


NGU Rapport 98.097

Utjevningsbassengs innvirkning på
radoninnholdet i grunnvann fra fast fjell.
*[Effect of storage basins on radon content in
groundwater from bedrock aquifers]*

Rapport nr.: 98.097		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Utjevningsbassens innvirkning på radoninnholdet i grunnvann fra fast fjell. <i>[Effect of storage basins on radon content in groundwater from bedrock aquifers]</i>			
Forfatter: Banks, D., Midtgård, Aa.K., Frengstad, B., Krog, J.R., Strand, T., Lind, B.		Oppdragsgiver: NGU og Statens strålevern i samarbeid med næringsmiddeltilsynene	
Fylke: Alle		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 16	Pris: 40,-
Feltarbeid utført: 1996-97		Rapportdato: 15.06.98	Prosjektnr.: 2720.00
		Ansvarlig: 	
Sammendrag:			
<p>1604 prøver av grunnvann fra norsk prekambrisk og palaeozoisk fast fjell ble samlet inn i 1996-1997. Disse ble delt i grupper på grunnlag av om vannet passerte igjennom et utjevningsbasseng før prøven ble tatt. Slike bassenger gir trolig anledning for avgassing av radon eller radioaktiv nedbrytning. Grunnvann som har passert gjennom et utjevningsbasseng har et signifikant lavere median radoninnhold (26 Bq/l) enn grunnvann som ikke har gått igjennom et slikt basseng (median 90 Bq/l). Men også mediankonsentrasjoner av fluorid og alkalitet er signifikant lavere. Dette antyder at forskjellene muligens ikke bare skyldes bassengene, men at grunnvannstypene fra brønner med utjevningsbasseng i utgangspunktet er mindre hydrokjemisk "modne". Det er mulig at utjevningsbasseng er vanligere ved vannverk med større kapasitet; det vil si, med større sprekkepermeabilitet, kortere oppholdstid og mindre modent grunnvann (lavere F⁻, Rn, alkalitet). På bakgrunn av disse dataene er det derfor vanskelig å kvantifisere virkningen som utjevningsbassengene har på radonkonsentrasjoner i grunnvann. Det må imidlertid bemerkes at utjevningsbassengene i undersøkelsen ikke er utformet med radonreduksjon som formål.</p> <p><i>1604 samples of groundwater from Norwegian Precambrian and Palaeozoic hard-rock aquifers have been collected during 1996 and 1997. These have been classified as to whether water has passed through any kind of storage basin (which might give opportunities for degassing or radioactive decay of radon) prior to sampling. Water which has passed through such basins has a significantly lower median radon concentration (26 Bq/l) than water which has not (median 90 Bq/l). However, median concentrations of fluoride and alkalinity are also significantly less, suggesting that the differences are not merely due to the storage basin, but that groundwaters from wells with storage basins are typically less "mature" hydrochemically. It is conceivable that storage basins are most common at boreholes with large yields, and thus highly transmissive fractures, short residence times and immature (low Rn, F⁻, alkalinity) waters. The degree to which the basins alone affect radon concentrations in the water is thus difficult to quantify on the basis of these data. It should be noted, however, that the storage basins in this survey are not designed for a radon reduction purpose.</i></p>			
Emneord: Geokjemi	Hydrogeologi	Borebrønn	
Berggrunn	Radonmåling	Grunnvann	
Grunnvannskvalitet	Helse	Kartlegging	

INNHold / CONTENTS

1. INNLEDNING	5
2. KLASSIFISERING AV PRØVER	5
3. RESULTATER	6
3.1 Radon	6
3.2 Andre parametre	6
4. KONKLUSJON	7
1. INTRODUCTION.....	7
2. CLASSIFICATION OF SAMPLES	8
3. RESULTS.....	8
3.1 Radon	9
3.2 Other Parameters	9
4. CONCLUSION.....	9
5. REFERANSER / REFERENCES.....	10

VEDLEGG/ APPENDIX

Vedlegg 1. BoksploTT / *Appendix 1. The boxplot.*

Vedlegg 2. Koder for vannbehandling / *Appendix 2. Codes for water treatment*

TABELLER / TABLES

Tabell 1a. Sammenligning av mediankonsentrasjoner av forskjellige kjemiske parametre for prøver med (a) ingen utjevningsbasseng, (b) utjevningsbasseng (c) utjevningsbasseng ukjent

Table 1b. Comparison of median concentrations of various chemical parameters for samples with (a) no storage basin, (b) storage basin and (c) unknown presence of storage basin.

FIGURER / FIGURES

Figur 1. BoksploTT som viser fordeling av radonkonsentrasjoner, avhengig om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. *[Figure 1. Boxplot showing the distribution of radon concentrations, according to the presence of a storage basin].*

Figur 2. BoksploTT som viser fordeling av fluoridkonsentrasjoner, avhengig av om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. *[Figure 2. Boxplot showing the distribution of fluoride concentrations, according to the presence of a storage basin].*

Figur 3. BoksploTT som viser fordeling av alkalitetskonsentrasjoner, avhengig av om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. *[Figure 3. Boxplot showing the distribution of alkalinity concentrations, according to the presence of a storage basin].*

Figur 4. BoksploTT som viser fordeling av pH, avhengig av om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. *[Figure 4. Boxplot showing the distribution of pH, according to the presence of a storage basin].*

Figur 5. BoksploTT som viser fordeling av silisiumkonsentrasjoner, avhengig av om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. *[Figure 5. Boxplot showing the distribution of silicon concentrations, according to the presence of a storage basin].*

Figur 6. BoksploTT som viser fordeling av natrium/klorid-forholdet (som mekv/l), avhengig av om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. *[Figure 6. Boxplot showing the distribution of sodium/chloride ratio (as meq/l), according to the presence of a storage basin].*

Figur 7. Grafisk forklaring av boksploTT / *Figure 7. Graphical explanation of the boxplot*

1. INNLEDNING

I løpet av 1996-97 ble prøver av grunnvann fra fast fjell samlet inn fra hele Norge av NGU og Statens strålevern, i samarbeid med de lokale næringsmiddeltilsynene (Banks m.fl. 1998). For hver prøve ble det fylt ut et spørreskjema som ga opplysninger om lokalitet, vannbehandling, utjevningsbasseng, bruksformål m.m.

En grundig kvalitetssikring av datasettet ble utført av NGU, hvor prøver som enten hadde blitt utsatt for vannbehandling (vedlegg 2), som hadde et betydelig partikkelinnhold eller som ikke kom fra fast fjell, ble forkastet. Dette resulterte i et datasett som besto av 1604 prøver og som fikk navnet "Fjell_korr". Av disse var 1601 prøver blitt analysert for radon.

Under kvalitetssikringen ble det ikke forkastet vannprøver som hadde passert gjennom et utjevningsbasseng. Dette fordi vi hadde en mistanke om at begrepet "utjevningsbasseng" hadde blitt misforstått av en del prøvetakere, slik at det ikke bare omfattet større åpne utjevningsbassenger (slik det var meningen), men også trykkbeholdere osv. Når vannet passerer et åpent utjevningsbasseng kan radonkonsentrasjonen trolig bli påvirket gjennom avgassing og/eller radioaktiv nedbrytning (radon har en halveringstid på knapt 4 døgn). Et slikt basseng bør imidlertid ikke medføre store endringer i grunnvannskjemien ellers. Detaljer om prøvetakingsprosedyrer, analyse og kvalitetssikring finnes i Banks m.fl. (1998).

2. KLASSIFISERING AV PRØVER

På grunnlag av informasjon på spørreskjemaene, ble hver av de 1604 prøvene i "Fjell_korr" tildelt en kode ("UtBa"), avhengig av om vannet hadde passert et utjevningsbasseng eller ikke.

Kode 0: Ikke noe utjevningsbasseng

Kode 1: Utjevningsbasseng

Kode 3: Det ble brukt en eldre versjon av spørreskjemaet, hvor det ikke ble spurt om utjevningsbasseng.

Kode 4: Spørsmål ikke besvart

Alle prøver med kode 1 dannet en datagruppe med navnet "Basin" (n = 84)

Alle prøver med kode 0 dannet en datagruppe med navnet "No_basin" (n = 1034)

Alle prøver med koder 3 eller 4 dannet en datagruppe med navnet "Unkn_basin" (n = 486)

Som nevnt tidligere, kan det hende at prøver med kode 1 også omfatter enkelte brønner med kun trykkbeholdere og ikke utjevningsbasseng. I utgangspunktet har vi ikke betraktet en slik trykkbeholder som utjevningsbasseng.

3. RESULTATER

Resultatene er presentert i tabell 1a og figurene 1-6. En forklaring av boksploTT-fremstillingen finnes i vedlegg 1. De horisontale "parentesene" på hver side av medianverdien på slike boksploTT, er medianverdiens pålitelighetsintervall på et 95% signifikansenivå. Dersom parentesene på to forskjellige boksploTT ikke "overlapper" hverandre, kan det sies at de to medianverdiene er statistisk signifikant forskjellige på et 95% nivå.

Tabell 1a. Sammenligning av mediankonsentrasjoner av forskjellige kjemiske parametre for prøver med (a) ingen utjevningsbasseng, (b) utjevningsbasseng og (c) utjevningsbasseng ukjent.

Gruppe	No_basin	Basin	Unkn_basin
Antall prøver	1034	84	486
Kode	0	1	3 og 4
Radon (Bq/l)	90	26	90
Fluorid (mg/l)	0,31	0,15	0,25
Alkalitet (mekv/l)	2,12	1,77	2,00
pH	8,07	8,06	8,09
Na/Cl (mekv forhold)	2,14	1,95	2,17
Si (mg/l)	4,69	4,45	5,04

3.1 Radon

Mediankonsentrasjonen for radon er signifikant lavere for prøver som har passert gjennom et utjevningsbasseng (26 Bq/l) enn for dem som ikke har passert et slikt basseng (90 Bq/l). Dette kan tolkes som at et utjevningsbasseng har en gunstig virkning på radonkonsentrasjoner i grunnvann.

3.2 Andre parametre

Sammenligning av andre parametre før og etter utjevningsbasseng ser imidlertid ikke ut til å bekrefte denne tolkningen. Både fluorid og alkalitet har signifikant lavere mediankonsentrasjoner i prøver som har passert gjennom et utjevningsbasseng. Også silisium, pH og Na/Cl-forhold har lavere verdier, men i disse tilfellene er ikke forskjellen signifikant. Alle disse parametrene er indikatorer på grunnvannets modenhet. Det kan derfor se ut som at forskjellene i radonkonsentrasjonene ikke nødvendigvis skyldes utjevningsbassenget alene. Dette kan tolkes som at grunnvann fra brønner med utjevningsbasseng i utgangspunktet er mindre modent enn grunnvann fra brønner uten utjevningsbasseng.

4. KONKLUSJON

Det er ikke utenkelig at det blant de vannverkene som har utjevningsbasseng er en overvekt av større vannverk med høykapasitetsbrønner. Slike brønner mates av sprekker med høy transmissivitet, som muligens har grunnvann med kortere oppholdstid og mindre hydrokjemisk modenhet (lavere radon, alkalitet, fluorid) enn (husholdnings-) brønner med mindre kapasitet (uten utjevningsbasseng).

Selv om resultatene i utgangspunktet antyder at utjevningsbasseng pleier å redusere radonkonsentrasjoner i grunnvann fra fjell, kan man ikke umiddelbart konkludere med at effekten skyldes utjevningsbassenget. Det kan også være systematiske geologiske eller hydrodynamiske forskjeller mellom brønner med og uten utjevningsbasseng som er med på å forklare fordelingen. For å få et svar på dette kan det være interessant å ta for seg noen få anlegg og måle radoninnholdet i vannet før og etter at det har gått i gjennom bassenget.

Det må også nevnes at bassengene i undersøkelsen ikke er utformet med tanke på en effektiv utlufting av radongass. Ved å øke overflaten i forhold til volumet og legge inntaket så høyt at vannet får fall ned i bassenget og eventuelt spres ved hjelp av dyser, vil avgassing av radon forbedres. Ved å øke bassengets størrelse i forhold til forbruket, blir oppholdstiden lengre og den naturlige radioaktive nedbrytningen vil redusere radonkonsentrasjonen.

1. INTRODUCTION

During 1996-97, samples of groundwater from Precambrian and Palaeozoic crystalline bedrock aquifers have been collected by NGU and the Norwegian Radiation Protection Authority, in co-operation with local public health authorities (Banks et al. 1998). For each sample, a questionnaire has been completed, giving information on location, possible water treatment, storage basins, use of water etc.

A thorough quality control of the data-set has been carried out by NGU, where samples which had been exposed to water treatment (Appendix 2), samples with a high particulate content and samples which did not come from bedrock aquifers were rejected. This resulted in a data-set consisting of 1604 samples, being referred to as the data-set "Fjell_korr". Of these 1604 samples, 1601 were analysed for radon content.

During the quality control, samples which had passed through a storage basin were not rejected. This was because of a well-founded suspicion that we had not been careful enough to define the term "storage basin" and that several samplers had regarded common sealed pressure tanks as "storage basins" (which was not our intention - we were concerned to

identify larger, open storage facilities which could give opportunity for degassing or radioactive decay of radon. Radon has a half-life of a little under 4 days). Open storage basins might be expected to have a significant effect on radon concentrations but, in the absence of any form of treatment, little effect on other chemical parameters.

Details of the project (sampling, quality control and analytical procedures) may be found in the report by Banks et al. (1998).

2. CLASSIFICATION OF SAMPLES

On the basis of information from the questionnaires, each of the 1604 samples in "Fjell_korr" was assigned a code ("UtBa"), depending on whether the water had passed through a storage basin prior to sampling:

Code 0: No storage basin.

Code 1: Storage basin.

Code 3: No information, due to the use of an older version of the questionnaire, where the information was not requested.

Code 4: Question not answered on questionnaire.

All samples with code 1 formed a data group named "Basin" (n = 84)

All samples with code 0 formed a data group named "No_basin" (n = 1034)

All samples coded 3 or 4 formed a group named "Unkn_basin" (i.e. unknown; n = 486)

As mentioned above, it is possible that samples with code 1 also include a few instances where only a pressure tank and not a storage basin was present. We did not intend such pressure tanks (a common feature of Norwegian domestic water systems) to be regarded as storage basins.

3. RESULTS

The results are presented in Table 1b and Figures 1-6. An explanation of the boxplot is found in Appendix 1. The horizontal square brackets on either side of the median line on such boxplots represent the confidence interval on the median value at a 95% significance level. If the brackets on two different boxplots do not overlap each other, we can say that the two median values are statistically significantly different at the 95% level.

Table 1b. Comparison of median concentrations of various chemical parameters for samples with (a) no storage basin, (b) storage basin and (c) unknown presence of storage basin.

<i>Group</i>	<i>No_basin</i>	<i>Basin</i>	<i>Unkn_basin</i>
<i>Number of samples</i>	1034	84	486
<i>Code</i>	0	1	3 and 4
<i>Radon (Bq/l)</i>	90	26	90
<i>Fluoride (mg/l)</i>	0.31	0.15	0.25
<i>Alkalinity (meq/l)</i>	2.12	1.77	2.00
<i>pH</i>	8.07	8.06	8.09
<i>Na/Cl (meq ratio)</i>	2.14	1.95	2.17
<i>Si (mg/l)</i>	4.69	4.45	5.04

3.1 Radon

The median concentration for radon is significantly lower for samples which have passed through a storage basin (26 Bq/l), than for those which have not passed such a basin (90 Bq/l). This could be interpreted as a sign that storage basins contribute to reducing radon concentrations in groundwater.

3.2 Other Parameters

A comparison of other parameters casts, however, a certain doubt on this interpretation. Both fluoride and alkalinity have significantly lower medians for samples which have passed through a storage basin. Also silicon, pH and the ratio Na/Cl have lower medians, although in these cases, not significantly so. All of these parameters are indicators of the groundwater's hydrogeochemical maturity. It thus seems that the differences in radon concentrations are not (necessarily) due to the presence of a storage basin. An alternative possible interpretation is that the groundwaters from wells with storage basins are systematically hydrochemically less mature than those from wells without a storage basin.

4. CONCLUSION

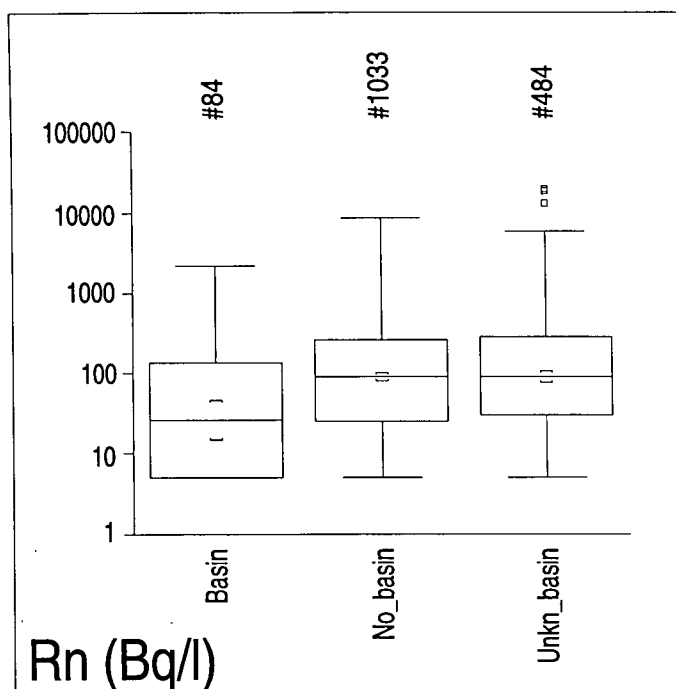
It is not impossible that a greater proportion of larger waterworks with high-capacity wells send their water through storage basins. Such wells are fed by high transmissivity fractures, possibly with shorter residence times and less mature hydrogeochemistry (lower radon, alkalinity, fluoride) than (often domestic) wells with lower yield (and no storage basin).

Although the results of this small study indicate that storage basins contribute to a reduction of radon concentrations in groundwater, we cannot conclude decisively that this effect is real on the basis of these data. It appears that there may also be systematic geological or hydrodynamic differences between wells with and without storage basins, which may explain the differences in hydrochemistry. A future follow-up investigation in a few water supply plants with measurements of the radon content before and after the water has passed the storage basin, will give an answer to this question.

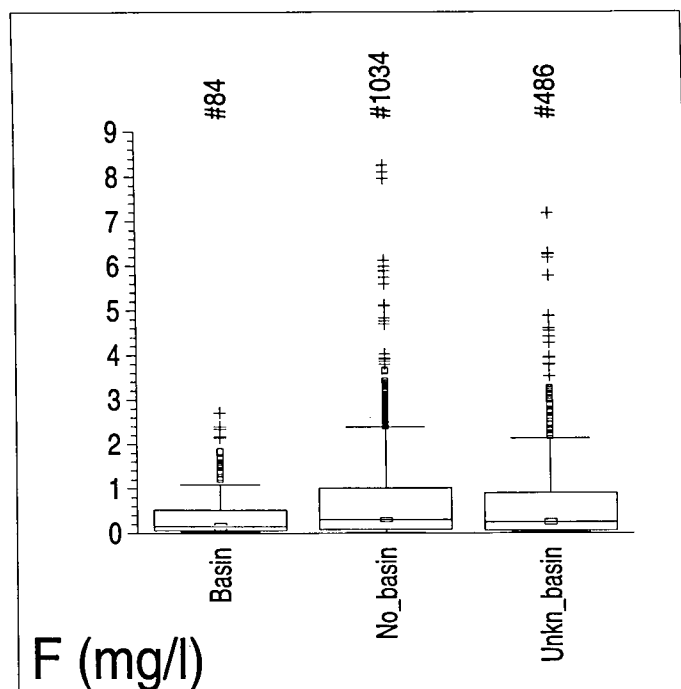
It should be mentioned that the storage basins in this survey have not been designed for the purpose of reducing the radon content. The degassing of radon will be enhanced by an increased surface area/volume ratio and by an elevated inlet letting the water fall freely into the basin. A large storage basin volume relative to the water consumption will extend the residence time, and natural radioactive decay will then reduce the radon concentration.

5. REFERANSER / REFERENCES

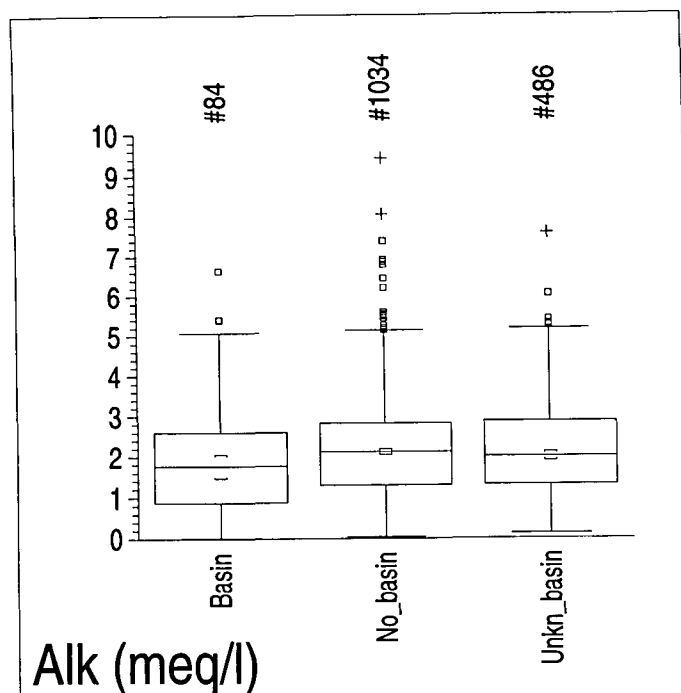
Banks, D., Frengstad, B., Krog, J.R., Midtgård, Aa.K., Strand, T. & Lind, B. (1998) Kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell i Norge [*The chemical quality of groundwater in bedrock in Norway: in Norwegian*]. *Nor. geol. unders. report 98.058.*



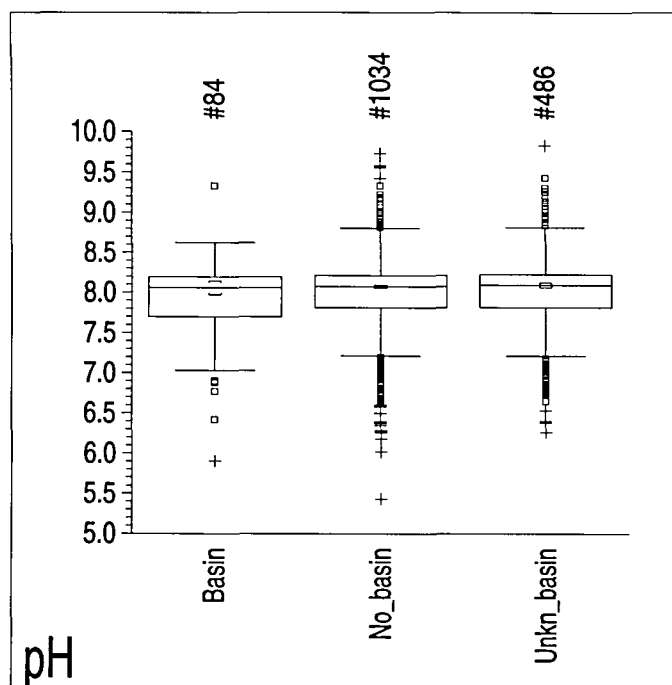
Figur 1. BoksploTT som viser fordeling av radonkonsentrasjoner, avhengig av om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. [Figure 1. Boxplot showing the distribution of radon concentrations, according to the presence of a storage basin].



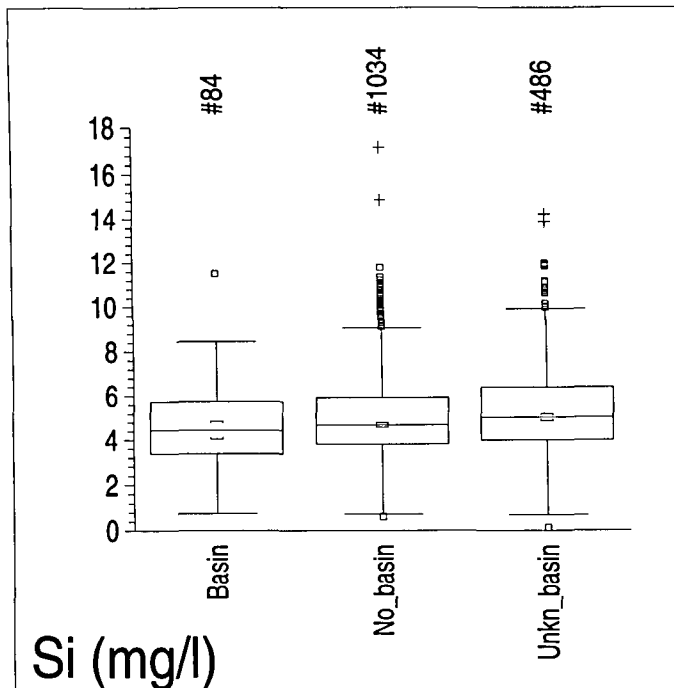
Figur 2. BoksploTT som viser fordeling av fluoridkonsentrasjoner, avhengig av om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. [Figure 2. Boxplot showing the distribution of fluoride concentrations, according to the presence of a storage basin].



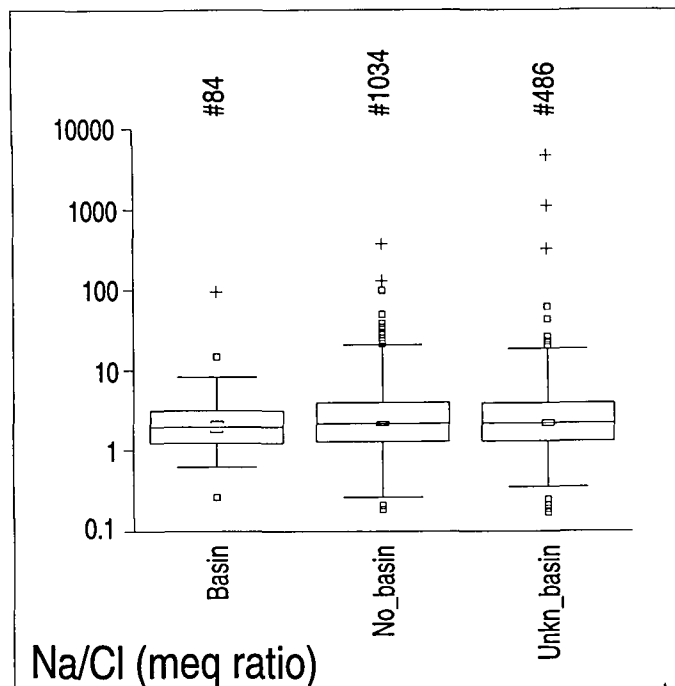
Figur 3. BoksploTT som viser fordeling av alkalitetskonsentrasjoner, avhengig av om vannet passerer et utjevningssasseng eller ikke. [Figure 3. Boxplot showing the distribution of alkalinity concentrations, according to the presence of a storage basin].



Figur 4. BoksploTT som viser fordeling av pH, avhengig av om vannet passerer et utjevningssasseng eller ikke. [Figure 4. Boxplot showing the distribution of pH, according to the presence of a storage basin].



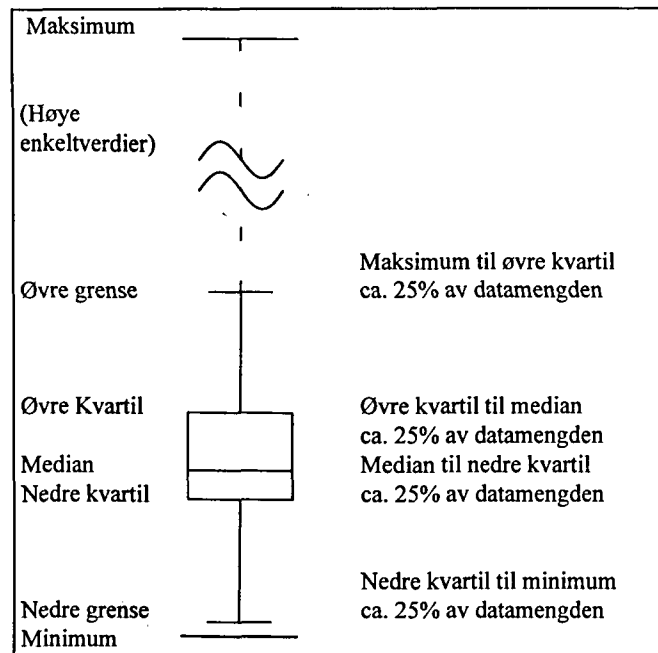
Figur 5. Boksplott som viser fordeling av silisiumkonsentrasjoner, avhengig av om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. [Figure 5. Boxplot showing the distribution of silicon concentrations, according to the presence of a storage basin].



Figur 6. Boksplott som viser fordeling av natrium/klorid-forholdet (som mekv/l), avhengig av om vannet passerer et utjevningsbasseng eller ikke. [Figure 6. Boxplot showing the distribution of sodium/chloride ratio (as meq/l), according to the presence of a storage basin].

Boksplokk er en fremstillingsmåte som gir en rask oversikt over dataenes fordeling og sentrale statistiske parametre. Den egner seg derfor meget godt der en ønsker å sammenligne to eller flere datasett.

The boxplot is a presentation method which gives a rapid overview of a data-set's distribution and central statistical parameters. It is therefore well-suited for comparing two or more data-sets.



Figur 7. Grafisk forklaring av boksplokk / *Figure 7. Graphical explanation of the boxplot*

Medianen er den midterste verdien i tallsettet, dvs at halvparten av verdiene er høyere og halvparten er lavere. Medianen angis ved en strek som deler selve boksen i to. Ved sammenlikning av data fra ulike datasett, er medianen et bedre sammenlikningsgrunnlag enn f.eks høyeste enkeltmåling eller et gjennomsnitt av datasettet. De horisontale "parentesene" på hver side av medianverdien på slike boksplokk, er medianverdiens pålitelighetsintervall på et 95 % signifikansnivå. Dersom parentesene på to forskjellige boksplokk ikke "overlapper" hverandre, kan det sies at de to medianverdiene er statistisk signifikant forskjellige på et 95 % nivå.

The median is the middle of value of the data-set; i.e. half of the data values are higher and half are lower than the median. The median is shown by a line dividing the "box" in two. When comparing data from two or more data-sets, the median is a better basis for comparison than the mean or the highest value in a data-set. The horizontal square brackets on either side of the median line on such boxplots represent the confidence interval on the median value at a 95% significance level. If the brackets on two different boxplots do not overlap each other, we can say that the two median values are statistically significantly different at the 95% level.

Øvre kvartil representerer den verdien i datasettet der 75 % av verdiene er lavere og 25% er høyere. Tilsvarende er 75 % av verdiene høyere og 25% av verdiene lavere enn **nedre kvartil**. Øvre og nedre kvartil fremstilles som henholdsvis toppen og bunnen av selve boksen. Boksen inneholder dermed de midtre 50% av datasettets verdier og størrelsen på boksen gir et bilde av spredningen i disse verdiene.

*The **upper quartile (or 75-percentile)** is that value in the data-set relative to which 75% of all values are lower and 25% are higher. Similarly, the **lower quartile (or 25-percentile)** is that value relative to which 25% of all values are lower and 75% are higher. The upper and lower quartiles are shown as the top and bottom (respectively) of the box itself. The box thus contains the middle 50% of the data-set's values (**interquartile range**) and the size of the box gives a good representation of the "spread" of data values.*

Strekene (kalt «whiskers» dvs. værhår) viser spredningen av dataene utenfor boksen. I geokjemiske data er det vanlig at noen få verdier er mye høyere (eller eventuelt mye lavere) enn de midterste 50%. I boksploTT settes det en **øvre grense** for streken når verdien plottes lengre fra øvre kvartil enn 1,5 ganger boksens lengde. Høyere verdier plottes som enkle punkt. Tilsvarende er **nedre grense** for streken satt 1,5 ganger boksens lengde fra nedre kvartil, og lavere verdier enn dette vil bli plottet som enkle punkt. BoksploTT er nyttig til å avsløre asymmetri i datasettet og tilstedeværelsen av verdier som ligger mye høyere eller mye lavere enn medianen.

*The "whiskers" (or lines extending above and below the box) show the range of the data outside the box (i.e. the **extraquartile range**). In geochemical data, it is not uncommon that a few values (or **outliers**) are much higher (or sometimes, lower) than the middle 50%. In the boxplot, we thus set an **upper limit** for the whiskers when the value lies more than 1.5 times the length of the box from the upper quartile. Similarly a **lower limit** to the whisker is placed 1.5 times the box's length below the lower quartile. Values above the upper limit and below the lower limit (i.e. outliers) are plotted as single points. The boxplot is thus excellent at revealing asymmetry in the dataset and also the presence of extreme, outlying values.*

Vedlegg 2. Koder for vannbehandling Appendix 2. Codes for water treatment

På bakgrunn av informasjon fra spørreskjemaet, ble hver prøve tildelt en kode ("VaBe") som beskriver om prøven er blitt utsatt for noen form for behandling:

According to information from the questionnaire, each sample has been assigned a code ("VaBe") which describes whether the sample has been exposed to any water treatment:

Kode 0	Ingen vannbehandling
Kode 1	En eller annen form for vannbehandling
Kode 3	Gammelt skjema uten spørsmål om vannbehandling
Kode 4	Spørsmål ikke besvart

<i>Code 0</i>	<i>No water treatment</i>
<i>Code 1</i>	<i>Some form of treatment</i>
<i>Code 3</i>	<i>Old questionnaire without question on treatment</i>
<i>Code 4</i>	<i>Question not answered</i>

Under kvalitetssikring av dataene, ble alle prøver med kode 1 forkastet. Datasettet Fjell_korr (n=1604) inneholder derfor kun prøver med koder 0, 3 eller 4 for vannbehandling.

During quality control of data, all samples with code 1 were rejected. The data-set "Fjell_korr" (n=1604) therefore contains only samples with codes 0, 3 or 4 for water treatment.