som möjligt av provet. Alkaliniteten bestäms genom titring med saltsyra, under avdrivning av koldioxid, till pH 5.4. Fri kolsyra bestäms genom titring med natriumhydroxid till pH 8.3.

På alla massor som studerades gjordes en siktanalys för att ta fram kornstorleksfördelningen.

7.6 Spolning av filterbädden

Filterbädden måste backspolas regelbundet för att avsyningen ska bli så effektiv som möjligt. Vid backspolning spolas de från vattnet filtrerade suspenderade ämnena bort. Dessutom bortföres eventuellt avsatt järn och mangan från partikelytan. Risken för sammankittning av halvbrända dolomitmassor minskas också vid regelbunden backspolning. Det är också mycket viktigt att backspola vid nypåfyllning av massa för att få bort alltför finkornigt material. Vid backspolningen kopplades spolvatten till utloppet från kolonnerna och på toppen av plexiglasröret sattes ett lock med en slang för utlopp av spolvatten. Som spolvatten användes utgående pH-justerat vatten från verket.

Flödet på spolvattnet justerades så att bädden expanderade med 25-30 % av ursprunglig bäddhöjd. Spolningen utfördes under 15-30 minuter.

8 RESULTAT

I detta avsnitt redovisas erhållna försöksresultat från undersökningen.

8.1 Massornas kornstorlek och kornform

Avsyrningsmassornas utseende och struktur, såsom kornstorlek, kornform och porositet, har betydelse för avsyrningsförloppet.

Vissa uppgifter finns tillgängliga i produktinformationsbladen för massorna (bilaga 1-8). Dessa uppgifter kompletteras i föreliggande undersökning med siktanalys på respektive massa.

Tabell 17 visar värden på D_{10} och D_{60} för varje undersökt massafraktion. (D_{10} och D_{60} är den kornstorlek som är mindre än 10 % respektive 60 % av filtermaterialet.) Dessutom anges kornstorlek enligt produktinformation, utom för Hydrolit-Ca och AquaRing, där kornstorleken erhållits från siktanalys. I bilaga 9 redovisas tillhörande siktcurvor.

Tabell 17 Undersökta massors kornstorleksfördelning

Massa	Kornstorlek [mm]	D_{10} [mm]	D_{60} [mm]
Hydrolit-Ca	2.0-6.0	2.9	3.5
Hydrolit-Ca	1.0-5.0	2.5	3.2
Hydrokarbonat	0.7-1.4	1.0	1.4
Filterkarb	1.2-1.8	1.1	1.5
Filterkarb	0.8-1.2	0.7	1.1
Magno-dol KI	0.5-2.5	1.2	1.9
Magno-dol KII	2.0-4.5	2.1	2.9
Akdolit-gran 0	0.5-1.2	0.8	1.2
Akdolit-gran 1	0.5-2.5	1.5	1.8
Akdolit-gran 2	2.0-4.5	2.1	2.9
Redolit	1.0-3.0	1.3	1.7
Aqua Ring	4.0-11	5.6	8.0

Siktanalysresultaten visar att alla massorna ligger inom ett relativt begränsat storleksområde. Detta är en fördel vid spolningsproceduren eftersom det då är lättare att få hela bädden att expandera. Siktcurvan för dolomitmassan Akdolit-gran 2 visar ett utdraget förlopp på andelen småpartiklar. Detta kan bero på att en del av kornen

slagits sönder vid siktanalysen. Massornas kornform och kornstorlek påverkar det hydrauliska förloppet vid backspolning. Dessutom har kornens utseende betydelse vid avsyrningsreaktionen och möjligheten att avskilja suspenderat material samt järn och mangan. I bilaga 10 framgår massornas utseende av fotografier, skala 1:1.

8.2 Råvattensammansättning

I tabell 18 redovisas analysresultat för det i undersökningen använda råvattnet.

Vatten 1 mjukt lågbuffrat vatten, direkt från verkets snabbfiltrering

Vatten 2:x medelhårt, buffrat vatten. Den satsvisa doseringen till verkets snabbfiltrerade vatten varierade något, varför varje omgång benämnes med olika nummer.

Tabell 18 Sammansättning på råvatten som använts i undersökningen

Vatten	pH	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	CO ₂ fri [mg/l]	Totalhårdhet [mgCa/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]
Vatten 1	5.8-7.0	6-11	4.2-4.9	10-14	7-12	1.6-1.9
Vatten 2:1*	6.1-6.2	75-85	74	37	-	-
Vatten 2:2*	6.2-6.5	106-116	79	45-47	42.5	2.05
Vatten 2:3	6.2-6.8	32-35	33	29-32	28.9	1.85
Vatten 2:4	6.2-6.5	34-37	39	30-33	29.0	1.80
Vatten 2:5	6.2-6.3	35-38	-	34-35	31.6	1.90
Vatten 2:6	6.4-6.5	39-41	-	34	30.9	1.70

* Vatten 2:1-2 innehöll p g a doseringsproblem en för hög halt kolsyra.

8.3 Filtrerat vatten

Vid filtrering av råvattnet genom avsyrningsmassorna ändras sammansättningen på vattnet vad avser pH, alkalinitet och totalhårdhet.

Förändringen av vattnets sammansättning är beroende av ett flertal olika parametrar, såsom massatyp, kornstorlek, råvattensammansättning, bäddhöjd, vattenhastighet och massans ålder.

I detta kapitel behandlas förändringen av pH, alkalinitet respektive totalhårdhet i skilda avsnitt.

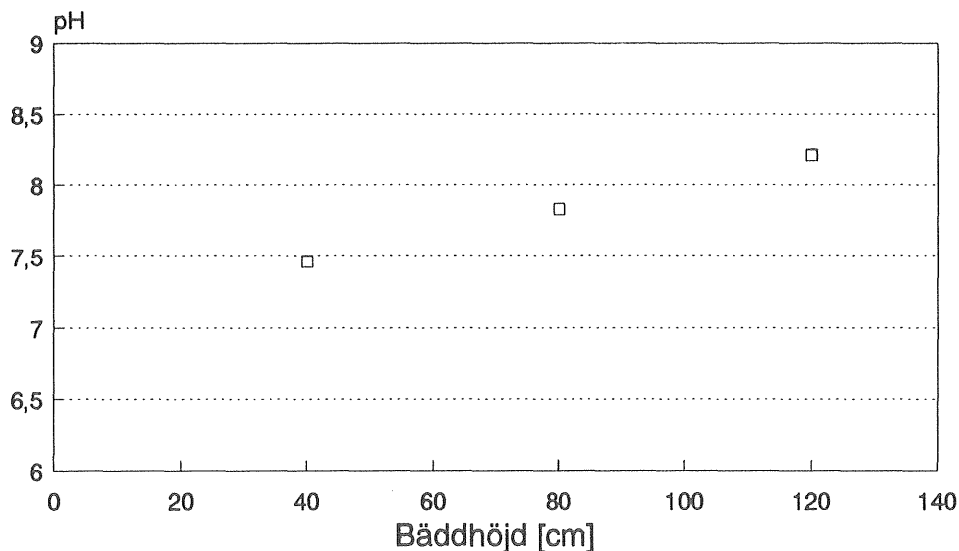
8.3.1 Höjning av pH-värde

Undersökningen visar att erhållet pH-värde på filtrerat vatten varierar med typ av massa, råvattensammansättning, flödes hastighet och bäddhöjd. I figur 18 och 19 visas pH-värdet som funktion av bäddhöjd respektive flödes hastighet för vatten 1 och Filterkarb (1.2-1.8). Dessutom inverkar massans ålder vid användning av halvbränd dolomit. Detta har dock på grund av projektets tidsbegränsning ej kunnat studeras tillräckligt.

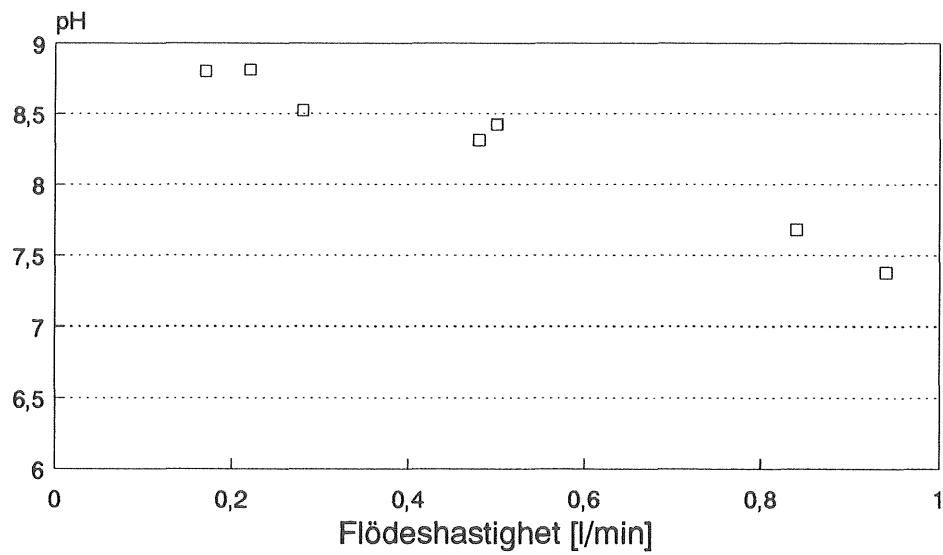
Utgående från vattnets flödes hastighet och filtrets bäddhöjd beräknades skenbar uppehållstid i filtret (upphållstid i tom bädd).

$$\text{skenbar uppehållstid} = \frac{\text{total bäddvolym}}{\text{flöde}}$$

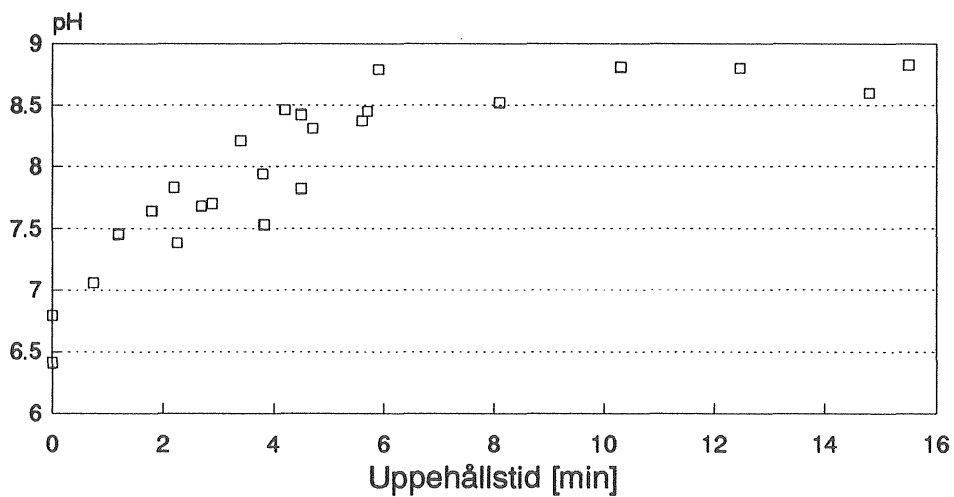
I figurerna 20 och 21 visas exempel på kurvor där pH visas som funktion av uppehållstid i filterbädden.



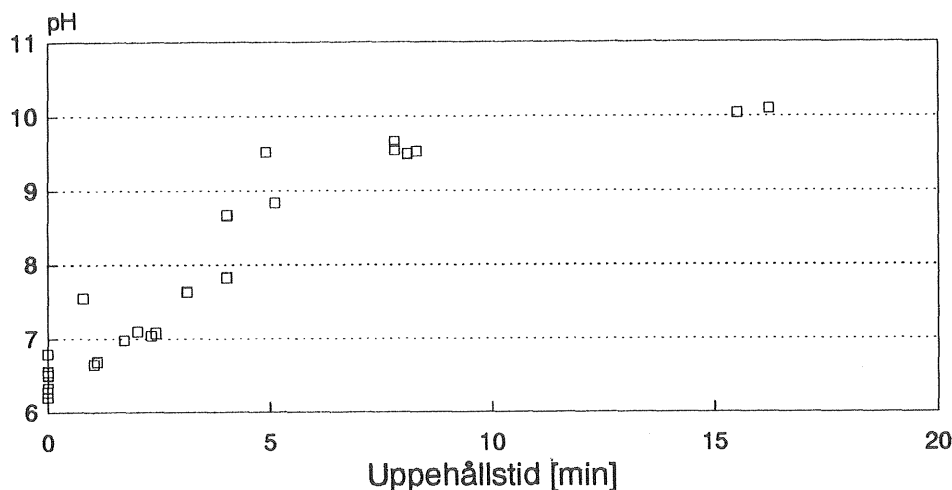
Figur 18 pH-värde på filtrerat vatten som funktion av bäddhöjd för vatten 1 och Filterkarb (1.2-1.8). Flödes hastigheten var 1,0 l/min.



Figur 19 pH-värde på filtrerat vatten som funktion av flödes hastighet för vatten 1 och Filterkarb (1.2-1.8). Bäddhöjden var 80 cm.



Figur 20 pH-värde på filtrerat vatten som funktion av skenbar uppehållstid, för vatten 1 och Filterkarb (1.2-1.8)



Figur 21 pH-värde på filtrerat vatten som funktion av skenbar uppehållstid, för vatten 2:3 och Magno-dol KI.

I bilaga 11 visas primärvärden på filtrerat vatten som funktion av skenbar uppehållstid för de undersökta massorna. Massornas pH-höjande förmåga har studerats för det mjuka vattnet (vatten 1) och det medelhårda vattnet (vatten 2), utom Aqua Ring som endast studerats för vatten 1.

Resultaten visar att vid avsyring av det mjuka vattnet erhöles för alla massor utom Aqua Ring ett konstant pH-värde på filtrerat vatten efter ca 5 minuter. För de rena kalciumkarbonatmassorna Filterkarb och Hydrokarbonat erhöles efter 5 min uppehållstid ett pH-värde på filtrerat vatten som motsvarar jämvikts-pH. Aqua Ring ger dock på den stora kornstorleken ett för lågt pH-värde på filtrerat vatten. För att uppnå nästan jämvikts-pH med denna massa krävs en uppehållstid på ca 20 min. Avsyring med kalkstensmassan Hydrolit-Ca gav ett något högre pH-värde. Detta beror på att Hydrolit-Ca innehåller högre halt MgO än andra kalkstensmassor. Samtliga halvbrända dolomitmassor medför en snabb och kraftig pH-höjning på det mjuka vattnet. Vid filtrering genom halvbränd dolomit förbrukas nämligen snabbt den lilla mängd CO₂, som finns i vattnet, varefter OH⁻-koncentrationen i vattnet höjs med ett för högt pH-värde som följde. Detta orsakas av den lättlösliga magnesiumoxiden i halvbränd dolomit (se ekv (5-3)). Lämpligt pH-värde erhålls alltså efter kortare uppehållstid än 5 min.

Tabell 19 visar erhållna pH-värden efter 5 minuters uppehållstid i filterbädden för vatten 1. Då avsyrningsreaktionen också påverkas av vattnets temperatur, redovisas även denna i tabell 19.

Tabell 19 Erhållet pH-värde på filtrerat mjukt vatten efter 5 minuter skenbar uppehållstid.

Massa	pH	Råvattentemperatur °C
Aqua Ring	6.6	6
Filterkarb (1.2-1.8)	8.7	10-18
Filterkarb (0.8-1.2)	8.8	10-18
Hydrokarbonat	8.6	14
Hydrolit Ca (2.0-6.0)	9.0	9-12
Hydrolit Ca (1.0-5.0)	9.5	14
Magno-dol KI	10.2	9-12
Magno-dol KII	10.2	9-12
Redolit	11.8	14
Akdolit-gran 0	11.7	14
Akdolit-gran 1	11.8	14
Akdolit-gran 2	12.0	14

Vid filtrering genom massorna Redolit och Akdolit-gran ändras pH-värdet beroende på massans ålder. Detta framgår för Redolit av bilaga 11: 22-23. Då massorna hade varit i funktion 2-4 veckor erhöles ett pH-värde, som låg 1-2 enheter lägre än för ny massa. Detta var speciellt märkbart för Akdolit-gran, som innehåller en viss mängd $Mg(OH)_2$ och enligt Reijnen (1976) även en liten mängd $Ca(OH)_2$.

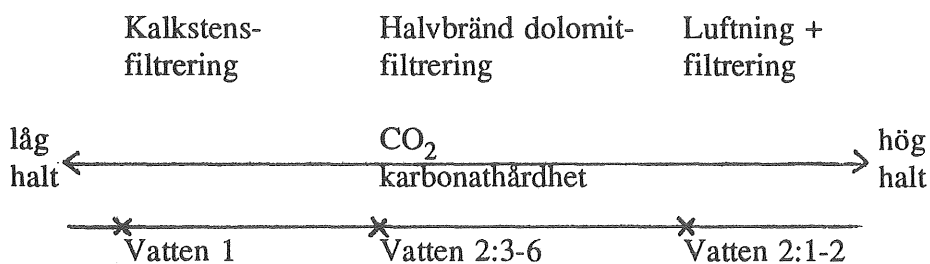
Vid avsyrring av det medelhårda vattnet höjs pH-värdet långsammare än för det mjuka vattnet. Vid filtrering genom kalkstensmassa erhöles jämvikts pH-värde efter ca 10 min. uppehållstid. De halvbrända dolomitmassorna ger ett högre pH-värde, varför kortare uppehållstid är lämplig. Tabell 20 visar pH-värden erhöles efter 10 minuters uppehållstid vid filtrering av vatten 2:3-6.

För vatten 2:1-2 som hade en högre halt HCO_3^- och CO_2 ökade pH-värdet långsammare än för vatten 2:3-6, se bilaga 11:16-17. Ett sådant vatten är lämpligt att lufta för att minska CO_2 -halten före filtrering genom avsyrringsmassa.

Erhållna resultat visar att ett mjukt och kolsyrafattigt, surt vatten (vatten 1) är lämpligt att filtrera genom kalkstensmassa. Ett hårdare vatten med högre kolsyrahalt (vatten 2:3-6) är lämpligt att behandla med halvbränd dolomit. Medan ett vatten med ännu högre kolsyrahalt och karbonathårdhet bör luftas före filtrering. Figur 22 visar schematiskt olika vattentyper och lämplig avsyrringsmetod.

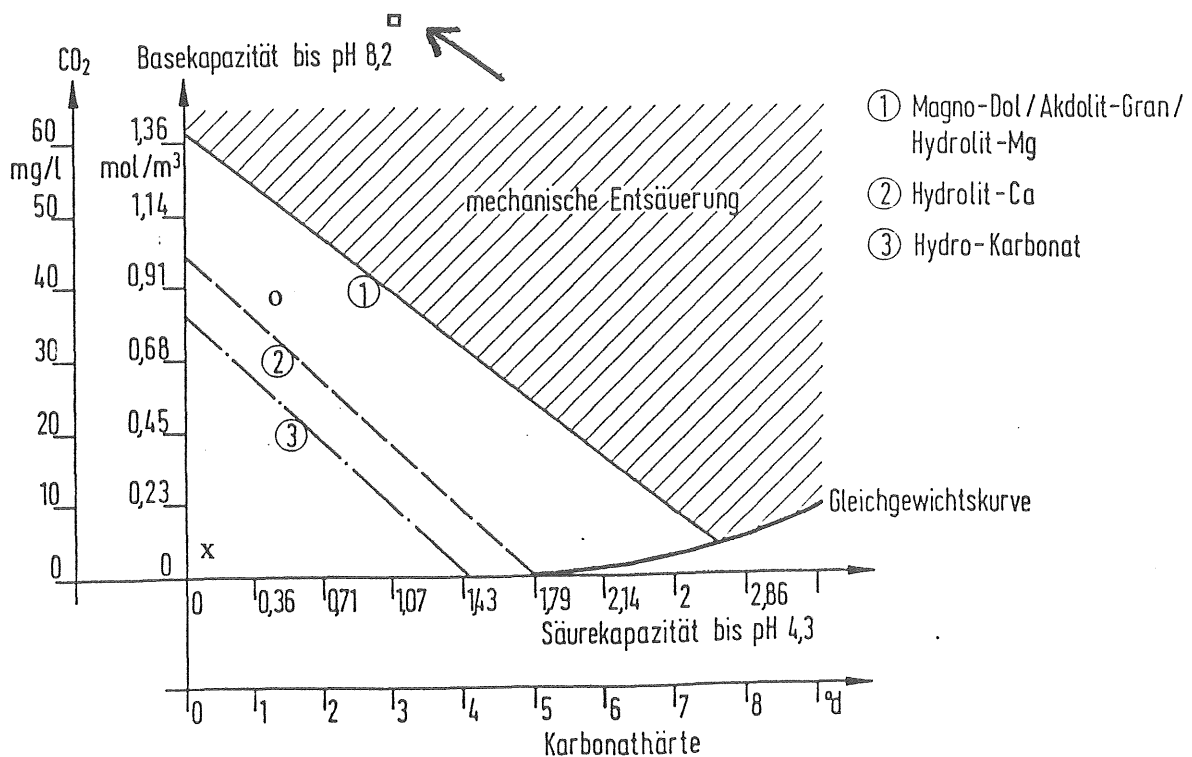
Tabell 20 Erhållet pH-värde på filtrerat medelhårt vatten efter 10 minuters skenbar uppehållstid.

Massa	pH	Råvattentemperatur °C
Filterkarb (1.2-1.8)	7.4	18
Filterkarb (0.8-1.2)	7.6	18
Hydrokarbonat	7.6	18
Hydrolit Ca (2.0-6.0)	7.7	17
Hydrolit Ca (1.0-5.0)	7.7	16
Magno-dol KI	10	17
Magno-dol KII	9.5	17
Redolit	11.2	16
Akdolit-gran 0	11.8	16
Akdolit-gran 1	11.3	16
Akdolit-gran 2	11.0	16



Figur 22 Vattensammansättning och lämplig avsyrningsmetod.

Dessa resultat stämmer väl överens med samband i figur 23 enligt Beforth (1987), där sammansättningen på de undersökta vattentyperna i föreliggande rapport har lagts in i figuren.



Figur 23 Rekommenderad avsyrningsmetod enligt Beforth (1987)
 x vatten 1, o vatten 2:4, □ vatten 2:1

Vid ökande halt CO_2 och karbonathårdhet i råvattnet krävs en längre uppehållstid i avsyrningsfiltret. Detta kan jämföras med resultat enligt Reijnen (1980) i figur 9.

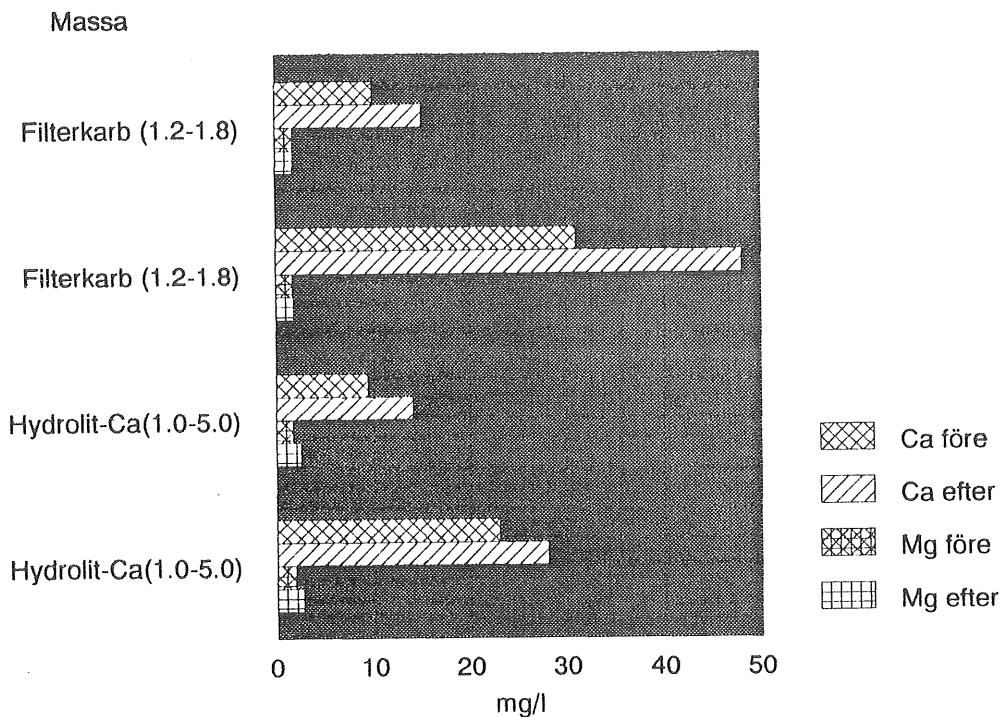
8.3.2 Hårdhetshöjning

Hårdhetshöjningen i vattnet är olika, beroende på om vattnet filtrerats genom kalkstensmassa eller halvbränd dolomitmassa. Nedan redovisade resultat har erhållits efter ca 10 minuters uppehållstid i bädden.

8.3.2.1 Filtrering genom kalksten

Vid filtrering genom kalkstensmassa ökar totalhårdheten i vattnet p g a ökad kalciumhalt. Ökningen av kalciumhalten är ca 50 % för alla vattentyper (se figur 22). Detta innebär, att det mjuka vattnet erhåller något för låg kalciumhalt och de hårda något för hög för att ligga inom rekommenderade gränser enligt Lind-Johansson (1989) för kombinerade koppar-järnledning.

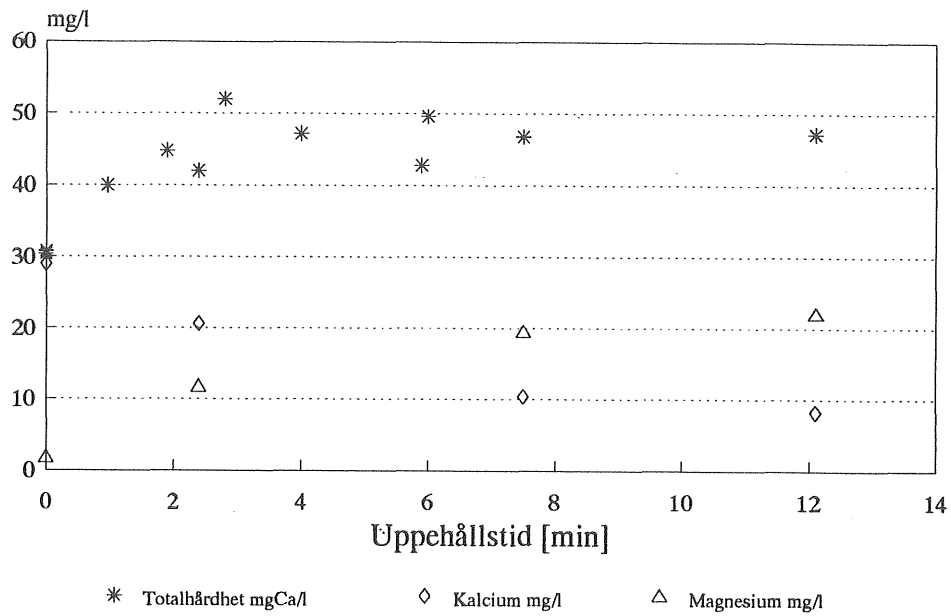
Magnesiumhalten i det filtrerade vattnet är oförändrad utom för Hydrolit-Ca som innehåller mer magnesiumoxid än de andra kalciumkarbonatmassorna (se figur 24).



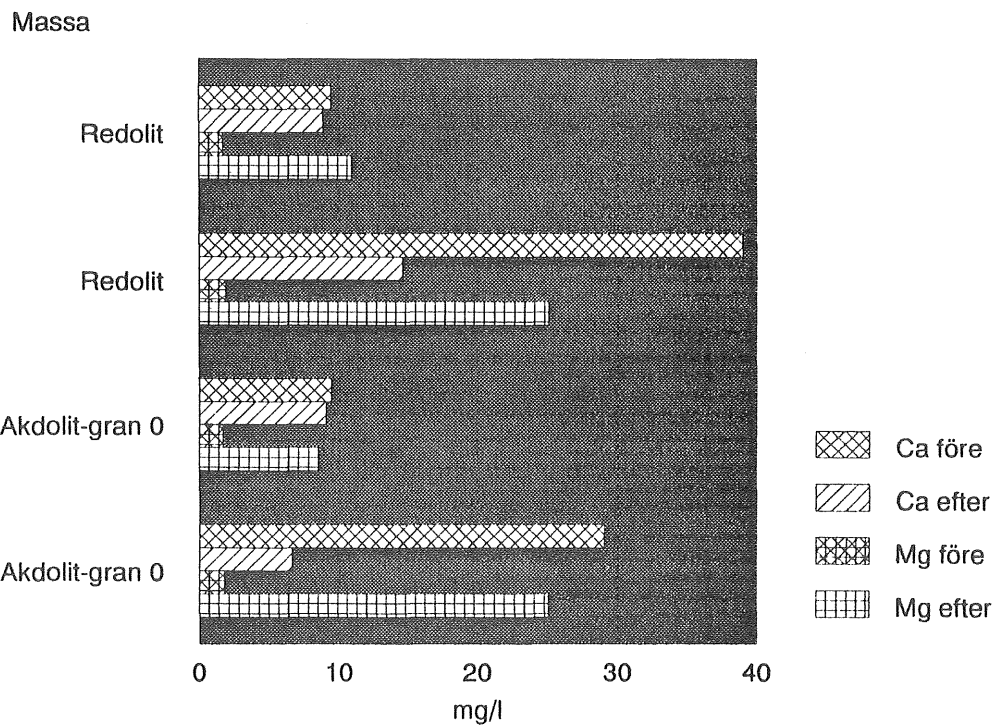
Figur 24 Kalcium- och magnesiumhalt i vattnet före och efter filtrering genom kalkstensmassa

8.3.2.2 Filtrering genom halvbränd dolomit

Vid filtrering genom halvbränd dolomit ökar totalhårdheten. Denna ökning beror på ökning av magnesiumhalten i det filtrerade vattnet, som härrör från upplösning av magnesiumoxiden i massan. Vid denna upplösning av magnesiumoxiden erhålls samtidigt en kraftig pH-höjning (i vissa fall upp till 11-12) i vattnet. Detta medför att kalciumkarbonat fälls ut (jmf ekv. 6-22 - 6-27), vilket förklarar att kalciumhalten vid samtliga försök minskade i vattnet vid filtrering (se figur 25). Magnesiumhalten i det mjuka vattnet ökade ca 5 ggr och i det hårda vattnet ca 7 ggr vid filtrering i Magnodol. Filtrering genom Akdolit-gran och Redolit gav en större ökning på ca 15 ggr den ursprungliga magnesiumhalten. Kalciumhalten minskar obetydligt vid filtrering av det mjuka vattnet, medan halten i det hårda vattnet minskar till ca 50 % av den ursprungliga halten, utom vid filtrering genom Akdolit-gran, då halten minskar ner till 25 %. Den stora minskningen av kalciumhalten efter filtrering genom Akdolit-gran beror på det höga pH-värdet som erhölls. Minskning av kalciumhalten börjar när pH på filtrerat vatten går över 8. Kalciumhalten på filtrerat vatten ligger i samtliga fall lågt med hänsyn till rekommendationer enligt Lind-Johansson (1989) för att minska korrosionen där en kombination av koppar- och järnledningarna används. Figur 26 visar några kalcium- och magnesiumhalter före och efter filtrering genom halvbränd dolomit.



Figur 25 Totalhårdhet, kalcium- och magnesiumhalt som funktion av uppehållstid vid filtrering av vatten 2:4 genom Akdolit-gran 2.



Figur 26 Kalcium- och magnesiumhalt i vattnet före och efter filtrering genom halvbränd dolomit

8.3.3 Alkalinitetshöjning

Höjning av alkaliniteten på vattnet vid filtrering genom avsyrningsmassor är beroende av råvattnets kolsyrahalt och massatyp.

I tabell 21 anges alkaliniteten i filtrerat vatten vid ett visst pH-värde, lämpligt ur korrosionssynpunkt.

För det mjuka vattnet erhålls genomgående lägre alkalinitet än vad som är angivet i rekommendationer för att minska korrosion. Detta beror på att kolsyrahalten i vattnet var låg. Vid filtrering av det hårdare vattnet (vatten 2:3-6) erhålls i samtliga fall en alkalinitet ≥ 60 mg HCO_3^- /l. Vid filtrering av vatten 2:1-2 som hade en mycket hög kolsyrahalt erhålls också en mycket hög alkalinitet. Detta vatten är alltså lämpligt att lufta före filtrering.

Genomgående visar resultaten att kalkstensmassa ger högre alkalinitet än halvbränd dolomit, beroende på att reaktionen mellan kalciumkarbonat och kolsyra ger större andel vätekarbonat än reaktionen mellan halvbränd dolomit och kolsyra.

Alkaliniteten på det filtrerade vattnet stämmer väl överens med beräknade värden utgående från råvattnets alkalinitet och kolsyrahalt samt reaktionsformler (4-4) respektive (4-5).

De höga alkalinitetsvärden som erhålls vid längre uppehållstider för det mjuka vattnet i halvbrända dolomitmassor beror på ökning av OH^- -halten.

Tabell 21 Alkalinitet i $\text{mgHCO}_3^-/\text{l}$ och pH på filtrerat vatten

Massa	Vattentyp	HCO_3^- mg/l	pH
Aqua Ring	Vatten 1	20	8
Filterkarb (1.2-1.8)	vatten 1	25	8.5
Filterkarb (1.2-1.8)	vatten 2:6	100	7.5
Filterkarb (0.8-1.2)	vatten 1	25	8.5
Filterkarb (0.8-1.2)	vatten 2:6	100	7.5
Hydrokarbonat	vatten 1	22	8.5
Hydrokarbonat	vatten 2:5	110	7.5
Hydrolit-Ca (2.0-6.0)	vatten 1	18	8.5
Hydrolit-Ca (2.0-6.0)	vatten 2:2	250	7.0
Hydrolit-Ca (2.0-6.0)	vatten 2:3	90	7.5
Hydrolit-Ca (1.0-5.0)	vatten 1	20	8.5
Hydrolit-Ca (1.0-5.0)	vatten 2:5	90	7.5
Magno-dol KI	vatten 1	15	9.0
Magno-dol KI	vatten 2:2	240	9.0
Magno-dol KI	vatten 2:3	ca 80	9.0
Magno-dol KII	vatten 1	15	9.0
Magno-dol KII	vatten 2:3	60	9.0
Redolit	vatten 1	22	9.0
Redolit	vatten 2:5	90	9.0
Akdolit-gran 0	vatten 1	20	9.0
Akdolit-gran 0	vatten 2:4	60	9.0
Akdolit-gran 1	vatten 1	30	9.0
Akdolit-gran 1	vatten 2:4	80	9.0
Akdolit-gran 2	vatten 1	20	9.0
Akdolit-gran 2	vatten 2:4	70	9.0

8.4 Filterspolning

Avsyrningsfilter bör backspolas regelbundet för att rengöras från avsatta suspenderade ämnen samt eventuellt järn och mangan. Dessutom minskas genom spolning risken för sammankittning av halvbrända dolomitiska massor.

Spolvattenhastigheten för att få en viss expansion av filterbädden är en funktion av partikelstorlek, massans täthet och vattnets viskositet.

$$V_{\text{spol}} = f(d, \rho, \mu) \quad (8-1)$$

Eftersom viskositeten är temperaturberoende inverkar spolvattnets temperatur på förloppet. Högre temperatur kräver högre spolhastighet. För en effektiv rengöring av filterbädden rekommenderas en spolhastighet så att en expansion på 20-30 % av bädden erhålles. Detta kräver tillgång till stora vattenvolymer, vilket ofta kan vara problem vid privata vattentäcker. Dessutom krävs att råvattenpumpen har en kapacitet som är mycket större (upp till 10 ggr) än vad som erfordras vid normal drift. Halvbrända dolomitmassor kräver ofta tätare spolningsrutiner än kalkstensmassor.

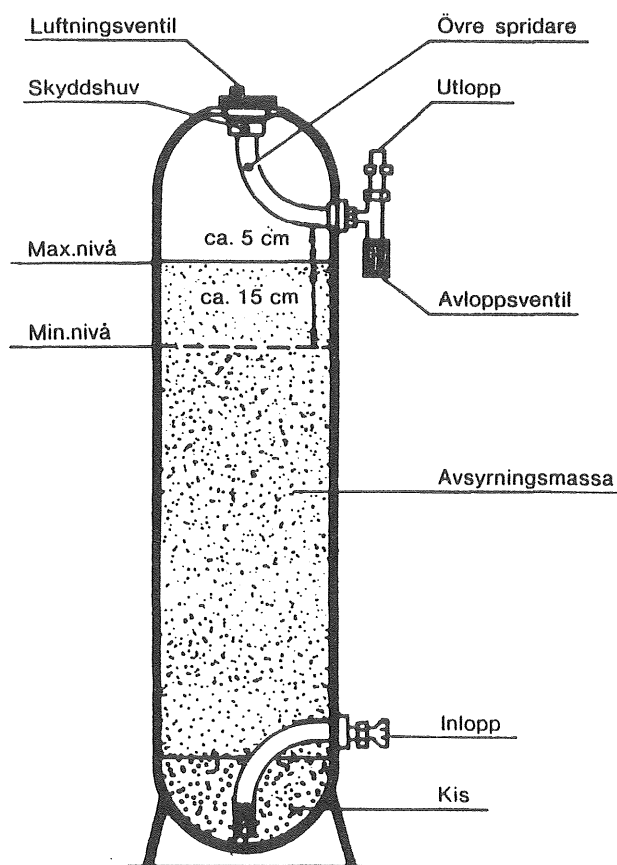
I tabell 22 anges den spolhastighet i m/h som krävdes för att få en expansion på 25-30 % i försökskolonnerna. För massan Aqua Ring erhöles dock ingen expansion p g a den stora kornstorleken.

Tabell 22 Uppmätt spolvattenhastighet vid 25-30 % expansion av filterbädden

Massa	Spolvattenhastighet m/h	Spolvatten-temperatur °C
Hydrolit Ca (1.0-5.0)	163	14
Hydrolit Ca (2.0-6.0)	153	10
Hydrokarbonat	88	15
Filterkarb (0.8-1.2)	58	18
Filterkarb (1.2-1.8)	99	18
Magno-dol KI	132	10
Magno-dol KII	187	10
Akdolit-gran 0	71	10
Akdolit-gran 1	117	14
Akdolit-gran 2	187	14
Redolit	111	15
Aqua Ring	210 (ingen expansion)	6

8.5 Jämförelse med firmafilter

Ett konventionellt filter från en filterfirma kördes parallellt med försökskolonnerna, som kontrollfilter. Detta gjordes för att ta reda på eventuella överföringsproblem av resultat från försökskolonner till konventionella filter med större diameter. Firmafiltret, figur 27, var 0.93 m högt och hade en diameter på 21 cm. Filtret fylldes med Hydrokarbonat eller Magno-dol KI till en bäddhöjd av 60 respektive 62 cm. Sammansättningen på filtrerat vatten från firmafiltret jämfördes med filtrerat vatten från försökskolonner med samma massor.



Figur 27 Schematisk beskrivning av det konventionella filtret

Resultaten visar bra överensstämmelse för Hydrokarbonat och vatten 1 (bilaga 11:6, 32). Vid försök med Magno-dol KI och vatten 1 erhöles något högre pH-värde i firmafiltret. Detta beror troligen på att massan i firmafiltret var nyare och innehöll mer magnesiumoxid som snabbt höjer pH-värdet på vattnet (bilaga 11:15, 33). Samma förhållande gällde när vatten 2 filtrerades genom Magno-dol KI. Här kan också en liten variation i vattensammansättning inverka (bilaga 11:18, 34).

9. JÄMFÖRELSE MED TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR OCH BERÄKNINGSMODELLER

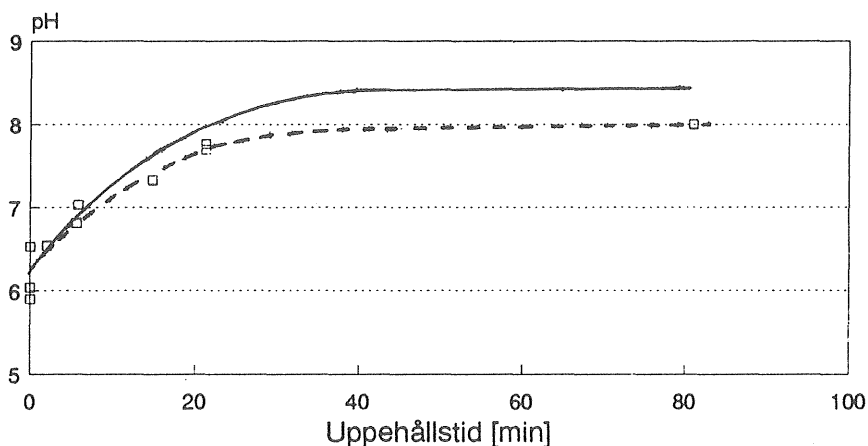
Följande avsnitt redovisar en jämförelse av resultat från föreliggande undersökning med resultat från tidigare undersökningar, både i Sverige och internationellt.

Några författare har tagit fram beräkningsmodeller, som kan användas vid dimensionering av avsyrningsfilter. Beräknade resultat från två modeller (Letterman et al 1991, Baldauf 1991) har jämförts med resultat från föreliggande undersökning.

9.1 Jämförelse med beräkningsmodell enligt Letterman

Letterman et al (1991) har tagit fram en modell för beräkning av erforderlig bäddhöjd vid avsyrnning med kalkstensmassa (ekv 6-44) för att uppnå ett bestämt pH på filtrerat vatten. Beräkningarna för jämförelsen utfördes med dataprogrammet DESCON, som är framtaget av Letterman och Kothari. I den form programmet är framtaget gäller det för filterbäddar med krossad kalksten med en kornstorlek mellan 5 och 32 mm. Denna begränsning av partikeldiametern gör att massan Aqua Ring i föreliggande arbete jämfördes med beräkningsmodellen. Endast det mjuka vattnet undersöktes i massan Aqua Ring.

Vid beräkning av bäddhöjd med dataprogrammet DESCON erhålls först ett jämvikts-pH på filtrerat vatten beräknat utifrån givna data på vattnet som ska behandlas. Värdet på detta jämvikts-pH kan skilja upp till 0.5 pH-enheter beroende på ett litet analysfel (några procent) på t ex vattnets pH, alkalinitet eller kalciumhalt. Modellen bör därför inte användas för att beräkna bäddhöjden vid ett givet pH-värde på filtrerat vatten. Modellen stämmer däremot bra vid jämförelse av avsyrningskurvor enligt figur 28, där pH på filtrerat vatten anges som funktion av uppehållstid i filtret. Av en sådan kurva framgår när systemet börjar närma sig jämvikt. I figur 28 jämfördes beräkningsresultat utförda i DESCON med praktiska försök från föreliggande undersökning. Båda kurvorna planar ut och närmar sig jämvikt vid ca 40 minuters uppehållstid.



Figur 28 pH-värde på filtrerat vatten som funktion av skenbar uppehållstid.
— Beräkning med DESCON - □ - Försök med Aqua Ring

9.2 Jämförelse med beräkningsmodell enligt Baldauf

Baldauf (1991) har tagit fram en modell för beräkning av skenbar uppehållstid vid avsyrningsförsök (ekv 6-37). Baldauf använde vid försöken en kalkstensmassa med 99 % CaCO₃ och kornstorlek 1.2-1.8 mm.

Beräknad skenbar uppehållstid enligt Baldauf jämfördes med försök från föreliggande undersökning. Den massa som överensstämmer bäst med Baldaufs undersökning är Filterkarb med kornstorlek 1.2-1.8 mm. Upphållstiden jämfördes för vatten 1 och vatten 2:6 (se tabell 18). Tabell 23 visar resultat från Baldaufs modell respektive kolonnförsök.

Den enligt Baldauf beräknade uppehållstiden stämmer relativt bra överens med den uppehållstid som erhöles i föreliggande undersökning. En osäkerhet vid bestämning av kalcitlösningsförmågan (aggressiv kolsyra) gör att en viss skillnad i uppehållstid erhålls. Kalcitlösningsförmågan på filtrerat vatten beräknades utifrån råvattnets kolsyrahalt och kalciumhalten i filtrerat vatten.

Tabell 23 Jämförelse av EBCT för beräkningsmodell enligt Baldauf och försök enligt VA-teknik. D_C^E = kalcitlösningsförmåga i filtrerat vatten.

Vatten	D_C^E mmol/l	EBCT [min] Baldauf	EBCT [min] VA-teknik	pH
Vatten 1	0.01	2.3	3	8
Vatten 2:6	0.4	5.7	8.5	7.4

För att nå i det närmaste kalkkolsyrjämvikt, $D_C^E = 0.001$ mmol/l, krävs enligt Baldauf en uppehållstid på 12 minuter för vatten 1 och ca 9 timmar för vatten 2:6. Reaktionen går dock mycket långsamt nära jämvikt, varför jämvikts-pH nästan uppnås vid 5 respektive 25 minuter enligt Baldaufs formel.

9.3 Jämförelse med beräkning utgående från produktinformation

I produktinformation för Magno-dol KI, bilaga 6, redovisas diagram för framtagning av erforderlig mängd massa för avsyning av vatten med given halt aggressiv kolsyra och karbonathårdhet.

Upphållstiden för att avsyra vatten 1 respektive vatten 2:3 beräknades utifrån detta diagram. Resultatet blev 2.5 minuter för vatten 1 och 8 minuter för vatten 2:3. Detta stämmer bra överens med försök i föreliggande undersökning (se bilaga 11:15, 18).

10. SLUTSATSER

Avsyrningsförloppet vid behandling av sura brunnsvatten med avsyrningsmassor skiljer sig beroende på vilken massa som används och brunnsvattnets kemiska sammansättning.

10.1 Avsyrning med kalkstensmassor

Vid filtrering av surt brunnsvatten genom kalkstensmassa sker en reaktion mellan koldioxid i vattnet och kalciumkarbonat i massan. Detta medför att vattnets totalhårdhet och alkalinitet ökar samtidigt som pH-värdet höjs. Eftersom reaktionen går mot kalkkolsyrjämvikt kan inte pH-värdet höjas mer än till jämvikts-pH, vilket för ett mjukt vatten ligger mellan 8 och 9. För hårdare vatten minskar jämvikts-pH-värdet och är 7.5 till 8.

Reaktionen mellan CO_2 och CaCO_3 går långsammare när systemet närmar sig jämvikt. Dessutom minskar reaktionshastigheten med ökande kalcium- och vätekarbonat-halt i råvattnet.

Resultaten från undersökningen visar att ett mycket mjukt vatten med låg halt kolsyra ger ett, ur korrosionssynpunkt, bra pH-värde vid filtrering genom kalkstensmassa efter en skenbar uppehållstid på 5-10 minuter. Detta under förutsättning att massan har en kornstorlek på ca 1-2 mm. Större kornstorlek kräver en längre uppehållstid i filtret.

Ett filter som innehåller kalkstensmassa kan belastas intermittent utan risk för alltför högt pH-värde, eftersom reaktionen avstannar vid jämvikt.

10.2 Avsyrning med halvbrända dolomitmassor

Halvbrända dolomitmassor består av kalciumkarbonat, CaCO_3 , och magnesiumoxid, MgO . Den lösliga magnesiumoxiden medför att vattnets pH-värde snabbt höjs till ett värde över jämvikts-pH. Ett oacceptabelt högt pH-värde kan erhållas vid för lång uppehållstid i filtret. Om massan dessutom är ny kan ett pH-värde på 11-12 erhållas om ett mjukt vatten med låg halt kolsyra filtreras genom halvbränd dolomit.

Undersökningen visar att ett medelhårt vatten (ca 30 mg Ca/l) med en kolsyrahalt på ca 30 mg CO_2 /l, som filtreras genom halvbränd dolomit ger ett ur korrosionssynpunkt bra vatten efter < 5 minuters uppehållstid.

Det är viktigt, att ett filter med halvbränd dolomit inte körs intermittent eftersom detta medför ett för högt pH-värde på det filtrerade vattnet. Det höga pH-värdet medför också att vätekarbonat går över till karbonat, som i sin tur kan reagera med kalcium och bilda kalciumkarbonatutfällning, som kan sammankitta filtermassan. Den specifika reaktionsytan i filtret minskar därmed.

Ett vatten med hög halt koldioxid och relativt hög totalhårdhet är lämpligt att lufta för att minska CO_2 -halten före filtrering genom halvbränd dolomit.

11. FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER

Resultat från föreliggande undersökning visar att dynamiska förhållanden, såsom flödes hastighet och vattenförbrukningsvariationer samt bäddvolym, typ av massa och vattensammansättning påverkar avsyrningsresultatet efter ett filter.

Vid fortsatta undersökningar är det av intresse att konstruera och dimensionera det "ideala systemet". D v s ett system där man oavsett vattenförbrukningsvariationer får en i tiden så konstant vattenkvalitet som möjligt.

Med utgångspunkt från resultat i föreliggande rapport och tidigare undersökningar kan man dels ta fram dimensioneringsregler för i systemet ingående enheter, dels förslag på systemuppställningar av filterutrustning för enskilda vattentäcker för att motverka korrosion i ledningar p g a surt vatten. Undersökningen bör utföras med i praktiken förekommande utrustning - pump, hydrofor, hydropress, filterenhet med och utan spolning, strypmunstycke för reglering av vattenflöden.

Av intresse är att studera variationer av följande parametrar:

Vattenförbrukningsvariationer

Uppehållstider

Typ av avsyrningsmassa

Strömningsförhållanden (laminärt, turbulent)

Spolningsrutiner

Vidare bör studeras hur måttliga föroreningar av metaller (järn, mangan, aluminium och eventuella tungmetaller) samtidigt med avsyring kan avlägsnas i filtermassorna. Dessutom är det av intresse att studera om några metaller frigöres från massorna till vattnet.

12. SYMBOLFÖRTECKNING

A	Filterbäddens tvärsnittsarea
a	Ytan hos kalkstenspartiklarna per enhetsvolym av mellanliggande vätska
AI	Aggressivitetsindex
C_{eq}	Kalciumkoncentration i vätskan vid jämvikt
C_{bL}	Kalciumkoncentration i vätskan
D	Diffusivitet
d	Partikeldiameter
D_{CE}^A	Kalcitlösningsförmåga i råvatten
D_C^E	Kalcitlösningsförmåga i filtrerat vatten
EBCT	(Empty bed contact time) Skenbar uppehållstid
F_T	Korrektionsfaktor
K_0	Totala upplösningshastighetskonstanten
K_1	Kolsyrans första syrakonstant
K_2	Kolsyrans andra syrakonstant
K_H	Henrys konstant
K_M	Masstransportkoefficient
K_S	Löslighetskonstant
k_1 - k_4	Konstanter
L	Bädd-djup
LI	Langliers index
M	Massa
M_0	Ursprunglig massa
M_E	Omräkningsfaktor från mol till kg
m	m-alkalinitet = $[\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+]$
p	p-alkalinitet = $-\text{[CO}_2] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+]$
P_{CO_2}	Partialtryck för CO_2
pH_s	pH-värde vid mätnadsjämvikt
R	Upplösningshastighet
R_0	Ursprunglig partikelradie
Re	Reynolds tal
RI	Ryznar index
S	Specifik belastning
Sc	Schmidts tal
T	Uppehållstid
TIC	Totalt oorganiskt kol
U_s	Vätskehastighet i tom kolonn
Y	Index enligt Feigenbaum
ϵ	Bäddporositet
μ	Viskositet
ρ	Partikeldensitet
Ψ	Partikelfärisitet
ΔC	Koncentrationsskillnad
[]	Koncentration i mol/l, där inget annat anges
{ }	Aktivitet

13. REFERENSER

Baldauf, G. (1986) Verfahren zur Aufbereitung von Sauren, Schwermetall - und/oder aluminiumhaltigen Rohwässern, Pat. No. 3631218

Baldauf, G., Henkel, M. (1991) Möglichkeiten und Grenzen der Marmorentsäuerung vor dem Hintergrund der neuen Trinkwasserverordnung. Wasser und Abwasser, gwf. 132, Nr. 3, s. 132-140.

Barton, P., Vatanatham, T. (1976) Kinetics of limestone neutralization of acid waters. Environ. Sci. and Tech., 10, pp 262-266.

Beforth, H. (1987) Entsäuerung mit chemisch reagierende Filtermaterialien. Bericht aus dem Rhein-Westfäl. Institut für Wasserchemie und Wassertechnologie an der Universität/Gesamthochschule, Duisburg. Nr 1, s. 134-141.

Berner, R.A., Morse, J.W. (1974) Dissolution kinetics of calcium carbonate in sea waters: Theory of calcite dissolution. Am. J. Sci. 274, pp 108-134.

Busenberg, E., Plummer, L.N. (1982) The kinetics of dissolution of dolomite in CO₂-H₂O systems at 1.5 to 65°C and 0 to 1 atm P_{CO₂}. Am. J. Sci. 282, pp 45-78.

Campbell, H.S., Turner, M.E.D. (1980) The influence of trace organics on scale formation and corrosion. BNF Metals Technology Centre, MP 596, Oxfordshire, England.

Compton, R.G., Pritchard, K.L., Unwin, P.R. (1989) The dissolution of calcite in acid waters: mass transport versus surface control. Freshwater Biology 22, pp 285-288.

DIN 19621 (okt. 1973) Dolomitisches Filtermaterial zur Wasseraufbereitung.

Drever, J.I. (1988) The geochemistry of natural waters. 2nd ed. New Jersey.

Feigenbaum, C., Gal-Or, L., Yahalom, J. (1978) Scale protection criteria in natural waters. Corrosion 34, pp 133-137.

von Franqué, O., Gerth, O., Winkler, B. (1975) Ergebnisse von Untersuchungen an Deckschichten in Kupferrohren. Werkst. und Korr. 26, 4 s. 255-258.

Gilbert, P.T. (1966) Dissolution by fresh waters of copper from copper pipes. Water Treatment and Examination 15, pp 165-186.

Göhle, F. (1987) Behandlingsutrustningar för små vattentäcker - testmetod, funktion och driftsäkerhet. "Avsymningsfilter" del 2:2. Lägesrapport 3, KTH, TRITA-VAT-3862.

von Harpe, T. (1979) Neodol-Dolomite filter material for corrosion control by CaCO_3 film formation. A practical handbook for water works Engineers, water chemists and consulting engineers.

Hedberg, T. (1983) Undersökning av alkaliska filtermassor. Inst. för VA-teknik, Chalmers Tekniska Högskola, publ. 6:83.

Hedberg, T. (1984) Om alkaliska filter för sura brunnsvatten. Inst. för VA-teknik, Chalmers Tekniska Högskola, publ. 4:84.

Herman, J.S. (1982) The dissolution kinetics of calcite dolomite and dolomitic rocks in the CO_2 -water system. The Pennsylvania State University, 235 pp.

Herman, J.S., White, W.B. (1985) Dissolution kinetics of dolomite: Effects of lithology and fluid flow velocity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, pp 2017-2026.

Heyer, G. (1888) Ursache und Beseitigung des Bleiangriffs durch Leitungswasser. Chemische Untersuchungen aus Anlass der Dessauer Bleivergiftungen im Jahre 1886. Verlagsbuchhandlung Paul Baumann, Dessau.

van den Hoven, Th.J.J. och van Eekeren, M.W.M. (1988) Optimal drinking water quality. KIWA communication 100.

Hässelbarth, U. (1963) Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht in natürlich Wässern unter Berücksichtigung des Eigen- und Fremdelektrolyt-Einflusses, *gwf, Wasser und Abwasser*, 104, Heft 4, s. 89-93.

Lang, E.E., Bühl, A. (1979) Die Aufbereitung von Trinkwässern mit Juraperle JW. Teil I, II. Deutsche Terrazo, Ulm.

Langlier, W.F. (1936) The analytical control of anti-corrosion water treatment. *J.AWWA* 28, pp 1500-1521.

Lekander, K. (1991) Försurningens inverkan på grundvatten kring konstruktioner i Göteborg. Geologiska Institutionen, Chalmers Tekniska Högskola/Göteborgs Universitet.

Letterman, R.D., Driscoll, C.T., Haddad, M., Hsu, H.A. (1986) Limestone bed contactors for control of corrosion at small water utilities. Water Engineering Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

Letterman, R.D., Haddad, M., Driscoll, C.T. (1991) Limestone contactors: Steady-state design relationships. *Journal of Environmental Engineering*, 117, No. 3, pp 339-358.

Letterman, R.D., Kothari, S. Instructions for using DESCONE. A computer program for the design of limestone contactors. Department of Civil and Environmental Engineering, Syracuse University.

Lind-Johansson, E. (1989) Importance of water composition for prevention of internal copper and iron corrosion. Department of Sanitary Engineering. Chalmers University of Technology. Dissertation No. 8.

Lund, K., Fogler, H.S., McCune, C.C. (1973) Acidization-I. The dissolution of dolomite in hydrochloric acid. *Chemical Engineering Science*, 28, pp 691-700.

Lund, K., Fogler, H.S., McCune, C.C., Ault, J.W. (1975) The dissolution of calcite in hydrochloric acid. *Chemical Engineering Science*, 30, pp 825-835.

Mattsson, E., Fredriksson, A-M. (1968) Pitting corrosion in copper tubes - cause of corrosion and counter-measures. *Br. Corros. J.* 3 pp 246-257.

Mattsson, E. (1987) *Elektrokemi och korrosionslära*.

Milette, J.R., Hammonds, A.F., Pansing, M.F., Hansen, E.L., Clark, P.J. (1980) Aggressive water: Assessing the Extent of the Problem. *J. AWWA* 72, p 262-266.

Nilgård, B., Popovic, B. (1984) Effekter av olika kalkningsmedel i skogsmark. En litteraturöversikt. SNV, Rapport 1851, Solna.

Oomen, J.H.C.M., de Moel, P.J., van Dijk, J.C. (1983) Marmerfiltratie van ijzerhoudend agressief grondwater. *H₂O*, 13, nr 2 s. 40-44.

Plummer, N.L., Wigley, T.M.L., Parkhurst, D.L. (1978) The kinetics of calcite dissolution in CO₂-water systems at 5-60°C and 0.0-1.0 atm CO₂. *Amer. J. Sci.* 278, p 179-216.

Plummer, N., Busenberg, E. (1982) The solubilities of calcite, aragonite and vaterite in CO₂-H₂O solutions between 0 and 90°C and an evaluation of the aqueous model for the system CaCO₃-CO₂-H₂O. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 46, pp 1011-1040.

Rahm, U., Gunnarsson, V. (1983) Apparatus for the treatment of water by bypass recirculation. Pat. No. 452308.

Reijnen, G.K. (1976) Ontzuring van water met behulp van dolomitisch filtermateriaal. Rijswijk (KIWA) Mededeling nr 47.

Reijnen, G.K. (1979) Marmerontzuring, een oud proces met nieuwe perspectieven. *H₂O*, 12, nr 13. s. 290-300.

Reijnen, G.K. (1980) Conditionering van water door filtratie over marmor. *H₂O*, 13, nr 25, s. 618-621.

- Reijnen, G.K., van Paassen, J.A.M. (1985) Ontzuren met onthardingspellets biedt perspectiet. *H₂O*, 18, nr 2, s. 34-37.
- Reijnen, G.K. (1988) Ontzuren van grondwater. Nieuwegein (KIWA) Mededeling nr 101.
- Reijnen, G.K. (1991) Personlig kontakt
- Ryznar, J.W. (1944) A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water. *J. AWWA* 36, p. 472-486.
- Sjöberg, E.L., Rickard, D. (1983) The influence of experimental design on the rate of calcite dissolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, pp 2281-2285.
- Sjöberg, E.L., Richard, D. (1984) Calcite dissolution kinetics: Surface speciation and the origin of the variable pH dependence. *Chemical Geology*, 42, p. 119-136.
- Spindler, P. (1980) Entsäuerung. *DVGW-Schriftenreihe wasser* Nr 206, s. 13:1 - 28.
- Standard Methods (1989) For examination of water and wastewater. 17th edition.
- Statens Naturvårdsverk (1986) Åtgärder mot surt dricksvatten från enskilda vattentäkter. Informationsbroschyr.
- Stumm, W., Morgan, J.J. (1981) *Aquatic Chemistry*, 2nd ed. Wiley-Interscience, New York, Chaps. 3 and 4. Detailed systematics of acid-base reactions, the carbonate system, and alkalinity titrations.
- Sverdrup, H., Bjerle, I. (1982) Dissolution of calcite and other related minerals in acidic aqueous solution in pH-stat. *Vatten*, 38, pp 59-73.
- Sverdrup, H.U. (1985) Calcite dissolution kinetics and lake neutralization. Department of Chemical engineering, Lund Institute of Technology.
- Tillmans, J. et al (1912) Curve zur Ermittlung des für kalkangriffsfähigen Kohlensäureüberschusses. *Ges.-Ing.*, 34:669.
- Vaillencourt, G.W. (1981) Crushed limestone neutralization of dilute acidified Adirondach surface waters. M.S. Thesis, Cornell University.
- Volpicelli, V. Santoro, C.L., Ciambeli, P. (1981) Neutralization of acid water containing aluminum ions by means of limestone. *Chem. Eng. Journal*, 21, pp 29-38.
- Vårt dricksvatten (1990) Information från Uppsala kommun.

BILAGOR

Bilaga 1-8 Produktinformation

- 1 Hydrokarbonat *
- 2 Hydrolit-Ca *
- 3 Filterkarb
- 4 Aqua Ring
- 5 Juraperle
- 6 Magno-dol *
- 7 Akdolit-gran *
- 8 Aquadol, Redolit

Bilaga 9:1-8 Siktcurvor

Bilaga 10 Foto på massor, skala 1:1

Bilaga 11:1-34 Avsyrningscurvor

Bilaga 12 Omräkningstabell

* Bilaga 1, 2, 6 och 7 har kompletterats med ny produktinformation, på svenska, som har utkommit under arbetets gång. Hänvisningar till produktinformation i rapporten, gäller den ursprungliga informatoinen på tyska.

AKDOLIT® ARBEITSBLATT

WASSERAUFBEREITUNG

2.07-1

HYDRO-KARBONAT Entsäuerung

1. Allgemeines

HYDRO-KARBONAT ist ein aus Kalziumkarbonat (CaCO_3) bestehendes mikro-kristallines Filtermaterial. Es dient zur Entsäuerung weicher Wässer auf filtrativem Wege.

HYDRO-KARBONAT gewährleistet durch seine stabile Kornstruktur und Reinheit einen sicheren, wartungsarmen und wirtschaftlich günstigen Betrieb.

HYDRO-KARBONAT entspricht der DIN 2000, der Trinkwasser-Aufbereitungs-Verordnung und den Anforderungen der Zusatzstoffverkehrsverordnung.

HYDRO-KARBONAT wird mit dem Zusatz „grau“ aus einem westdeutschen Devonvorkommen und mit dem Zusatz „weiß, Weißjura-ε“ aus einem süddeutschen Jura-vorkommen geliefert.

Beide Materialien unterscheiden sich in ihrem chemischen und physikalischen Verhalten nicht voneinander, so daß die nachfolgenden Ausführungen für beide Produkte gelten.

2. Anwendungsbereich

HYDRO-KARBONAT wird als chemisch reagierendes Filtermaterial in offenen und geschlossenen Schnellfilteranlagen eingesetzt zur:

- Entsäuerung und Filtration von Quell-, Brunnen- und Oberflächenwasser, insbesondere Talsperrenwasser
- Entsäuerung und Filtration in Verbindung mit der Enteisung und Entmanganung
- Entsäuerung und Filtration von Füllwasser für Schwimm- und Badebecken
- Filtration und pH-Wert-Stabilisierung bei der Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser
- Aufhärtung von Destillat und Permeat für die Nutzung als Trinkwasser

3. Besondere Einsatzhinweise

- 3.1 Die Einstellung eines Sättigungsindex von 0 ist mit kristallinen CaCO_3 -Produkten nur bei sehr großer Kontaktzeit möglich. Falls eine Abweichung vom berechneten Gleichgewichts-pH-Wert des Wassers von bis zu $-0,3$ nicht zugelassen wird, können zur Restentsäuerung alkalisch reagierende Chemikalien (z. B. MAGNO-Trinkwasserhydrat) eingesetzt werden.
- 3.2 Der Gleichgewichts-pH-Wert kann aufgrund der chemischen Zusammensetzung auch bei Unterbelastung und diskontinuierlichem Betrieb nicht überschritten werden.
- 3.3 Durch die splittige Kornform wird ein sehr guter Filtrationseffekt erzielt. Da gleichzeitig im Filterbett der pH-Wert angehoben wird, liegen günstige Bedingungen für die Entfernung von Schwermetallverbindungen vor. In einer doppelstufigen Anlage wirkt HYDRO-KARBONAT in der zweiten Stufe als Feinfiltermaterial für Eisen- und Manganverbindungen.
- 3.4 Werden größere Mengen an Eisen- und Manganverbindungen sowie sonstige Schwebstoffe abgeschieden, kann die Materialoberfläche teilweise blockiert und die Entsäuerung behindert werden. Deshalb sollte bei Eisengehalten von $> 10 \text{ mmol/m}^3$ (\triangleq ca. $0,5 \text{ g/m}^3$) und bei Mangangehalten von $> 1 \text{ mmol/m}^3$ (\triangleq ca. $0,05 \text{ g/m}^3$) bzw. erhöhten Schwebstoffgehalten eine getrennte Entsäuerung und Vorfiltration angestrebt werden. Komplex gebundenes Eisen und Mangan sowie anwesende Kolloide und/oder reduzierend wirkende Substanzen erfordern ebenfalls Sondermaßnahmen, die individuell festzulegen sind.
- 3.5 Die Entsäuerungsmöglichkeit vom Wasser aus CaSO_4 -haltigem Untergrund (erkennbar an hoher Kalzium- und Sulfationenkonzentration sowie niedriger Hydrogencarbonationenkonzentration) muß individuell geprüft werden.



AKDOLIT
Wasseraufbereitung

AKDOLIT-Werk GmbH
Wilhelmstraße 77
5603 Wülfrath
Telefon: (02058) 172603-09
Telex: 8592079 akd d

Experten
reinsten
Wassers

3.6 Für die angeführten Grenzfälle steht unsere anwendungstechnische Abteilung zur Problemlösung zur Verfügung.

4. Physikalische und chemische Daten

4.1 Kornklassen		
Körnung 0000		0,7 – 1,4 mm
Körnung 000		1,2 – 1,8 mm
Körnung 00		1,8 – 2,5 mm
4.2 Schüttdichte		
Schüttdichte		ca. 1,45 – 1,5 t/m ³
4.3 Chemische Zusammensetzung		
(Durchschnittswerte)		
4.3.1 HYDRO-KARBONAT „grau“		
Calciumoxid (CaO)		ca. 55,5 %
entspricht als CaCO ₃		ca. 99,1 %
Magnesiumoxid (MgO)		ca. 0,4 %
Eisenoxid (Fe ₂ O ₃)	}	ca. 0,4 %
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)		
Kieselsäure (SiO ₂)		
Glühverlust		ca. 43,7 %
Arsen (As)		< 1 ppm
Blei (Pb)		< 1 ppm
Cadmium (Cd)		< 0,1 ppm
Quecksilber (Hg)		< 0,1 ppm
Selen (Se)		< 0,1 ppm
Zink (Zn)		< 20 ppm
Kupfer (Cu)		< 5 ppm
4.3.2 HYDRO-KARBONAT „weiß, Weißjura-e“		
Calciumoxid (CaO)		ca. 55,70 %
entspricht als CaCO ₃		ca. 99,50 %
Magnesiumoxid (MgO)		ca. 0,16 %
Eisenoxid (Fe ₂ O ₃)		ca. 0,03 %
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	}	ca. 0,15 %
Kieselsäure (SiO ₂)		
Glühverlust		ca. 43,8 %
Arsen (As)		< 0,1 ppm
Blei (Pb)		< 1 ppm
Cadmium (Cd)		< 1 ppm
Quecksilber (Hg)		< 0,1 ppm
Selen (Se)		< 0,1 ppm
Zink (Zn)		< 5 ppm
Kupfer (Cu)		< 2 ppm
4.4 Verbrauch		
Pro g umgesetzter CO ₂ einschl. Spülverluste		ca. 2,5 g
4.5 Aufhärtung		
Pro 10 g/m ³ umgesetzter CO ₂		ca. 1,28°d

5. Technische Daten

5.1 Filterschichthöhen		
Je nach der Filtergeschwindigkeit, der Wasseranalyse und der sich daraus ergebenden spezifischen Einsatzmenge:		
bei offenen Anlagen		1000 – 2000 mm
bei geschlossenen Anlagen		1500 – 3000 mm
5.2 Filtergeschwindigkeiten		
Entsprechend den zu lösenden Problemen und aus hydraulischen Gründen:		
bei offenen Anlagen		5 – 15 m/h
bei geschlossenen Anlagen		10 – 30 m/h
5.3 Spülung		
5.3.1 Spülung mit Wasser		
Wassergeschwindigkeit		
Körnung 0000		35 m/h
Körnung 000		80 m/h
(Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)		
5.3.2 Spülung mit Luft und Wasser (getrennt)		
Luftspülung		
Luftgeschwindigkeit		ca. 60 m/h
(Spüldauer: ca. 5 Minuten)		
Wasserspülung		
Wassergeschwindigkeit		
Körnung 0000		35 m/h
Körnung 000		80 m/h
(Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)		
5.3.3 Spülung mit Luft und Wasser (kombiniert)		
(nur für Körnung 000 und 00)		
Luftspülung		
Luftgeschwindigkeit		ca. 60 m/h
(Spüldauer: ca. 5 Minuten)		
kombinierte Luft-/Wasserspülung		
Luftgeschwindigkeit		ca. 60 m/h
Wassergeschwindigkeit		8 – 12 m/h
(Spüldauer: ca. 10 Minuten)		
Wasserspülung		
Wassergeschwindigkeit		20 – 25 m/h
(Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)		
Falls bei Einsatz der Körnung 000 der letzte Schritt „Wasserspülung“ mit der Lockerungsgeschwindigkeit durchgeführt werden soll, ist die hierfür unter Punkt 5.3.1 „Spülung mit Wasser“ genannte Geschwindigkeit anzusetzen und die Freibordhöhe entsprechend zu berechnen.		

5.4 Berechnung der Freibordhöhe

bei Spülung

gemäß 5.3.3 300 – 500 mm

gemäß 5.3.1 und 5.3.2 25% der Filterschicht-
höhe (außer Trag-
schicht) + 200 bis
300 mm Sicherheits-
zuschlag

5.5 Einsatzmengen

Siehe Arbeitsblatt 2.07-2

5.6 Inbetriebnahme und Einarbeitung

Richtlinien über Befüllung und Inbetriebnahme
siehe Arbeitsblatt 2.00-41

6. Lieferung

Ab Werk

- a) in Polysäcken mit je 50 kg Inhalt
- b) lose in Silofahrzeugen
Mindestfrachtberechnung pro Fahrzeug 20 t



HYDRO-KARBONAT

ALLMÄNT

Hydro-Karbonat är ett kristallint filtermaterial som huvudsakligen består av kalciumkarbonat (CaCO_3). Används för avsyring av mjuka vatten genom filtrering.

ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN

Hydro-Karbonat kan användas i öppna filter eller i tryckfilter som kemiskt reagerande filtermaterial för grund- eller ytvatten.

Reaktionsbenägenheten jämfört med filtermaterial av halvbränd dolomit är lägre. För att nå kalk-kolsyrejämvikt måste ibland alkali doseras som tillägg efter filtren.

En överskridning av jämvikts-pH vid underbelastning eller diskontinuerlig drift är inte möjlig. Man får alltså inga olägenheter vid lågt kapacitetsutnyttjande av filterbäddarna. Vid samtidig avsyring, avjärning och avmangning i samma filterbädd bör gränsvärdet för järn 0,5 mg/liter och mangan 0,05 mg/liter inte överskridas.

Vid komplexbundet järn eller mangan liksom närvaro av reducerande ämnen bör särskilda åtgärder vidtagas.

Hydro-karbonat uppfyller fordringar enligt Statens Livsmedelsverks kungörelse om dricksvatten (SLV FS 1989:30).

FYSIKALISKA OCH KEMISKA DATA

KORNSTORLEKAR

Kornstorlek 000	1,2 - 1,8 mm
Kornstorlek 00	1,8 - 2,5 mm

VOLYMVIKT, SPECIFIK VIKT

Volymvikt	1,3 ton/m ³
Specifik vikt	2,8 g/cm ³



KEMISK SAMMANSÄTTNING (genomsnittsvärden)

Kalciumkarbonat	(CaCO ₃)	99,5	%
Magnesiumoxid	(MgO)	0,16	%
Järnoxid	(Fe ₂ O ₃)	0,03	%
Aluminiumoxid	(Al ₂ O ₃)	0,08	%
Kiseloxid	(SiO ₂)	0,07	%
Arsenik	(As) max	0,1	ppm
Bly	(Pb) max	1,0	ppm
Kadmium	(Cd) max	1,0	ppm
Kvicksilver	(Hg) max	0,1	ppm
Selen	(Se) max	0,1	ppm
Zink	(Zn) max	5,0	ppm
Koppar	(Cu) max	2,0	ppm
Krom	(Cr) max	2,0	ppm

FÖRBRUKNING

Per gram neutraliserad CO₂ förbrukas 2,5 gram Hydro-Karbonat.

HÅRDHETSÖKNING

Per 10 gram neutraliserad CO₂ ökas hårdheten ca 1,28^odH.

TEKNISKA DATA

BÄDDHÖJD

Beroende av filterhastighet och den fysikaliska och kemiska sammansättningen på råvatten mellan:

Öppna filter: 5 - 15 m/h

Tryckfilter: 10 - 30 m/h

RETURSPOLNING MED VATTEN

Spolhastighet med vatten: 50 - 60 m/h.

LEVERANSDATA

Hydrokarbonat levereras i lösvikt i bulkbilar eller i 50 kg:s säckar lastade på lastpall.

AKDOLIT® ARBEITSBLATT

WASSERAUFBEREITUNG

2.06-1

HYDROLIT-Ca Entsäuerung

1. Allgemeines

HYDROLIT-Ca ist ein überwiegend aus Kalziumkarbonat (CaCO_3) bestehendes poröses Filtermaterial. Es dient zur Entsäuerung sehr weicher Wässer (Kohlensäuresumme $Q_c \leq 40 \text{ g/m}^3$ bei kontinuierlichem und $Q_c \leq 60 \text{ g/m}^3$ bei diskontinuierlichem Betrieb) auf filtrativem Wege.

HYDROLIT-Ca gewährleistet durch seine hohe Reaktionsfähigkeit, seinen Reinheitsgrad und seine Druckfestigkeit einen sicheren, wartungsarmen und wirtschaftlich günstigen Betrieb.

HYDROLIT-Ca entspricht der DIN 2000, der Trinkwasser-Aufbereitungs-Verordnung und den Anforderungen der Zusatzstoffverkehrsverordnung.

2. Anwendungsbereich

HYDROLIT-Ca wird als chemisch reagierendes Filtermaterial in offenen und geschlossenen Schnellfilteranlagen eingesetzt zur:

- Entsäuerung und Filtration von Quell-, Brunnen- und Oberflächenwasser, insbesondere Talsperrenwasser
- Entsäuerung und Filtration in Verbindung mit der Enteisung und Entmanganung
- Aufhärtung von Destillat und Permeat für die Nutzung als Trinkwasser

3. Besondere Einsatzhinweise

3.1 Durch die hohe Porosität und der daraus resultierenden Oberfläche wird mit HYDROLIT-Ca eine für ein CaCO_3 -Produkt ungewöhnlich günstige spezifische Einsatzmenge erreicht. Die Leistungsfähigkeit von mit Marmor (CaCO_3) beschickten Anlagen läßt sich durch HYDROLIT-Ca ohne Erweiterung der Aufbereitungsanlage steigern.

3.2 Der Gleichgewichts-pH-Wert kann aufgrund der chemischen Zusammensetzung auch bei Unterbelastung und diskontinuierlichem Betrieb nicht überschritten werden. Darum empfiehlt sich der Einsatz von HYDROLIT-Ca besonders in kleinen Versorgungsanlagen.

3.3 Durch die maximal mögliche Erhöhung der Kalzium- und Hydrogenkarbonationenkonzentration wird eine günstige Voraussetzung für die Ausbildung einer Schutzschicht geschaffen.

3.4 Werden größere Mengen an Eisen- und Manganverbindungen sowie sonstige Schwebstoffe abgeschieden, kann die Materialoberfläche teilweise blockiert und die Entsäuerung behindert werden. Deshalb sollte bei Eisengehalten von $> 10 \text{ mmol/m}^3$ (\approx ca. $0,5 \text{ g/m}^3$) und bei Mangangehalten von $> 1 \text{ mmol/m}^3$ (\approx ca. $0,05 \text{ g/m}^3$) bzw. erhöhten Schwebstoffgehalten eine getrennte Entsäuerung und Vorfiltration angestrebt werden.

Komplex gebundenes Eisen und Mangan sowie anwesende Kolloide und/oder reduzierend wirkende Substanzen erfordern ebenfalls Sondermaßnahmen, die individuell festzulegen sind.

3.5 Für die angeführten Grenzfälle steht unsere anwendungstechnische Abteilung zur Problemlösung zur Verfügung.

4. Physikalische und chemische Daten

4.1 Kornklassen

Körnung I 0,5 – 2,5 mm

4.2 Schüttdichte und Porosität

Schüttdichte 1,0 t/m³

Porosität ca. 34,5 %



AKDOLIT
Wasseraufbereitung

AKDOLIT-Werk GmbH
Wilhelmstraße 77
5603 Wülfrath
Telefon: (02058) 17 2603-09
Telex: 8592079 akd d

Experten
reinsten
Wassers

4.3 Chemische Zusammensetzung

(Durchschnittswerte)

Calciumoxid	(CaO)	ca. 48,6 %
Magnesiumoxid	(MgO)	ca. 4,9 %
Eisenoxid	(Fe ₂ O ₃)	ca. 0,2 %
Aluminiumoxid	(Al ₂ O ₃)	ca. 0,3 %
Kieselsäure	(SiO ₂)	ca. 0,5 %
Glühverlust	(CO ₂ + H ₂ O)	ca. 45,2 %

4.4 Verbrauch

Pro g umgesetzter CO₂ einschl. Spülverluste ca. 2,5 g

4.5 Aufhängung

Pro 10 g/m³ umgesetzter CO₂ ca. 1,28°d

5. Technische Daten

5.1 Filterschichthöhen

Je nach der Filtergeschwindigkeit, der Wasseranalyse und der sich daraus ergebenden spezifischen Einsatzmenge:

bei offenen Anlagen	1000 – 2000 mm
bei geschlossenen Anlagen	1500 – 3000 mm

5.2 Filtergeschwindigkeiten

Entsprechend den zu lösenden Problemen aus hydraulischen Gründen:

bei offenen Anlagen	5 – 15 m/h
bei geschlossenen Anlagen	10 – 30 m/h

5.3 Spülung

5.3.1 Spülung mit Wasser

Wassergeschwindigkeit	80 m/h
(Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)	

5.3.2 Spülung mit Luft und Wasser (getrennt)

Luftspülung

Luftgeschwindigkeit	ca. 60 m/h
(Spüldauer: ca. 5 Minuten)	

Verweilzeit: 2 Minuten

Wasserspülung

Wassergeschwindigkeit	80 m/h
(Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)	

5.3.3 Spülung mit Luft und Wasser (kombiniert)

Luftspülung

Luftgeschwindigkeit	ca. 60 m/h
(Spüldauer: ca. 5 Minuten)	

kombinierte Luft-/Wasserspülung

Luftgeschwindigkeit	ca. 60 m/h
Wassergeschwindigkeit	8 – 12 m/h
(Spüldauer: ca. 10 Minuten)	

Wasserspülung

Wassergeschwindigkeit	20 – 25 m/h
(Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)	

Falls der letzte Schritt „Wasserspülung“ mit der Lockerungsgeschwindigkeit durchgeführt werden soll, ist die für die jeweilige Körnung unter Punkt 5.3.1 „Spülung mit Wasser“ genannte Geschwindigkeit anzusetzen und die Freibordhöhe entsprechend zu berechnen.

5.4 Berechnung der Freibordhöhe

Bei Spülung

gemäß 5.3.3 300 – 500 mm

gemäß 5.3.1 und 5.3.2 25% der Filterschichthöhe (außer Tragschicht) + 200 bis 300 mm Sicherheitszuschlag

5.5 Einsatzmengen

Siehe Arbeitsblatt 2.06-2

5.6 Inbetriebnahme und Einarbeitung

Richtlinien über Befüllung und Inbetriebnahme siehe Arbeitsblatt 2.00-41

6. Lieferung

Ab Werk Pelm/Eifel in PS-Säcken mit je 50 kg Inhalt

AKDOLIT[®] ARBEITSBLATT

WASSERAUFBEREITUNG

2.06-2

HYDROLIT-Ca Einsatzmengen

1. Allgemeines

Für die Einstellung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes eines Wassers durch Filterung über HYDROLIT-Ca ist eine bestimmte Kontaktzeit zwischen Wasser und Filtermaterial erforderlich. Diese Kontaktzeit ist abhängig von der Korngröße des Filtermaterials und den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Wassers. In der Praxis hat sich die Angabe der spezifischen Einsatzmenge in kg Material pro m³/h aufzubereitenden Wassers bewährt.

Bei der Planung von Anlagen ist eine Schüttdichte von 1,0 t/m³ zugrunde zu legen.

2. Geltungsbereich

2.1 Kohlensäure

Für die Berechnung der überschüssigen Kohlensäure sind die Methoden Hässelbarth (GWF 104 [1963] 89 ff., 157 ff.), vgl. Arbeitsblatt 1.00-3, oder Axt (Jahrb. Vom Wasser 28 [1961], 208), vgl. Arbeitsblatt 1.00-4, zugrunde zu legen.

Das Diagramm enthält nur die Kohlensäuregehalte, bei denen im Hinblick auf die Höhe der Kohlensäuresumme (Qc) die Entsäuerung über HYDROLIT-Ca zu empfehlen ist. Dabei wird die notwendige nicht ungünstige Härteerhöhung bei weichen Wässern beachtet. Der Bereich links der gestrichelten Linie (Qc < 40 g/m³) gilt für kontinuierlichen Betrieb, der gesamte Bereich (Qc < 60 g/m³) für diskontinuierlichen Betrieb.

2.2 Karbonathärte

Das Diagramm gilt für das Verhältnis Karbonathärte: Kalzium (in °d) 1 : max. 2.*

2.3 Temperatur

Dem Diagramm liegt eine Wassertemperatur von 10°C zugrunde. Für andere Temperaturen im Bereich von 5 – 15°C sind die aus dem Diagramm zu entnehmenden Einsatzmengen mit einem Faktor zu multiplizieren, der in nachstehender Tabelle 1 angegeben ist.*

Tabelle 1

Wassertemperatur (°C)	Faktor
5	1,48
6	1,35
7	1,24
8	1,15
9	1,07
11	0,94
12	0,88
13	0,84
14	0,79
15	0,75

2.4 Sulfatkonzentration

Bei hohen Sulfatgehalten ist zu prüfen, ob das Wasser aus CaSO₄-haltigem Untergrund stammt und ob im speziellen Fall die Entsäuerung mit HYDROLIT-Ca möglich ist.

2.5 Eisen- und Mangangehalte

Bei gleichzeitiger Entsäuerung, Enteisenung und Entmanganung sollten Eisengehalte von 10 mmol/m³ \cong 0,5 g/m³ und Mangangehalte von 1 mmol/m³ \cong 0,05 g/m³ nicht überschritten werden, da die Materialoberfläche teilweise blockiert werden kann und die Entsäuerung dann nicht mehr einwandfrei verläuft.

* Liegen Wasser mit einer Zusammensetzung außerhalb der angegebenen Geltungsbereiche vor, fragen Sie bitte unsere anwendungstechnische Abteilung.



AKDOLIT
Wasseraufbereitung

AKDOLIT-Werk GmbH
Wilhelmstraße 77
5603 Wülfrath
Telefon: (02058) 172603-08
Telex: 8592079 akd d
Telefax: (02058) 172609

Experten
reinsten
Wassers

Bei kleinen Anlagen sind Eisengehalte bis ca. $40 \text{ mmol/m}^3 \approx \text{ca. } 2 \text{ g/m}^3$ zulässig, wobei jedoch zu der ermittelten Einsatzmenge $25 \text{ kg/m}^3/\text{h}$ zuzuschlagen sind. Eine eventuell von Zeit zu Zeit notwendige komplette Neufüllung wäre bei kleinen Anlagen wirtschaftlich vertretbar.

Bei Wässern mit Eisengehalten $> 40 \text{ mmol/m}^3$ oder Mangangehalten $> 1 \text{ mmol/m}^3$ sollte eine getrennte Entsäuerung und Enteisung/Entmanganung angestrebt werden.

3. Zur Benutzung des Diagramms

Für Gehalte an überschüssiger Kohlensäure bis 5 g/m^3 (Basekapazität bis pH 8,2 $\approx 0,11 \text{ mol/m}^3$) ist der Wert 5 g/m^3 einzusetzen.

Für Karbonathärten bis 1°d (Säurekapazität bis pH 4,3 $\approx 0,36 \text{ mol/m}^3$) ist der Wert 1°d zugrunde zu legen.

Zwischenwerte sind auf ganze Zahlen ab- bzw. aufzurunden.

4. Ermittlung der Einsatzmenge

Auf der Senkrechten (Ordinate) wird der Punkt ermittelt, der dem Gehalt an überschüssiger Kohlensäure entspricht. Von dort wird eine Waagerechte bis zum Schnittpunkt mit der Kurve (Parameter) gezogen, die dem Gehalt an Karbonathärte entspricht. Das Lot vom Schnittpunkt auf die

Waagerechte (Abszisse) des Diagramms ergibt die Einsatzmenge in $\text{kg/m}^3/\text{h}$, für die gegebenenfalls Korrekturen (s. Geltungsbereich unter Temperatur und Eisengehalt) vorzunehmen sind.

5. Verbrauch und Aufhärtung

Der Verbrauch an HYDROLIT-Ca beträgt $2,5 \text{ g je g}$ abzubindender Kohlensäure und die Aufhärtung $0,128^\circ\text{d je g/m}^3$ abgebundener Kohlensäure.

6. Berechnungsbeispiel

Wasseruntersuchungsbefund:

Temperatur	11,0 °C
Gesamthärte	2,0 °d
Summe Erdalkalien	0,36 mol/m^3
Säurekapazität bis pH 4,3	0,5 mol/m^3
Karbonathärte	1,4 °d
Basekapazität bis pH 8,2	0,41 mol/m^3
freie Kohlensäure	18,0 g/m^3
Kalzium	10,0 g/m^3
überschüssige Kohlensäure	18,0 g/m^3

Einsatzmenge:

für 10°C aus Diagramm

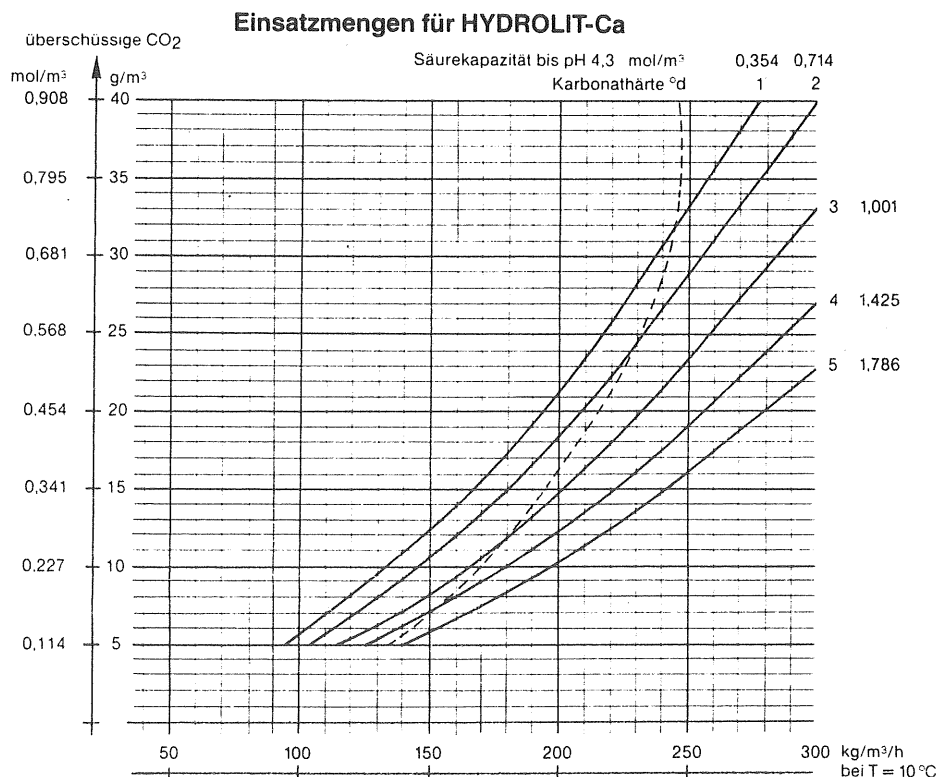
für 11°C $185 \cdot 0,94$ (s. Tabelle)

Raumbedarf $170 : 1,0$

185 $\text{kg/m}^3/\text{h}$

170 $\text{kg/m}^3/\text{h}$

170 l





HYDROLIT-Ca

Hydrolit-Ca är ett filtermaterial som huvudsakligen består av kalcium-karbonat (CaCO_3) samt en mindre mängd magnesiumkarbonat (MgCO_3). Hydrolit-Ca är en ren naturprodukt som genom sin specifika samman-sättning och stora porositet ger ett mycket gynnsamt resultat som filter-material för:

- avsyrring av grundvatten och ytvatten.
- avsyrring och filtrering i kombination med avjärning och avmanganisering.
- hårdhetsökning av mjuka vatten.

ALLMÄNNA SYNPUNKTER

- Normalt är filtermaterial som är baserade på kalciumkarbonat långsamt reagerande och kräver lång uppehållstid. Genom sin stora porositet och därigenom stora aktiva yta är Hydrolit-Ca ett snabbt reagerande filter-material som fordrar kort kontakttid och små installationsmängder.

- Genom sin kemiska sammansättning finns ingen risk att jämnvikts-pH överskrids vid underbelastning eller diskontinuerlig drift i filteranläggningen.

- Den maximala möjliga ökningen av kalcium- och karbonathalten i vattnet ger en gynnsam förutsättning för bildning av ett skyddsskikt i ledningarna.

- Om råvattnet innehåller större mängder järn eller mangan eller andra föroreningar i suspension kan ytan på materialet delvis blockeras och avsyrringen förhindras därigenom. Därför bör man förfiltrera vid halter av järn större än 0,5 mg/liter Fe och mangan större än 0,05 mg/liter Mn. Vid små anläggningar kan ibland järnmängd upp till Fe=2 mg/l accepteras om mängden filtermaterial ökas med 25 kg Hydrolit/m³/h.

Hydrolit-Ca uppfyller fordringar enligt Statens Livsmedelsverks kungörelse om tillsatser till dricksvatten (SLV FS 1989:30).

FYSIKALISKA OCH KEMISKA DATA

Kornstorlek:	0,5 - 2,5 mm
Volymvikt:	ca 1.000 kg/m ³
Porositet:	ca 34,5 %
Materialförbrukning:	inklusive spolförluster förbrukas ca 2,5 gram Hydrolit-Ca per gram neutraliserad CO ₂ .
Hårdhetsökning:	per 10 g neutral CO ₂ höjs totalhårdheten ca 1,28 ^o dH.



Kemisk sammansättning:	CaO	ca	48,6 %
	MgO	ca	4,9 %
	Fe ₂ O ₃	ca	0,2 %
	Al ₂ O ₃	ca	0,3 %
	SiO ₂	ca	0,5 %
	Glödförlust		
	CO ₂ + H ₂ O	ca	45,2 %

(uttryckt som kalciumkarbonat är halten CaCO₃ ca 87 %)

TUNGMETALLANALYS

Litium	%	0,001
Aluminium	%	0,135
Järn	%	0,100
Mangan	%	0,008
Silver	%	0,008
Zink	%	0,004
Koppar	%	0,0012

Kadmium	mindre än	1 ppm
Bly	"	1 ppm
Nickel	"	1 ppm
Krom	"	1 ppm
Kvicksilver	"	0,5 ppm
Selen	"	1 ppm
Arsenik	"	1 ppm

TEKNISKA DATA

Bäddhöjd: beroende av filterhastighet och råvattnets sammansättning bör bäddhöjden vara för:
 Öppna filter 1.000 - 2.000 mm
 Tryckfilter 1.500 - 3.000 mm

Filterhastighet: Öppna filter 5 - 15 m/h
 Tryckfilter 10 - 30 m/h

Fribordshöjd: vid returspolhastighet 60 - 80 m/h bör fribordshöjden vara 25 % av filterbäddhöjden (frånräknat bärlager) + 200 mm säkerhetspåslag.

F I L T E R C A R B

Gravel of Jurassic Calcium Carbonate
for

Anti-Corrosion Treatment of Extreme Soft Waters

General Aspects

It is a well known fact that soft waters are mostly aggressive and very often cause severe corrosion in mains and pipings if they remain untreated. Not only materials deterioration but also the contamination of the water by the products of corrosion, such as lead, copper, zinc, asbestos etc can create a hazardous situation. These problems are sufficiently met with in water works serving thousand and up inhabitants. But, in smaller communities and specially in rural areas, problems with aggressive waters are very often neglected or taken as an unavoidable fact. Mostly, the investments needed to modernize or rebuild an existing distribution system are regarded as too high. The application of the low-priced FILTERCARB is a solution to these problems, cutting out the necessity of stiff investments.

Product Description

<u>Outer Appearance:</u>	White, chip-shaped grains
<u>Granulations:</u>	Grade OOOO : 14/18 BS mesh (0.8 - 1.2 mm) Grade OOO : 10/14 BS mesh (1.2 - 1.8 mm) Grade OO : 7/10 BS mesh (1.8 - 2.5 mm) Grade O : 4/ 7 BS mesh (2.5 - 4.0 mm)
<u>Density:</u>	approx. 170 lb/ft ³ (2.75 g/ml)
<u>Bulk Density:</u>	approx. 81 lb/ft ³ (1.30 g/ml)
<u>Chemical Formula:</u>	CaCO ₃ , calcium carbonate
<u>Chemical Composition:</u>	CaCO ₃ : 99.21 % MgO : 0.22 % SiO ₂ : 0.24 % Al ₂ O ₃ : 0.12 % Fe ₂ O ₃ : 0.032 %
(typical)	

Application

FILTERCARB is most suitable for the anti-corrosion treatment of extreme soft waters (alkalinity and total hardness below 50ppm as CaCO₃). These may occur as ground waters, surface waters or as sea water distillates.

FILTERCARB fits into nearly every conventional filter, pressure or gravity type. Even into simple filter-basins having no back-wash equipment (under the provision that the raw water carries no or only little turbid mater). Normally, grade OO is used in gravity filters, grade OOO and OOOO should be preferred in pressure filters, whereas grade O is used in non-backwashable filters.

Effect

The self-regulating FILTERCARB acts both chemically and physically: firstly, it raises hardness, alkalinity and pH, diminishes acidity (excess CO₂) till the point of saturation, SI = 0, is reached. The treated water is now able to deposit a CaCO₃ film which protects mains and pipings as well as reservoirs against corrosion. Secondly, due to the roughness of the grains, removal of turbid matter is improved in comparison to sand having a rather smooth surface.

Hardening

In return for each 10 ppm CO₂ (acidity) removed, alkalinity and Ca-hardness will be raised by approx. 23 ppm as CaCO₃ (≈ 0.45 meq/l).

Consumption

For each 10 ppm CO₂ (acidity) removed, there will be a consumption of approx. 10 ppm FILTERCARB.

Filtration Rates

Depending on filter, normally 1 - 5 Imp.gal/min/ft² (3 - 15 m/h)

Specific Amounts

Depending on the hydrochemical data of the raw water, normally 10 - 15 lb/Imp.gal/h (1000 - 1500 kg/m³/h)

Backwashing

All methods applied to conventional sand filters may be used for backwashing. If no backwashing is possible, grade 0 should be preferred. The surface of the filter bed should be cleaned and loosened from time to time in order to avoid flow reduction.

Limitations

The sum of alkalinity and acidity (CO₃²⁻, HCO₃⁻ and CO₂) should not exceed 120 ppm as CaCO₃ or 55 ppm as CO₂ (≈ 2.4 meq/l). Iron and manganese should be absent in order to avoid an irreversible coating of the grains. If these contaminants are present, a pre-treatment or the application of NEODOL should be considered.

FILTERCARB or NEODOL dolomitic filter material ?

Despite its lower activity, FILTERCARB should be preferred whenever the output of filter fluctuates, or whenever frequent backwashing cannot be secured (essential for dolomitic filter media), or when the softness of the raw water requires the highest possible increase of Ca-hardness and alkalinity (FILTERCARB 23 ppm versus NEODOL 18 ppm as CaCO₃). The specific advantages of FILTERCARB are: no overdosing problems which can lead to mortarizing and clogging as with dolomitic filter media under certain circumstances, highest efficiency in terms of hardening and raise of alkalinity, a low price guarantees economical operation.

Note! No warranty, expressed or implied, is made except that the product conforms to our specification. The technical data furnished are believed to be accurate and complete.

DR. THURE von HARPE HYDROCHEMISCHE PRODUKTE

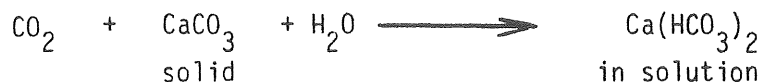
HERPOL INDUSTRIAL PROJECTS
EXPORT GMBH & CO.
POSTFACH 40
D 5962 DROLSHAGEN WEST-GERMANY

Calculation of Specific Amounts of FILTERCARB

Limitations: In the water to be treated, iron (Fe), manganese (Mn) as well as turbid matter should not be present, as they can coat the FILTERCARB grains and thus reduce their chemical activity.

The sum of alkalinity and acidity (at pH 8.3), that is the sum of CO_3^{--} , HCO_3^- and dissolved free CO_2 , should not exceed 120 ppm as CaCO_3 or 55³ ppm as CO_2 , (≈ 2.4 meq/l). In practice, an upper limit of 80 ppm³ as CaCO_3 resp. 35 ppm as CO_2 (≈ 1.6 meq/l) is mostly observed, as higher values necessitate huge filter volumes.

Specific Amounts FILTERCARB Grade 0: Due to the chemical reaction between free CO_2 in the water and the calcareous filter medium:



a certain contact time, dependent on the sum of alkalinity and acidity (free CO_2), is necessary to establish the Saturation Index $\text{SI} = 0$. However, as the filter material is consumed during the operation of the filter, the specific amount has to be supplemented in advance by the estimated amount of material consumed within the top-up interval, usually 6 month:

a) Basic specific amount:

Sum of alk. and acidity (free CO_2)

ppm as CaCO_3 or	22	34	45	56	68	80	91	102	113
ppm as CO_2	10	15	20	25	30	35	40	45	55
lb/gal/h	3.2	4.3	5.6	8.1	10.1	13.5	17.6	23.6	36.0

b) Specific amount for consumption (6 month)

For every 10 ppm CO_2 (acidity as CO_2) "neutralized" there will be a consumption of 23 ppm FILTERCARB.

As a rule of thumb, the following calculation formula can be used:

$$\text{Consumption during 6 month (lb/gal/h)} = 0.09 \times \text{free } \text{CO}_2 \text{ (ppm as } \text{CO}_2\text{)}$$

Example: Capacity is 10,000 gal/h (45.5 m³/h). Alkalinity: 5 ppm as CO_2 .
Acidity: 20 ppm as CO_2 . Sum alkalinity + acidity = 25 ppm as CO_2 .

a) Specific basic amount: 8.1 lb/gal/h

b) Specific amount for consumption during 6 month: $0.09 \times 20 = 1.8$ lb/gal/h

Total : 9.9 lb/gal/h resp. 99,000 lb FILTERCARB

Note: The technical data furnished herein are believed to be accurate and complete. No warranty, expressed or implied, is made.

AQUA RING

Vår ref

CaCO ₃	99,76 %
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	
MgCO ₃	0,21 %
Carico di rottura a compressione	1357 Kg/cm ²
Carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività	1370 Kg/cm ²
Carico unitario di rottura a flessione	217 Kg/cm ²
Coefficiente di dilatazione lineare termica per °C	5,25 x 10 ⁻⁴
Coefficiente di imbibizione d'acqua in peso %	0,117 %
Coefficiente d'assorbimento d'acqua per capillarità in peso %	0,050 %
Coefficiente di assorbimento d'umidità dell'aria in peso %	0,001 %
Peso per unità di volume	2591 Kg/cm ³

(*) I dati riportati sono desunti da esperimenti condotti nell'Istituto di Scienze delle Costruzioni dell'Università di Pisa.

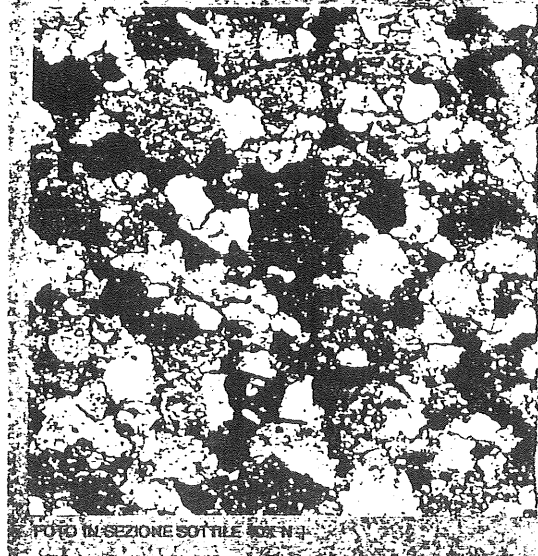


FOTO IN SEZIONE SOTTILE (X200)

Kontor	Telefon	Telefax	Telex	Bank	Postgiro
AQUA-RING	031-45 78 00	031-45 77 00	12442 Fotex S	Skadinaviska	13 14 59
Frökottegatan 21	Int. +46 31 45 78 00	Int. +46 31 45 77 00	INGRING	Enskilda Banken	
S-421 31 Västra Frölunda					

AQUA-RING

Frökottgatan 21 421 31 Västra Frölunda

Telefon 031-45 78 00

CHEMICAL COMPOSITION

CaCO ₃	99.78 %
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	0.21 %
MgCO ₃	

SOME PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS

Breaking load and compressive strength	1357 Kg/cm ²
Breaking load and compressive strength alternate cycles of freezing and thawing	1370 Kg/cm ²
Modulus of rupture	217 Kg/cm ²
Coefficient of thermal linear expansion per °C (established over a temperature range from 5 °C to 35 °C)	5.25 x 10 ⁻⁴
Coefficient of water imbibition in weight percentage	0.117 %
Coefficient of capillary water absorption	0.050 %
Coefficient of air moisture absorption	0.001 %
Weight per unit volume	2881 Kg/cu.m.

JURAPERLE JW(r)

For: pH-adjustment,
CO₂-removal,
Remineralization,
Iron- and Manganese
removal.

- 1 General** Juraperle JW is a granular filter medium with a purity of 99,4% calcium carbonate. Because of its micro-cristalline structure, it is superior to ordinary limestone. Juraperle JW keeps its activity for pH-adjustment even after removal of high concentrations of iron and manganese.
- 2 Applications**
- a: CO₂-removal and remineralization of soft water.
 - b: Remineralization of distillate and/or R.O.-water.
 - c: Removal of iron and manganese.
- 3 Density**
- Bulk density.....1,5 t/m³
Apparent density.....ca. 2,7 g/cm³
- 4 Sizes available** 1.0-2.0 mm; 1.2-1.8 mm; 1.8-2.5 mm; 2.5-4.0 mm.
Other sizes upon request.
- 5 Analysis**
- | | |
|---|--------|
| GaCO ₃ | 99,36% |
| SiO ₂ + AL ₂ O ₃ | 0,34% |
| Fe ₂ O ₃ | 0,039% |
| Cu | -- |
| Mn | -- |
| H ₂ O / 110°C | 0,04% |
- 6 Technical Details**
- a: Load
- $$\text{Specific Load } S = \frac{\text{m}^3 \text{ Water}}{\text{m}^3 \text{ Juraperle JW/h}} = 1-10$$
- b: Filtration Velocity
- Open filters 5-15 m/h
 - Pressure filters 30 m/h max.
- c: Filterbed Depth
- Minimum 1.500 mm, exceptions to be discussed

d: Calculation of Filterbed

A predetermined quantity of Juraperle JW has to be present in the filters in order to achieve the best results.

We advise individually and take raw water analysis, technical details etc. into account.

e: Expansion during Backwashing

For single layer filters: 400 mm
(From top of filtermaterial to top of backwash-funnel.)

f: Backwash

After max 600 hours or approx. 2m WC increase of pressure loss:

1st Phase: Air + Water	5 - 15 min.
Air	60 - 90 m/h
Water	25 - 35 m/h

2nd Phase: Water 25 - 35 m/h, 10-15 min.

Other backwash methods can be discussed.

g: Topping-up

After consumption of 10% of the original volume.

h: Pressue loss

Per 1m layer size 1-2 mm, clean filterbed.

Filtration Velocity:	mm WC
5	80
10	160
15	240
20	325
25	440
30	590

i: Packing

a: 50 kg polybags, palletized, shrinkfoiled

b: 25 kg paperbags, palletized, shrinkfoiled

c: Big-bags.

d: Bulk carriers.

AKDOLIT® ARBEITSBLATT

2.02-1

WASSERAUFBEREITUNG

MAGNO-DOL

Entsäuerung

1. Allgemeines

MAGNO-DOL ist ein splittiges, poröses, dolomitisches Filtermaterial ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$). Es dient zur Entsäuerung auf filtrativem Wege.

MAGNO-DOL gewährleistet durch seine hohe Reaktionsfähigkeit, seinen Reinheitsgrad und seine stabile Kornstruktur einen sicheren, wartungsarmen und wirtschaftlich günstigen Betrieb.

MAGNO-DOL wird nach den Bedingungen der DIN 19621 geliefert, entspricht der DIN 2000, der Trinkwasser-Aufbereitungs-Verordnung und den Anforderungen der Zusatzstoffverkehrsverordnung.

2. Anwendungsbereich

MAGNO-DOL wird als chemisch reagierendes Filtermaterial in offenen und geschlossenen Schnellfilteranlagen eingesetzt zur:

- Entsäuerung und Filtration von Brunnen-, Quell- und Oberflächenwasser
- Entsäuerung und Filtration in Verbindung mit der Enteisung und Entmanganung
- Entsäuerung und Filtration von Füllwasser für Schwimm- und Badebecken
- Entsäuerung und Filtration von Kreislaufwasser im Kalt-, Warm- und Heißwasserbereich
- Filtration heißentkieselter und entkarbonisierter Wasser (ohne Aufkieselung)
- Filtration und pH-Wert-Stabilisierung bei der Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser
- Aufhärtung von Destillat und Permeat für die Nutzung als Trinkwasser

3. Besondere Einsatzhinweise

- 3.1 Die Entsäuerung auf filtrativem Wege ist eine betriebs-sichere und wartungsarme Verfahrenstechnik, bei der die Filter kurzzeitig um bis zu 30 % unterlastet werden dürfen. Die Filteranlage ist so auszulegen, daß ein weitgehend kontinuierlicher Betrieb mit der Sollleistung erreicht wird.
- 3.2 Durch die splittige Kornform wird ein sehr guter Filtrationseffekt erzielt. Da gleichzeitig im Filterbett der pH-Wert angehoben wird, liegen günstige Bedingungen für die Entfernung von Schwermetallverbindungen vor. In einer doppelstufigen Anlage wirkt MAGNO-DOL in der zweiten Stufe als Feinfiltermaterial für Eisen- und Manganverbindungen sowie für sonstige Schwebstoffe.
- 3.3 Werden größere Mengen an Eisen- und Manganverbindungen sowie sonstige Schwebstoffe abgeschieden, kann die Materialoberfläche teilweise blockiert und die Entsäuerung behindert werden. Deshalb sollte bei Eisengehalten von $> 10 \text{ mmol/m}^3$ (\approx ca. $0,5 \text{ g/m}^3$) und bei Mangangehalten von $> 1 \text{ mmol/m}^3$ (\approx ca. $0,05 \text{ g/m}^3$) bzw. erhöhten Schwebstoffgehalten eine getrennte Entsäuerung nach Vorfiltration angestrebt werden. Komplex gebundenes Eisen und Mangan sowie anwesende Kolloide und/oder reduzierend wirkende Substanzen erfordern ebenfalls Sondermaßnahmen, die individuell festzulegen sind.
- 3.4 Die Entsäuerungsmöglichkeit von Wasser aus CaSO_4 -haltigem Untergrund (erkennbar an hoher Kalzium- und Sulfationenkonzentration sowie niedriger Hydrogenkarbonationenkonzentration) muß individuell geprüft werden.
- 3.5 Für die angeführten Grenzfälle steht unsere anwendungstechnische Abteilung zur Problemlösung zur Verfügung.



AKDOLIT
Wasseraufbereitung

AKDOLIT-Werk GmbH
Wilhelmstraße 77
5603 Wülfrath
Telefon: (02058) 172603-08
Telex: 8592079 akd d
Telefax: (02058) 172609

**Experten
reinsten
Wassers**

4. Physikalische und chemische Daten

4.1 Kornklassen

Körnung I	0,5 – 2,5 mm
Körnung II	2,0 – 4,5 mm

4.2 Schüttdichte

Körnung I und II	ca. 1,1 – 1,2 t/m ³
------------------	--------------------------------

4.3 Chemische Zusammensetzung

(Durchschnittswerte)

Calciumoxid	(CaO)	ca. 40,4 %
Magnesiumoxid	(MgO)	ca. 26,0 %
Eisenoxid	(Fe ₂ O ₃)	} ca. 0,6 %
Aluminiumoxid	(Al ₂ O ₃)	
Kieselsäure	(SiO ₂)	ca. 0,3 %
Glühverlust	(CO ₂ + H ₂ O)	ca. 32,6 %

4.4 Verbrauch

Pro g umgesetzter CO ₂ einschließl. Spülverluste	ca. 1,3 g
--	-----------

4.5 Aufhärtung

Pro 10 g/m ³ umgesetzter CO ₂	ca. 1°d
---	---------

5. Technische Daten

5.1 Filterschichthöhen

Je nach der Filtergeschwindigkeit, der Wasseranalyse und der sich daraus ergebenden spezifischen Einsatzmenge (gemäß Arbeitsblatt 2.02-2):
 bei offenen Anlagen 1000 – 2000 mm
 bei geschlossenen Anlagen 1500 – 3000 mm

5.2 Filtergeschwindigkeiten

Entsprechend den zu lösenden Problemen und aus hydraulischen Gründen:
 bei offenen Anlagen 5 – 15 m/h
 bei geschlossenen Anlagen 10 – 30 m/h

5.3 Druckverlust und Filterbettausdehnung

Siehe Arbeitsblatt 2.02-3

5.4 Spülung

5.4.1 Spülung mit Wasser

Wassergeschwindigkeit:
 Körnung I 80 m/h
 (Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)

5.4.2 Spülung mit Luft und Wasser (getrennt)

Luftspülung
 Luftgeschwindigkeit ca. 60 m/h
 (Spüldauer: ca. 5 Minuten)

Verweilzeit: 2 Minuten

Wasserspülung

Wassergeschwindigkeit
 Körnung I 80 m/h
 (Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)

5.4.3 Spülung mit Luft und Wasser (kombiniert)

Luftspülung
 Luftgeschwindigkeit ca. 60 m/h
 (Spüldauer: ca. 5 Minuten)

kombinierte Luft-/Wasserspülung

Luftgeschwindigkeit ca. 60 m/h
 Wassergeschwindigkeit 8 – 12 m/h
 (Spüldauer: ca. 10 Minuten)

Wasserspülung

Wassergeschwindigkeit 20 – 25 m/h
 (Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)

Falls der letzte Schritt „Wasserspülung“ mit der Lockerungsgeschwindigkeit durchgeführt werden soll, ist die unter Punkt 5.4.1 „Spülung mit Wasser“ genannte Geschwindigkeit anzusetzen und die Freibordhöhe entsprechend zu berechnen.

5.5 Berechnung der Freibordhöhe

Bei Spülung

gemäß 5.4.3 300 – 500 mm

gemäß 5.4.1 und 5.4.2. 25 % der Filterschicht-
 höhe (außer Trag-
 schicht) + 200 bis
 300 mm Sicherheits-
 zuschlag

5.6 Einsatzmengen

Siehe Arbeitsblatt 2.02-2

5.7 Inbetriebnahme und Einarbeitung

Richtlinien über Befüllung und Inbetriebnahme
 siehe Arbeitsblatt 2.00-41

6. Lieferung

Ab Werk Hagen-Halden

a) in Polysäcken mit je 50 kg Inhalt

b) lose in Silofahrzeugen

(Mindestfrachtberechnung pro Silofahrzeug 20 t.)

AKDOLIT® ARBEITSBLATT

WASSERAUFBEREITUNG

2.02-2

MAGNO-DOL Einsatzmengen

1. Allgemeines

Für die Einstellung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes eines Wassers durch Filterung über MAGNO-DOL ist eine bestimmte Kontaktzeit zwischen Wasser und Filtermaterial erforderlich. Diese Kontaktzeit ist abhängig von der Korngröße des Filtermaterials und den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Wassers. In der Praxis hat sich die Angabe der spezifischen Einsatzmenge in kg Material pro m³/h aufzubereitenden Wassers bewährt.

Bei der Planung von Anlagen ist eine Schüttdichte von 1,2 t/m³ zugrunde zu legen.

2. Geltungsbereich

2.1 Kohlensäure

Für die Berechnung der überschüssigen Kohlensäure sind die Methode Hässelbarth (GWF 104 [1963] 89 ff., 157 ff.) vgl. Arbeitsblatt 1.00-3 oder nach Axt (Jahrb. Vom Wasser 28 [1961], 208), vgl. Arbeitsblatt 1.00-4, zugrunde zu legen.

Das Diagramm enthält nur die Kohlensäuregehalte, bei denen im Hinblick auf die Höhe der Karbonathärte die Entsäuerung über MAGNO-DOL zu empfehlen ist. Dabei wird sowohl die notwendige, günstige Härteerhöhung bei weichen Wässern als auch die nicht zu große Härteerhöhung bei mittelhartem Wässern beachtet. Bei mittelhartem Wässern mit hohem Kohlensäuregehalt kann der angegebene optimale Bereich durch eine vorgeschaltete mechanische Entsäuerungsanlage erreicht werden.

2.2 Karbonathärte

Das Diagramm gilt für das Verhältnis Karbonathärte: Kalzium (in °d) 1 : max. 2.*

2.3 Temperatur

Dem Diagramm liegt eine Wassertemperatur von 10 °C zugrunde. Für andere Temperaturen im Bereich von 5 – 15 °C sind die aus dem Diagramm zu entnehmenden Einsatzmengen mit einem Faktor zu multiplizieren, der in nachstehender Tabelle 1 angegeben ist.*

Tabelle 1

Wassertemperatur (°C)	Faktor
5	1,48
6	1,35
7	1,24
8	1,15
9	1,07
11	0,94
12	0,88
13	0,84
14	0,79
15	0,75

2.4 Sulfatkonzentration

Bei hohen Sulfatgehalten ist zu prüfen, ob das Wasser aus CaSO₄-haltigem Untergrund stammt und ob im speziellen Fall die Entsäuerung mit MAGNO-DOL möglich ist.*

2.5 Eisen- und Mangangehalte

Bei gleichzeitiger Entsäuerung, Enteisenung und Entmanganung sollten Eisengehalte von 10 mmol/m³ \triangleq 0,5 g/m³ und Mangangehalte von 1 mmol/m³ \triangleq 0,05 g/m³ nicht überschritten werden, da die Materialoberfläche teilweise blockiert werden kann und die Entsäuerung dann nicht mehr einwandfrei verläuft.

* Liegen Wasser mit einer Zusammensetzung außerhalb der angegebenen Geltungsbereiche vor, fragen Sie bitte unsere anwendungstechnische Abteilung.



AKDOLIT
Wasseraufbereitung

AKDOLIT-Werk GmbH
Wilhelmstraße 77
D-5603 Wülfrath
Telefon: (02058) 172603-08
Telex: 8592079 akd d
Telefax: (02058) 172609

Experten
reinsten
Wassers

Bei kleinen Anlagen sind Eisengehalte bis ca. 40 mmol/m³ \cong ca. 2 g/m³ zulässig, wobei jedoch zu der ermittelten Einsatzmenge 25 kg/m³/h zuzuschlagen sind. Eine gelegentlich notwendige Neufüllung bei kleinen Anlagen ist vertretbar.

Bei Wässern mit Eisengehalten >40 mmol/m³ oder Mangangehalten >1 mmol/m³ sollte eine getrennte Entsäuerung nach Vorfiltration angestrebt werden.

3. Zur Benutzung des Diagramms

Für Gehalte an überschüssiger Kohlensäure bis 5 g/m³ (Basekapazität bis pH 8,2 \cong 0,11 mol/m³) ist der Wert 5 g/m³ einzusetzen.

Für Karbonathärten bis 1°d (Säurekapazität bis pH 4,3 \cong 0,36 mol/m³) ist der Wert 1°d zugrunde zu legen.

Zwischenwerte sind auf ganze Zahlen ab- bzw. aufzurunden.

4. Ermittlung der Einsatzmenge

Auf der Senkrechten (Ordinate) wird der Punkt ermittelt, der dem Gehalt an überschüssiger Kohlensäure entspricht. Von dort wird eine Waagerechte bis zum Schnittpunkt mit der Kurve (Parameter) gezogen, die dem Gehalt an Karbonathärte entspricht. Das Lot vom Schnittpunkt auf die Waagerechte (Abszisse) des Diagrammes ergibt die Einsatzmenge in kg/m³/h, für die gegebenenfalls Korrekturen

(s. Geltungsbereich unter Temperatur und Eisengehalt) vorzunehmen sind.

5. Verbrauch und Aufhärtung

Der Verbrauch an MAGNO-DOL beträgt 1,3 g je g abzubindender Kohlensäure (einschl. Spülverluste) und die Aufhärtung 0,1°d je g/m³ abgebundener Kohlensäure.

6. Berechnungsbeispiel

Wasseruntersuchungsbefund:

Temperatur	11,0 °C
Gesamthärte	6,0 °d
Summe Erdalkalien	1,07 mol/m ³
Säurekapazität bis pH 4,3	1,4 mol/m ³
Karbonathärte	3,9 °d
Basekapazität bis pH 8,2	0,62 mol/m ³
freie Kohlensäure	27,3 g/m ³
Kalzium	21,5 g/m ³
überschüssige Kohlensäure	26,8 g/m ³

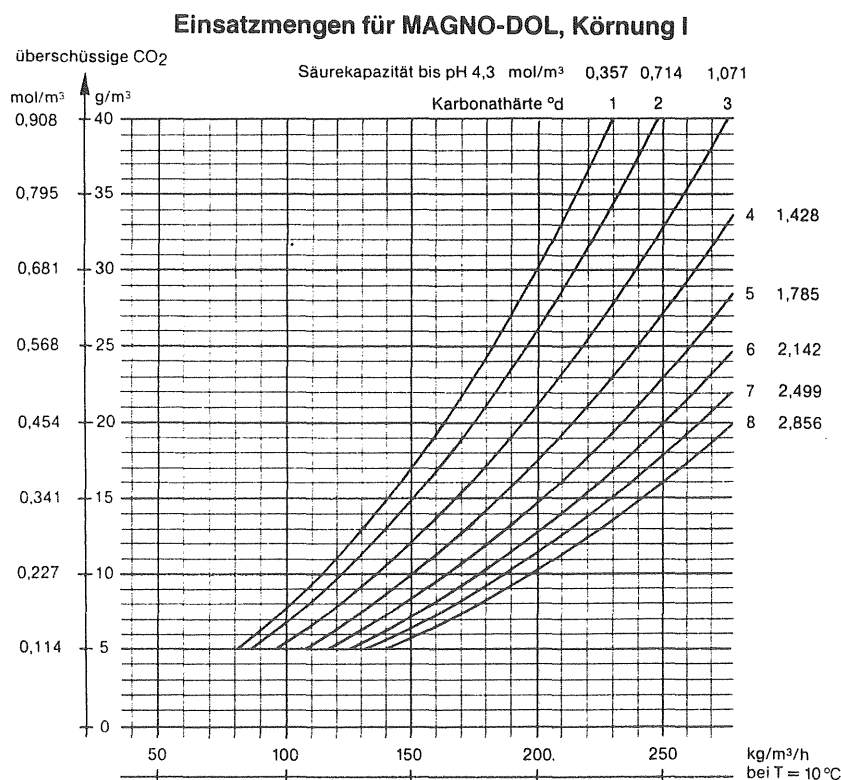
Einsatzmenge:

für 10°C aus Diagramm
für 11°C 250 · 0,94 (s. Tabelle)

Raumbedarf 235 : 1,2

250 kg/m³/h
235 kg/m³/h

195,8 l



AKDOLIT® ARBEITSBLATT

2.02-3

WASSERAUFBEREITUNG

MAGNO-DOL Druckverlust, Filterbettausdehnung

1. Allgemeines

MAGNO-DOL ist ein splittiges, poröses dolomitisches Filtermaterial. Es dient zur Entsäuerung durch Filtration.

Für die Projektierung von Aufbereitungsanlagen kann der bei der Filtration auftretende Druckverlust und die Filterbettausdehnung bei der Spülung den nachstehenden Kurven mit ausreichender Genauigkeit für eine Wassertemperatur von 5 – 15°C entnommen werden.

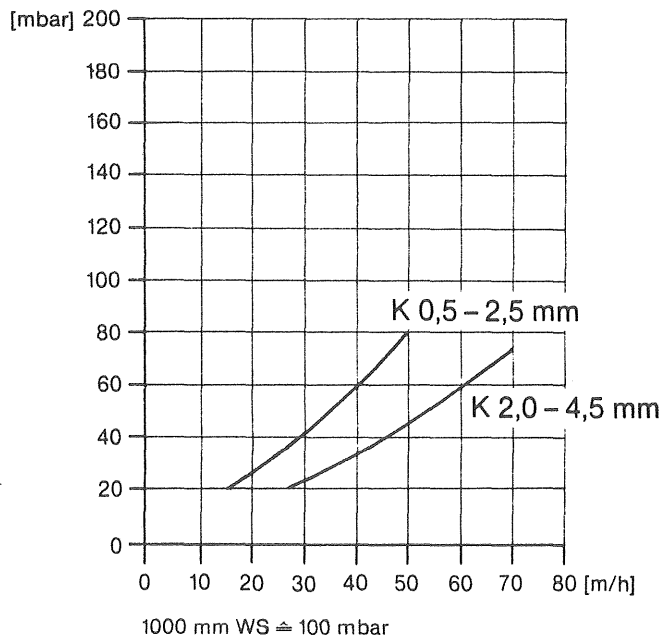
2. Druckverlust

Der Druckverlust ist u. a. abhängig von:

- Korndurchmesser
Bei Verringerung des Korndurchmessers steigt der Druckverlust (Exponentialfunktion).
- Schichthöhe
Bei Vergrößerung der Schichthöhe steigt der Druckverlust in linearer Abhängigkeit.
- Filtergeschwindigkeit
Bei Vergrößerung der Filtergeschwindigkeit steigt der Druckverlust.
- Temperatur
Mit fallender Temperatur steigt der Druckverlust aufgrund der Viskositätsänderung des Wassers.

Die Kurve zeigt für die verschiedenen Kornklassen den Druckverlust in Abhängigkeit von der Filtergeschwindigkeit (m/h), bezogen auf eine Schichthöhe von 1000 mm im frisch gespülten Zustand. Die Werte wurden mit Material durchschnittlicher Kornverteilung bei einer Wassertemperatur von 10°C ermittelt.

Druckverlust



AKDOLIT
Wasseraufbereitung

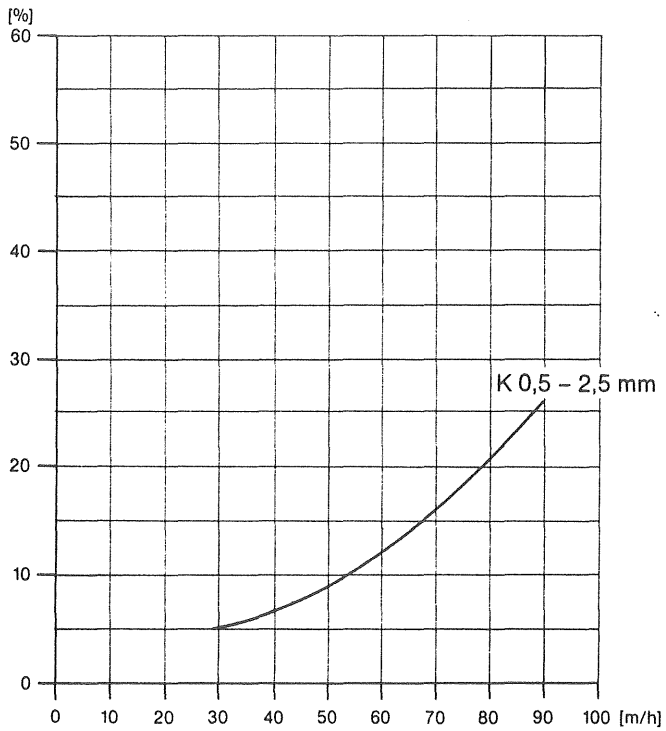
AKDOLIT-Werk GmbH
Wilhelmstraße 77
D-5603 Wülfrath
Telefon: (02058) 172603-08
Telex: 8592079 akd d
Telefax: (02058) 172609

Experten
reinsten
Wassers

3. Filterbettausdehnung bei der Spülung

Die nachstehende Kurve zeigt die Filterbettausdehnung (in %, bezogen auf die Ausgangsschichthöhe) in Abhängigkeit von der Spülwassergeschwindigkeit (m/h).

Filterbettausdehnung





MAGNO DOL

ALLMÄNT

Magno Dol är ett krossat, poröst filtermaterial av dolomit ($\text{CaCO}_3 \times \text{MgO}$) för avsyrrning genom filtrering. Filtermaterialets stora porositet ger gynnsamma filtreringsförutsättningar. Genom pH-höjning vid avsyrrning förbättras samtidigt reduktionen av järn och mangan.

Magno Dol garanterar genom stor reaktionsvillighet och hög renhet en ekonomisk och säker drift.

Magno Dol framställs och levereras i enighet med de tyska normerna DIN 19621 och DIN 2000 för fordringar på filtermaterial för dricksvattenrening. Materialet uppfyller de fordringar som ställs i Statens Livsmedelsverks kungörelse om tillsats till dricksvatten (SLV FS 1989:30).

ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN

Magno Dol används som kemiskt reagerande filtermaterial för avsyrrning i öppna och slutna snabbfilter för:

- avsyrrning och filtrering av grundvatten och ytvatten.
- avsyrrning och filtrering i anslutning till avjärning och avmanganisering.
- alkalisering av badvatten.
- avsyrrning och filtrering av varma och kalla processvatten.
- filtrering av dekarbonatiserat vatten.
- hårdhetsökning av mjuka vatten.

FYSIKALISKA OCH KEMISKA DATA

KORNSTORLEKAR

Kornstorlek I	0,5 - 2,0 mm
Kornstorlek II	2,0 - 4,0 mm

VOLYMKVIKT

Volymvikt kornstorlek I och II: 1100 - 1200 kg/m^3 .

Täthet: 2,75 g/cm^3



KEMISK SAMMANSÄTTNING

Kalciumoxid CaO	ca	40,4 %
Magnesiumoxid MgO	ca	26,0 %
Järnoxid Fe ₂ O ₃	ca	0,6 %
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃		
Kiselsyra SiO	ca	0,3 %
Glödförlust CO ₂ + H ₂ O	ca	32,6 %

TUNGMETALLANALYS

As	0,4 - 0,9	mg/kg
Pb	4 - 6	mg/kg
Cd	< 0,1 - 0,2	mg/kg
Cr	< 5	mg/kg
Ni	3 - 4	mg/kg

FÖRBRUKNING

Förbrukning av **Magno Dol** är 1,3 gram per gram neutraliserad CO₂.

HÅRDHETSÖKNING

Per 10 mg/l neutraliserad CO₂ är hårdhetsökningen ca 1^o dH.

TEKNISK DATA

FILTERBÄDDSHÖJD

Beroende av filterhastighet och råvattnets kemiska och fysikaliska sammansättning bör bräddhöjden vara:

i öppna filter:	1000 - 2000 mm
i tryckfilter:	1500 - 3000 mm

FILTERHASTIGHET

i öppna filter	5 - 15 mm
i tryckfilter	10 - 30 mm

FILTERBÄDDSEXPANSION

Spolhastighet	Kornstorlek I
m/h	0,8 - 2,5 mm

20	-
30	2 %
40	2 %
50	5 %
60	9 %
70	15 %
80	20 %

AKDOLIT® ARBEITSBLATT

WASSERAUFBEREITUNG

2.03-1

AKDOLIT-GRAN Entsäuerung

1. Allgemeines

AKDOLIT-GRAN ist ein kugeliges, poröses, dolomitisches Filtermaterial ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$).

Kennzeichnend für dieses Produkt sind seine stabile Kornstruktur, Reinheit und die hohe Reaktionsfähigkeit.

AKDOLIT-GRAN wird aufgrund seiner hohen Entsäuerungskapazität und seines geringen Materialverbrauches bevorzugt zur Entsäuerung stark aggressiver, jedoch wenig verschmutzter und wenig eisen- und manganhaltiger Wasser eingesetzt.

AKDOLIT-GRAN entspricht der DIN 2000, der Trinkwasser-Aufbereitungs-Verordnung und den Anforderungen der Zusatzstoffverkehrsverordnung.

2. Anwendungsbereich

AKDOLIT-GRAN wird als chemisch reagierendes Filtermaterial in offenen und geschlossenen Schnellfilteranlagen eingesetzt zur:

- Entsäuerung und Filtration von Brunnen-, Quell- und Oberflächenwasser
- Entsäuerung und Filtration in Verbindung mit der Enteisung und Entmanganung bei geringen Schwermetallkonzentrationen
- Entsäuerung und Filtration von Füllwasser für Schwimm- und Badebecken
- Filtration und pH-Wert-Stabilisierung bei der Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser
- Aufhärtung von Destillat und Permeat für die Nutzung als Trinkwasser

3. Besondere Einsatzhinweise

3.1 Die Entsäuerung auf filtrativem Wege ist eine betriebs-sichere und wartungsarme Verfahrenstechnik, bei der die Filter kurzzeitig um bis zu 30 % unterlastet werden dürfen. Die Filteranlage ist so auszulegen, daß ein weitgehend kontinuierlicher Betrieb mit der Solleistung erreicht wird.

3.2 Werden größere Mengen an Eisen- und Manganverbindungen sowie sonstige Schwebstoffe abgeschieden, kann die Materialoberfläche teilweise blockiert und die Entsäuerung behindert werden. Deshalb sollte bei Eisengehalten von $> 10 \text{ mmol/m}^3$ (\cong ca. $0,5 \text{ g/m}^3$) und bei Mangangehalten von $> 1 \text{ mmol/m}^3$ (\cong $0,05 \text{ g/m}^3$) bzw. erhöhten Schwebstoffgehalten eine getrennte Entsäuerung und Vorfiltration angestrebt werden.

Komplex gebundenes Eisen und Mangan sowie anwesende Kolloide und/oder reduzierend wirkende Substanzen erfordern ebenfalls Sondermaßnahmen, die individuell festzulegen sind.

3.3 Die Entsäuerungsmöglichkeit von Wasser aus CaSO_4 -haltigem Untergrund (erkennbar an hoher Kalzium- und Sulfationenkonzentration sowie niedriger Hydrogenkarbonationenkonzentration) muß individuell geprüft werden.

3.4 Für die angeführten Grenzfälle steht unsere anwendungstechnische Abteilung zur Problemlösung zur Verfügung.

4. Physikalische und chemische Daten

4.1 Kornklassen

Körnung 0	0,5 – 1,2 mm
Körnung I	0,5 – 2,5 mm
Körnung II	2,0 – 4,5 mm
Körnung III	4,0 – 7,0 mm



AKDOLIT
Wasseraufbereitung

AKDOLIT-Werk GmbH
Wilhelmstraße 77
5603 Wülfrath
Telefon: (02058) 17 26 03-09
Telex: 8592079 akd d

**Experten
reinsten
Wassers**

4.2 Schüttdichte

Schüttdichte ca. 1,2 t/m³

4.3 Chemische Zusammensetzung

(Durchschnittswerte)

Calciumoxid	(CaO)	ca. 40,1 %
Magnesiumoxid	(MgO)	ca. 25,8 %
Kieselsäure	(SiO ₂)	ca. 0,3 %
Eisenoxid	(Fe ₂ O ₃)	ca. 0,6 %
Aluminiumoxid	(Al ₂ O ₃)	
Glühverlust	(CO ₂ + H ₂ O)	ca. 33,2 %

4.4 Verbrauch

Pro g umgesetzter CO₂ einschl. Spülverluste ca. 1,3 g

4.5 Aufhängung

Pro 10 g/m³ umgesetzter CO₂ ca. 1°d

5. Technische Daten

5.1 Filterschichthöhen

Je nach der Filtergeschwindigkeit, der Wasseranalyse und der sich daraus ergebenden spezifischen Einsatzmenge (gemäß Arbeitsblatt 2.03-2):
 bei offenen Anlagen 1000 – 2000 mm
 bei geschlossenen Anlagen 1500 – 3000 mm

5.2 Filtergeschwindigkeiten

Entsprechend den zu lösenden Problemen und aus hydraulischen Gründen:
 bei offenen Anlagen 5 – 15 m/h
 bei geschlossenen Anlagen 10 – 30 m/h

5.3 Druckverlust und Filterbettausdehnung

Siehe Arbeitsblatt 2.03-3

5.4 Spülung

5.4.1 Spülung mit Wasser

Wassergeschwindigkeit
 Körnung 0 35 m/h
 Körnung I 80 m/h
 (Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)

5.4.2 Spülung mit Luft und Wasser (getrennt)

Luftspülung
 Luftgeschwindigkeit ca. 60 m/h
 (Spüldauer: ca. 5 Minuten)

Verweilzeit: 2 Minuten

Wasserspülung

Wassergeschwindigkeit
 Körnung 0 35 m/h
 Körnung I 80 m/h
 (Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)

5.4.3

Spülung mit Luft und Wasser (kombiniert)
 (nur für Körnung I und II, nicht bei Körnung 0 anzuwenden)

Luftspülung

Luftgeschwindigkeit ca. 60 m/h
 (Spüldauer: ca. 5 Minuten)

kombinierte Luft-/Wasserspülung

Luftgeschwindigkeit ca. 60 m/h
 Wassergeschwindigkeit 8 – 12 m/h
 (Spüldauer: ca. 10 Minuten)

Wasserspülung

Wassergeschwindigkeit 20 – 25 m/h
 (Spüldauer: bis zum klaren Wasserablauf)

Falls bei Einsatz der Körnung I der letzte Schritt „Wasserspülung“ mit der Lockerungsgeschwindigkeit durchgeführt werden soll, ist die hierfür unter Punkt 5.4.1 „Spülung mit Wasser“ genannte Geschwindigkeit anzusetzen und die Freibordhöhe entsprechend zu berechnen.

5.5

Berechnung der Freibordhöhe

Bei Spülung

gemäß 5.4.3 300 – 500 mm

gemäß 5.4.1 und 5.4.2 25 % der Filterschichthöhe (außer Tragschicht) + 200 bis 300 mm Sicherheitszuschlag

5.6

Einsatzmengen

Siehe Arbeitsblatt 2.03-2

5.7

Inbetriebnahme und Einarbeitung

Richtlinien über Befüllung und Inbetriebnahme siehe Arbeitsblatt 2.00-41

6. Lieferung

Ab Werk Pelm/Eifel

a) in Polysäcken mit je 50 kg Inhalt

b) lose in Silofahrzeugen

Mindestfrachtberechnung pro Fahrzeug 20 t

AKDOLIT[®] ARBEITSBLATT

WASSERAUFBEREITUNG

2.03-2

AKDOLIT-GRAN Einsatzmengen

1. Allgemeines

Für die Einstellung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes eines Wassers durch Filterung über AKDOLIT-GRAN ist eine bestimmte Kontaktzeit zwischen Wasser und Filtermaterial erforderlich. Diese Kontaktzeit ist abhängig von der Korngröße des Filtermaterials und den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Wassers. In der Praxis hat sich die Angabe der spezifischen Einsatzmenge in kg Material pro m³/h aufzubereitenden Wassers bewährt.

Bei der Planung von Anlagen ist eine Schüttdichte von 1,2 t/m³ zugrunde zu legen.

2. Geltungsbereich

2.1 Kohlensäure

Für die Berechnung der überschüssigen Kohlensäure sind die Methoden Hässelbarth (GWf 104 [1963] 89 ff., 157 ff.), vgl. Arbeitsblatt 1.00-3, oder Axt (Jahrb. Vom Wasser 28 [1961], 208), vgl. Arbeitsblatt 1.00-4, zugrunde zu legen.

Die Diagramme enthalten nur die Kohlensäuregehalte, bei denen im Hinblick auf die Höhe der Karbonathärte die Entsäuerung über AKDOLIT-GRAN zu empfehlen ist. Dabei wird sowohl die notwendige, günstige Härteerhöhung bei weichen Wässern als auch die nicht zu große Härteerhöhung bei mittelharten Wässern beachtet. Bei mittelharten Wässern mit hohem Kohlensäuregehalt kann der angegebene optimale Bereich durch eine vorgeschaltete mechanische Entsäuerungsanlage erreicht werden.

2.2 Karbonathärte

Die Diagramme gelten für das Verhältnis Karbonathärte: Kalzium (in °d) 1 : max. 2.*

2.3 Temperatur

Den Diagrammen liegt eine Wassertemperatur von 10°C zugrunde. Für andere Temperaturen im Bereich von 5 – 15°C sind die aus den Diagrammen zu entnehmenden Einsatzmengen mit einem Faktor zu multiplizieren, der in nachstehender Tabelle 1 angegeben ist.*

Tabelle 1

Wassertemperatur (°C)	Faktor
5	1,48
6	1,35
7	1,24
8	1,15
9	1,17
11	0,94
12	0,88
13	0,84
14	0,79
15	0,75

2.4 Sulfatkonzentration

Bei hohen Sulfatgehalten ist zu prüfen, ob das Wasser aus CaSO₄-haltigem Untergrund stammt und ob im speziellen Fall die Entsäuerung mit AKDOLIT-GRAN möglich ist.*

2.5 Eisen- und Mangangehalte

Bei gleichzeitiger Entsäuerung, Enteisung und Entmanganung sollten Eisengehalte von 10 mmol/m³ \triangleq 0,5 g/m³ und Mangangehalte von 1 mmol/m³ \triangleq 0,05 g/m³ nicht überschritten werden, da die Materialoberfläche teilweise blockiert werden kann und die Entsäuerung dann nicht mehr einwandfrei verläuft.

Es sollte dann eine getrennte Entsäuerung und Enteisung/Entmanganung angestrebt werden.



AKDOLIT
Wasseraufbereitung

AKDOLIT-Werk GmbH
Wilhelmstraße 77
5603 Wülfrath
Telefon: (02058) 17 26 03-09
Telex: 8592079 akd d

Experten
reinsten
Wassers

3. Zur Benutzung der Diagramme

Für Gehalte an überschüssiger Kohlensäure bis 5 g/m^3 (Basekapazität bis $\text{pH } 8,2 \leq 0,11 \text{ mol/m}^3$) ist der Wert 5 g/m^3 einzusetzen.

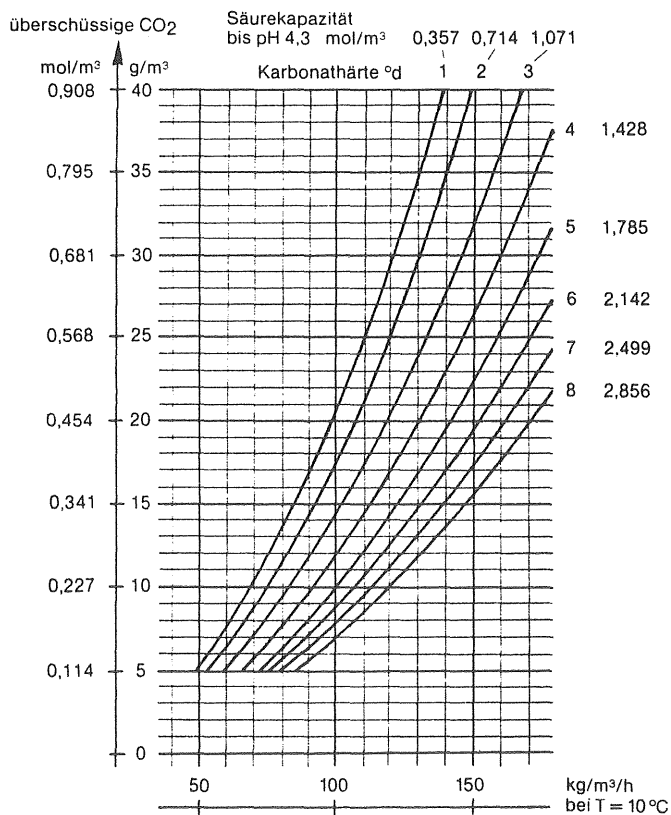
Für Karbonathärten bis 1°d (Säurekapazität bis $\text{pH } 4,3 \cdot \leq 0,36 \text{ mol/m}^3$) ist der Wert 1°d zugrunde zu legen.

Zwischenwerte sind auf ganze Zahlen ab- bzw. aufzurunden.

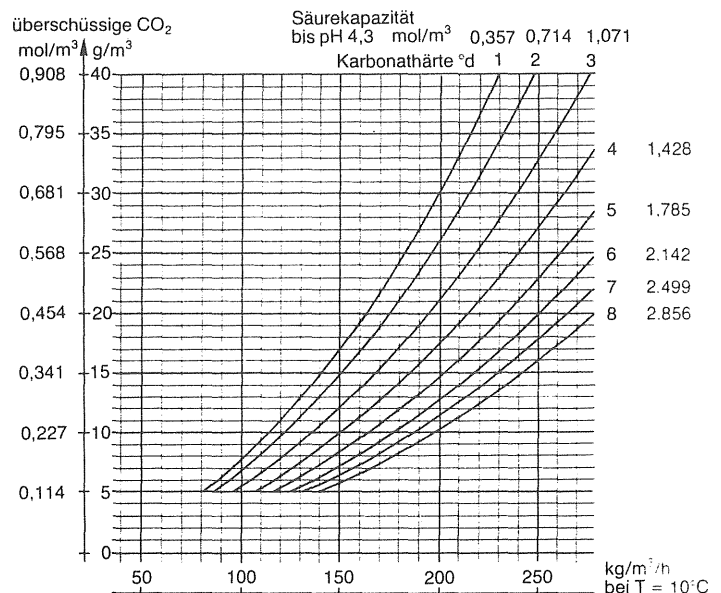
4. Ermittlung der Einsatzmenge

Auf der Senkrechten (Ordinate) wird der Punkt ermittelt, der dem Gehalt an überschüssiger Kohlensäure entspricht. Von dort wird eine Waagerechte bis zum Schnittpunkt mit der Kurve (Parameter) gezogen, die dem Gehalt an Karbonathärte entspricht. Das Lot vom Schnittpunkt auf die Waagerechte (Abszisse) des Diagramms ergibt die Einsatzmenge in $\text{kg/m}^3/\text{h}$, für die gegebenenfalls Korrekturen (s. Geltungsbereich unter Temperatur und Eisengehalt) vorzunehmen sind.

**Einsatzmengen für AKDOLIT-GRAN,
Körnung 0 = 0,5 – 1,2 mm**



**Einsatzmengen für AKDOLIT-GRAN,
Körnung I = 0,5 – 2,5 mm**



5. Verbrauch und Aufhärtung

Der Verbrauch an AKDOLIT-GRAN beträgt $1,3 \text{ g}$ je g abzubindender Kohlensäure (einschl. Spülvverluste) und die Aufhärtung $0,1^\circ\text{d}$ je g/m^3 abgebundener Kohlensäure.

6. Berechnungsbeispiel

Wasseruntersuchungsbefund:

Temperatur	11,0 °C
Gesamthärte	6,0 °d
Summe Erdalkalien	1,07 mol/m ³
Säurekapazität bis pH 4,3	1,4 mol/m ³
Karbonathärte	3,9 °d
Basekapazität bis pH 8,2	0,62 mol/m ³
freie Kohlensäure	27,3 g/m ³
Kalzium	21,5 g/m ³
überschüssige Kohlensäure	26,8 g/m ³

Einsatzmenge:

für 10°C aus Diagramm	250 kg/m ³ /h
für 11°C $250 \cdot 0,94$ (s. Tabelle)	235 kg/m ³ /h

Raumbedarf 235 : 1,2

195,8 l

AKDOLIT® ARBEITSBLATT

WASSERAUFBEREITUNG

2.03-3

AKDOLIT-GRAN Druckverlust, Filterbettausdehnung

1. Allgemeines

AKDOLIT-GRAN ist ein kugeliges, poröses, dolomitisches Filtermaterial. Es dient zur Entsäuerung durch Filtration.

Für die Projektierung von Aufbereitungsanlagen kann der bei der Filtration auftretende Druckverlust und die Filterbettausdehnung bei der Spülung den nachstehenden Kurven mit ausreichender Genauigkeit für eine Wassertemperatur von 5 – 15°C entnommen werden.

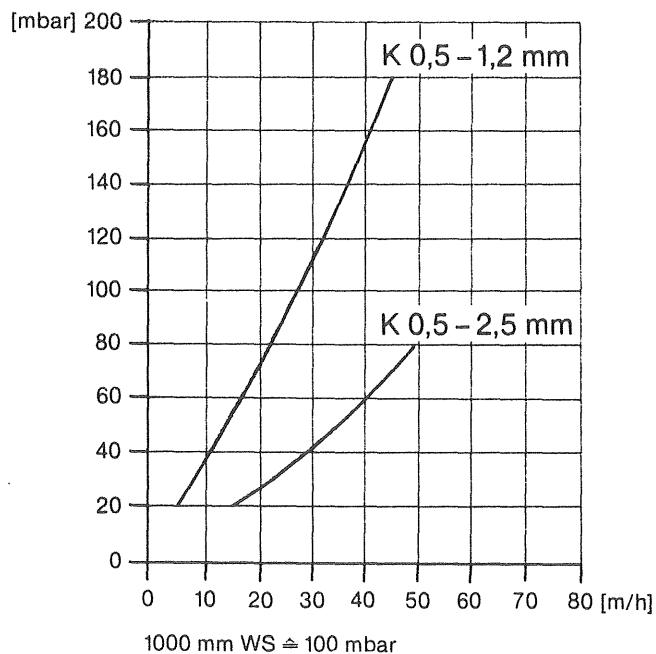
2. Druckverlust

Der Druckverlust ist u. a. abhängig von:

- **Korndurchmesser**
Bei Verringerung des Korndurchmessers steigt der Druckverlust (Exponentialfunktion).
- **Schichthöhe**
Bei Vergrößerung der Schichthöhe steigt der Druckverlust in linearer Abhängigkeit.
- **Filtergeschwindigkeit**
Bei Vergrößerung der Filtergeschwindigkeit steigt der Druckverlust.
- **Temperatur**
Mit fallender Temperatur steigt der Druckverlust aufgrund der Viskositätsänderung des Wassers.

Die Kurve zeigt für die verschiedenen Kornklassen den Druckverlust in Abhängigkeit von der Filtergeschwindigkeit (m/h), bezogen auf eine Schichthöhe von 1000 mm im frisch gespülten Zustand. Die Werte wurden mit Material durchschnittlicher Kornverteilung bei einer Wassertemperatur von 10°C ermittelt.

Druckverlust



AKDOLIT
Wasseraufbereitung

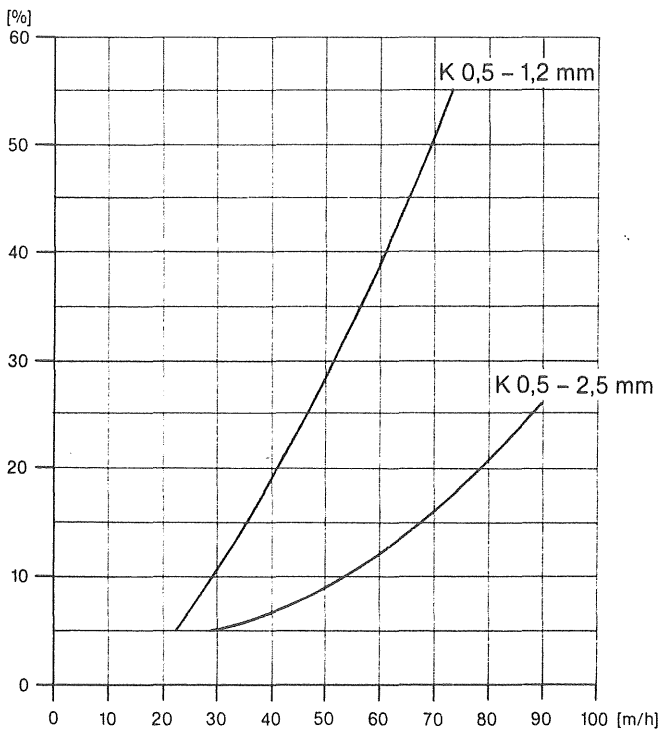
AKDOLIT-Werk GmbH
Wilhelmstraße 77
D-5603 Wülfrath
Telefon: (02058) 172603-08
Telex: 8592079 akd d
Telefax: (02058) 172609

**Experten
reinsten
Wassers**

3. Filterbettausdehnung bei der Spülung

Die nachstehende Kurve zeigt für die verschiedenen Material-Körnungen die Filterbettausdehnung (in %, bezogen auf die Ausgangsschichthöhe) in Abhängigkeit von der Spülwassergeschwindigkeit (m/h).

Filterbettausdehnung





AKDOLIT GRAN

ALLMÄNT

Akdolit Gran är ett granulerat, alkaliskt reagerande filtermaterial tillverkat av en speciellt utvald dolomitisk bergart. Kännetecknande är den stabila kornstrukturen, renhet och stor reaktionsvillighet.

Den kemiska sammansättningen ($MgO \times CaCO_3$) samt ett hårt korn med porös yta ger en effektiv reaktion (höjning av bikarbonat och pH) samt goda fysikaliska filtreringsegenskaper (klarfiltrering av grumlighet mm).

Akdolit Gran ger också en effektiv reduktion av järn och mangan.

Eftersom endast kalcium magnesium och bikarbonatjoner tillförs vattnet, kan man karaktärisera denna metod som naturmetod: en säker ekonomisk metod att automatiskt få ett vatten i jämvikt.

Akdolit Gran uppfyller fordringar enligt Statens Livsmedelsverks kungörelse om tillsatser till dricksvatten (SLV FS 1989:30).

FYSIKALISKA OCH KEMISKA DATA

KORNSTORLEKAR

Kornstorlek 0	0,5 - 1,2
Kornstorlek I	0,5 - 2,5
Kornstorlek II	2,0 - 5,0

VOLYMVIKT OCH TÄTHET

Volymvikt kornstorlek 0	ca 1.050 kg/m ³
Volymvikt kornstorlek I och II	ca 1.100 kg/m ³

KEMISKA SAMMANSÄTTNING

Kalciumoxid CaO	40,1 %
Magnesiumoxid MgO	25,8 %
Kiselsyra SiO ₂	0,3 %
Järnoxid Fe ₂ O ₃ och	
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	0,6 %
Glödförlust CO ₂ + H ₂ O	33,2 %



TUNGMETALLANALYS

Kadmium	Cd	<0,1-0,2 mg/kg
Krom	Cr	< 5 mg/kg
Bly	Pb	4 - 6 mg/kg
Arsenik	As	0,4 - 0,9 mg/kg
Nickel	Ni	3 - 4 mg/kg

MATERIALFÖRBRUKNING

Förbrukningen är ca 1,3 gram **Akdolit Gran** per gram neutraliserad CO₂ inklusive spolförluster.

HÅRDHETSÖKNING

Per 10 mg/liter neutraliserad CO₂ är hårdhetsökningen ca 1^odH.

TEKNISKA DATA

BÄDDHÖJD

Beroende på filterhastighet och råvattnets kemiska och fysikaliska sammansättning bör bäddhöjden vara:

I öppna filter	1.000 - 2.000 mm
I tryckfilter	1.500 - 3.000 mm

FILTERHASTIGHET

I öppna filter	5 - 15 m/h
I tryckfilter	10 - 30 m/h

RETURSPOLNING

Vid returspolning med enbart vatten bör returspolhastigheten ligga 50 - 80 m/h.

Produkter för rening av
vatten, luft och gas

Filtermassor för alkalinisering



AQUADOL och REDOLIT

Allmänt

Aquadol och Redolit är olika beteckningar på halvbrända dolomitmassor med snarlikt ursprung, tillverkade av en speciellt lämplig kiselsyrefattig dolomit ($MgCO_3 \times CaCO_3$)

Användning

Aquadol och Redolit används som "avsyrningsmassor". Beroende på massornas struktur och den pH-höjning som sker vid avsyrningen (neutraliseringen av aggressiv kolsyra), erhålles samtidigt en förbättrad järn-och manganreducering.

Aquadol och Redolit används i huvudsak för avsyrning och hårdhetshöjning av mjuka grundvatten.

Kvaliteter

Aquadol	Redolit
Kornstorlek 0 0,8-1,2 mm	
1 0,8-2,5 mm	1,0-3,0 mm
2 2,0-4,5 mm	

Kemisk-fysikaliska egenskaper

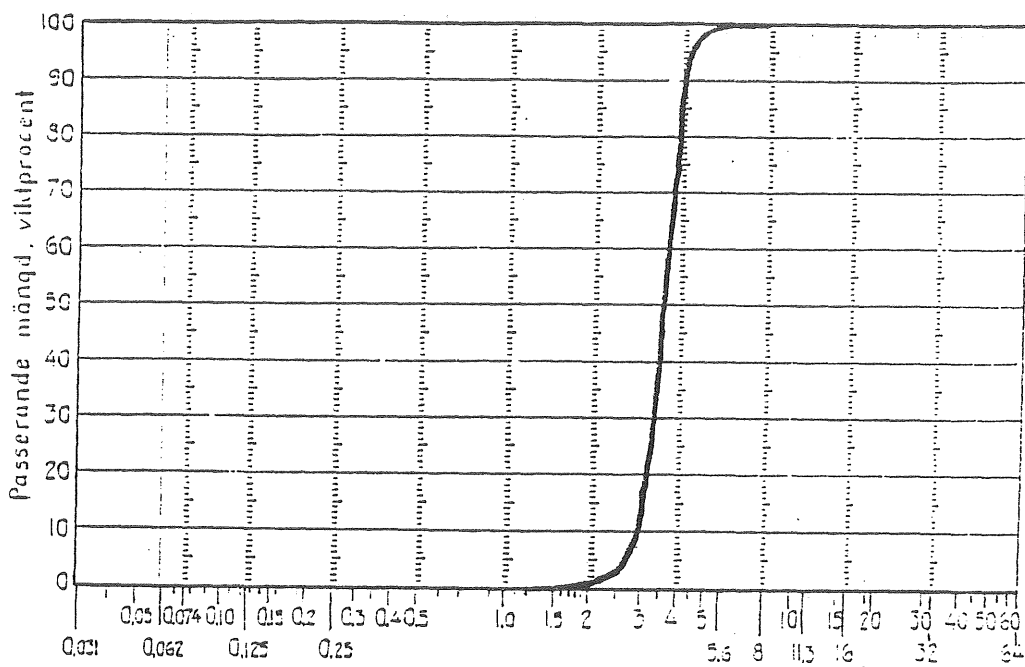
Magnesiumoxid (MgO)	26 - 28 %
$CaCO_3$	ca 70 %
CaO, fri	max 0,2 %
SiO_2	max 0,3 %
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	max 0,2 %
Skrymdensitet	1300 kg/m ³

Hårdhetshöjning och förbrukning

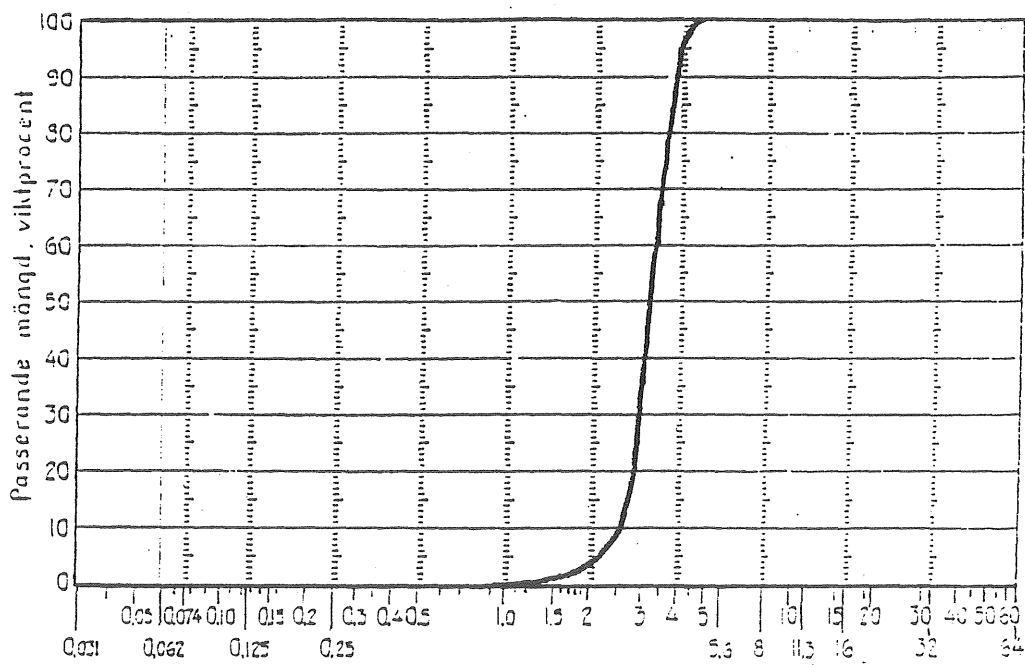
För varje 10 mg/l bunden CO_2 ökas hårdheten med 1 °dH (tyskgrad). Förbrukningen av filtermassorna är ca 1,3 gram per gram bunden CO_2 (inklusive back-spolningsförluster).

Förpackningssätt

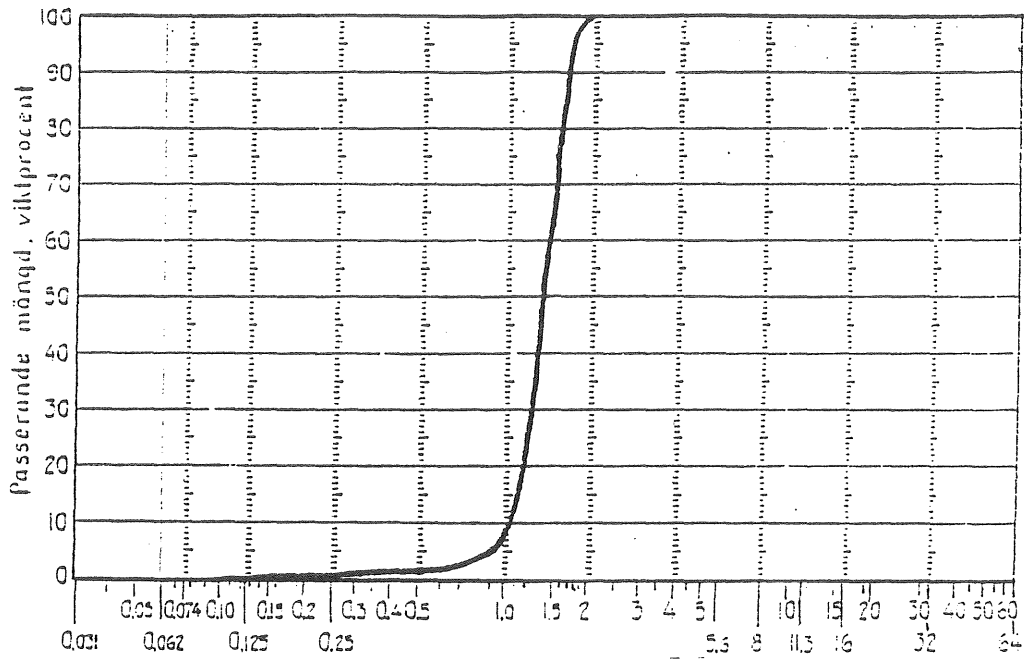
Aquadol levereras i säckar á 50 kg, storsäckar á 1 000 kg och i bulkbil.
Redolit levereras i säckar á 40 kg.



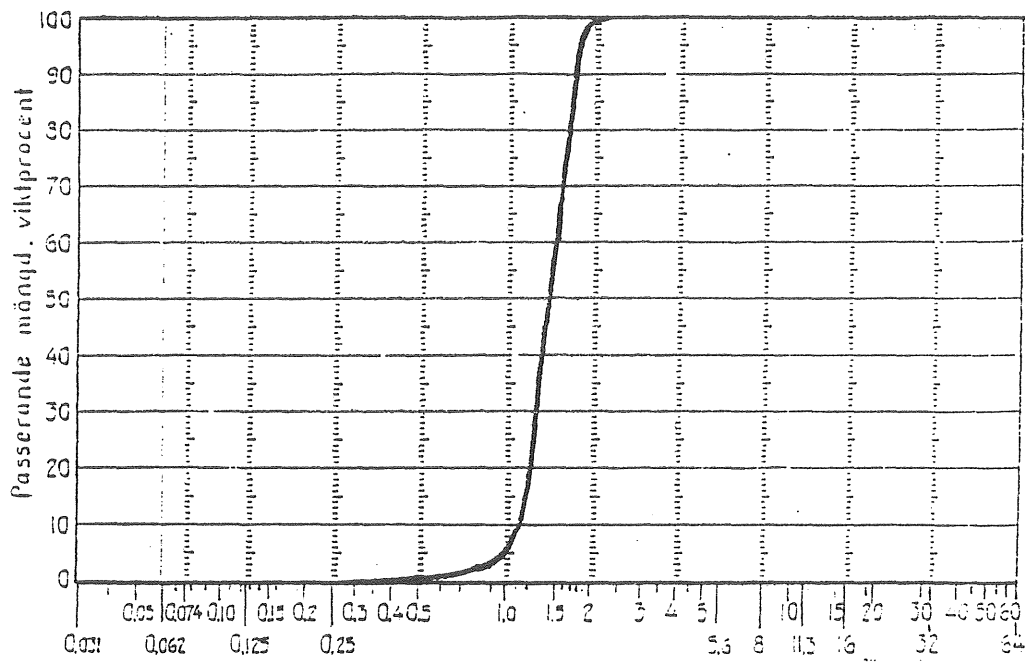
Hydrolit-Ca (2.0-6.0)



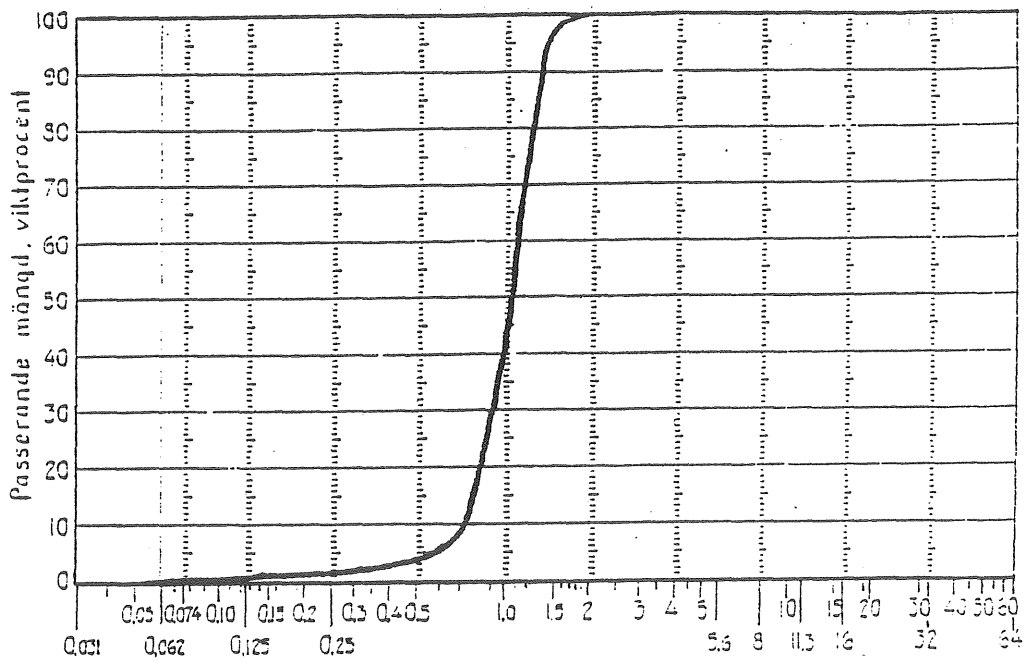
Hydrolit-Ca (1.0-5.0)



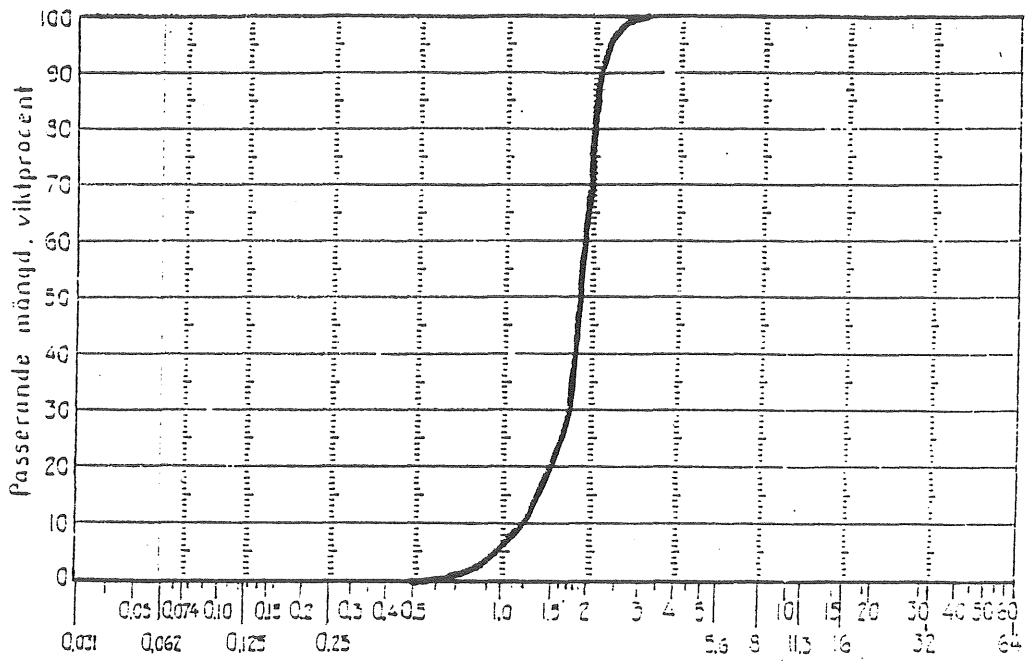
Hydrokarbonat (0.7-1.4)



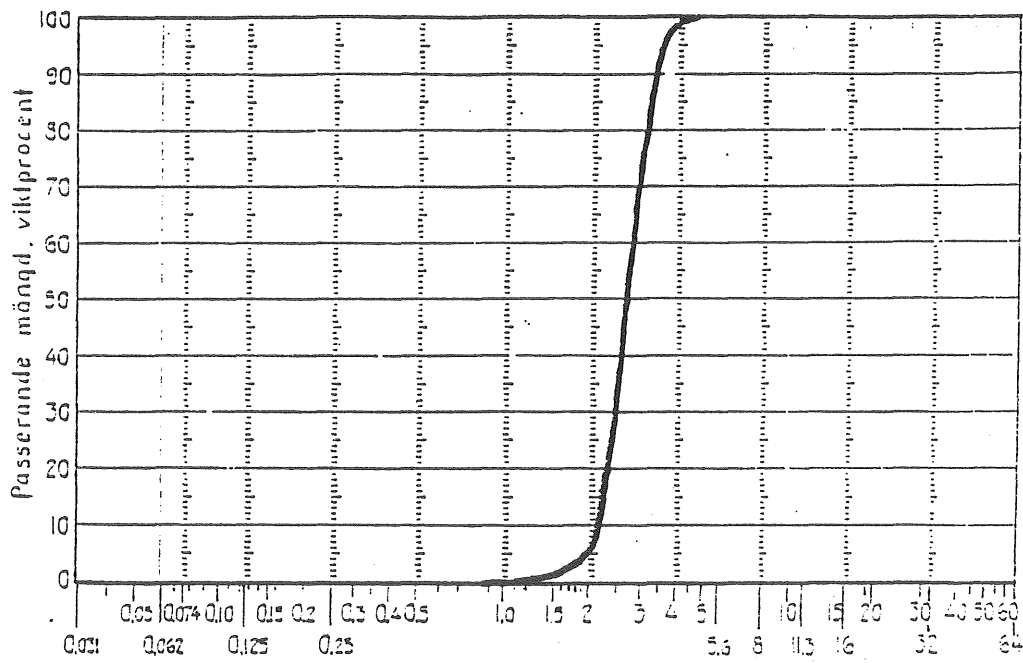
Filterkarb (1.2-1.8)



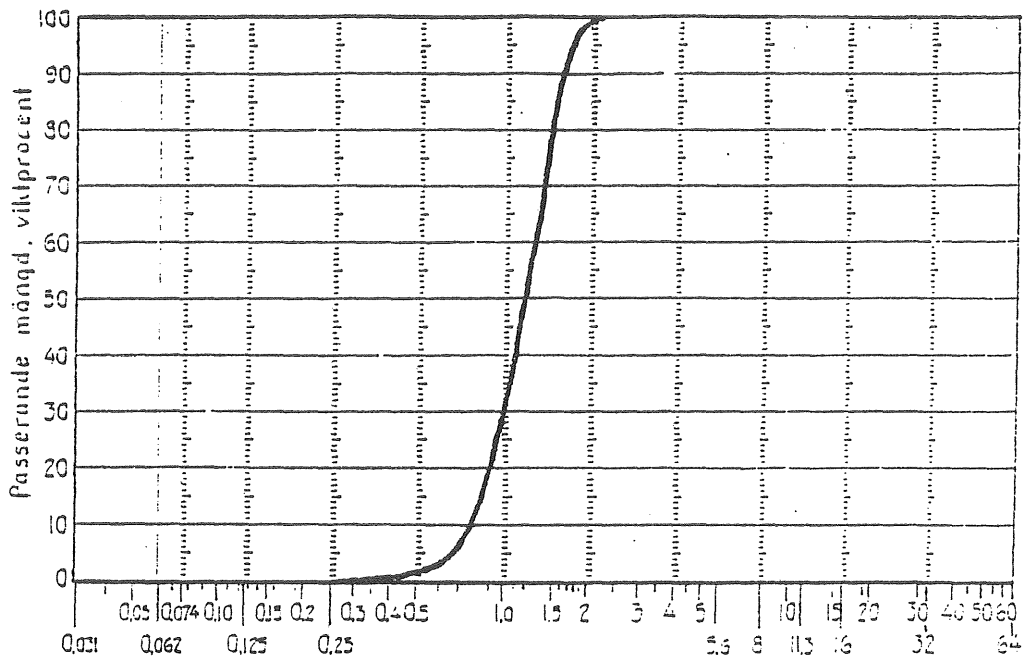
Filterkarb (0.8-1.2)



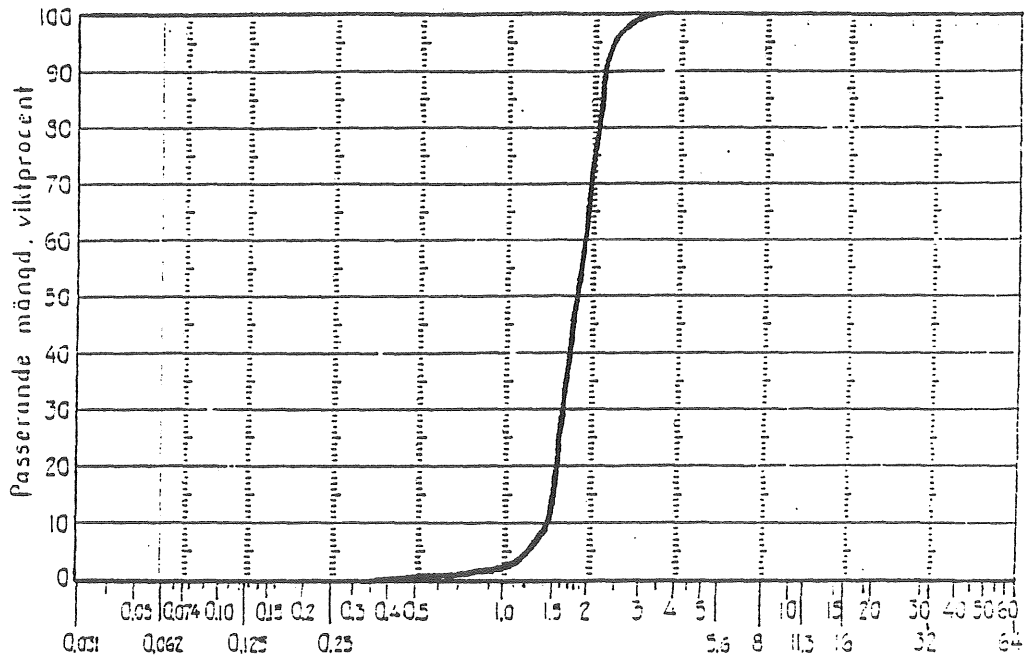
Magno-dol KI



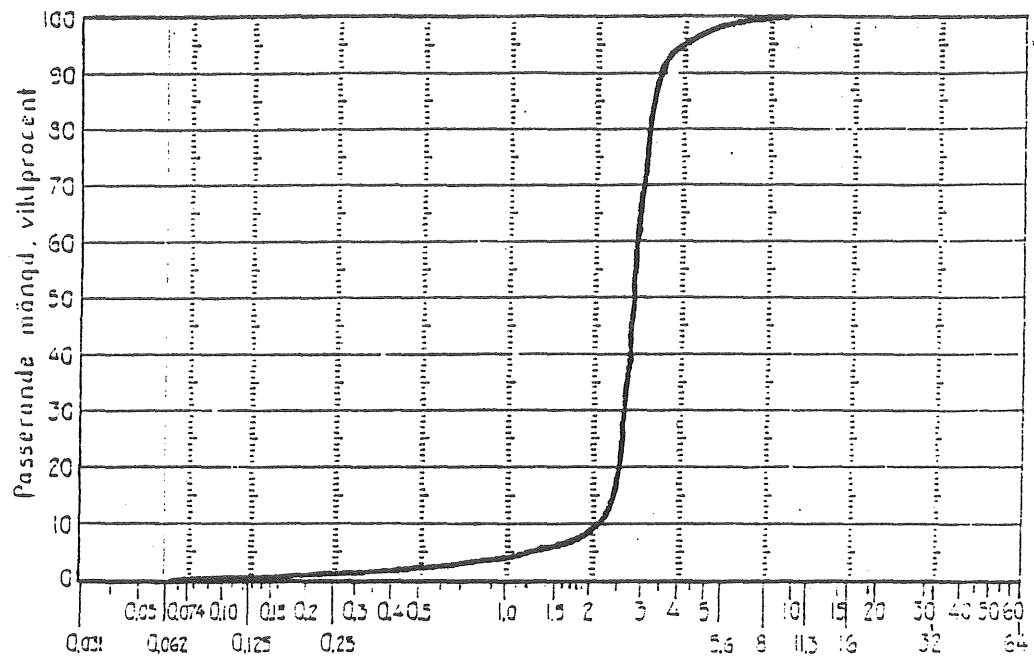
Magno-dol KII



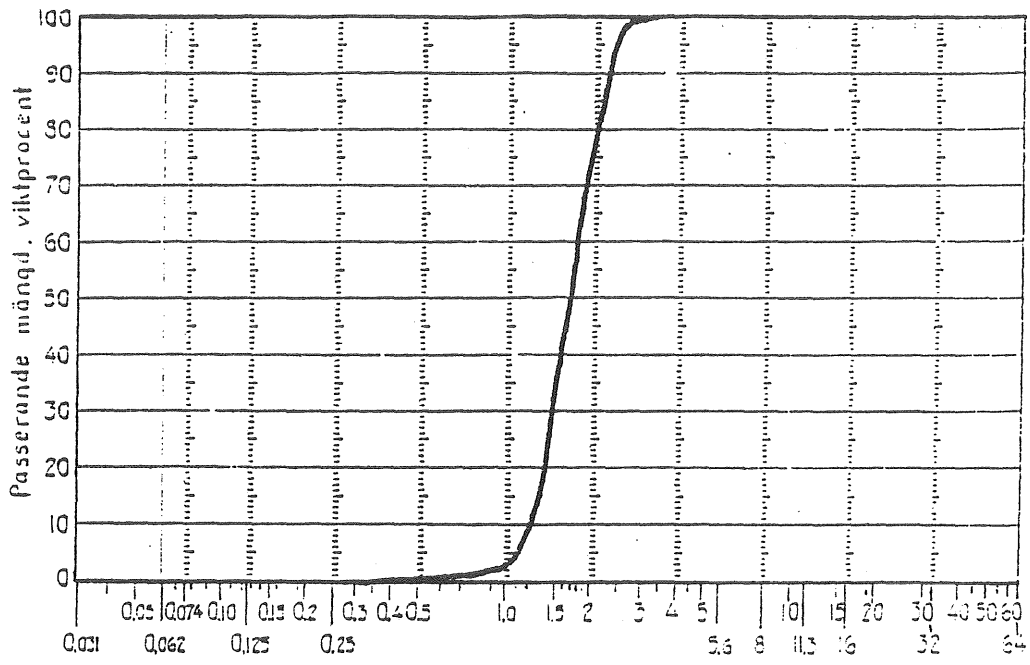
Akdolit-gran 0



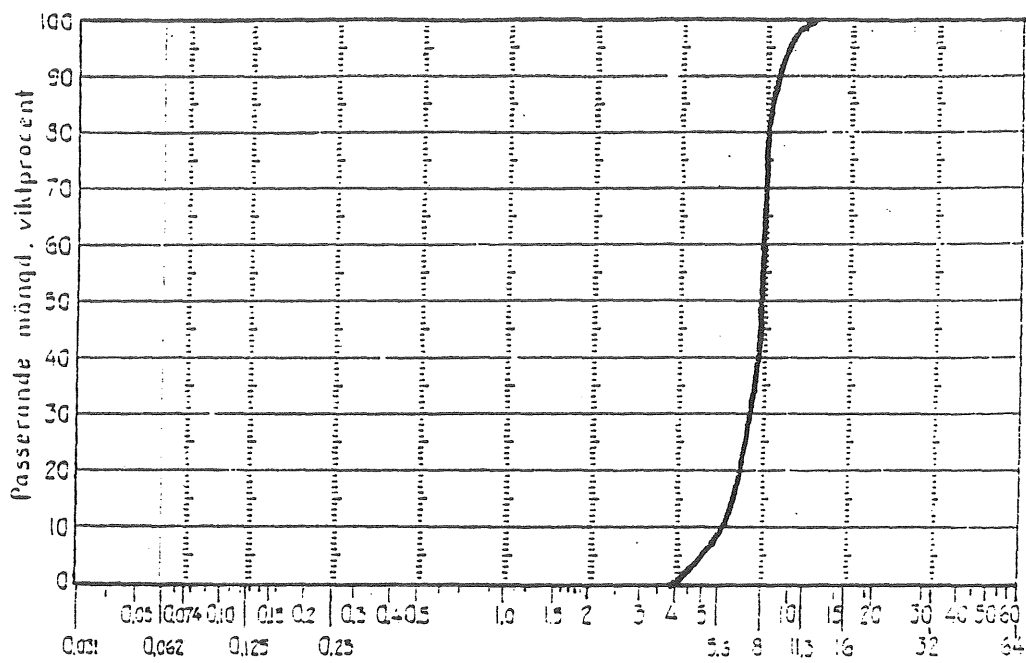
Akdolit-gran 1



Akdolit-gran 2

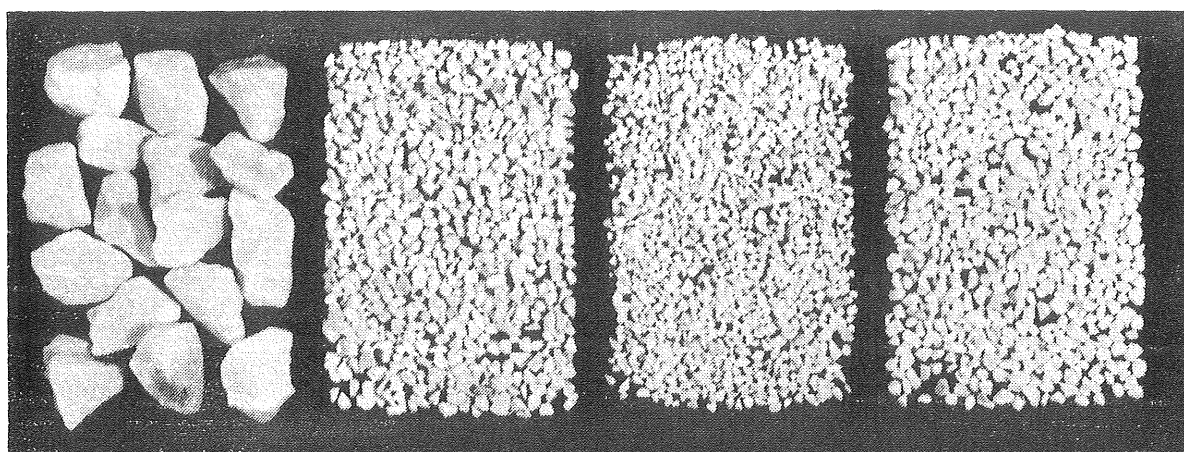


Redolit (1.0-3.0)



Aqua Ring

Foto på massor, skala 1:1

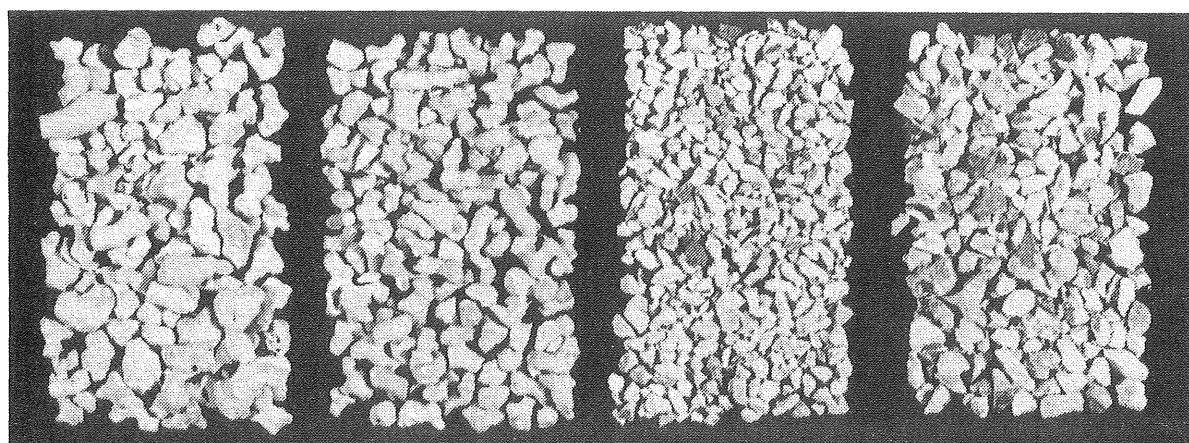


Aqua Ring

Filterkarb(1.2-1.8)

Filterkarb(0.8-1.2)

Hydrokarbonat

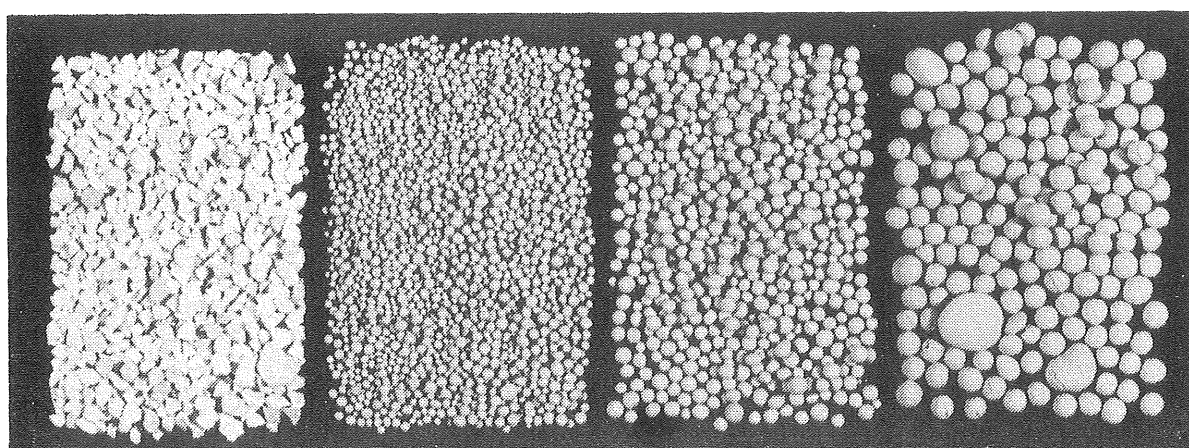


Hydrolit-Ca(2.0-6.0)

Hydrolit-Ca(1.0-5.0)

Magno-dol KI

Magno-dol KII



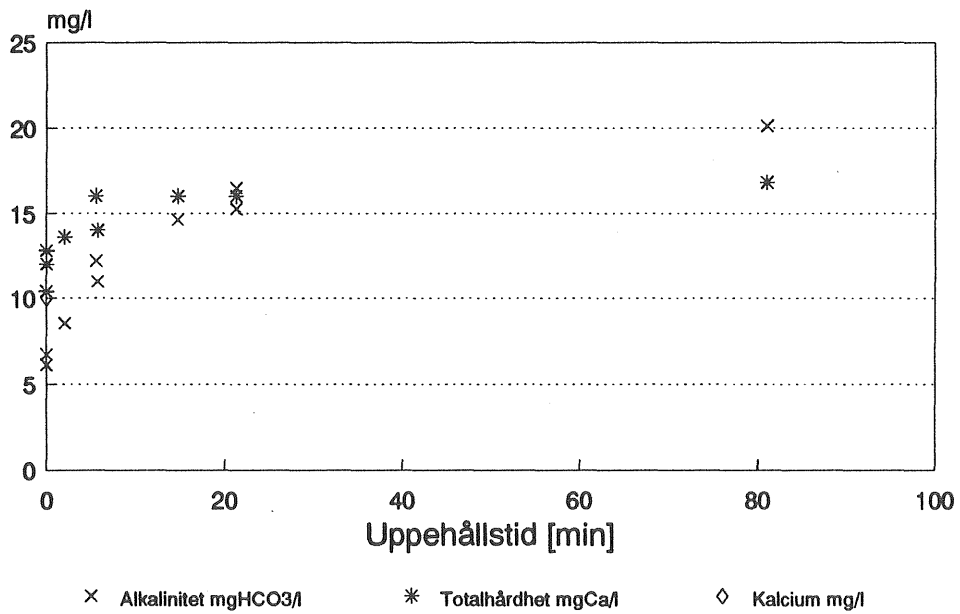
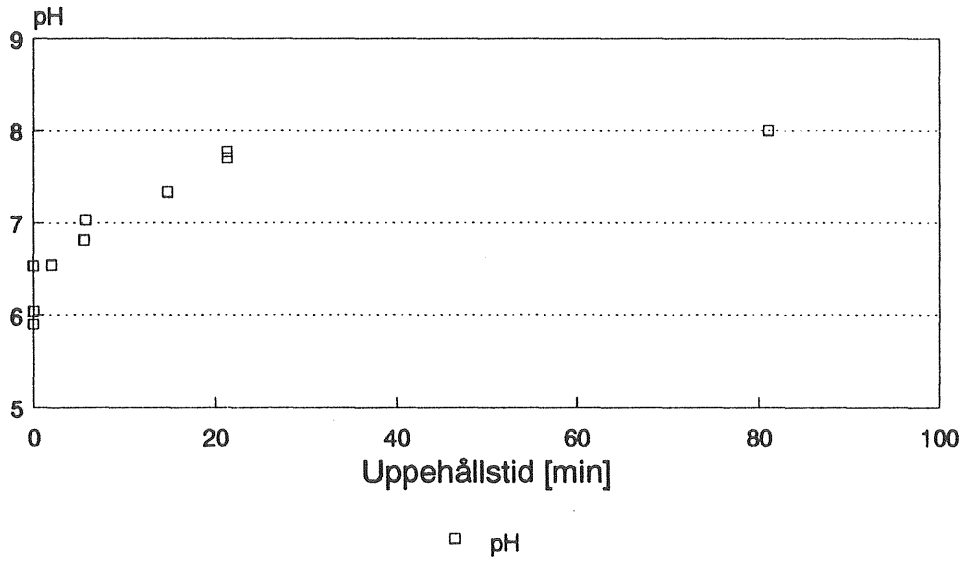
Redolit

Akdolit-gran 0

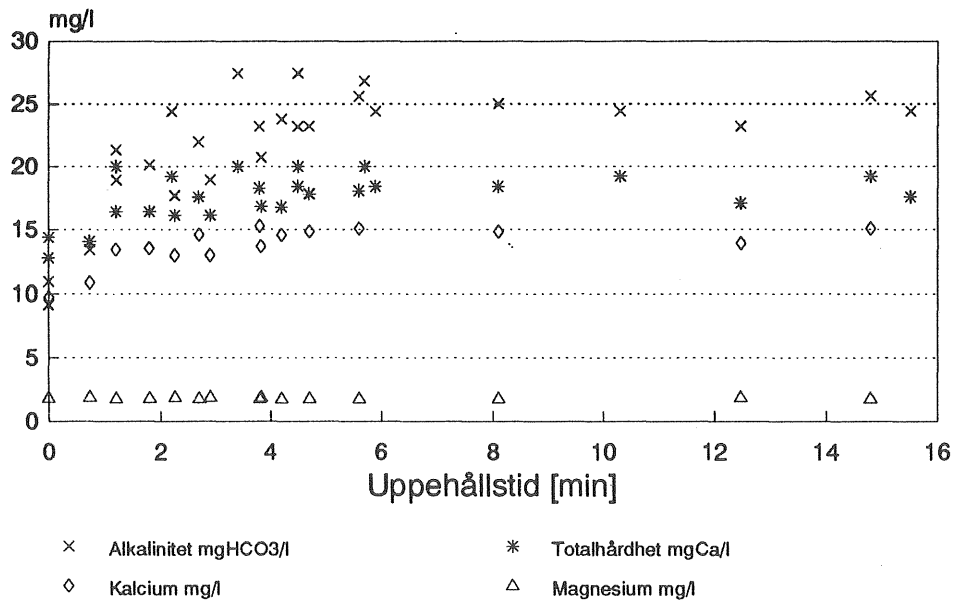
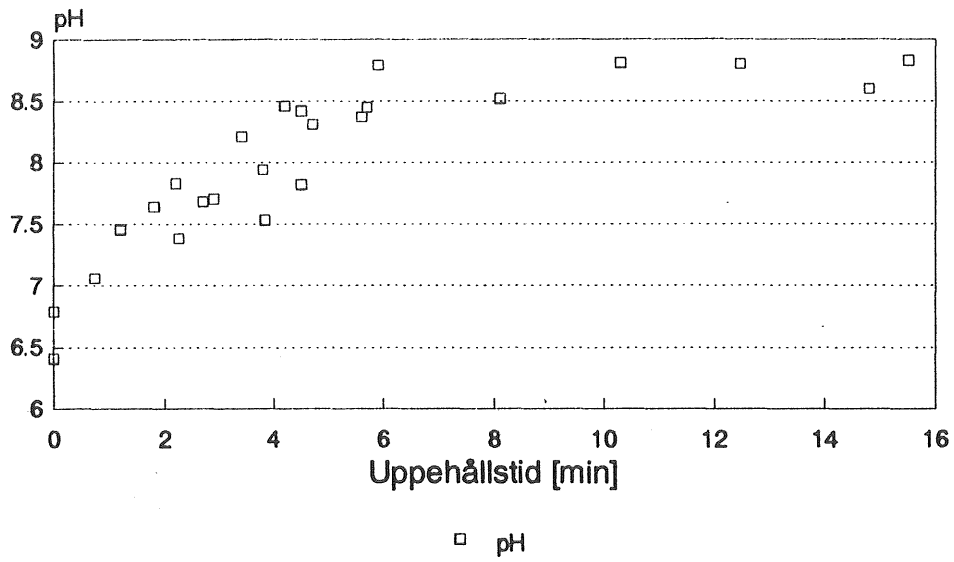
Akdolit-gran 1

Akdolit-gran 2

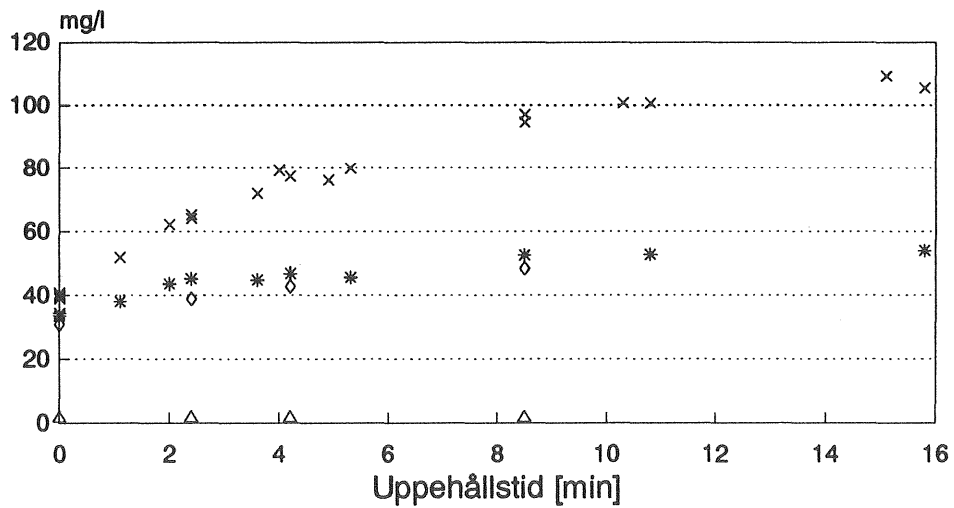
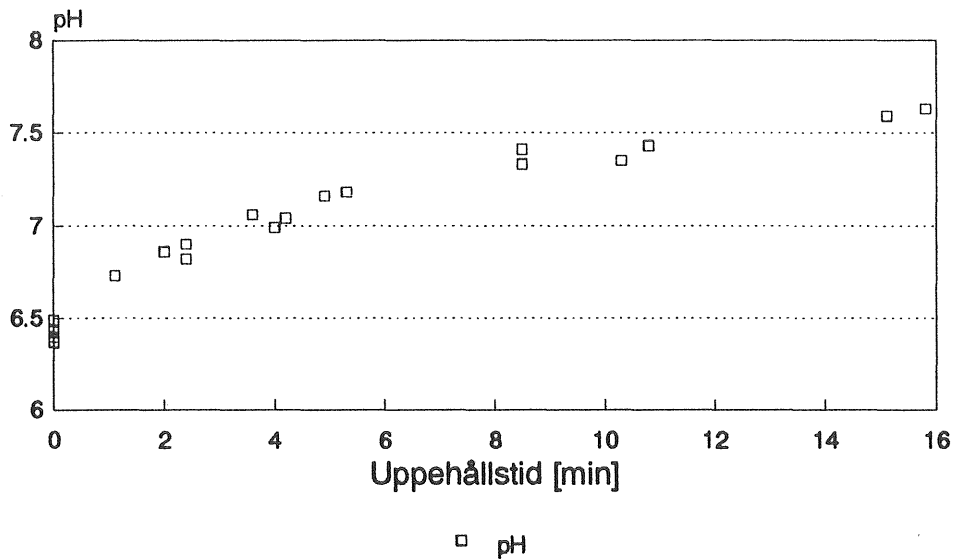
Aqua Ring Vatten 1



Filterkarb (1.2-1.8) Vatten 1

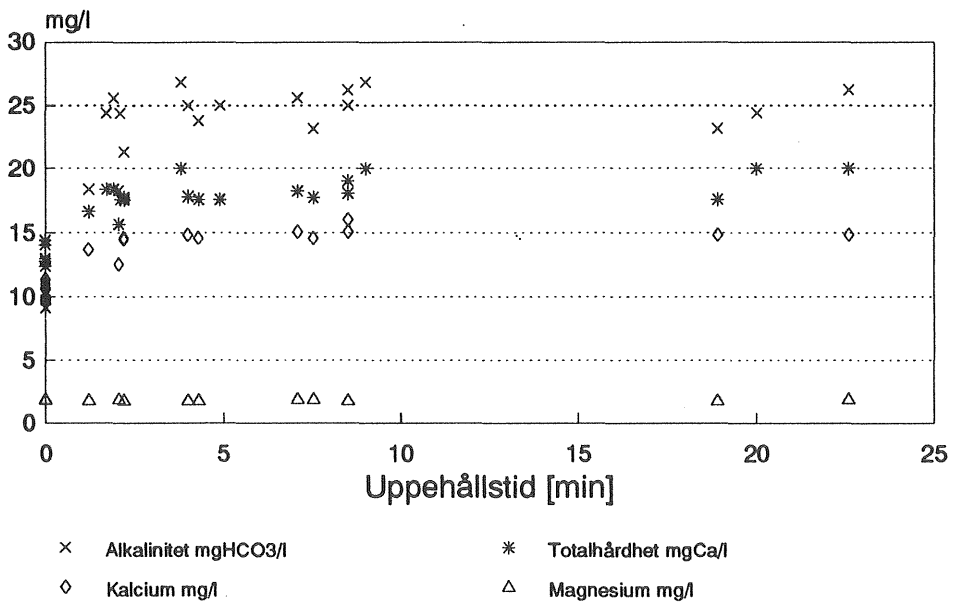
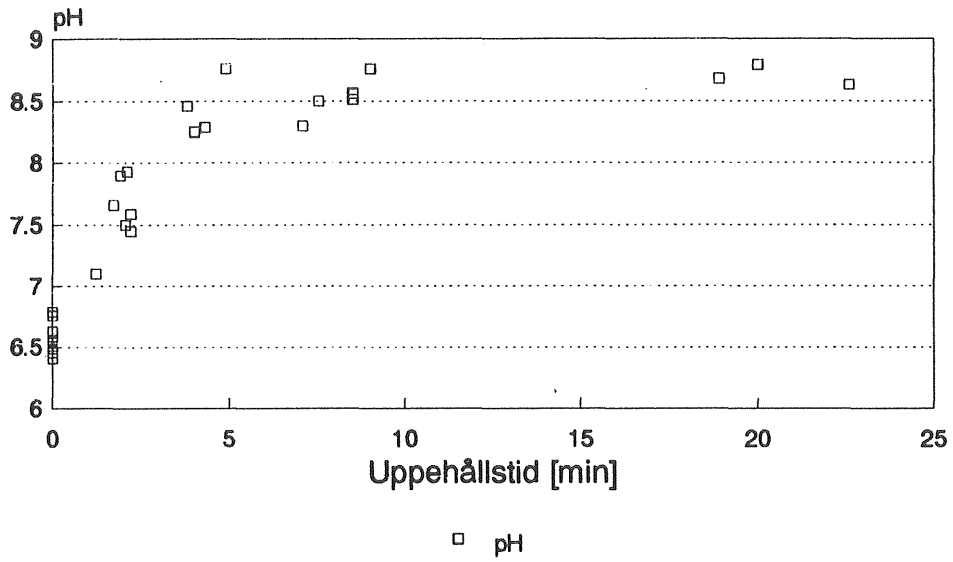


Filterkarb (1.2-1.8) Vatten 2:6

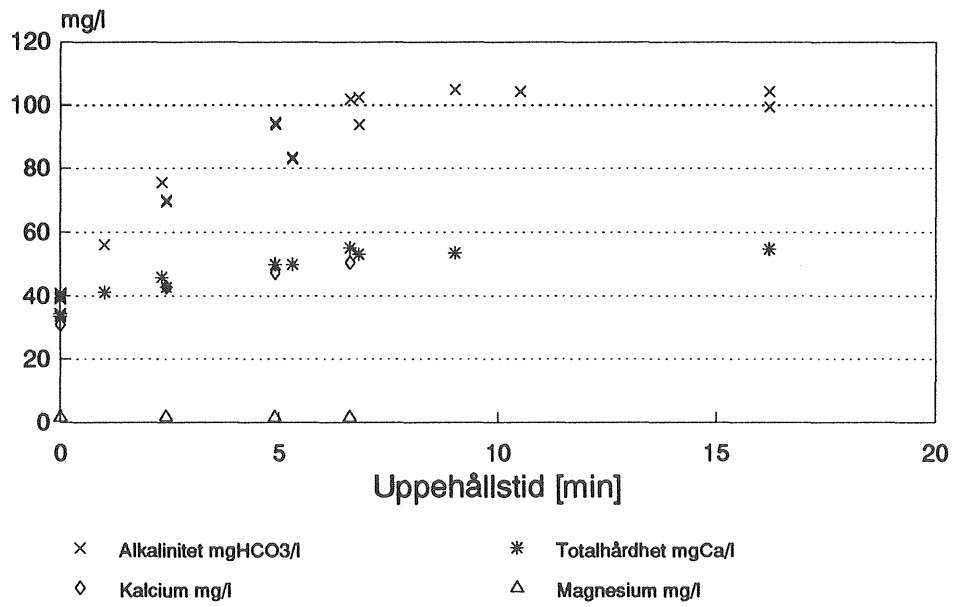
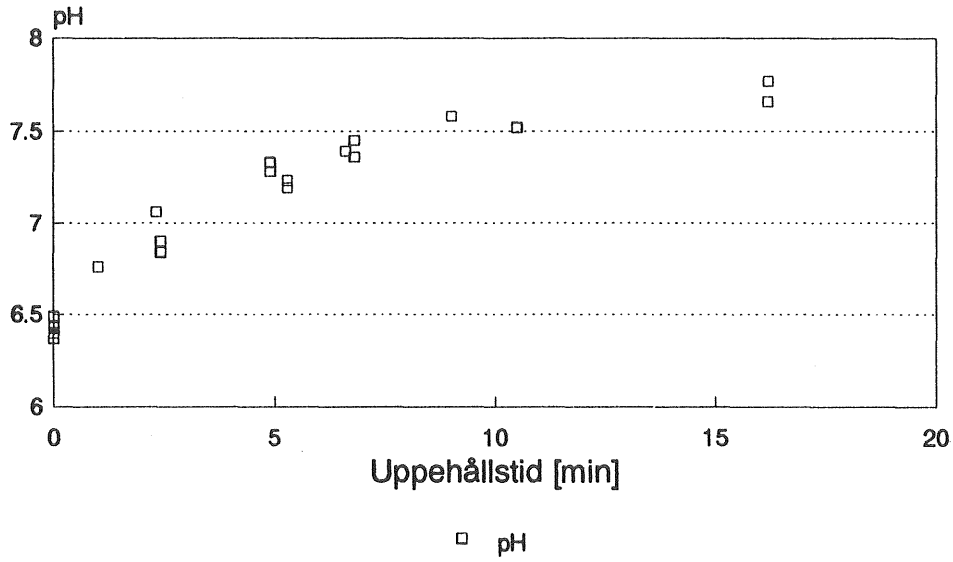


- | | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| × Alkalinitet mgHCO ₃ /l | * Totalhårdhet mgCa/l |
| ◇ Kalcium mg/l | △ Magnesium mg/l |

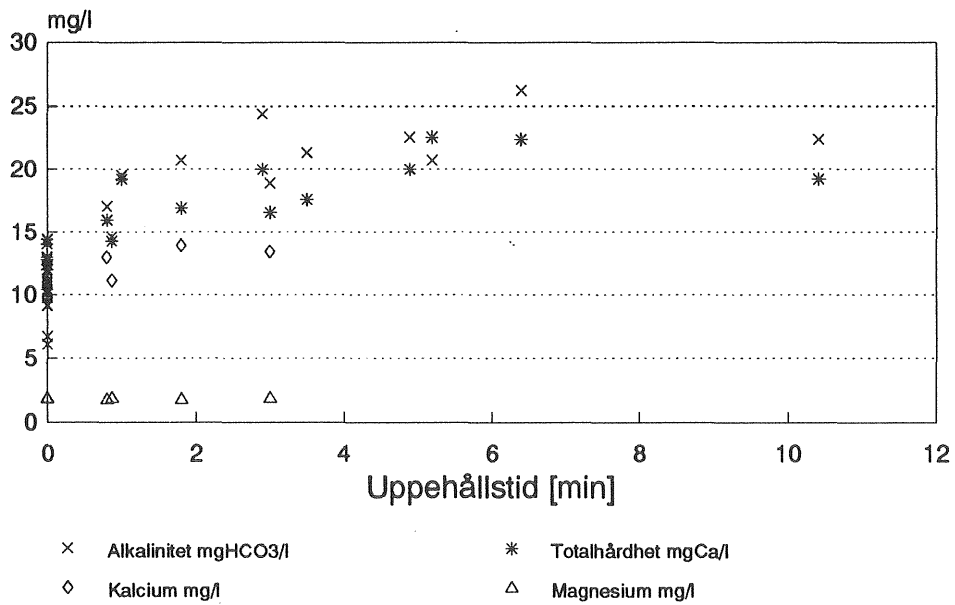
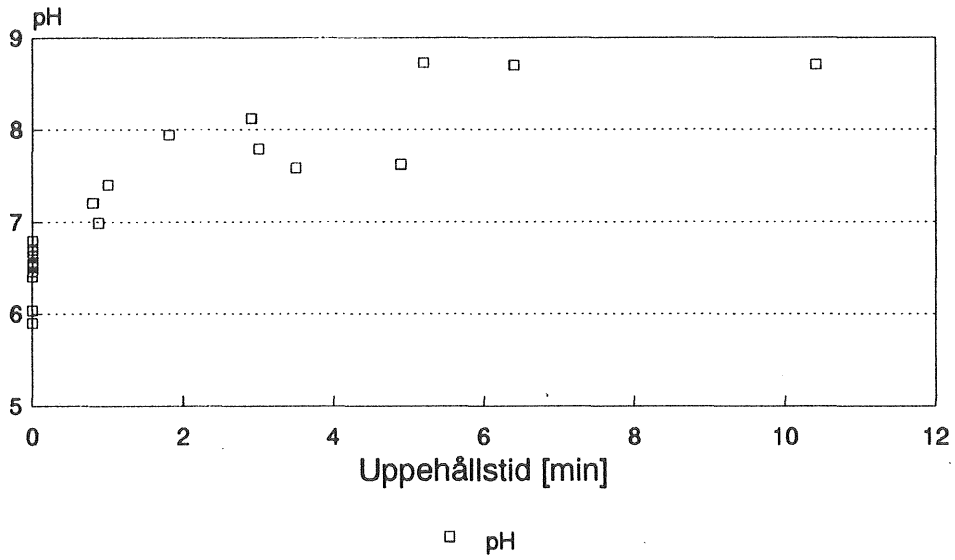
Filterkarb (0.8-1.2) Vatten 1



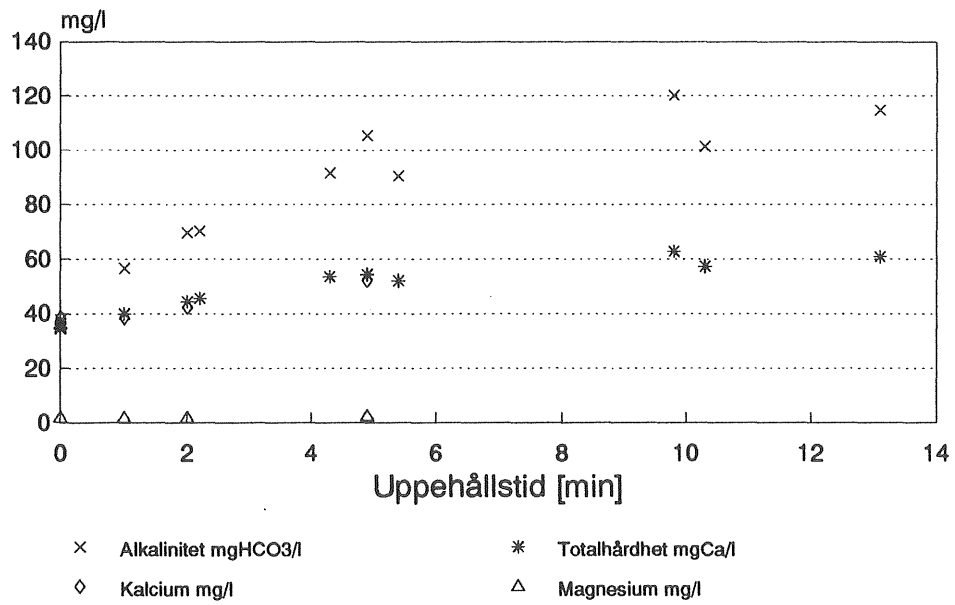
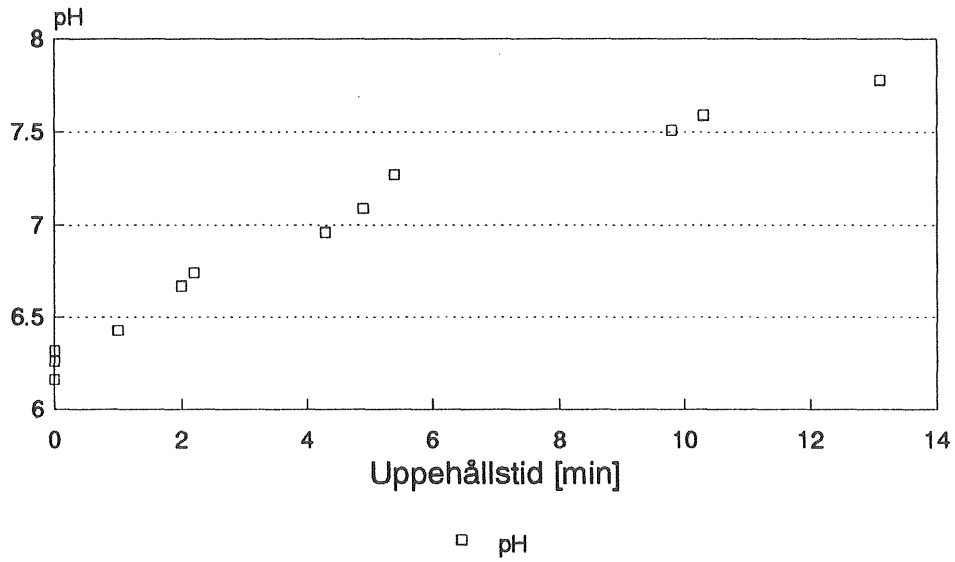
Filterkarb (0.8-1.2) Vatten 2:6



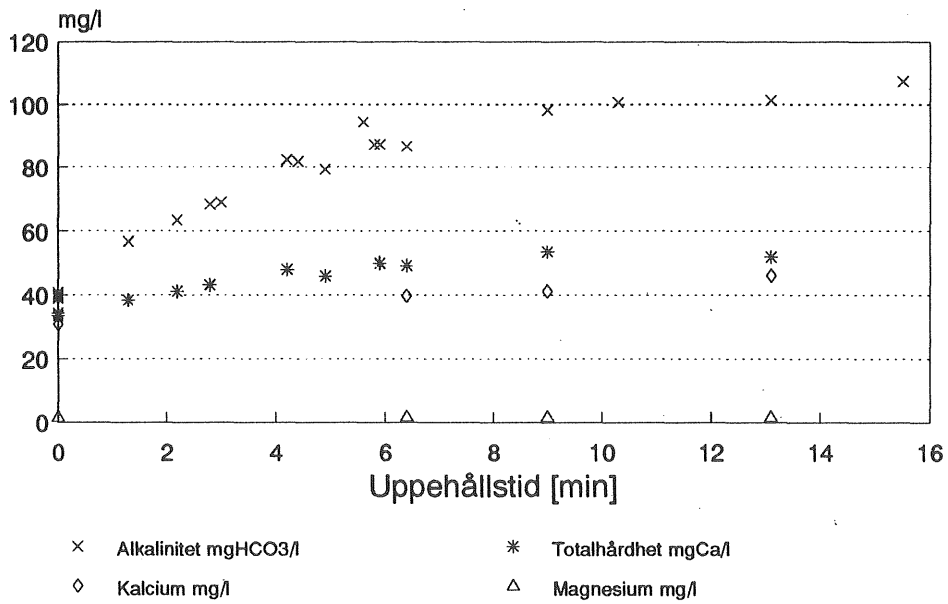
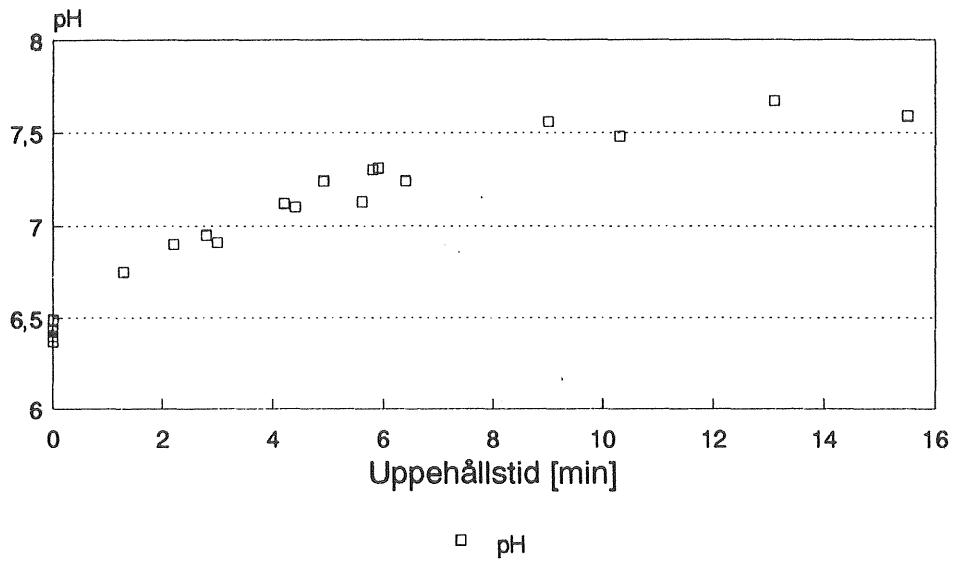
Hydrokarbonat Vatten 1



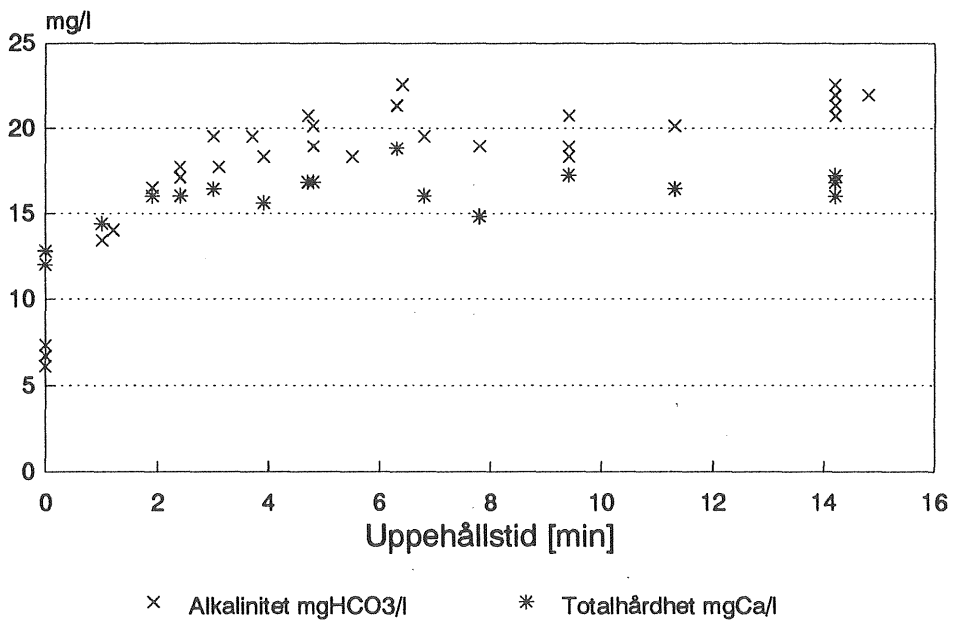
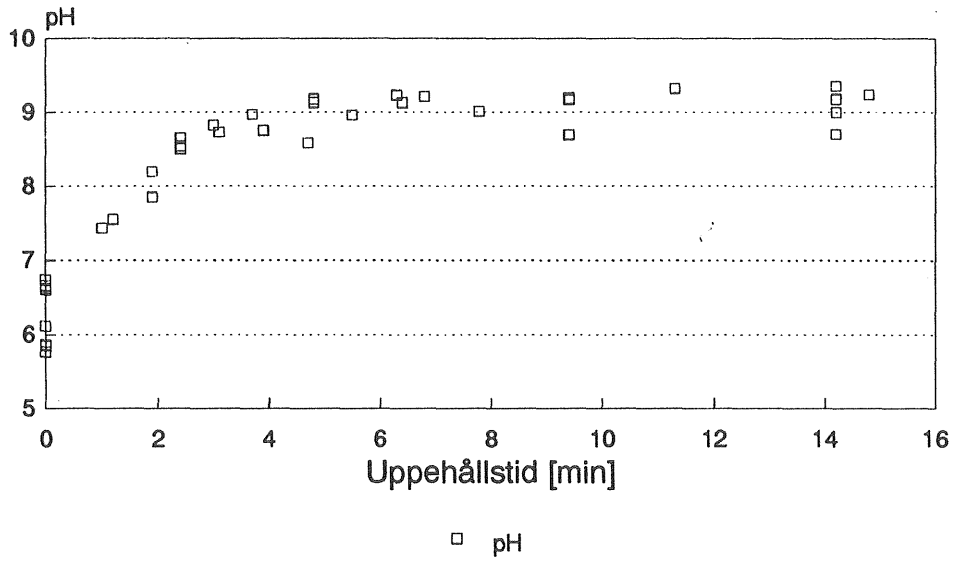
Hydrokarbonat Vatten 2:5



Hydrokarbonat Vatten 2:6

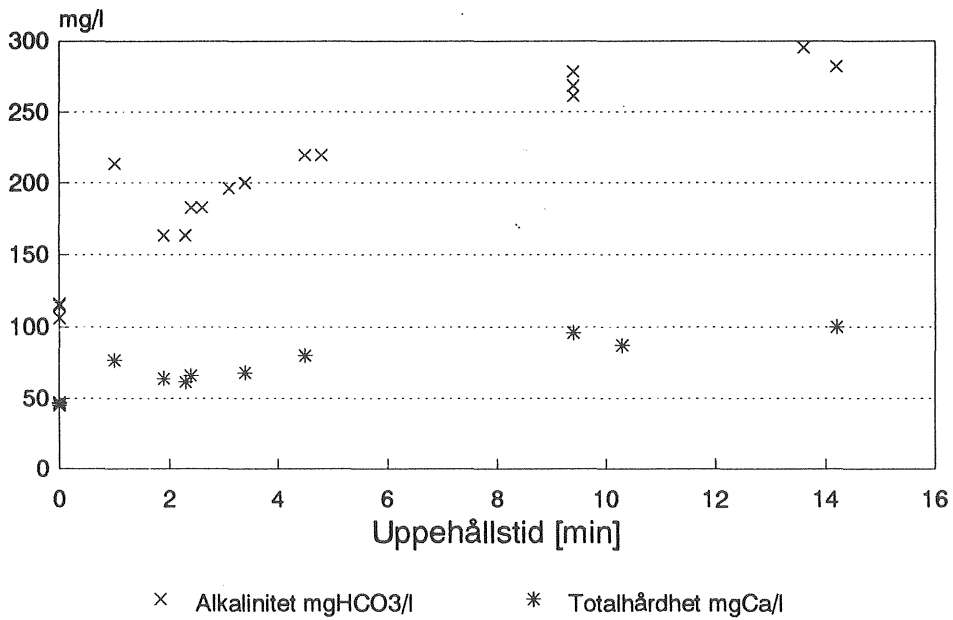
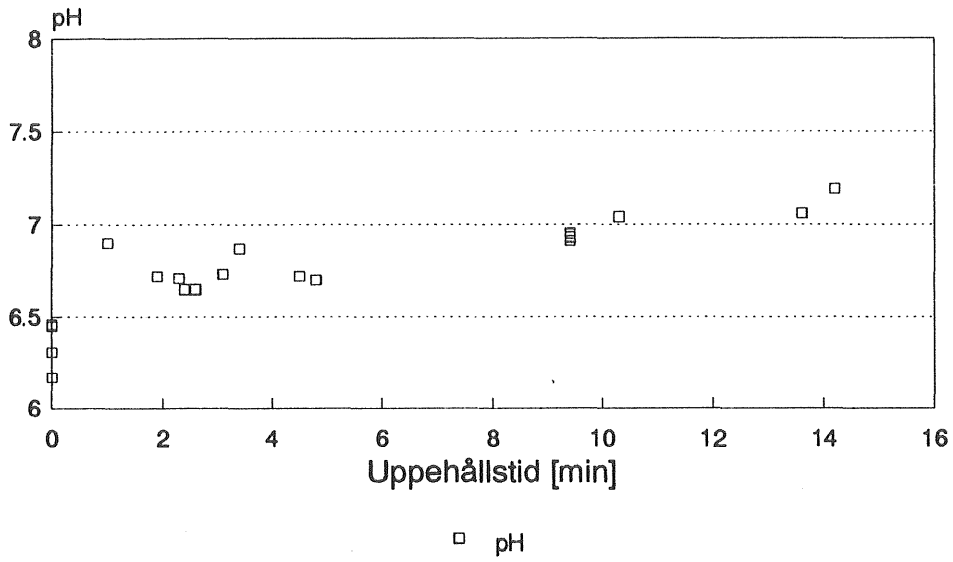


Hydrolit-Ca (2.0-6.0) Vatten 1



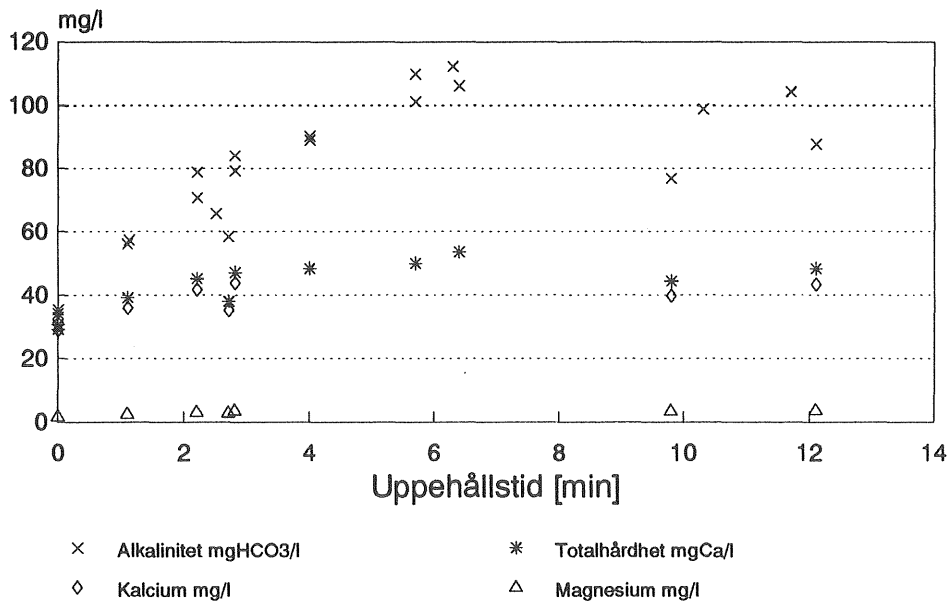
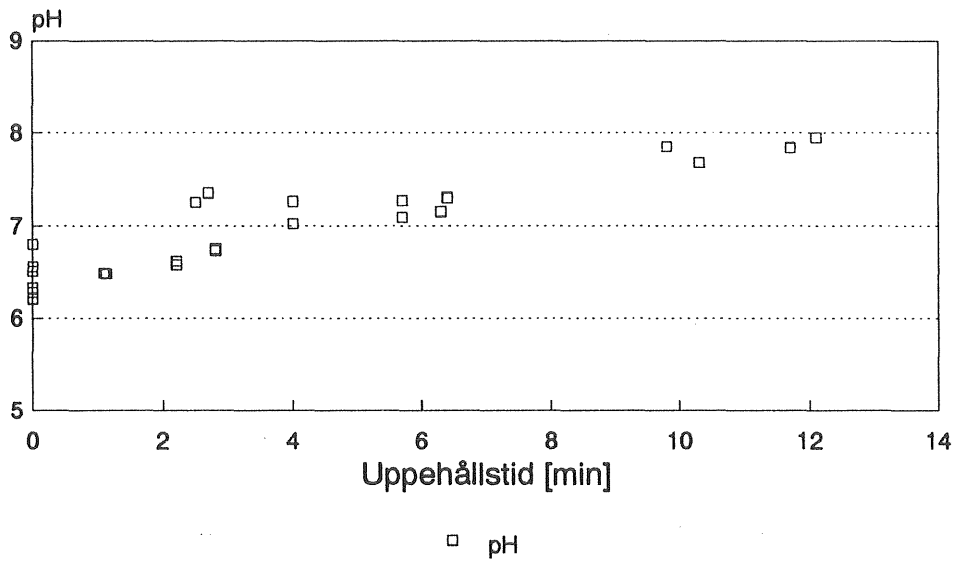
Hydrolit-Ca (2.0-6.0)

Vatten 2:2



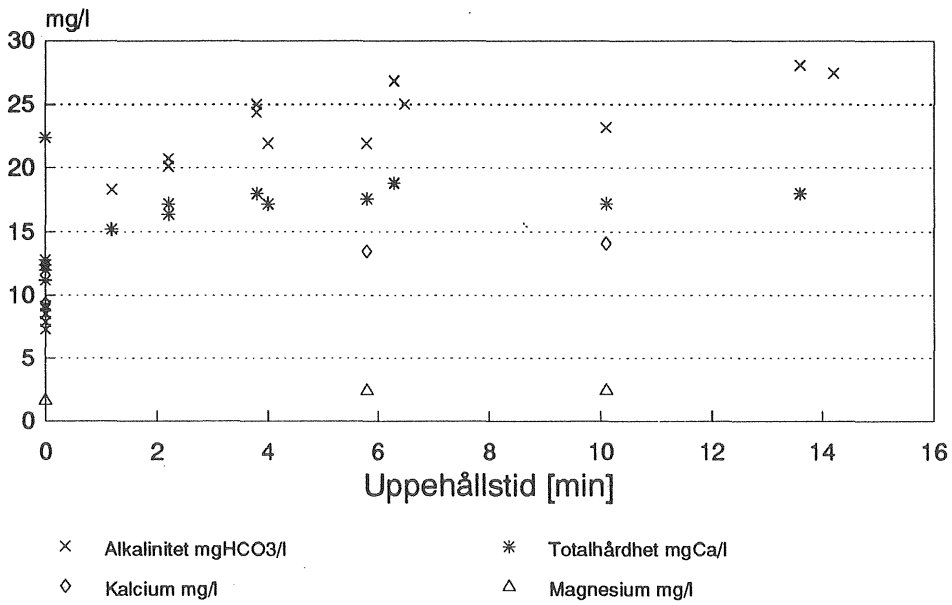
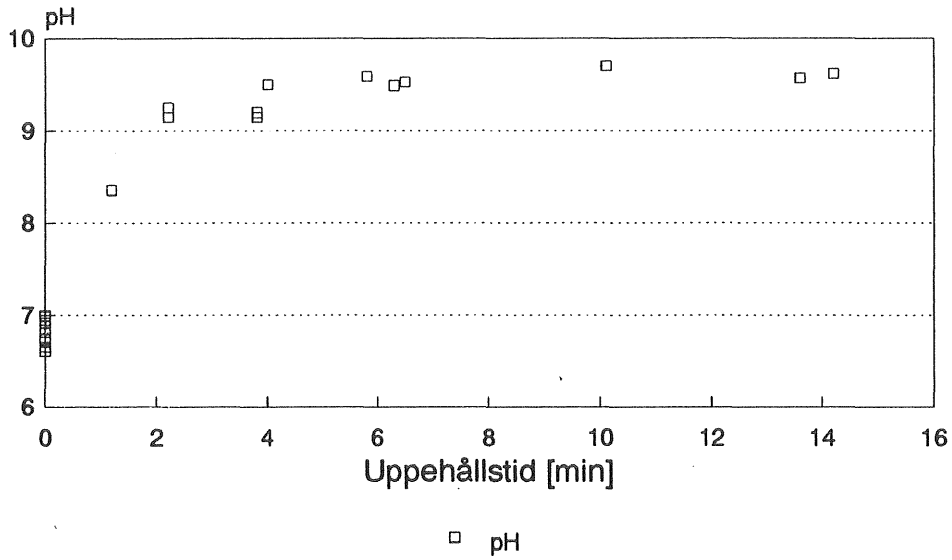
Hydrolit-Ca (2.0-6.0)

Vatten 2:3

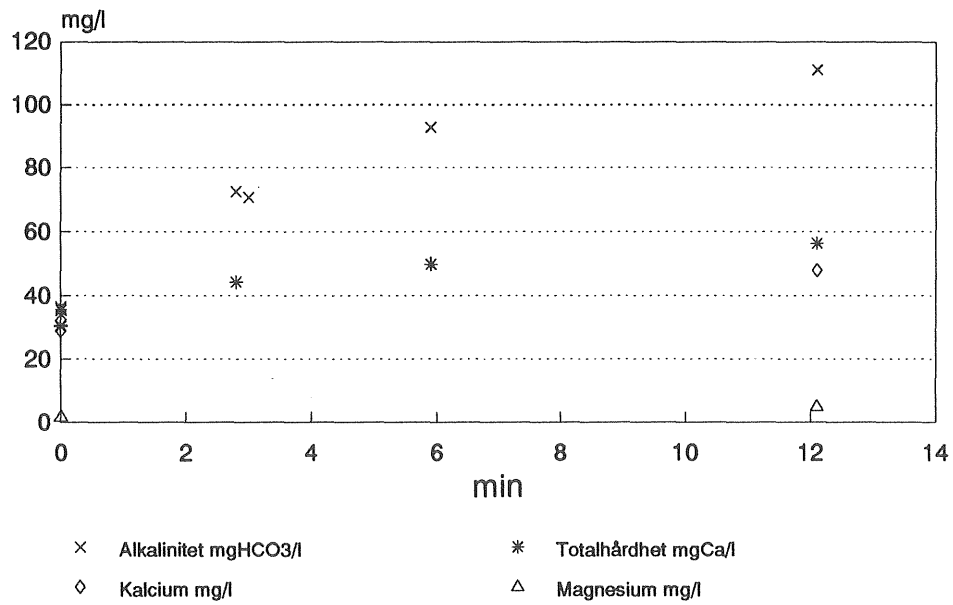
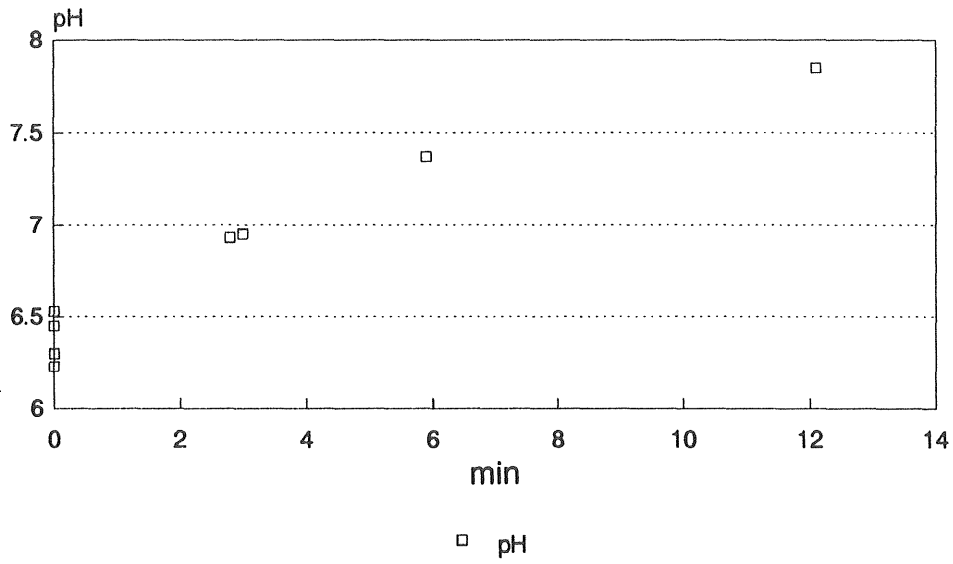


Hydrolit-Ca (1.0-5.0)

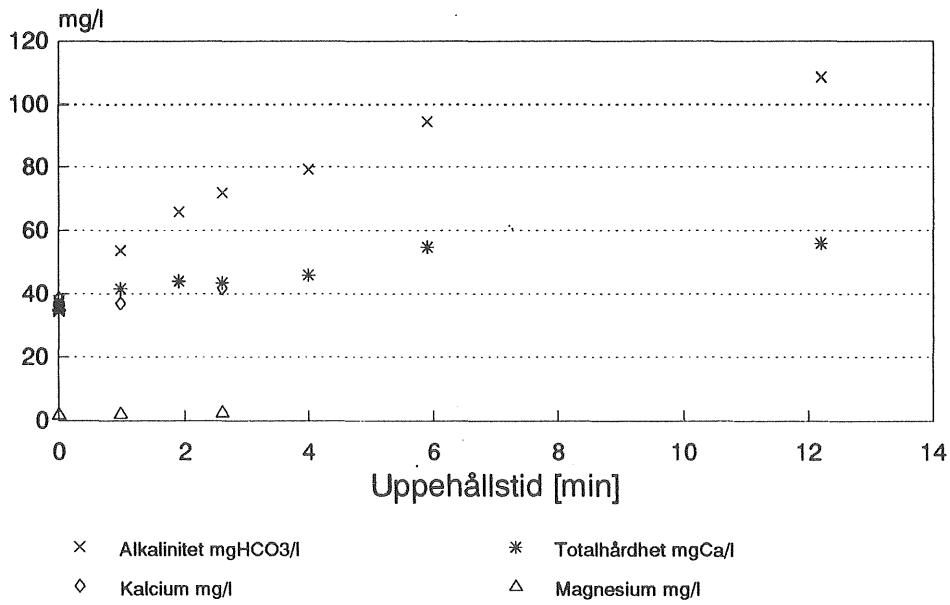
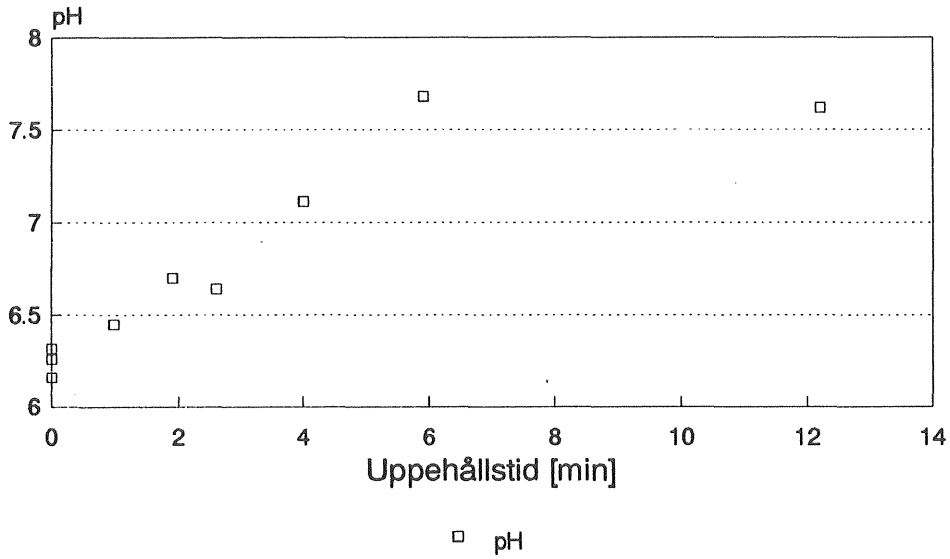
Vatten 1



Hydrolit-Ca (1.0-5.0) Vatten 2:4



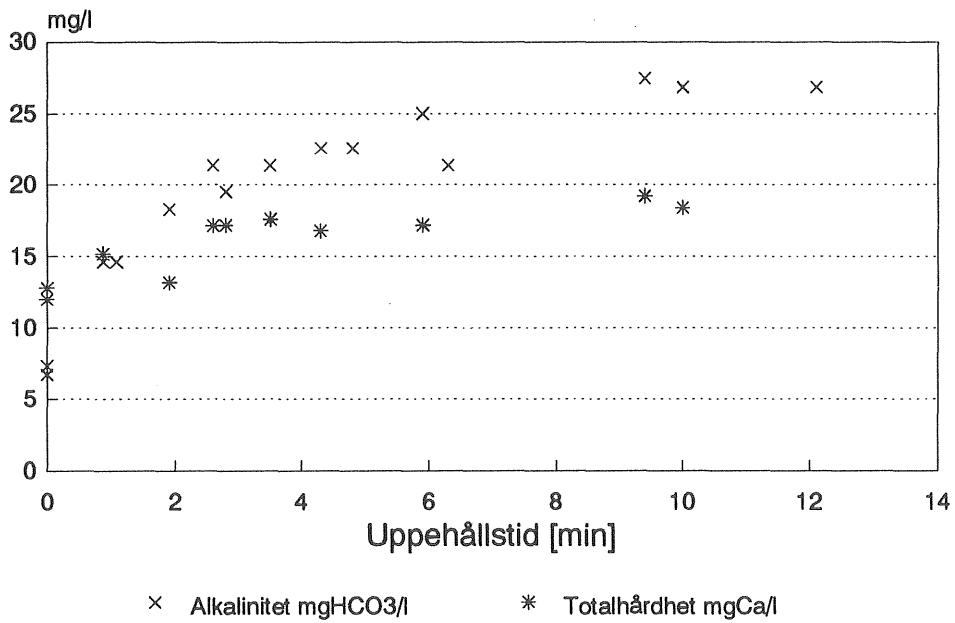
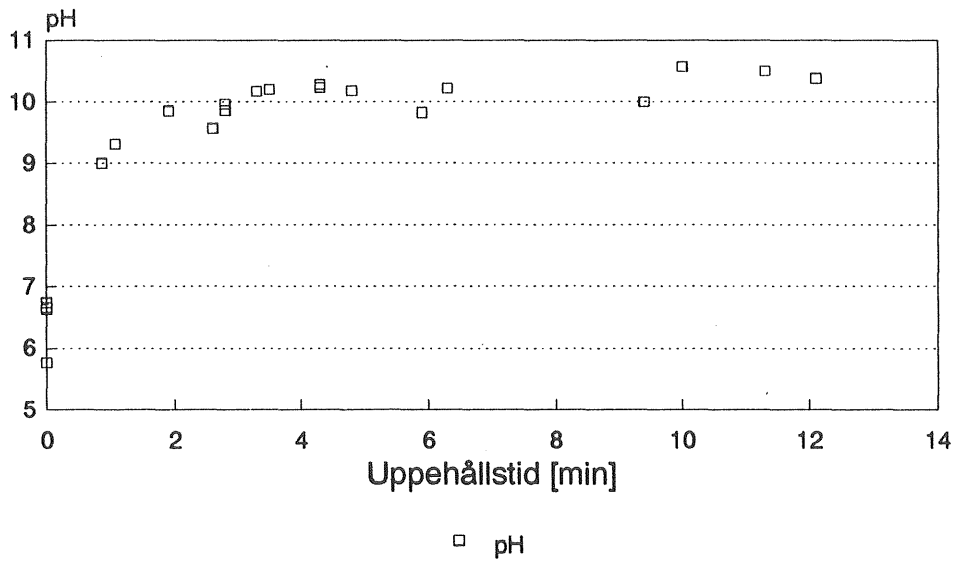
Hydrolit-Ca (1.0-5.0) Vatten 2:5



- × Alkalinitet mgHCO₃/l
- ◇ Kalcium mg/l
- * Totalhårdhet mgCa/l
- △ Magnesium mg/l

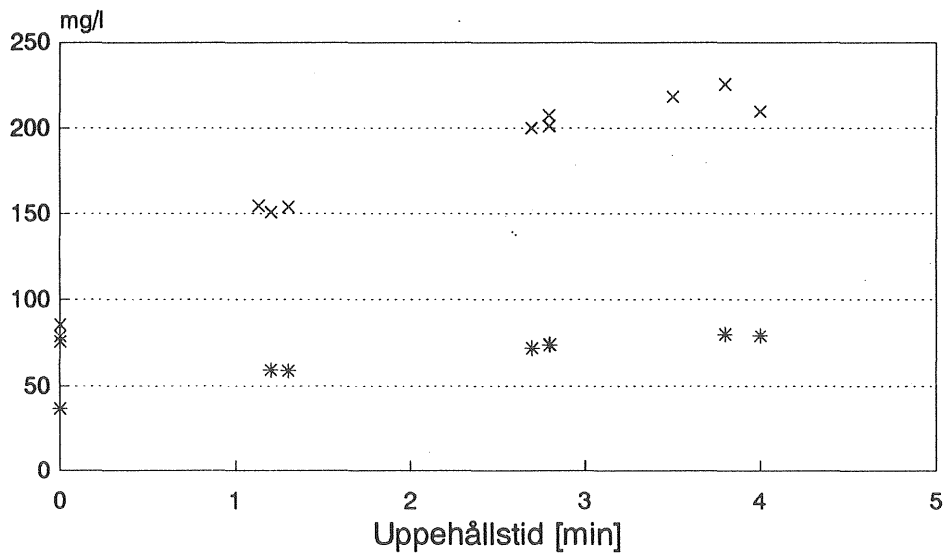
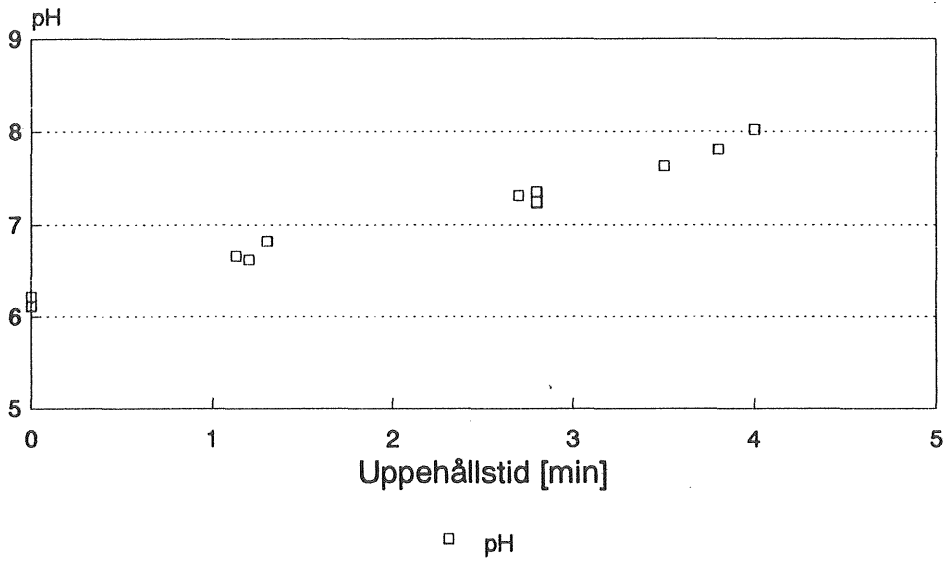
Magno-dol KI

Vatten 1



Magno-dol KI

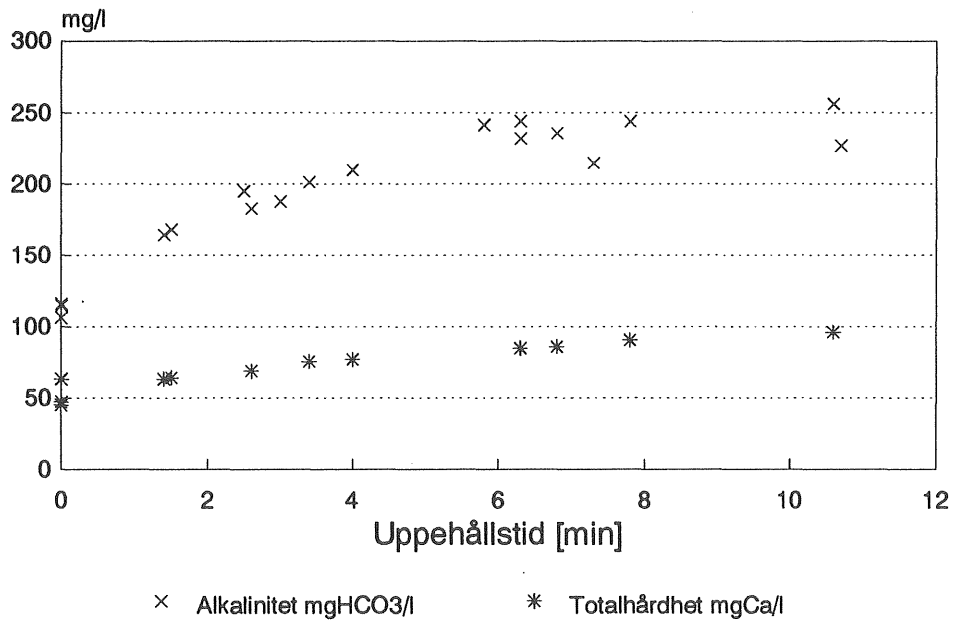
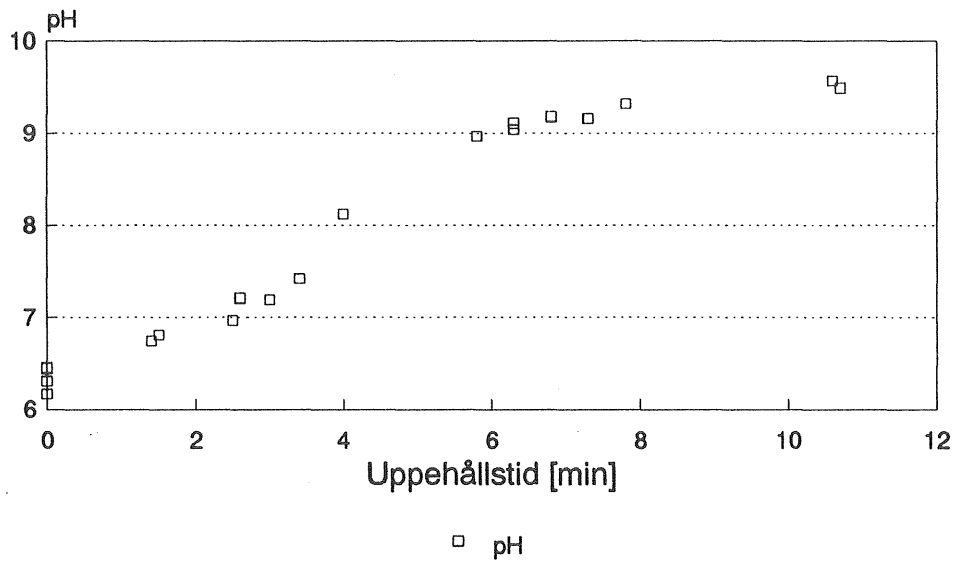
Vatten 2:1



× Alkalinitet mgHCO₃/l * Totalhårdhet mgCa/l

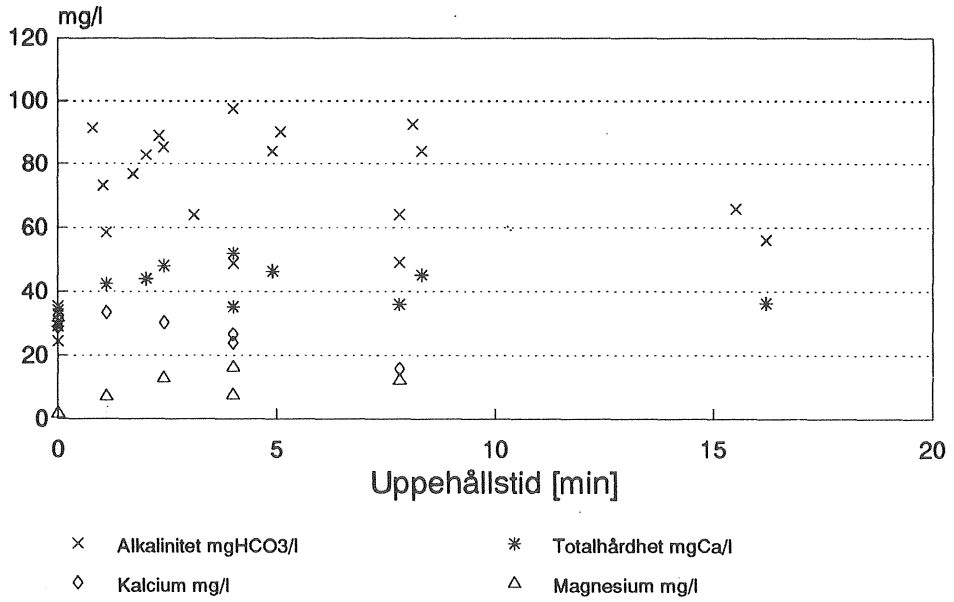
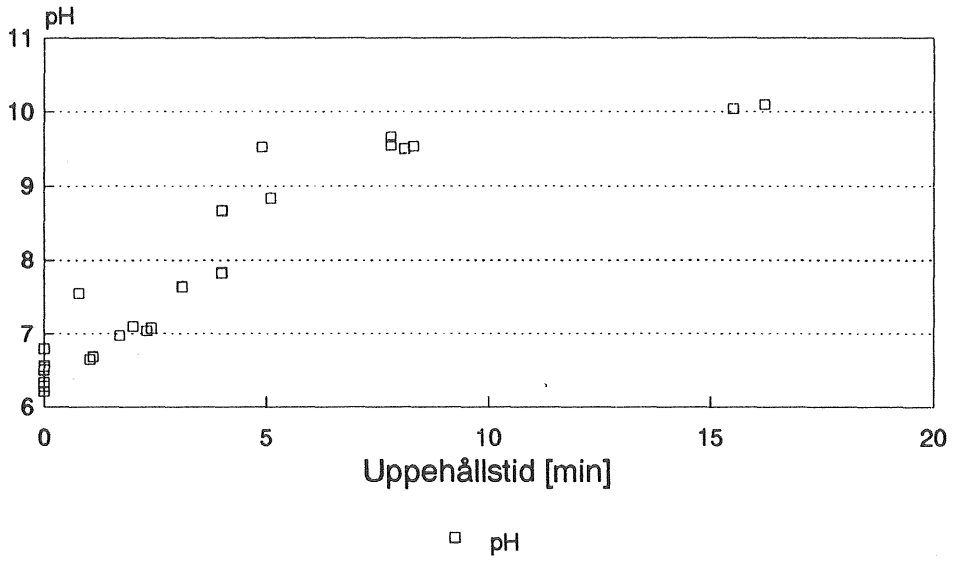
Magno-dol KI

Vatten 2:2

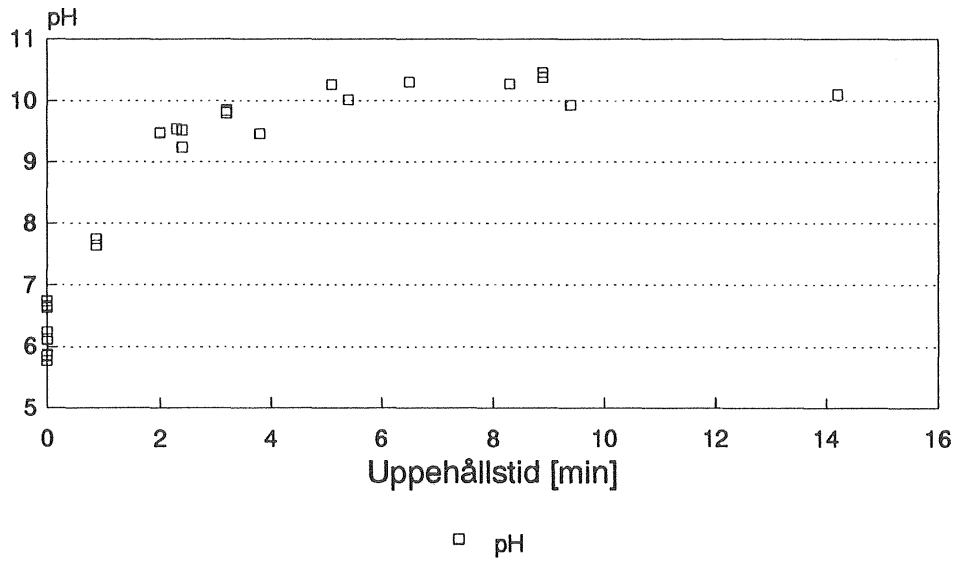


Magno-dol KI

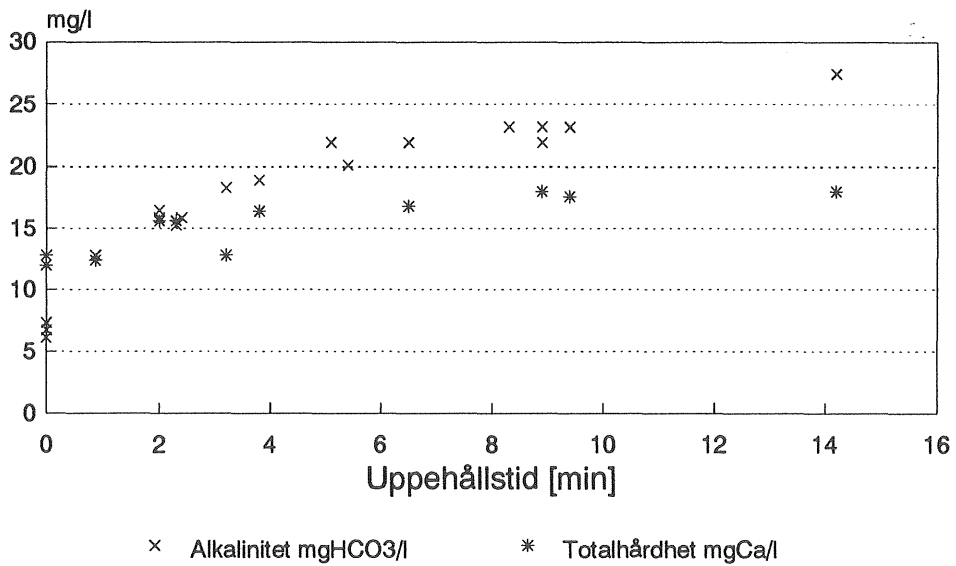
Vatten 2:3



Magno-dol KII Vatten 1

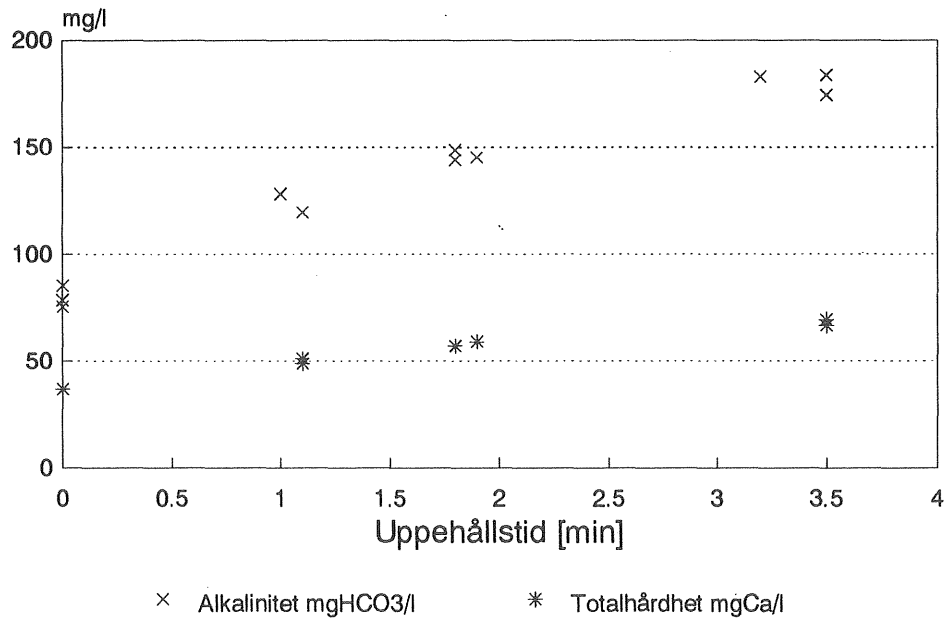
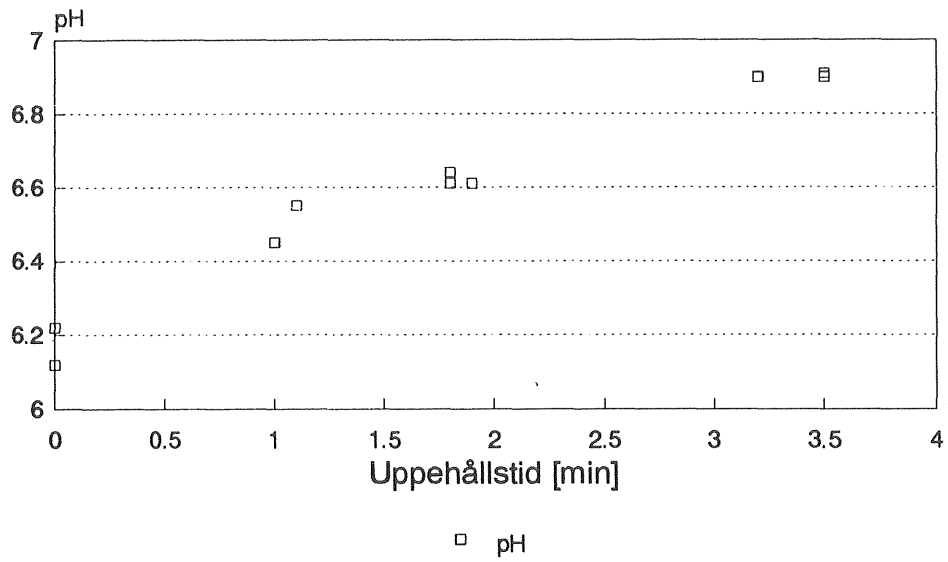


Magno-dol KII Vatten 1



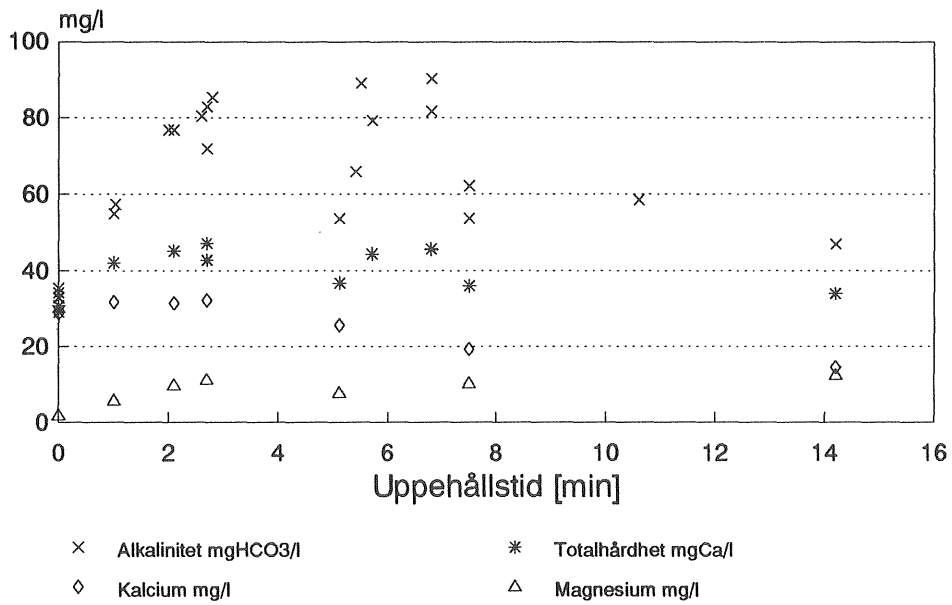
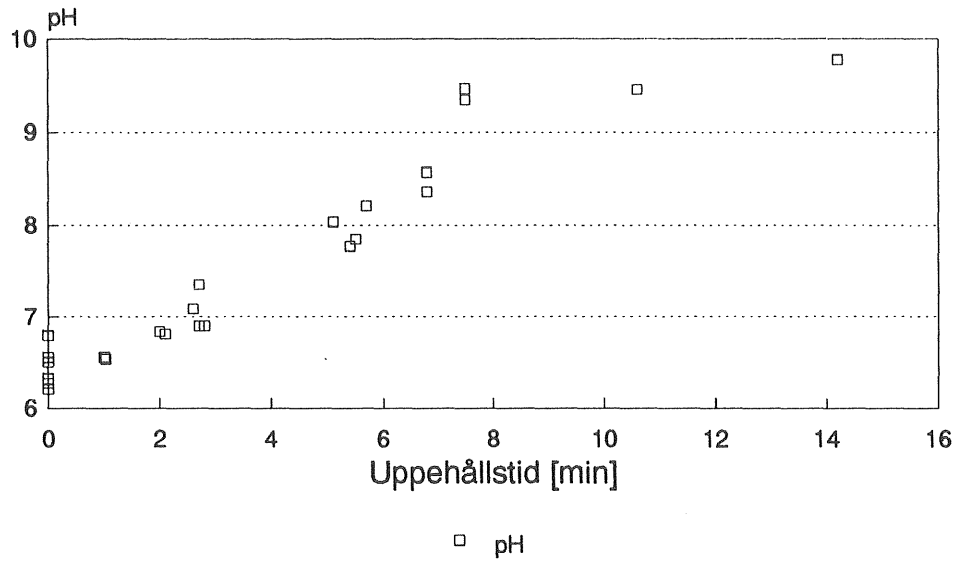
Magno-dol KII

Vatten 2:1



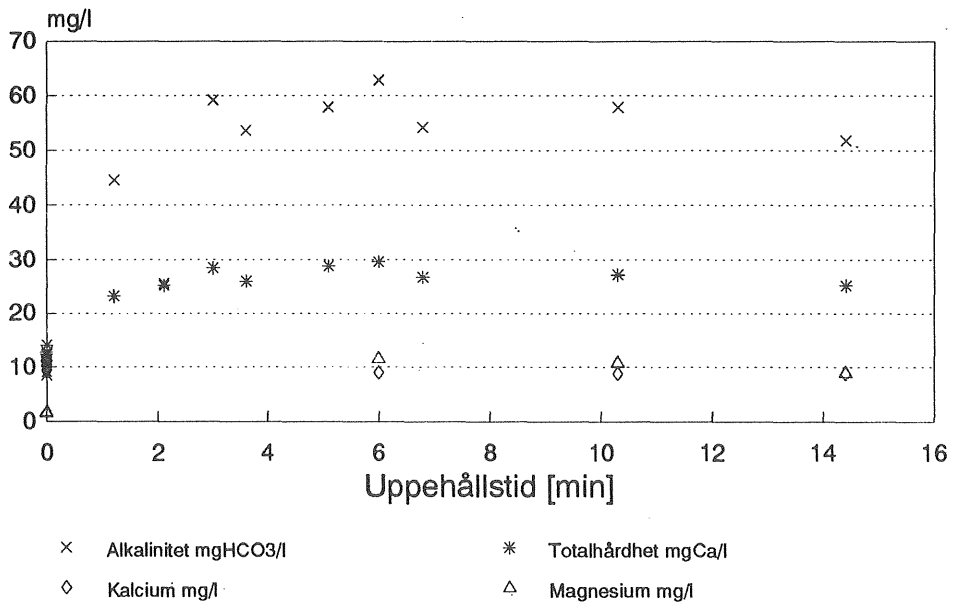
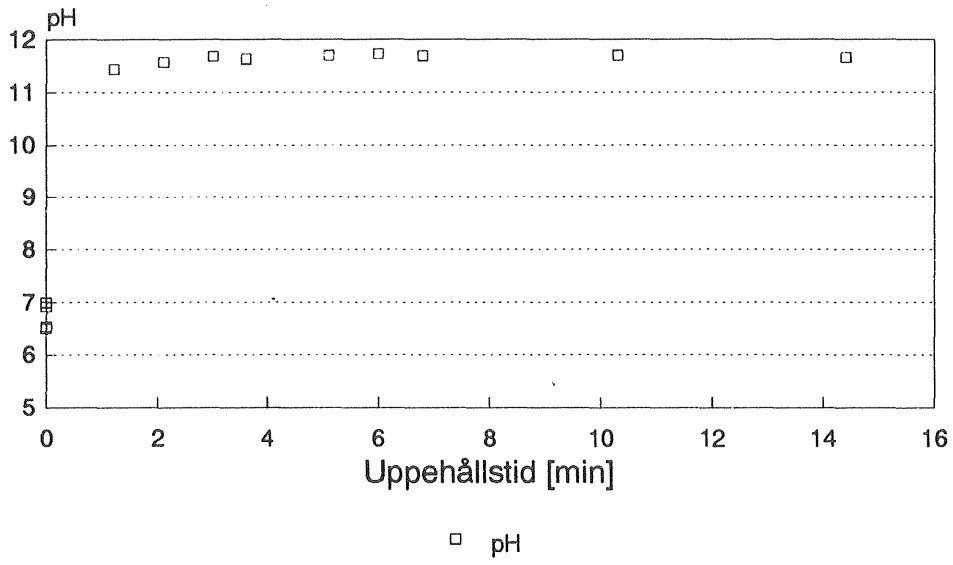
Magno-dol KII

Vatten 2:3

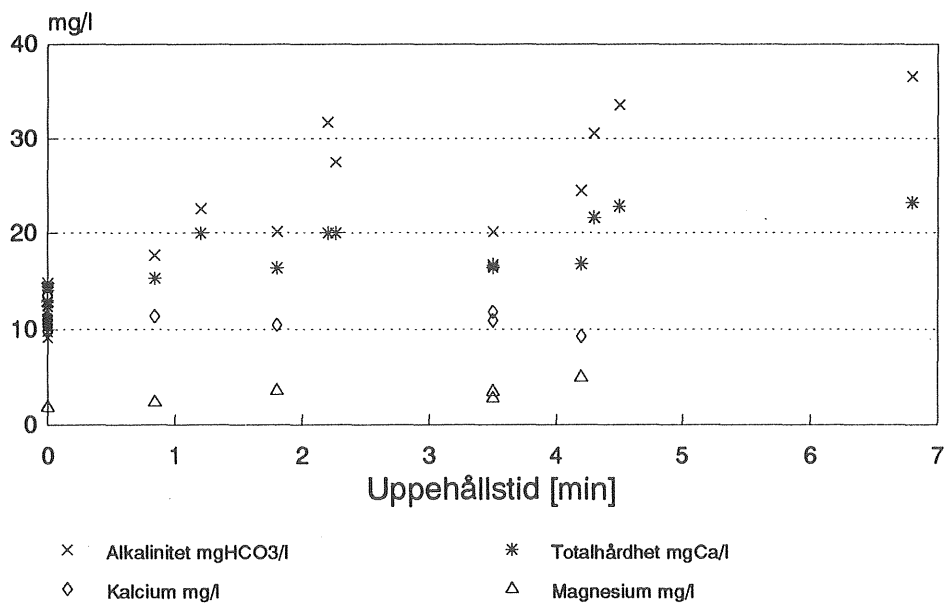
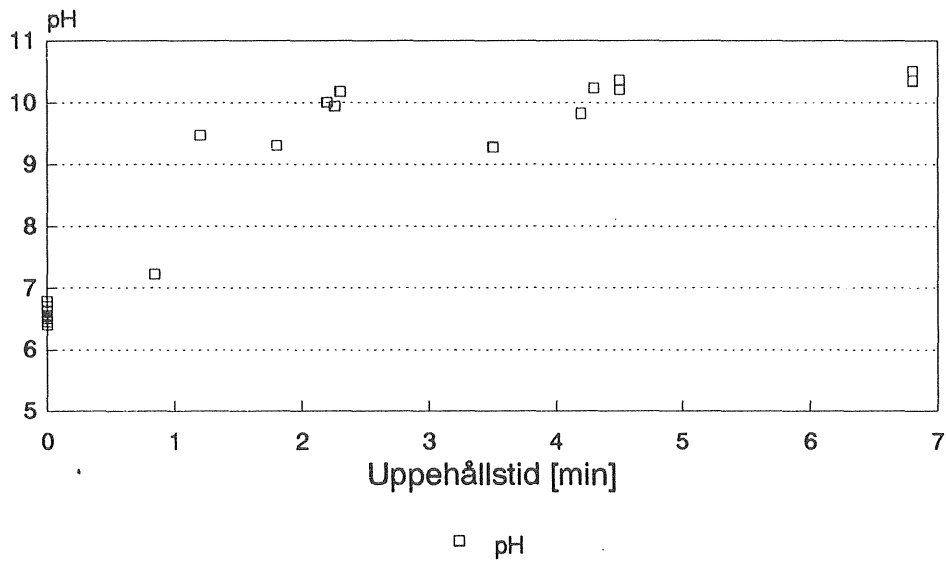


Redolit (ny massa)

Vatten 1

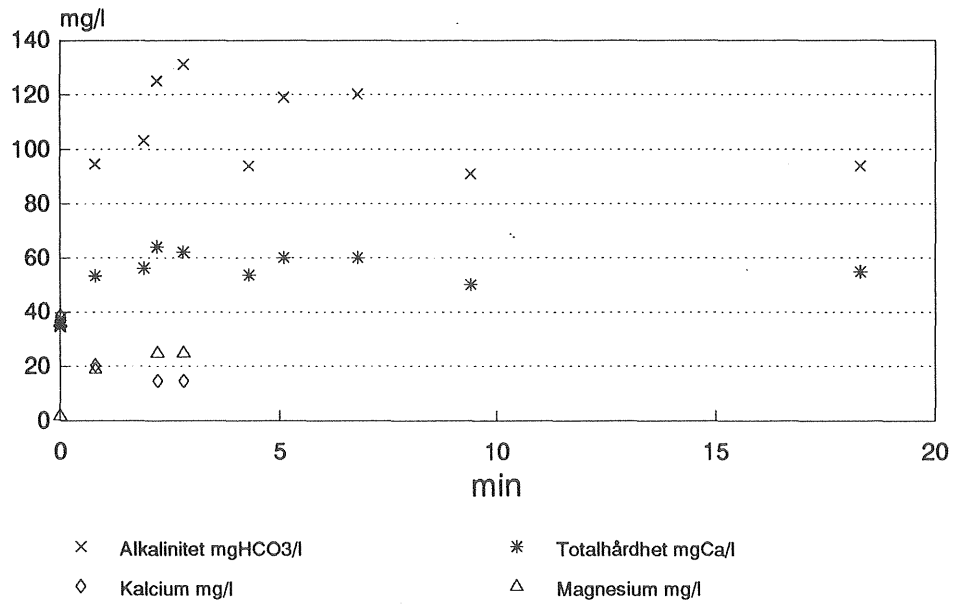
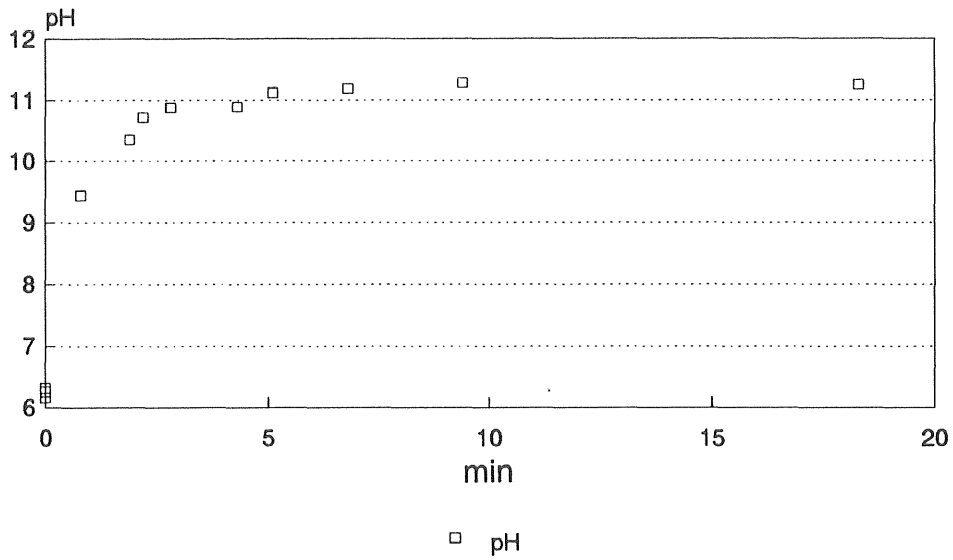


Redolit Vatten 1



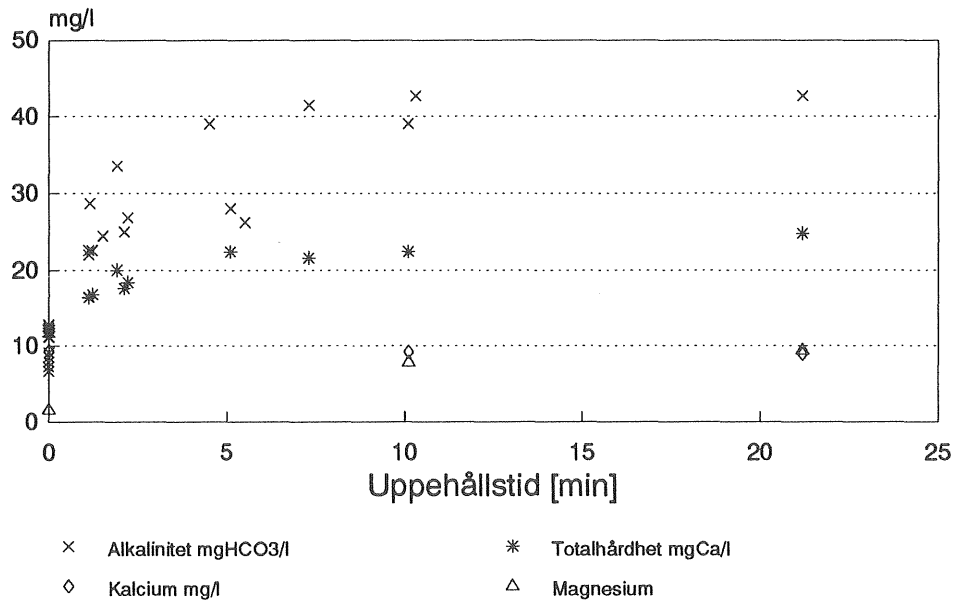
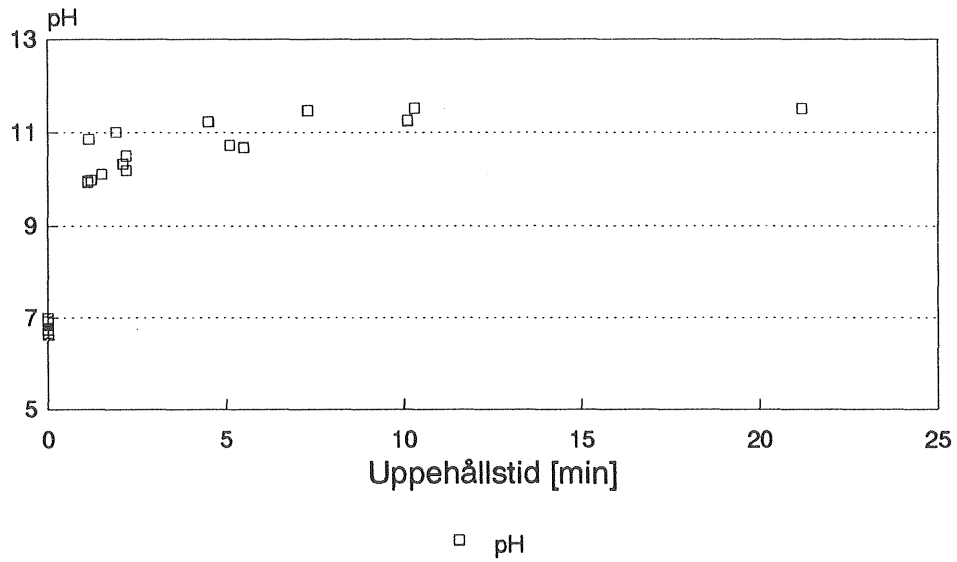
Redolit (ny massa)

Vatten 2:5



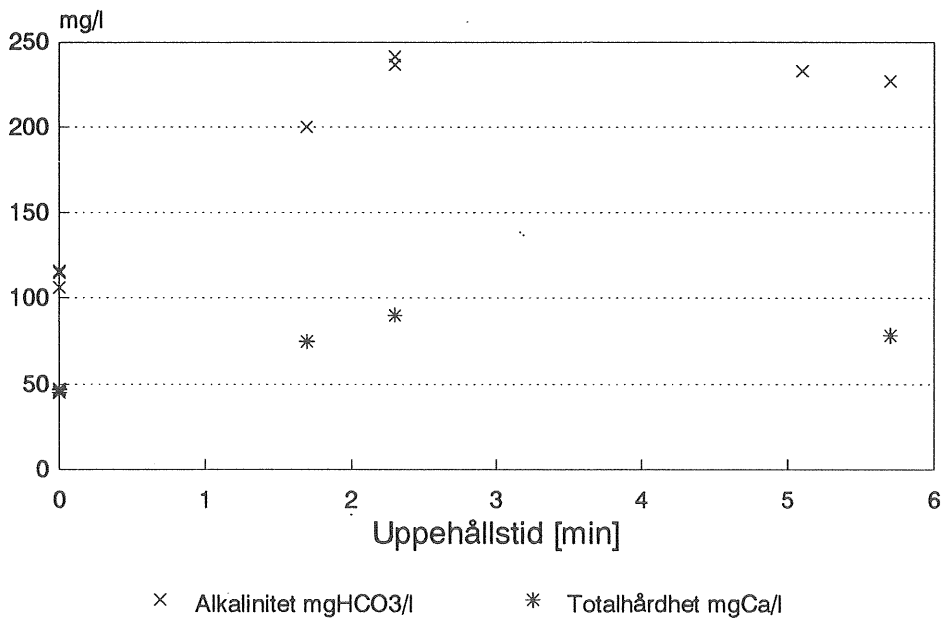
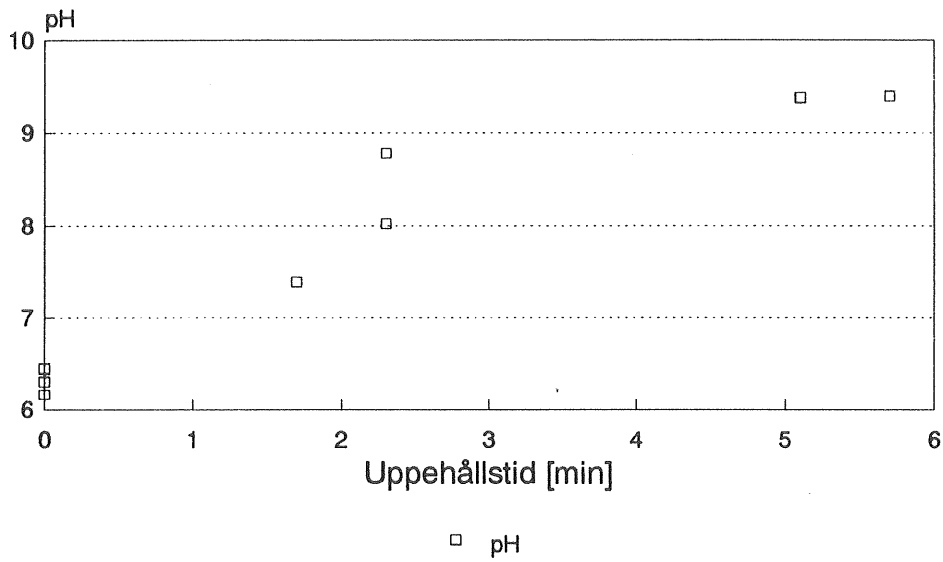
Akdolit-gran 0

Vatten 1



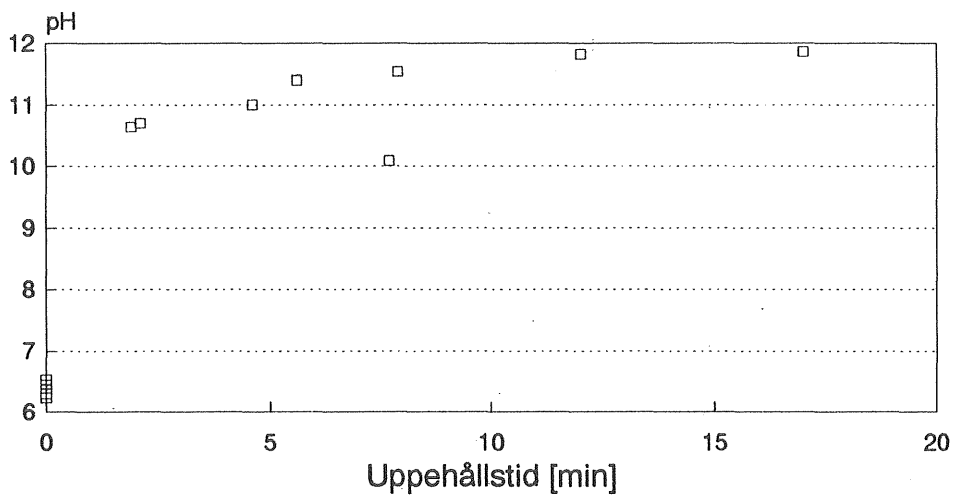
Akdolit-gran 0

Vatten 2:2

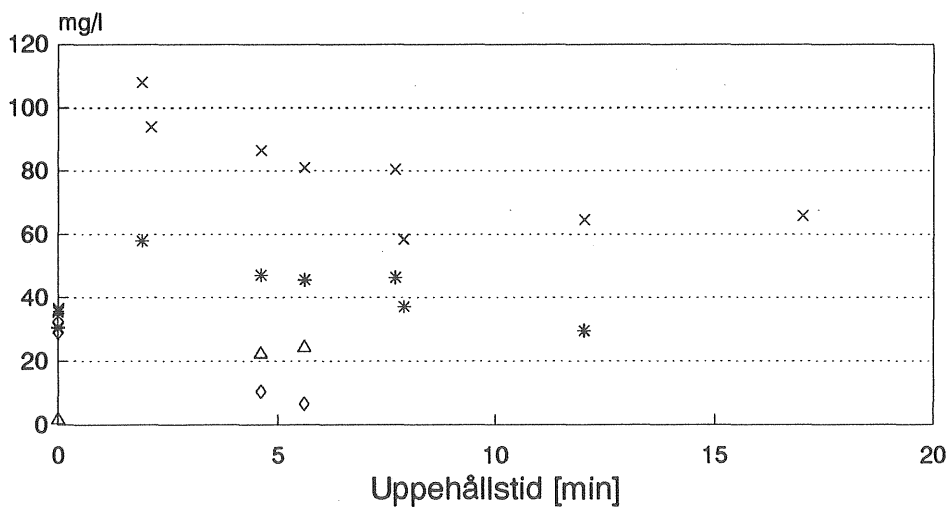


Akdolit-gran 0 (ny massa)

Vatten 2:4



□ pH

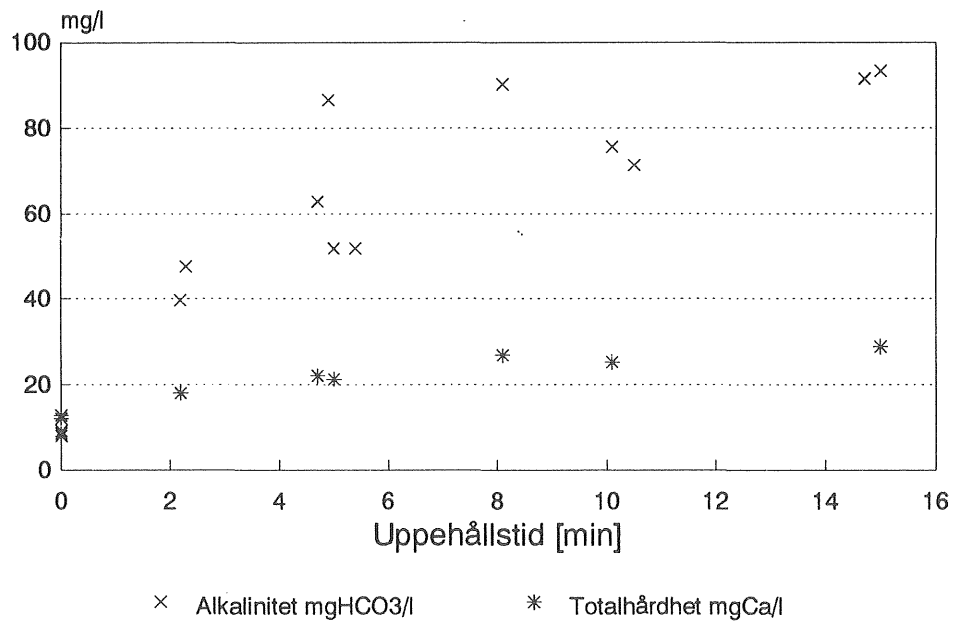
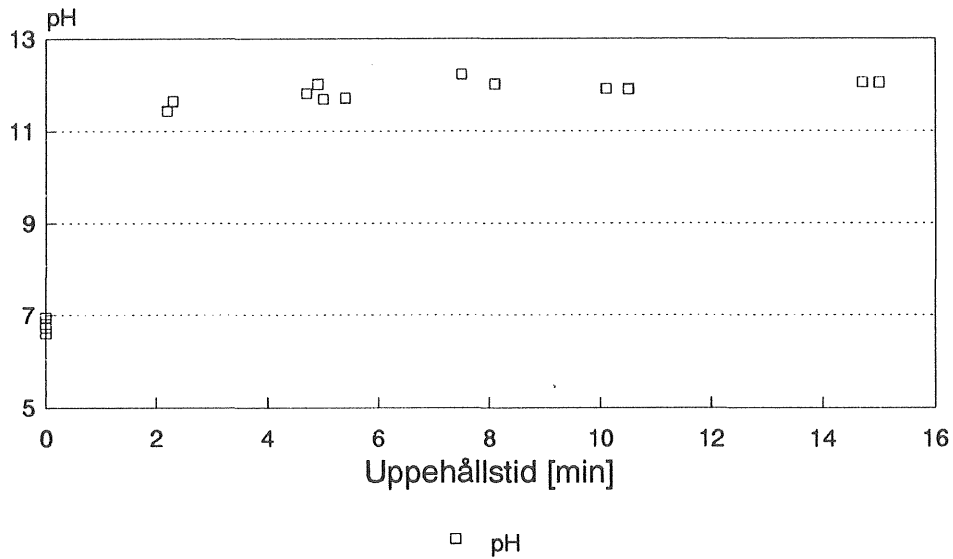
× Alkalinitet mgHCO₃/l

* Totalhårdhet mgCa/l

◇ Kalcium mg/l

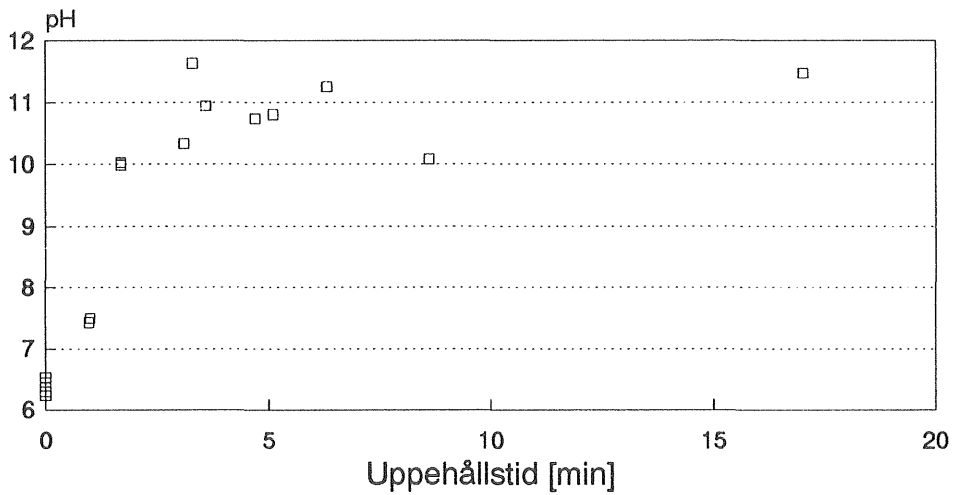
△ Magnesium mg/l

Akdolit-gran 1 (ny massa) Vatten 1

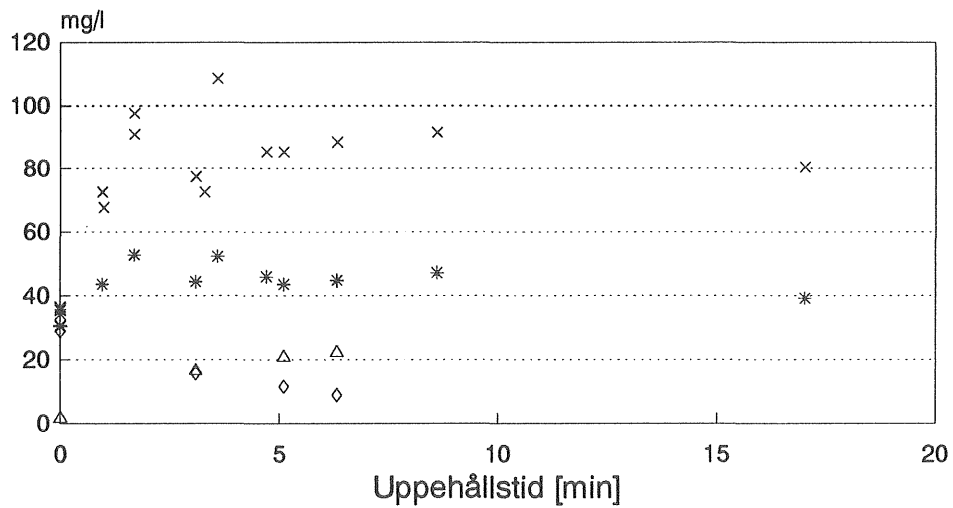


Akdolit-gran 1 (ny massa)

Vatten 2:4



□ pH



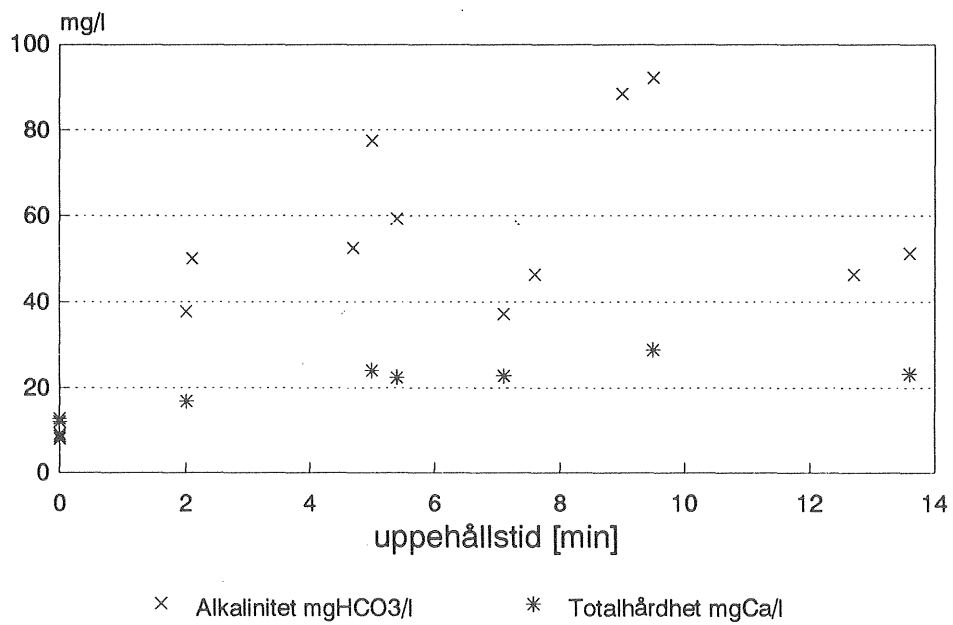
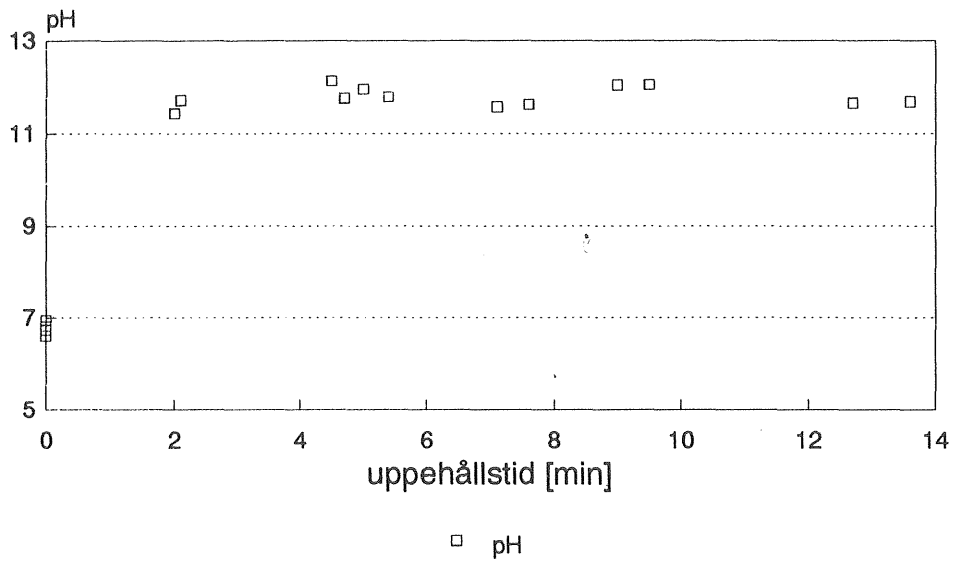
x Alkalinitet mgHCO₃/l

* Totalhårdhet mgCa/l

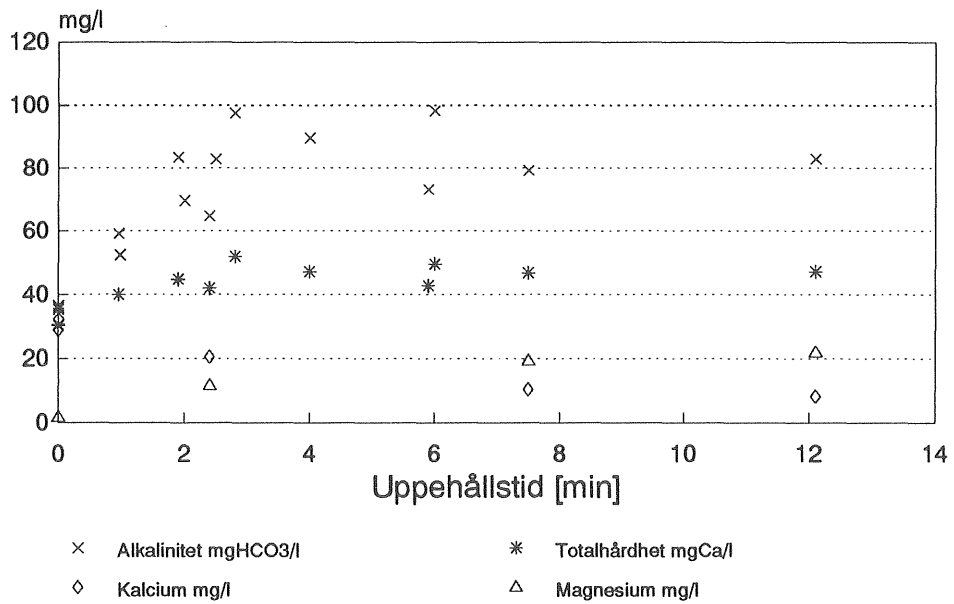
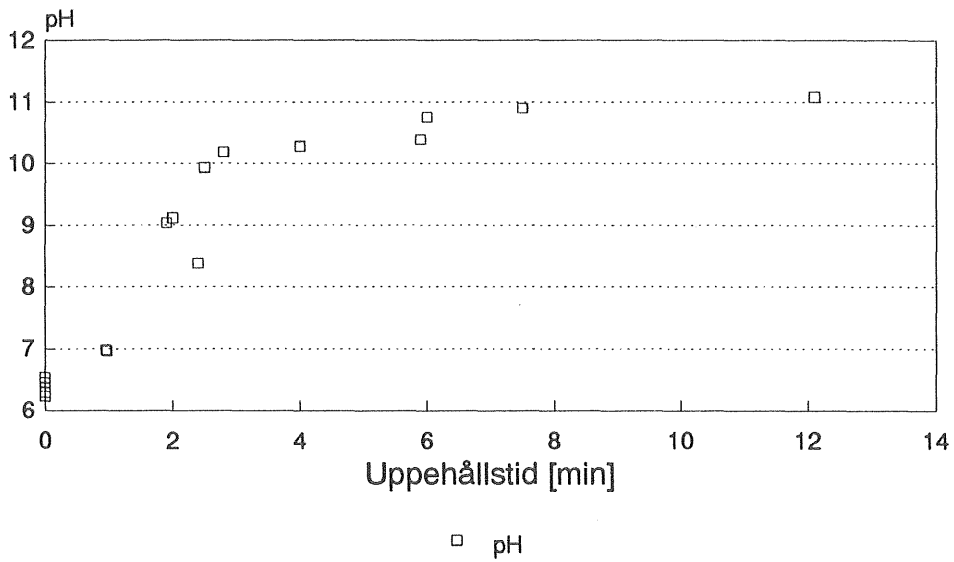
◇ Kalcium mg/l

△ Magnesium mg/l

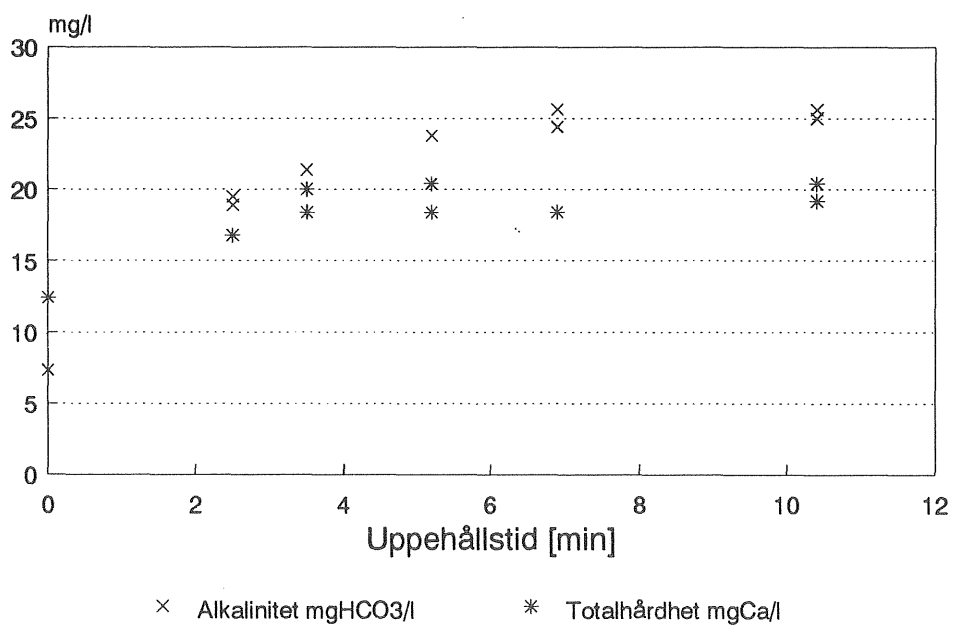
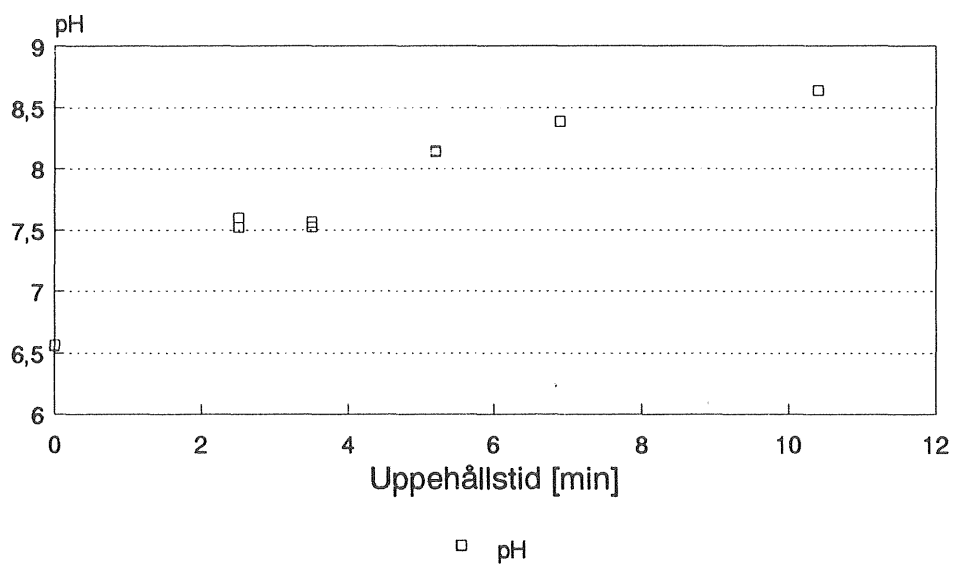
Akdolit-gran 2 (ny massa) Vatten 1



Akdolit-gran 2 (ny massa) Vatten 2:4



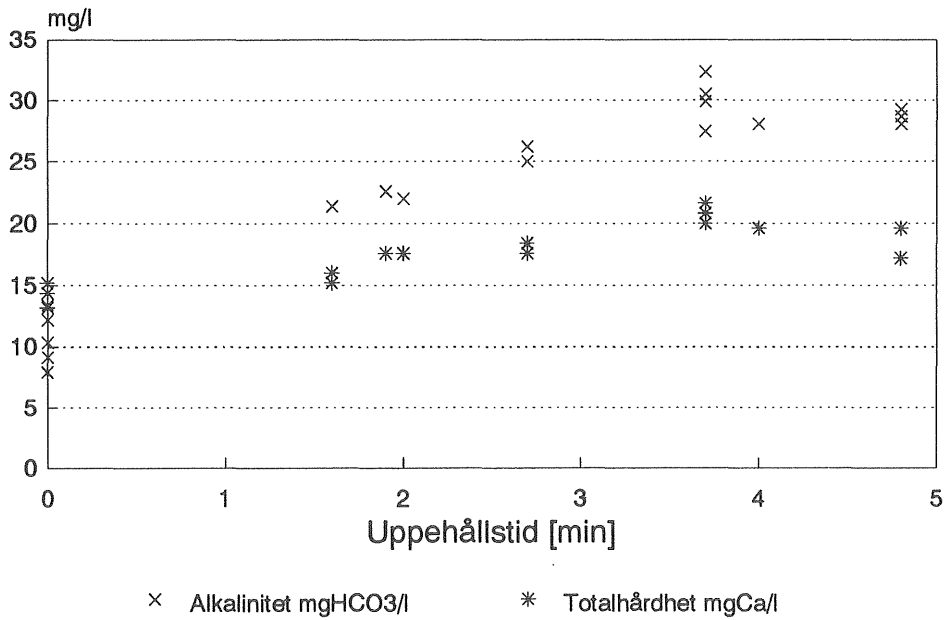
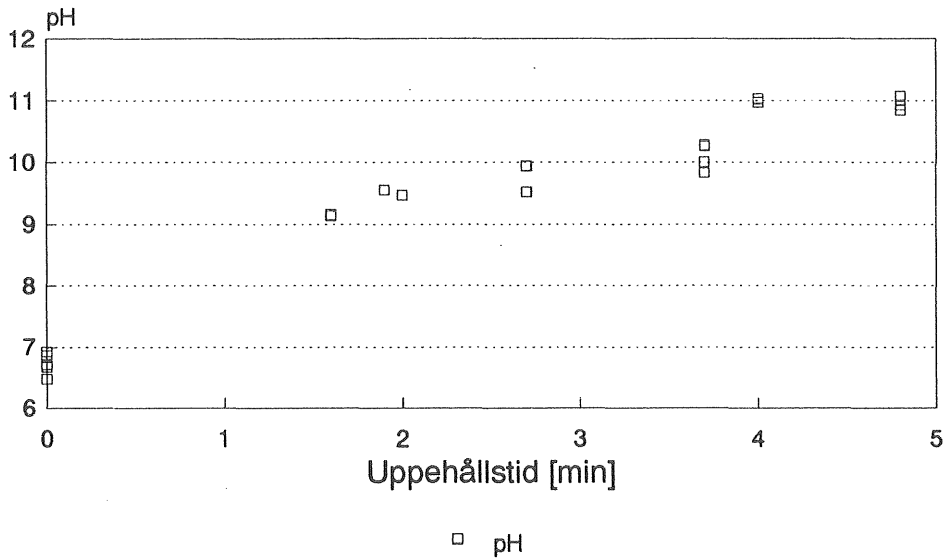
Firmafilter Hydrokarbonat Vatten 1



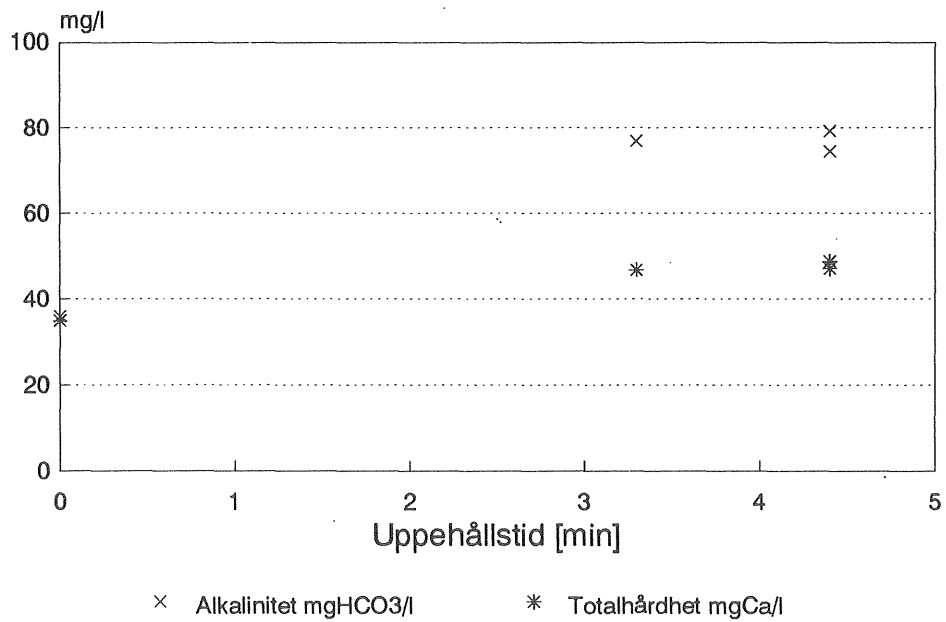
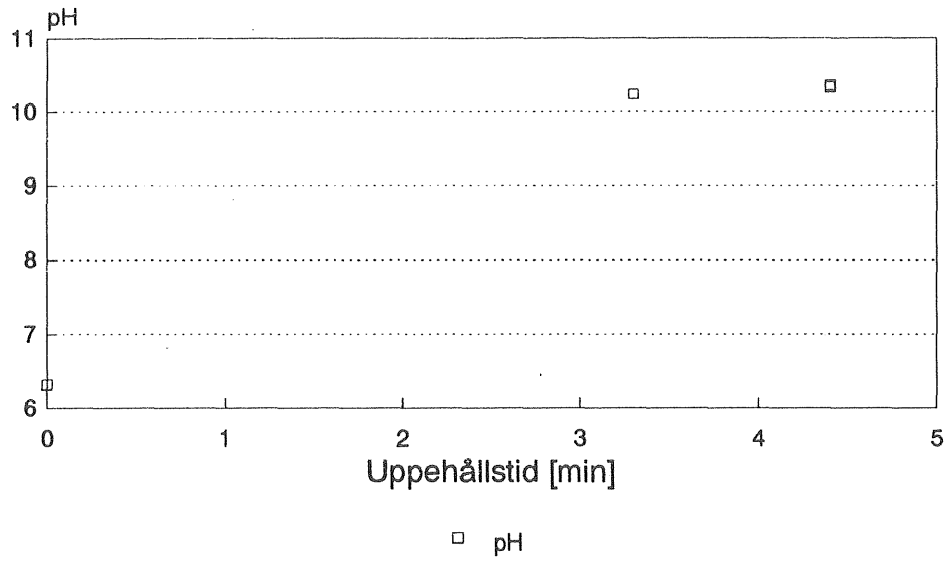
× Alkalinitet mgHCO₃/l * Totalhårdhet mgCa/l

Firmafilter Magno-dol KI

Vatten 1



Firmafilter Magno-dol KI Vatten 2:5



Omräkningstabell

	Ca ²⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	°dH	CaCO ₃ mg/l	Ca ²⁺ mmol/l	HCO ₃ ⁻ mmol/l
Ca ²⁺ mg/l	1	-	0.14	2.50	0.025	-
HCO ₃ ⁻ mg/l	-	1	0.046	0.82	-	0.016
°dH	7.14	21.8	1	17.9	0.18	0.36
CaCO ₃ mg/l	0.40	1.22	0.056	1	0.010	0.020
Ca ²⁺ mmol/l	40	-	5.61	100	1	-
HCO ₃ ⁻ mmol/l	-	61	2.80	50	-	1

Tryckt & Bunden
Vasastadens Bokbinderi AB
GÖTEBORG 1992

