

Ökade stängningar av Göteborgs råvattenintag

En analys av saltvatteninträngning, bakteriehalter och väderdata (2001–2025)

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik

Fahd Albashir

Leonard Andersson

Hedda Lundberg

Marcus Nordlund

Siri Ronquist

Jonatan Wall

KANDIDATARBETE 2025

Ökade stängningar av Göteborgs råvattenintag

En analys av saltvatteninträngning, bakteriehalter och väderdata
(2001–2025)

FAHD ALBASHIR

LEONARD ANDERSSON

HEDDA LUNDBERG

MARCUS NORDLUND

SIRI RONQUIST

JONATAN WALL



CHALMERS

Institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnad
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2025

Ökade stängningar av Göteborgs råvattenintag
En analys av saltvatteninträngning, bakteriehalter och väderdata (2001–2025)

FAHD ALBASHIR
LEONARD ANDERSSON
HEDDA LUNDBERG
MARCUS NORDLUND
SIRI RONQUIST
JONATAN WALL

© FAHD ALBASHIR, LEONARD ANDERSSON, HEDDA LUNDBERG,
MARCUS NORDLUND, SIRI RONQUIST, JONATAN WALL, 2025.

Handledare: Ali Esmaeeli, Vatten miljö teknik
Medhandledare: Kathleen Murphy, Vatten miljö teknik
Examinator: Frank Persson, Vatten miljö teknik

Kandidatarbete 2025
Institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Bilden på framsidan visar att stängningarna av råvattenintaget i Göta älv huvudsakligen beror på höga halter konduktivitet och *E.coli*.

Skriven i L^AT_EX
Göteborg 2025

Abstract

Gothenburg's drinking water supply is highly dependent on raw water from Göta älv, which is a source that is increasingly challenged by climate change, agriculture and urbanization. This study aims to understand the causes and timing of intake closings at Lärjeholm by analyzing raw water quality data from Kretslopp och vatten and metrological data such as temperature and precipitation from SMHI from 2001 to 2025. The main focus is on saltwater intrusion, bacterial contamination (particularly *E.coli*), and weather-related parameters. By using these data, seasonal patterns and trends were identified and then analyzed. The results show that intake closures are often linked to elevated *E.coli* levels indicating fecal contamination, or high conductivity, indicating saltwater intrusion. This study has been able to correlate 85% of the closings to bacteria and saltwater intrusion while 15% remain without clear cause. The findings emphasize the importance of continuous monitoring, further research and development of solutions to ensure a sustainable drinking water supply for Gothenburg.

Nyckelord: Dricksvattenkvalitet, Råvatten, Göta älv, Saltvatteninträngning, *E.coli*, Koliforma bakterier, Bräddning, Nederbörd, Klimatförändringar, Göteborg

Förord

Kandidatarbetet har skrivits på Chalmers tekniska högskola på institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik. Arbetet har skrivits under vårterminen 2025 och syftat till att undersöka dricksvattenkvaliteten i Göteborg.

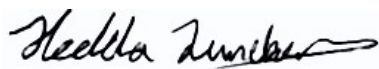
Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare Ali Esmaeeli och Kathleen Murphy för hjälp att driva arbetet framåt. Vi vill dessutom tacka Kretslopp och vatten som har bidragit med mycket värdefull information och data, med ett extra tack till Kristina Holm och Olof Bergstedt.



Fahd Albashir, Göteborg, maj 2025



Leonard Andersson, Göteborg, maj 2025



Hedda Lundberg, Göteborg, maj 2025



Marcus Nordlund, Göteborg, maj 2025



Siri Ronquist, Göteborg, maj 2025



Jonatan Wall, Göteborg, maj 2025

Ordlista och akronymer

Nedan följer en ordlista och akronymer i alfabetisk ordning som används i uppsatsen:

Avrinningsområde: Ett geografiskt område vars dränering leder till samma vattendrag.

Bräddning: Utsläpp av orenat avloppsvatten när ledningsnät eller reningsverk blir överbelastat.

Dricksvattenberedning: Behandling av råvatten för att göra det säkert att dricka.

Merkostnad: Avser en extra utgift som uppstår utöver den normala kostnaden.

PCA: Principal Component Analysis

Reservvattentäkt: Alternativ vattenkälla som används när den primära källan är obrukbar eller förbrukad.

Råvatten: Orenat vatten som är avsett för dricksvattenberedning.

Saltvatteninträngning: Saltvatten som tränger sig in i sötvattenkällor och påverkar ekosystem och dricksvattenberedning.

Turbiditet: Ett mått antal suspenderade partiklar i vattnet. Kan även kallas för grumlighet.

Innehåll

| | |
|---|-----------|
| Ordlista | vi |
| 1 Inledning | 1 |
| 1.1 Introduktion | 1 |
| 1.1.1 Göta älv | 1 |
| 1.1.2 Vattenförsörjning i Göteborg | 3 |
| 1.1.3 Ekonomiska konsekvenser av reservvattenanvändning | 4 |
| 1.2 Syfte | 4 |
| 1.2.1 Frågeställningar | 5 |
| 1.3 Avgränsningar | 5 |
| 1.3.1 Geografi | 5 |
| 1.3.2 Tid | 5 |
| 1.3.3 Data | 5 |
| 1.3.4 Råvattenrening | 5 |
| 1.3.5 Riktvärden | 5 |
| 2 Bakgrund | 6 |
| 2.1 Väder och klimat | 6 |
| 2.1.1 Lufttemperatur | 6 |
| 2.1.2 Nederbörd | 6 |
| 2.1.3 Solskenstid och global irradians | 6 |
| 2.2 Saltvatteninträngning | 7 |
| 2.2.1 Saltvattenkil | 7 |
| 2.2.2 Saltvatteninträngning i Göteborg | 8 |
| 2.3 Bakterier | 8 |
| 2.4 Kostnader och gränsvärden | 9 |
| 2.4.1 Gränsvärden | 9 |
| 3 Metod | 10 |
| 3.1 Datainsamling | 10 |
| 3.1.1 Råvattenkvalitetsdata från Kretslopp och vatten | 10 |
| 3.1.2 Meteorologiska data från SMHI | 10 |
| 3.1.3 Stängningar av råvattenintag | 11 |
| 3.1.4 Urval av parametrar | 11 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2 | Datahantering | 11 |
| 3.2.1 | Bearbetning av data | 11 |
| 3.2.2 | Ekonomisk uppskattning av stängningar | 12 |
| 3.3 | Analysmetoder | 12 |
| 3.3.1 | Visuell analys | 12 |
| 3.3.2 | Litteraturstudie | 13 |
| 3.3.3 | Korrelationsanalys | 13 |
| 3.3.4 | Principal Component Analysis (PCA) | 13 |
| 3.4 | Expertkontakt och handledningar | 13 |
| 4 | Resultat | 15 |
| 4.1 | Stängningar | 15 |
| 4.2 | Väder | 16 |
| 4.3 | Saltvatteninträngning | 18 |
| 4.4 | Bakterier | 21 |
| 4.5 | Säsongsbaserade stängningar | 25 |
| 4.6 | Ekonomiska konsekvenser av stängningar | 26 |
| 5 | Diskussion | 28 |
| 5.1 | Saltvatteninträngning | 28 |
| 5.1.1 | Klimatpåverkan | 28 |
| 5.1.2 | Säsongsvariationer | 28 |
| 5.2 | E.coli och Koliforma bakterier | 29 |
| 5.2.1 | Säsongsvariationer och klimatförändringar | 30 |
| 5.2.2 | Bräddning | 31 |
| 5.2.3 | Konduktivitet | 31 |
| 5.3 | Metaller | 32 |
| 5.3.1 | PCA | 32 |
| 5.4 | Stängningar och kostnader | 32 |
| 5.4.1 | Nödvändiga stängningar | 33 |
| 5.4.2 | Säsongsbaserade stängningar | 33 |
| 5.4.3 | Ekonomiska konsekvenser av stängningar | 33 |
| 5.5 | Slutsats | 34 |
| 5.5.1 | Vidare forskning | 35 |
| | Referenser | 35 |
| | A PCA - Loadings | I |
| | B Principal component 1-3 | II |
| | C Grafer | IV |
| | D Histogram | VI |

1

Inledning

1.1 Introduktion

Tillgång till rent vatten är ett av Förenta Nationernas (FN) klimatmål och en förutsättning för allt liv på jorden. Den globala råvattenkvaliteten förändras på grund av faktorer som klimatförändringar, jordbruk och urbanisering (Shi m. fl., 2024). Enligt (Shi m. fl., 2024) har en kontinuerligt ökad markanvändning som urbanisering och jordbruk identifierats som en större drivkraft än klimatförändringar för försämringen av vattendragens ekosystem, som i sin tur har en stor påverkan på råvattenkvaliteten. Den ökande markanvändningen och klimatförändringar påverkar dessutom jordens hydrologiska cykler, vilket kan resultera i extremväder som skyfall och torka. Följden kan bli vattenbrist eller översvämningar, vilket påverkar samhällen och ekosystem globalt (Shi m. fl., 2024). Problem med vattenbrist leder till att många olika metoder för att rena vatten undersöks, exempelvis avsaltning av havsvatten och återanvändning av renat avloppsvatten (Carden, 2024). Ett exempel på detta är när Kapstaden i Sydafrika stod nästan helt utan vatten som en följd av klimatförändringar och torka (Carden, 2024). Samtidigt leder skyfall och stora vattenmängder till mycket avrinning som för med sig föroreningar till vattendragen. Dessutom ökar risken för skred och höga flöden som påverkar råvattenkvaliteten och försämrar möjligheterna att producera rent dricksvatten (Holm, 2025).

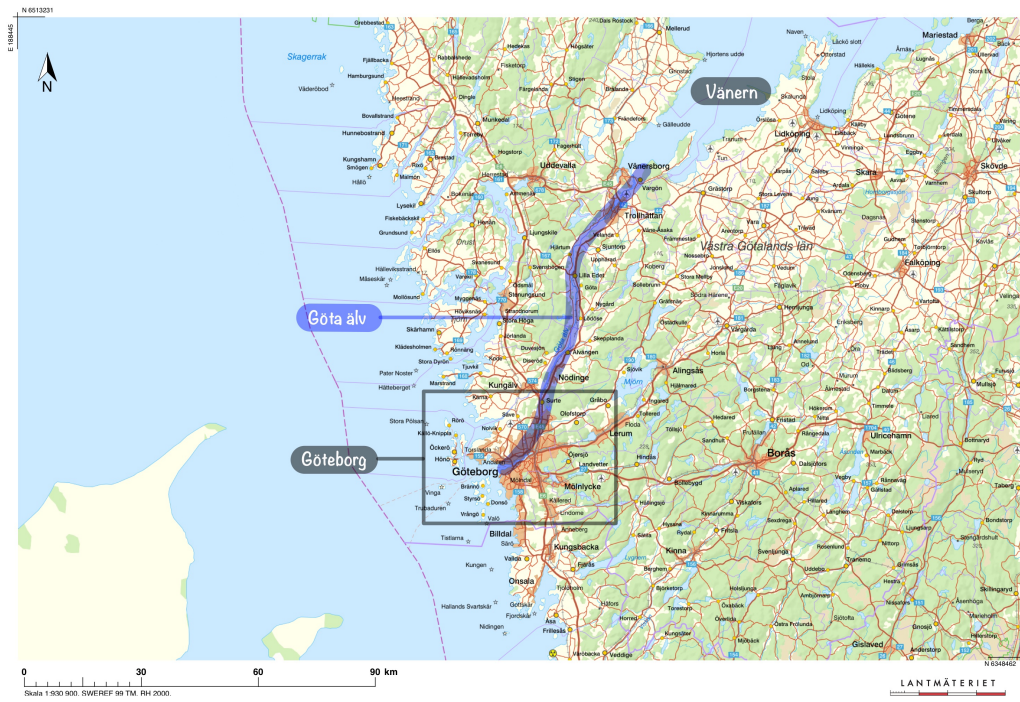
Ytvatten utgör endast 1 % av jordens totala sötvattenresurser men används för att försörja ungefär hälften av världens dricksvattenbehov, detta gör ytvatten till en mycket värdefull resurs (Modin, 2025). För att säkerställa tillgången på rent vatten och uppnå FN:s globala mål för rent vatten och sanitet till alla är vattenkvalitet en central del.

1.1.1 Göta älv

Till skillnad från många andra delar av världen har Göteborg en säker källa till råvatten. Intaget är i Göta älv, vilket är den mest vattenrika älven i Sverige med ett avrinningsområde på en tiondel av landets yta. Älven har sitt ursprung i Vänern och vid Göteborg kommer 90% av flödet från sjön medan övrigt vatten tillförs från nederbörd, grundvatten och angränsande vattendrag (Göransson m. fl., 2013). Trots att vattenbrist inte är någon risk står Göteborgs Stad inför andra utmaningar kopplade till råvattenkvalitet.

1. Inledning

(a)



(b)



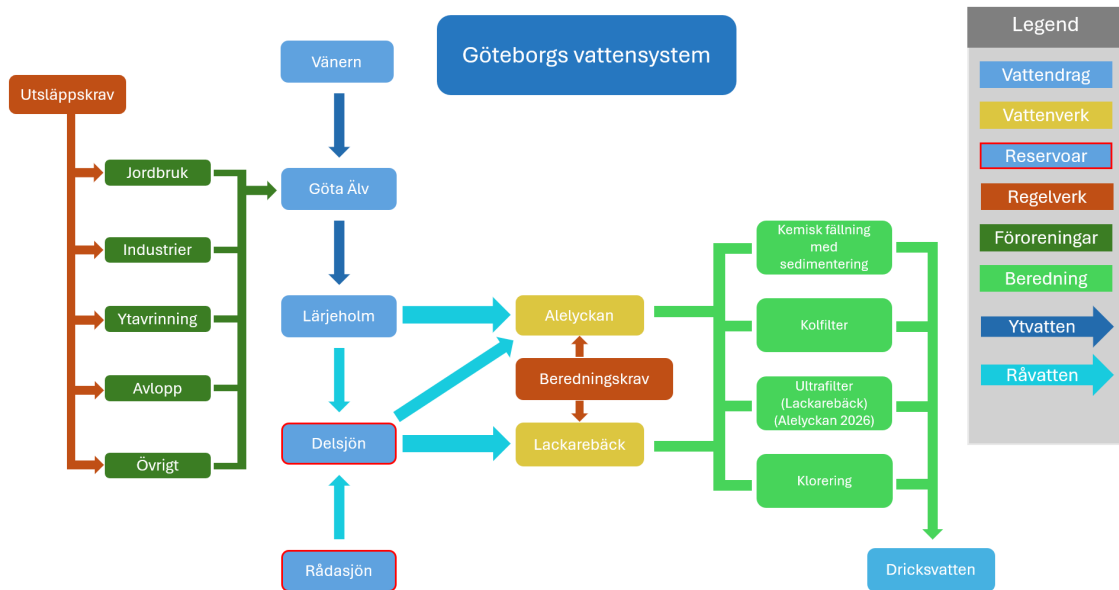
Figur 1.1: Kartunderlag: © Lantmäteriet, [2025]. Hämtat från Lantmäteriets öppna data. a) visar Göta älv, Vänern och Göteborg. b) visar högre upplösning av figur a), figuren visar Lärjeholm, Alelyckan och Delsjöarna.

Göta älv rinner genom flertalet kommuner och städer där avrinning från jordbruk, vägar samt utsläpp av renat avloppsvatten och bräddning förorenar råvattnet. Dessa föroreningar kan vara tungmetaller, kemikalier, kväve/fosfor, organiska ämnen, bakterier och andra föroreningar som påverkar turbiditet, pH, temperatur och så vidare. Dessutom leder höjda havsnivåer till att risken för saltvatteninträngning ökar (Hirdman, 2024).

1.1.2 Vattenförsörjning i Göteborg

I Göteborgs Stad produceras dricksvattnet vid vattenreningsverken Alelyckan och Lackarebäck, som hanteras av Kretslopp och vatten. Alelyckas vattenverk har råvattenintag från Göta älv vid Lärjeholm och Lackarebäck från Delsjön. Delsjön fungerar dessutom som en reservoar för båda vattenverken. När mätstationerna i Göta älv indikerar att råvattnet är för förorenat för att använda stängs intaget i Lärjeholm (Blom, 2024). I snitt är intaget stängt var tredje dag och beror bland annat på saltvatteninträngning, höga halter indikatororganismer som *E.coli* eller hög turbiditet. I Göta älv finns sju mätstationer från Vänerns utlopp till Lärjeholm, dessa mäter kontinuerligt älvens vattenkvalitet. Utöver det genomförs tre manuella provtagningar i veckan på råvattnet vid Lärjeholm (Holm, 2025), där parametrar som turbiditet, pH, temperatur, färg, alkalinitet, lukt/smak och många fler kemiska och mikrobiella parametrar undersöks mer noggrant (World Bank, 2024). Enligt (Holm, 2025) används den utförliga data från Lärjeholm huvudsakligen för att övervaka den aktuella råvattenkvaliteten i Göta älv, vilket styr reningsprocessen i vattenverket.

För att säkerställa dricksvattenkvaliteten används flera beredningsprocesser vid vattenverken (Holm, 2025). Några av dessa är kemisk fällning och sedimentering som avlägsnar organiskt material och partiklar (Modin, 2025), kolfilter förbättrar smak och lukt samt minskar organiska partiklar och mikroförroreningar (Fedfell m. fl., 2019). Vid Alelyckan används UV-ljus som desinfektionsmedel för att inaktivera mikroorganismer (Modin, 2025), medan Lackarebäck använder ultrafilter för att minska mängden mikroorganismer (Fedfell m. fl., 2019). Från 2026 kommer även Alelyckan att använda ultrafilter. Slutligen tillsätts klor för att desinfektera vattnet ytterligare innan det skickas ut i ledningarna (Holm, 2025) (Modin, 2025). Däremot genomförs i nuläget ingen analys på långsiktiga trender av råvattenkvaliteten i Göteborg och i närliggande vattendrag. Figur 1.2 visar en visualisering av dricksvattensystemet i Göteborg.



Figur 1.2: Flödesschema av dricksvattensystemet i Göteborg. Bilden är skapad baserat på föreläsningar av Kristina Holm och Lena Blom från Kretslopp och Vatten (Holm, 2025) (Blom, 2024).

1.1.3 Ekonomiska konsekvenser av reservvattenanvändning

Vid varje stängning av råvattenintaget i Göta älv medför detta en ökad belastning på reservvattentäkterna i delsjöarna, detta tillför även extra kostnader för driften. Den ökade kostnaden är framför allt kopplad till en ökad energiförbrukning vid pumpning ((SGI), 2011). Att kunna förstå och förutse dessa kostnader är därför en enormt viktig del av att upprätthålla en ekonomiskt hållbar dricksvattenförsörjning.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att utvärdera de faktorer som leder till att råvattenintaget från Göta älv stängs och därmed undersöka hur Göteborgs dricksvattendistribution kan påverkas i framtiden. Mer specifikt ska långsiktiga trender och säsongsvariationer i väder, saltvatteninträngning och bakterier analyseras.

Detta syftar till att identifiera förändringar som kan kopplas till klimatförändringar, lagstiftningar eller andra externa faktorer för att förstå hur råvattenkvaliteten i Göta älv kan förändras i framtiden. Genom att tydliggöra dessa samband kan arbetet bidra med en visualisering av råvattenkvalitetens förändring över tid, samt ge en insikt om hur frekvent råvattenintaget vid Lärjeholm måste stängas i framtiden, vad det medför för konsekvenser och hur stor andel av stängningarna som var nödvändiga.

1.2.1 Frågeställningar

- Hur har förekomsten av saltvatteninträngning och bakterier i Göta älv förändrats över tid, och kan det påverkas av klimatförändringar, lagstiftningar och andra faktorer?
- Hur kan olika väderförhållanden kopplas till att råvattenintaget stängs?
- Är risken för att stänga intaget särskilt högt vissa årstider eller perioder och vad beror det på?
- Varför ökar tiden då råvattenintaget vid Lärjeholm är stängt, kommer den fortsätta öka och vad är kostnaden av detta?

1.3 Avgränsningar

Studien avgränsades på flera sätt för att uppnå ett hanterbart omfång och bibehålla fokus på relevanta aspekter av råvattenkvaliteten i Göta älv.

1.3.1 Geografi

Arbetet fokuserade geografiskt på Göta älv, med särskild tyngdpunkt på området vid Lärjeholm. Detta val motiverades av tillgång till lokalt specifik data samt för att undvika att inkludera osäkra variabler från ett alltför stort geografiskt område.

1.3.2 Tid

Studien omfattade data från den tidigaste tillgängliga mätningen år 2001 fram till och med 2024. Det var tillgången på råvattenkvalitetsdata som styrde detta tids-
spann. Detta innebar att övrig inhämtad data, såsom meteorologiska parametrar och stängningar behövde finnas inom samma period.

1.3.3 Data

Urvalet av parametrar i denna studie begränsades av vilken av vilken typ av data som tillhandahölls av Kretslopp och Vatten samt SMHI. Detaljerad beskrivning av urvalsprocessen samt hantering av data redovisas i metodavsnittet.

1.3.4 Råvattenrening

Studien fokuserade endast på råvattenkvalitet och meteorologiska faktorer och deras bidrag till stängningar vid råvattenintaget i Lärjeholm. Därav lades ingen tyngd på reningen av råvattnet utan bara på merkostnaden som tillkommer vid stängningar. Denna avgränsning sattes för att arbetets fokus låg på orsaker till stängningar.

1.3.5 Riktvärden

Vid tolkning av råvattenkvaliteten utgick arbetet från riktlinjer för produktionen av dricksvatten av råvatten enligt Livsmedelsverket (Livsmedelsverket, 2022) och branschorganisationen Svenskt Vatten. Politiska styrmedel eller framtida regleringar beaktades inte då dessa kan komma att förändras över tid.

2

Bakgrund

2.1 Väder och klimat

Väder beskriver aktuella atmosfäriska förhållanden, medan klimat avser genomsnittliga vädermönster över tid i ett visst område. I Sverige varierar vädret säsongsvist och kan påverkas av naturkatastrofer. Klimatförändringar innebär långsiktiga förändringar i vädermönster, ofta kopplade till global uppvärmning, vilket kan påverka råvattnets sammansättning vid dricksvattenproduktion.

Studien fokuserar på förändringar i nederbörd, solskenstid, global irradians och lufttemperatur – väderparametrar som är centrala men i stort sett välkända. Global irradians, som är mängden solstrålning som når jordytan, påverkar bland annat avdunstning och temperatur (SMHI, 2024).

2.1.1 Lufttemperatur

I Sverige har den genomsnittliga lufttemperaturen ökat, en trend som väntas fortsätta enligt prognoser. Temperaturen förväntas öka mest för vintermånaderna (Agerblad m. fl., 2021; Klimat- och näringslivsdepartementet, 2007). Även vår- och sommarmånaderna visar tydliga uppvärmningstendenser. SMHI:s data för Göteborg 2001–2024 bekräftar en tydlig temperaturökning, framför allt under vintern, men även under vår och höst. Sommaren visar däremot en mer stabil temperaturutveckling (SMHI, 2025a). Se figur 4.3.

2.1.2 Nederbörd

SMHI:s historiska data visar en ökning av nederbörden i Sverige, med flera nederbördsrika år såsom 1998, 2000 och 2012 – alla över tre standardavvikelse från långtidsmedelvärdet för 1880–2021 (SMHI, 2022). Ökningen är mest tydlig under vintern, följd av hösten, medan vår och sommar inte uppvisar några signifikanta förändringar. För Göteborgsområdet visar data från 2001–2024 en överlag stabil nederbördsmängd, men med en tydlig uppåtgående trend under vintermånaderna (SMHI, 2025b). Se figur 4.2.

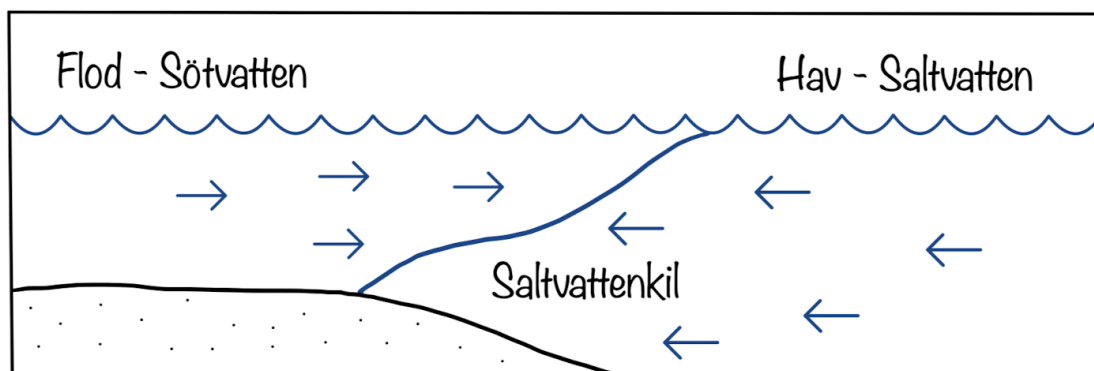
2.1.3 Solskenstid och global irradians

Sedan 1980 har den globala irradiansen och solskenstiden i Sverige ökat med cirka 10%, vilket enligt SMHI beror på minskad molnighet och lägre partikelhalter i

atmosfären (SMHI, 2025b). Ökningen är främst koncentrerad till vår och sommar, medan höst och vinter visar mer stabila nivåer. För Göteborgsområdet visar SMHI:s data för 2001–2024 en svag ökning av både solskenstid och global irradians, särskilt under våren, följt av en måttlig ökning på sommaren. Hösten uppvisar en minskande trend, medan vintern är relativt oförändrad (SMHI, 2025c). Se figurerna C.1 och C.2.

2.2 Saltvatteninträngning

Saltvatteninträngning uppstår när saltvatten tränger sig in vattendrag som mynnar ut i havet. Då saltvatten har högre densitet än sötvatten tränger det in sig längs botten av vattendraget (Göta älvs Vattenvårdsförbund, 2016). Då uppstår en skiktning mellan sötvatten och saltvatten, där en saltvattenkil bildas vid vattendragets utlopp, se figur 2.1. Vid lågt flöde av sötvatten i ett vattendrag som mynnar ut i havet ökar risken för saltvatteninträngning. Innehåller råvattnet för höga salthalter medför det otillräcklig kvalitet och kan därför inte användas för att renas till dricksvatten. Sker detta väljer man att stänga vattenintaget och råvatten tas istället från en annan källa. Förutom att påverka vattenförsörjningen kan saltvatteninträngning även ha negativa effekter på ekosystemet (Göta älvs Vattenvårdsförbund, 2016). Tränger sig saltvatten långt in i vattendraget kan det resultera i att saltvattenarter kan ta sig längre in och därmed påverka det naturliga ekosystemet.



Figur 2.1: Saltvattenkil. Sötvatten strömmar ut från floden till havet där saltvattnet tränger in längs botten.

2.2.1 Saltvattenkil

En saltvattenkil bildas när saltvatten tränger in i ett sötvattendrag längs botten. Då uppstår en skiktning mellan sötvattnet, som har lägre densitet, och saltvattnet (Lidén & Saglamoglu, 2010), som har högre densitet. Skiktningen antar en kilformad struktur som sträcker sig olika långt in i vattendraget beroende på flera olika faktorer. Hur långt in saltvattenkilen når kan bero på havsvattnets salthalt, strömningshastighet, vindar, mynningsens form, djupförhållanden, lufttryck med mera (Göta älvs Vattenvårdsförbund, 2016). Det som påverkar bildandet av saltvattenkilen mest i Göta älv är det existerande flödet i älven, vilket betyder att när det är lågt flöde i

älven medför det att saltvattenkilen kan tränga sig längre in i vattendraget. Vindar från väster kan även pressa upp havsvatten in i älvmyningen, vilket kommer öka trycket från havet och underlätta inträngning av saltvatten. Göta älv påverkas även av förhöjda havsvattennivåer som en följd av klimatförändringar, detta ökar trycket från havet som kan leda till att saltvattenkilen tränger sig längre in i älven.

2.2.2 Saltvatteninträngning i Göteborg

I Göta älv är saltvatteninträngning ett problem eftersom år med låga flöden har behov av att vattenintaget måste stängas mer än 70 gånger per år sedan 2019, enligt tabell 4.1. Stängs intaget måste råvattnet istället tas från Delsjön. För att få en indikator på saltvatteninträngning och avgöra om vattenintaget behöver stängas brukar konduktivitetmätare användas (Göta älvs Vattenvårdsförbund, 2016). Dessa mätare övervakar nivåerna och kan därför avgöra när saltvattenhalterna är för höga för att hålla kvaliteten på råvattnet. För att motverka inträngning av saltvatten har olika åtgärder använts. Sedan 1930 har skärmar i Nordre älv använts för att styra in sötvatten, och därmed öka flödet, i den delen av älven som går igenom Göteborg (Göta älvs Vattenvårdsförbund, 2016). På så sätt kan sötvattnet förhindra saltvatten från att tränga sig in i älven. I Göteborg är saltvatteninträngning dessutom en indikator på att vattnet har passerat hamnen, centrala Göteborg, avloppsreningsverk och industrier, vilket kan innebära att vattnet för med sig en stor mängd föroreningar (Holm, 2025). Därmed är det inte nödvändigtvis enbart saltvattnet som medför ett problem i dricksvattenberedningen, utan även föroreningar som saltvattnet kan föra med sig.

I en rapport av (Lidén & Saglamoglu, 2010) ges slutsatsen att om havsnivån ökar med 10 cm behövs flödet i älven öka med 2,5%, vidare ökning med 1 m medför alltså att ökningen i flöde behöver vara 25%. Detta påvisar att ökad havsnivå i och med klimatförändringar kommer leda till större risk för saltvatteninträngning, samtidigt leder ökad nederbörd till mer flöden och en minskad risk för saltvatten att trängas igenom.

Enligt (Göteborgs Stad, 2023) sker saltvatteninträngning i Göta älv främst när det är en hög havsvattennivå eller låga flöden i älven. Dessutom påvisar rapporten att antalet stängningar till följd av saltvatteninträngningar har ökat, vilket kan vara ett resultat av lägre flöden i älven som en följd av ett varmare klimat, höjda havsnivåer samt hur flödet i älven regleras.

2.3 Bakterier

Bakterier är encelliga organismer på mikroskopisk nivå och återfinns överallt i naturen och hos allt levande, vilket även inkluderar vattenmiljöer. Många bakterier har en betydelsefull roll i ekosystem, medan vissa orsakar sjukdomar och indikerar på föroreningar, dessa är viktiga att upptäcka för råvattenintaget för att kunna behandla vattnet korrekt (National Human Genome Research Institute, 2025).

Den vanligaste typen av bakterier som vanligtvis kontaminerar dricksvatten är Esche-

richia Coli, *E. coli* är av de bakterierna som ingår i gruppen koliforma bakterier och återfinns i varmblodiga djurs matspjälkningssystem samt i naturen. *E. coli* mäts och jämförs med den totala mängden koliforma bakterier då en lägre mängd *E. coli* är normalt då det återfinns i bland annat jord. Däremot en hög procent *E. coli* utav de koliforma bakterierna indikerar att de kommer ifrån avföring vilket är viktigt att förhindra från att komma med i dricksvattenupptaget. Vanligast när det kommer till avföringsföroreningar i göta älv är det orsakat av Bräddning. Bräddning är metoden att släppa ut dagvatten blandat med orenat avloppsvatten när ledningarna blir överbelastade efter kraftig nederbörd för att förebygga översvämningar i ledningarna, reningsverk eller pumpstationer (Tornevi m. fl., 2014).

Trots att bakterier såsom *E. coli* trivs bäst i varmare miljöer (World Health Organization, 2018), har det visats att de bryts ner eller dör snabbare vid högre vattentemperaturer (Bergstedt, 2025). Vid högre temperaturer ökas den mikrobiella aktiviteten och de biologiska processerna, inklusive nedbrytningen av organiskt material. Enzymatiska reaktioner påskyndas av värme, vilket i sin tur leder till en snabbare nedbrytning av det organiska materialet. Näringsämnen som bakterier är beroende av förbrukas därmed snabbare, vilket bidrar till att bakterierna bryts ner i högre takt (Gao m. fl., 2024).

2.4 Kostnader och gränsvärden

Då råvattenintaget vid Lärjeholm stängs, tillkommer det ekonomiska konsekvenser då reservvattentäkter måste användas istället för Göta Älv. Dessa merkostnader är kopplade till energiförbrukning för pumpning av råvatten från Göta älv till Delsjöarna. Enligt en tidigare undersökning var merkostnaden då man hade stängt råvattenintaget i Göta Älv tjugotusen kronor om dagen ((SGI), 2011). Denna studie var utförd runt 2011 och därav kan denna merkostnad ha ändrats med åren då elpriserna har ändrats.

Elprisernas utveckling från 2011 till 2025 visar analyser av spotprisutvecklingen att det underliggande marknadspriset på el har varit stabilt på samma nivå med vissa undantag runt 2022-2024 (Energiföretagen Sverige, 2024). Däremot har energiskatten successivt höjts från 35,38 öre/kWh 2011 till 54,875 öre/kWh 2025 (Energimarknadsbyrån, 2024), denna ökning motsvarar 19,5 öre/kWh under en femtonårsperiod där majoriteten av ökningen skedde efter 2017 (Energimarknadsbyrån, 2024).

2.4.1 Gränsvärden

I Sverige finns inget krav på råvattenkvaliteten (Modin, 2025), detta innebär att allt vatten kan användas till dricksvatten om beredningsprocessen är tillräckligt effektiv. Däremot har branschorganisationen Svenskt Vatten sammanställt riktvärden på råvatten som många vattenverk utgår från. Enligt en publikation av Svenskt Vatten (Svenskt Vatten, 2024) är riktvärdena för *E. coli* 100 *antal/100ml*. För konduktivitet finns det inget tydligt gränsvärde, däremot rekommenderas det att vara uppmärksamma på stora förändringar.

3

Metod

3.1 Datainsamling

I detta arbete användes data från Kretslopp och Vatten samt SMHI. Från Kretslopp och Vatten erhöles råvattenkvalitetsdata från Lärjeholm i Göta älv där parametrarna var bland annat metaller, bakterier samt konduktivitet. Från SMHI hämtades meteorologisk data i form av exempelvis lufttemperatur, nederbörd samt vattennivåer i havet vid Göteborg och Vänern. Selektionen av parametrarna baserades på tidigare undersökningar som har påvisat att saltvatteninträngning och bakteriehalter är avgörande faktorer vid stängningar av råvattenintaget i Lärjeholm (Göteborgs Stad, 2022). Därför valdes *E. coli*, koliforma bakterier, konduktivitet för saltvatteninträngning, lufttemperatur, nederbörd och vattennivån i havet och Vänern för vidare analys i detta arbete.

3.1.1 Råvattenkvalitetsdata från Kretslopp och vatten

Råvattenkvalitetsdata erhöles från Kretslopp och vatten och omfattade mätvärden för perioden 2001-2024 vid Lärjeholm i Göta älv. Datasetet hämtades i CSV-format (Comma-Separated Values) där varje kolumn representerade en specifik parameter exempelvis *E. coli*, koliforma bakterier och konduktivitet. Varje rad innehöll ett tidsstämplat mätvärde. Detta möjliggjorde omvandling till tidsserier vilket lade grunden för analys av trender och säsongsvariationer samt korrelationsanalys till stängningarna efter att datan hade behandlats vid behov.

3.1.2 Meteorologiska data från SMHI

Meteorologisk data hämtades från SMHI och omfattade parametrar som nederbörd, lufttemperatur samt havsnivåer och vattenstånd i Göteborg och Vänern. Data hämtades i CSV-format från väderstationer runt Göteborg-Alelyckan för lufttemperatur och nederbörd, Göteborg-Torslanda för havsnivå samt Vänersborg för vattenståndet i Vänern. Dessa stationer valdes ut på grund av deras geografiska närhet till Göta älv och deras tillgång till mätdata för hela perioden 2001-2024 vilket överensstämmer med råvattendatan från Lärjeholm. Denna data hanterades på motsvarande sätt som råvattendatan detta var för att möjliggöra analys av säsongsvariationer och korrelationer med både stängningarna av råvattenintaget och variationer i råvattenkvalitet.

3.1.3 Stängningar av råvattenintag

Förutom mätdata på vattenkvalitet och meteorologiska parametrar erhöles även information om när råvattenintaget vid Lärjeholm varit stängt. Denna data omfattade både datum och varaktighet för varje stängning. Informationen användes för att visualisera antalet stängningar och stängd tid, samt för att undersöka potentiella samband med saltvatteninträngning (konduktivitet) och bakteriehalterna.

3.1.4 Urval av parametrar

Det ursprungliga datasetet som erhöles från kretslopp och Vatten innehöll ett stort antal parametrar relaterade till råvattenkvalitet. I ett inledande skede genomfördes en övergripande screening av samtliga parametrar i syfte att identifiera de som var mest relevanta för studiens mål. Urvalet baserades dels på datatäckning över tid samt dels på förekomst av variationer som potentiellt kunde kopplas till stängningar av råvattenintaget. Parametrar som uppvisade låg mätfrekvens, saknade långsiktig trend eller vars värden låg konsekvent under etablerade gränsvärden exkluderades från vidare analys. Efter denna översiktliga granskning fokuserade studien på följande parametrar:

- **Meteorologiska faktorer:** Temperatur, nederbörd och vattenstånd i hav och Väneren.
- **Bakterienivåer:** Koliforma bakterier och *E.coli*.
- **Saltvatteninträngning:** Mätt indirekt genom konduktivitet som indikator.

Urvalet styrdes även av tidigare undersökningar som pekat på bakterienivåer och saltvatteninträngning som centrala orsaker till stängningar av råvattenintaget vid Lärjeholm som nämns i (Göteborgs Stad, 2022). Utifrån tillgänglig data samt deras möjliga koppling till klimatrelaterade förändringar gjordes urvalet av parametrar som direkt påverkar Göteborgs vattenproduktion.

3.2 Datahantering

3.2.1 Bearbetning av data

För att en korrekt hantering och vidare analys av data skulle vara möjlig genomfördes en första kvalitetsgranskning av den mottagna datan. Hanteringen utfördes primärt i Python version 3.11 med hjälp av olika bibliotek som `pandas` och `NumPy` för datamanipulationen samt `Matplotlib` och `Seaborn` för visualisering och explorativ analys.

Bearbetningen av datamängden inleddes med en granskning av saknade eller problematiska värden. Vid saknade värden gjordes ingen åtgärd utan de förblev tomma punkter. Extra hänsyn togs till mätpunkter som låg vid detektionsgränsen. Värden som rapporterades som mindre än gränsvärdet hanterades genom att ersättas med hälften av gränsvärdet, medan värden angivna som större än gränsvärdet ersattes med själva gränsvärdet.

För att underlätta analys av säsongsvariationer och samtidigt minska effekten av kortvariga extrema värden tillämpades glidande medelvärden med fönsterstorlekar 28 respektive 60 dagar. För konduktivitet så undveks användningen av glidande medelvärde samt för analyser under kortare perioder.

Koden som användes för att behandla datamängden och visualisera den finns i [GitHub](#), klicka här.

3.2.2 Ekonomisk uppskattning av stängningar

Utöver analysen av vattenkvalitet och meteorologiska faktorer genomfördes en förenklad ekonomisk uppskattning i syfte att belysa de potentiella kostnader som uppstår vid stängning av råvattenintaget i Lärjeholm. Enligt en tidigare studie uppskattas merkostnaden till cirka 20.000 kronor per dag då reservvattentäkterna i Delsjöarna används som alternativ 2011 ((SGI), 2011). Denna kostnad relaterar till elförbrukning för pumpning kopplade till reservalternativet.

För att estimera den ackumulerade merkostnaden användes uppgifter om antal stängda dagar per år under perioden 2019 till 2024. Kostnaden per dag utgick ifrån att merkostnaden på 20.000 kronor var densamma från 2011 till 2017 och därefter ökade det priset med 5,64% per år enligt höjningar på energiskatten under samma period enligt (Energimarknadsbyrån, 2024). Kostnaden per dag antogs initialt vara konstant fram till 2017, men justerades därefter årligen med en genomsnittlig ökningstakt på 5,64% per år. Denna procentsats baserades på förändringen i energiskatt mellan åren 2017 och 2025. Detta plottades i Matlab för att visualisera den ackumulerade merkostnaden.

3.3 Analysmetoder

3.3.1 Visuell analys

Efter att datamängden hade strukturerats till tidsserier och bearbetats genomfördes en visuell analys av de parametrar som valdes ut i urvalet. Syftet med den visuella analysen var att identifiera eventuella trender, säsongsvariationer och samband som kunde vara relevanta för att besvara studiens frågeställningar.

De parametrar som analyserades visuellt var som tidigare nämnts konduktivitet (indikator för saltvatteninträngning), koliforma bakterier, *E.coli* samt meteorologiska faktorer såsom lufttemperatur, nederbörd, havsnivå och vattenstånd i Väneren.

Visualiseringen genomfördes i form av tidsseriediagram där varje parameter representerades som en linje. I diagrammen markerades dessutom perioder då råvattenintaget varit stängt med blå fält, detta möjliggjorde en direkt visuell jämförelse mellan förändringar i parametrar och tidpunkter för stängningar. Det plottades även flera parametrar i samma diagram för att tydligare undersöka deras samband, exempelvis mellan konduktivitet och nederbörd.

För att underlätta och fastställa en tolkning av långsiktiga mönster och reducera påverkan från kortsiktiga fluktuationer användes glidande medelvärden från bearbetningen.

Resultatet från den visuella analysen låg till grund för den fortsatta korrelationsanalysen samt tolkning av samband och trender.

3.3.2 Litteraturstudie

Utmed den visuella analysen genomfördes också en riktad litteraturstudie vars syfte var att tolka samt stärka observationerna som gjordes i de framtagna tidsseriediagrammen. Fokuset var att identifiera etablerade samband mellan de utvalda vattenkvalitetsparametrarna och yttre faktorer. Litteraturstudien bidrog till att sätta analysresultaten i kontext genom att belysa tidigare indikationer.

3.3.3 Korrelationsanalys

För att undersöka riktningen och styrkan av sambandet mellan de olika parametrarna i datasetet genomfördes en korrelationsanalys. Innan korrelationsanalysen utfördes granskades parametrarnas fördelning med hjälp av histogram se bilaga D. Anledningen till detta steg var att ta reda på om datan var normalfördelad eller inte. Detta var avgörande för valet av korrelationsmått för analysen. Eftersom parametrarna inte uppvisade en strikt normalfördelning ansågs Spearman's rangkorrelation som ett mer lämpligt alternativ än Pearson's korrelation. Spearman's korrelation tillämpades i arbetet för att identifiera enformiga samband då denna metod är mindre känslig för avvikelser och icke-linjär fördelning i datan vilket upptäcktes i histogrammen.

3.3.4 Principal Component Analysis (PCA)

En Principal Component Analysis (PCA) användes för att undersöka om det fanns tydliga trender och korrelationer mellan olika metaller. PCA användes för att reducera dimensionerna i datamängden till de viktigaste komponenterna. Dessa Principal Components (PC) beskriver en stor andel av datamängden med färre parametrar att ta hänsyn till. Analysen användes genom att undersöka vilka parametrar som har störst påverkan på de olika PC, vilket gjordes genom att analysera PCA-loadings för huvudkomponenterna från analysen. Ett högre värde innebär en stark positiv påverkan, nära noll innebär ingen eller lite påverkan och ett negativt värde innebär negativ påverkan.

3.4 Expertkontakt och handledningar

Utöver handledarstöd har två externa ämnesexperter som jobbar eller tidigare har jobbat på Kretslopp och Vatten i Göteborg kontaktats. Dessa experter har använts för att vidare fördjupa förståelsen kring råvattenkvalitet och varför stängningar sker

3. Metod

i Lärjeholm. Utöver ny information har de även bidragit till en kvalitetssäkring av arbetet.

4

Resultat

Följande kapitel visar grafer som visualiserar väder, saltvatteninträngning och bakterier. I undersökningen användes 2022 som ett år att göra mer ingående analys av. Detta år valdes eftersom trenderna för *E.coli* och konduktivitet representerar de generella säsongsvariationerna för ett godtyckligt år. Data gällande stängningar av råvattenintaget kunde erhållas från slutet av 2018 till 2025. Därför genomfördes en analys av säsongsvariationer och långsiktiga trender mellan 2001 och 2025, säsongsvariationer kopplade till stängningar mellan 2018 och 2025 och slutligen en analys av orsaker till stängningar 2022.

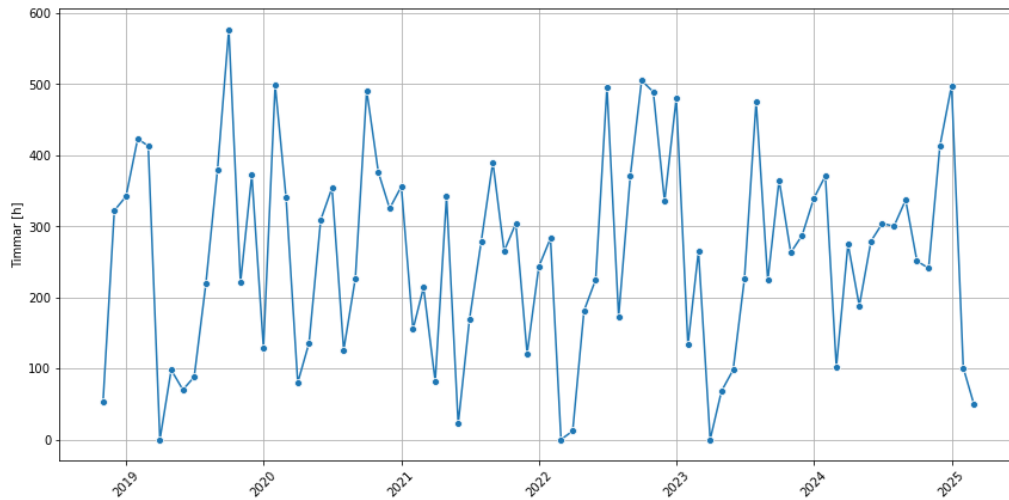
4.1 Stängningar

Råvattenintaget vid Lärjeholm har stängts i snitt omkring 80 gånger per år de senaste 6 åren, se tabell 4.1. Detta beror vanligtvis på saltvatteninträngning, höga bakteriehalter, kemiska utsläpp och hög turbiditet (Göteborgs Stad, 2023). Utöver detta stänger intaget i förebyggande syften, exempelvis kan mycket nederbörd leda till bräddning uppströms, avrinning från förorenade områden, avrinning från åkermark och höga flöden som kan leda till skred. Enligt (Göteborgs Stad, 2023) står saltvatteninträngning för 46 % av stängningarna och bakteriehalter för 42 %. Detta innebär att genom att undersöka saltvatteninträngning och bakteriehalter bör cirka 90 % av stängningarna kunna förklaras.

Tabell 4.1: Stängningar per år.

| År | Stängda dagar | Stängd tid [h] | Stängningar |
|------|---------------|----------------|-------------|
| 2019 | 188 | 3203 | 73 |
| 2020 | 199 | 3392 | 72 |
| 2021 | 172 | 2698 | 83 |
| 2022 | 198 | 3313 | 95 |
| 2023 | 173 | 2884 | 68 |
| 2024 | 204 | 3400 | 84 |

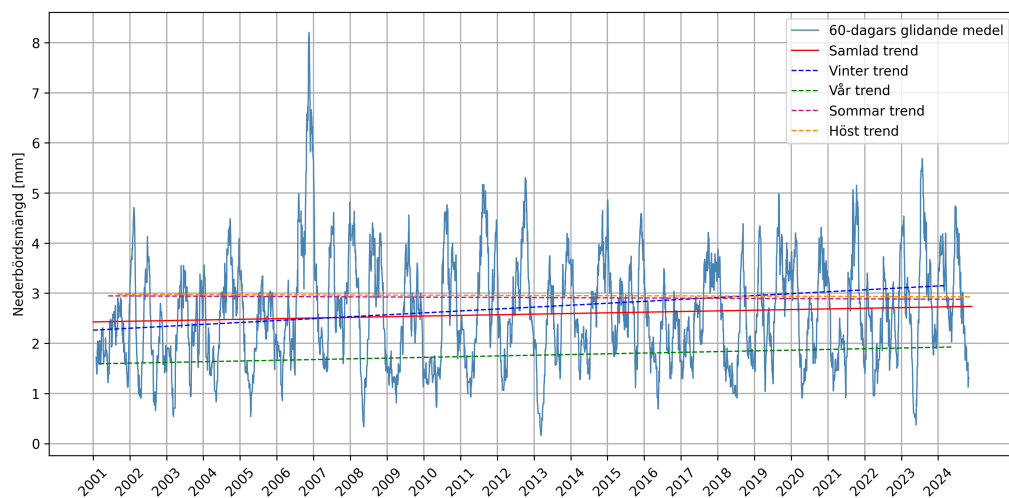
Antalet stängningstimmar per månad för råvattenintaget i Göta älv presenteras i figur 4.1. Figuren visar tydliga variationer i stängningarnas frekvens och längd över året. Stängningarna är koncentrerade till vissa månader med tydliga toppar. En svag ökning av intagets genomsnittliga stängningstimmar kan urskiljas under senare år. Exempelvis under 2024 där minsta antalet stängningstimmar per månad inte understiger 100 timmar.



Figur 4.1: Stängningstimmar per månad av råvattenintaget i Göta älv.

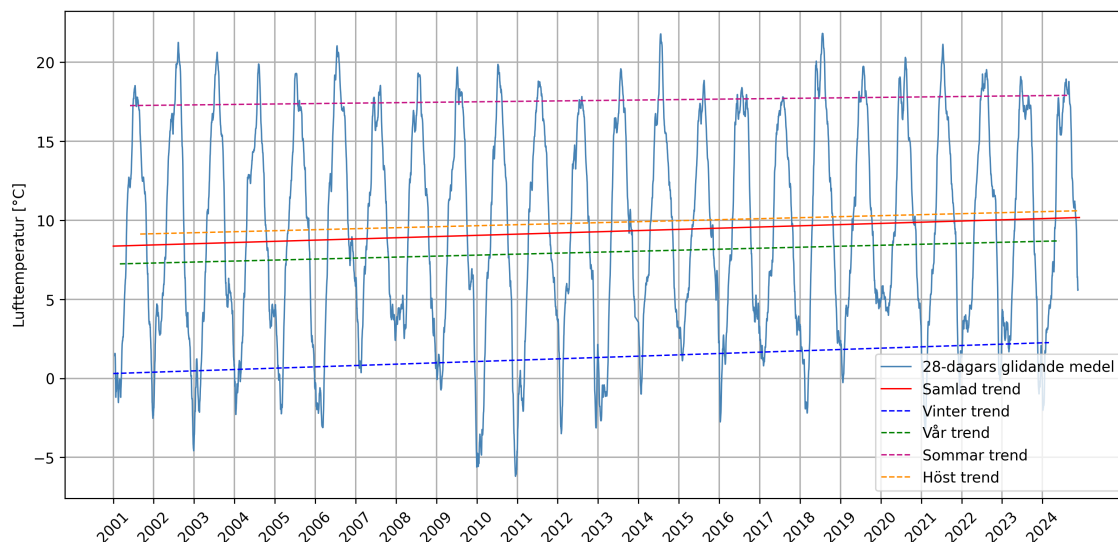
4.2 Väder

Nederbördsmängden i figur 4.2 visar säsongvariationer med återkommande toppar och dalar. För att undersöka långsiktiga förändringar har en linjär trendlinje lagts till i figuren. Denna visar en svag positiv trend med lutning $k = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/dag}$, vilket motsvarar en marginell ökning av nederbörden över den studerade tidsperioden. Trendlinjen indikerar att nederbörden i genomsnitt har ökat något över tiden.



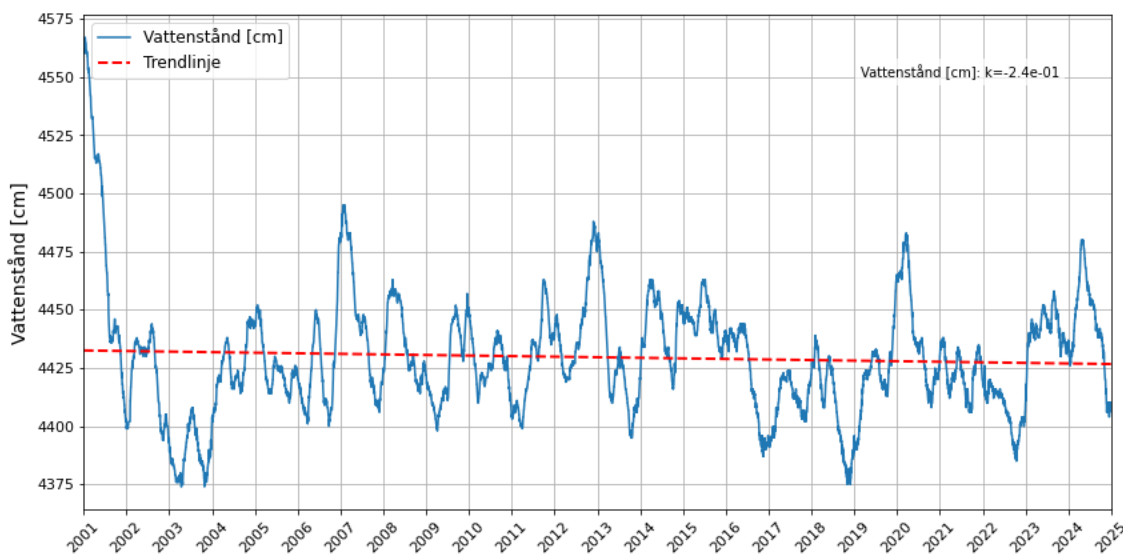
Figur 4.2: Nederbörd i Göteborg 2001 till 2024 med trendlinjer för de fyra årstiderna.

I figuren 4.3 representerar den blå linjen ett glidande medelvärde av den dagliga temperaturen, vilket gör det möjligt att identifiera återkommande årliga variationer mellan sommar och vinter. En trendlinje har lagts till i figuren för att analysera den långsiktiga förändringen. Trendlinjen uppvisar en tydlig positiv lutning, vilket indikerar att den genomsnittliga temperaturen har ökat under den undersökta perioden. Säsongs-trenderna tyder också på ökat lufttemperatur då de visar en positiv lutning, framför allt under vinter säsongen.



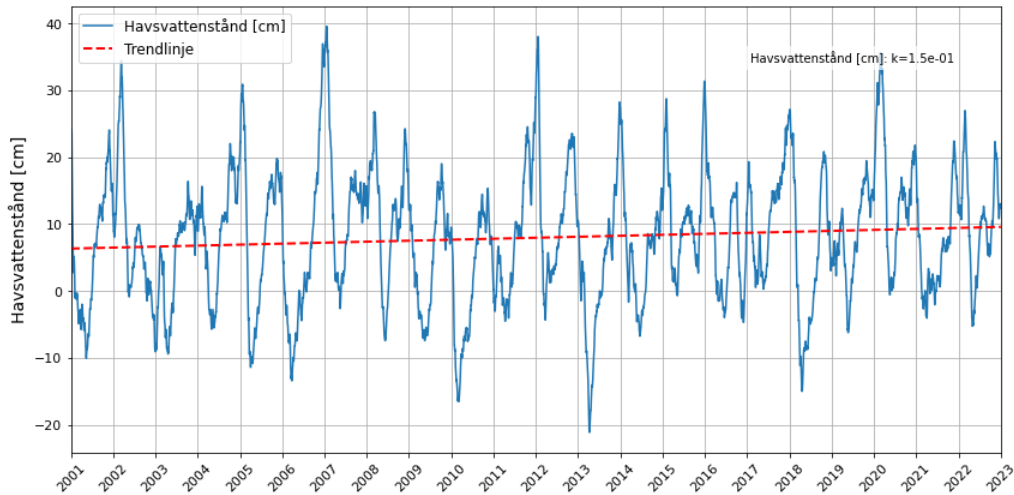
Figur 4.3: Lufttemperatur i Göteborg 2001 till 2024 med trendlinjer för de fyra årstiderna.

I figur 4.4 presenteras vattenståndet i Vänern under perioden 2001- 2025. En trendlinje med negativ lutning på $k = -0.24 \text{ cm}/\text{år}$ indikerar en svagt sjunkande trend över tiden.



Figur 4.4: Vattenstånd i Vänern mellan 2001 och 2025.

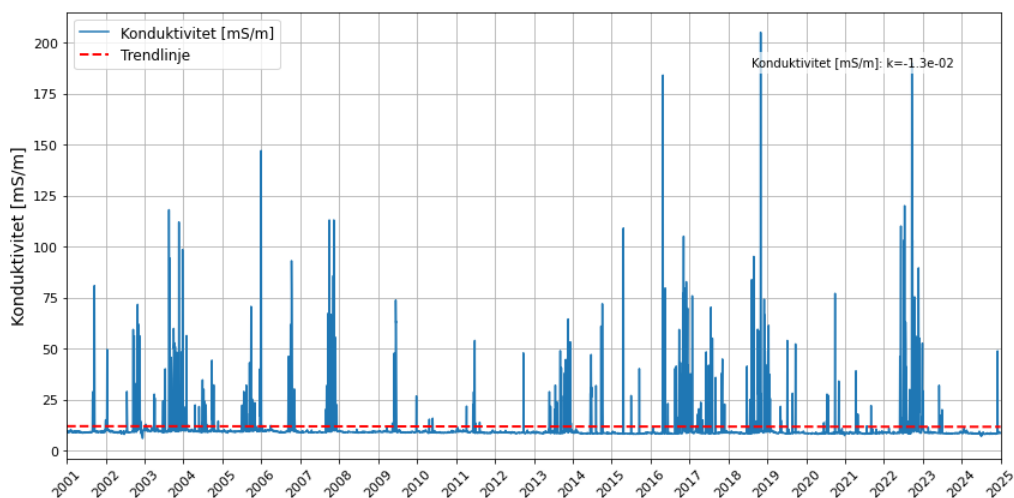
I figur 4.5 presenteras havsnivåerna vid Göteborg under perioden 2001 till 2025. Trendlinjen visar en positiv lutning på $k = 0.15 \text{ cm}/\text{år}$, vilket indikerar svagt stigning av havsnivån över tiden.



Figur 4.5: Havsnivåer vid Göteborg mellan 2001 och 2025 med ett glidande medelvärde på 60 dagar för att visa säsongsvariationer.

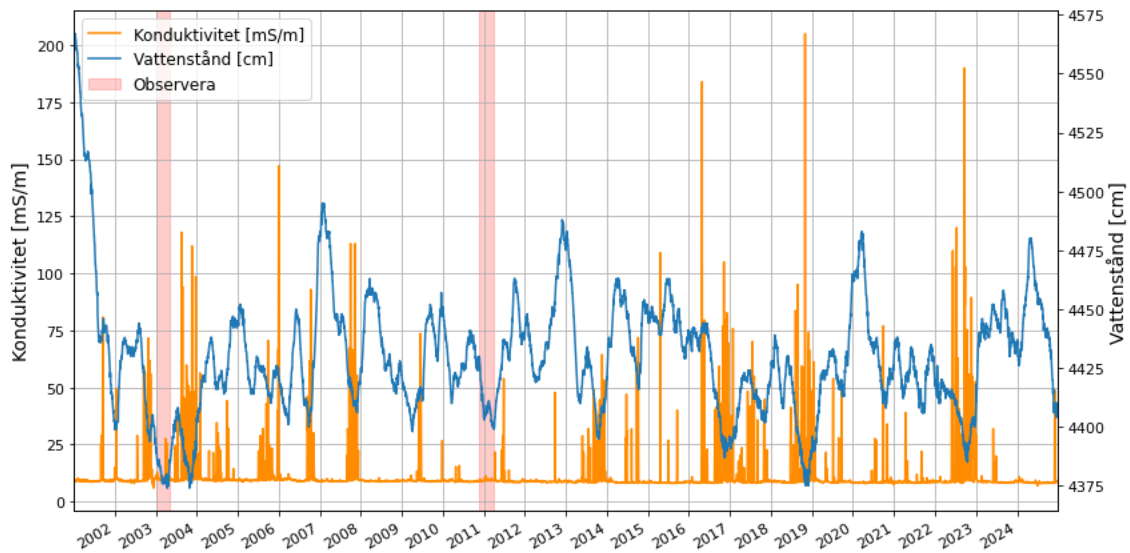
4.3 Saltvatteninträngning

För att mäta saltvatteninträngning har konduktivitet använts som enhet. Konduktiviteten har mätts i millisiemens per meter (mS/m). Figur 4.6 uppvisar en stor spridning, med återkommande toppar som ibland överstiger 200 mS/m. För att tydliggöra den långsiktiga utvecklingen har en linjär trendlinje inkluderats. Denna trendlinje uppvisar en mycket svag negativ lutning med $k = -0.013 \text{ mS}/(\text{m} \cdot \text{år})$, vilket antyder en marginell minskning av konduktiviteten över den studerade perioden. Trots det stora antalet extrema värden tyder trendlinjen på att den långsiktiga medelnivån har varit relativt stabil eller något avtagande.



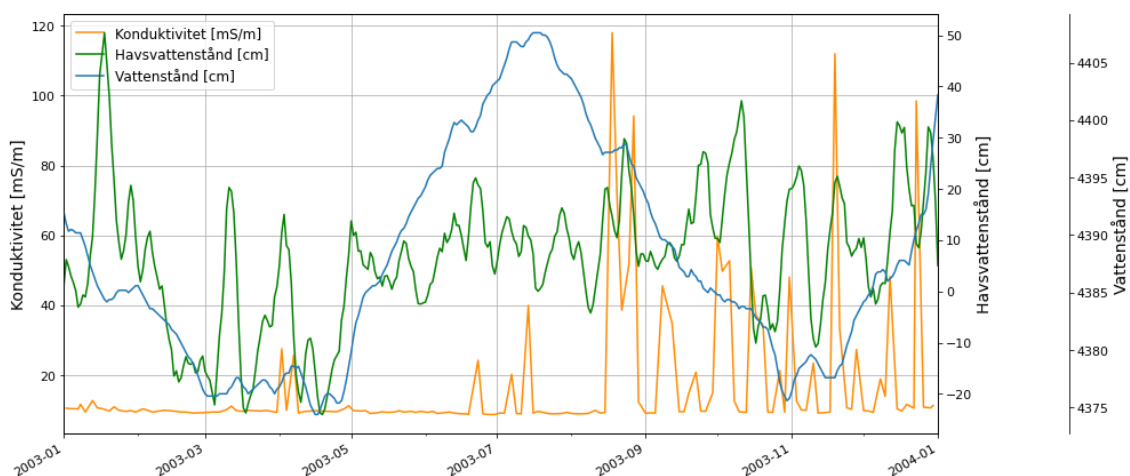
Figur 4.6: Konduktivitet vid Lärjeholm mellan 2001 och 2025.

I figur 4.7 presenteras sambandet mellan vattenståndet i Vänern och konduktiviteten under perioden 2001 till 2025. Från figuren kan det observeras att konduktiviteten tenderar att öka vid lägre vattenstånd. De röda markeringarna innebär perioder då ett lågt vattenstånd inte har inneburit höga halter av konduktivitet och förtydligas i figur 4.8.



Figur 4.7: Vattenstånd i Vänern och konduktivitet mellan 2001 och 2025. Röda markeringar innebär perioder där ett lågt vattenstånd inte leder till höga halter av konduktivitet.

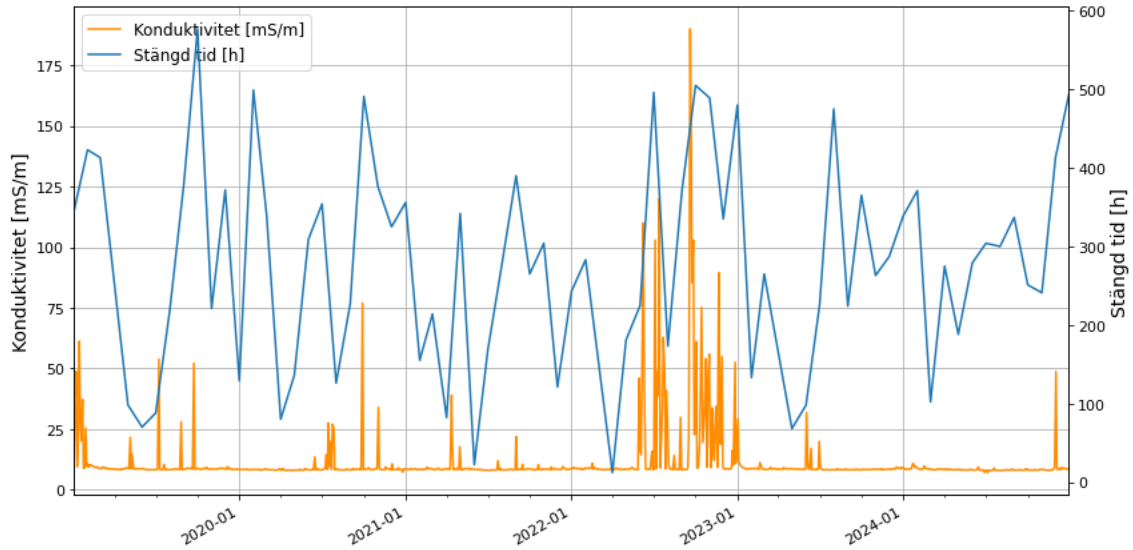
Figur 4.8 visar konduktivitet, havsvattenstånd och vattenstånd under året 2003. Konduktiviteten ökar drastiskt i augusti/september. Havsvattenståndet ökar och minskar relativt jämnt över hela året medan vattenståndet är som högst ungefär mellan maj och oktober.



Figur 4.8: Vattenstånd i Vänern, havsnivå och konduktivitet mellan 2003 till 2004. Med ett glidande medelvärde på 5 för havsvattenstånd och vattenstånd i Vänern.

4. Resultat

I figur 4.9 presenteras sambandet mellan konduktiviteten (mS/m) och intagets stängda tid (timmar) per månad under perioden 2019 till 2025. Från figuren kan det observeras att högre konduktivitet tenderar att sammanfalla med längre stängningstider för vattenintaget.

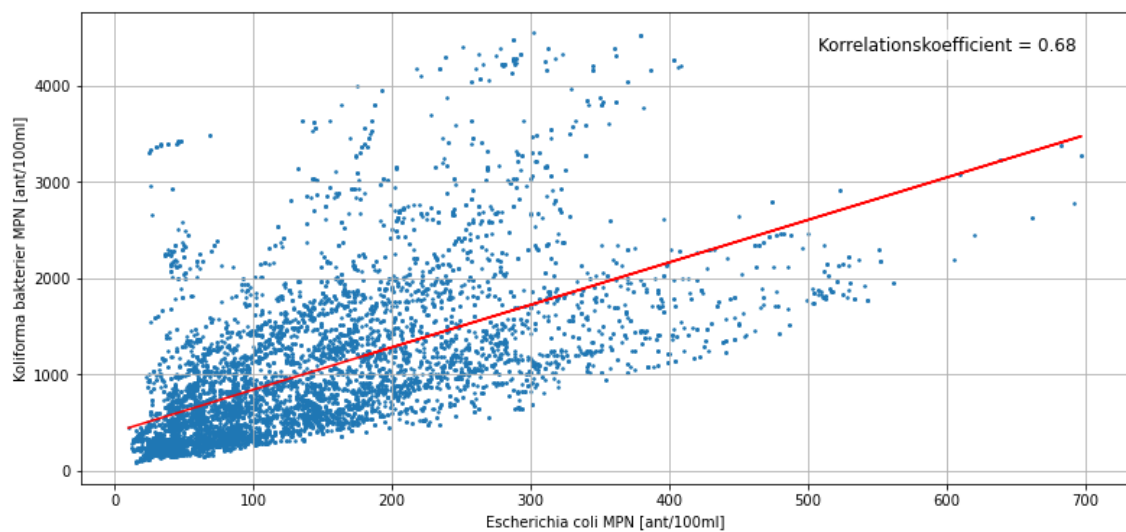


Figur 4.9: Konduktivitet vid Lärjeholm och intagets stängda tid per månad mellan 2019 och 2025

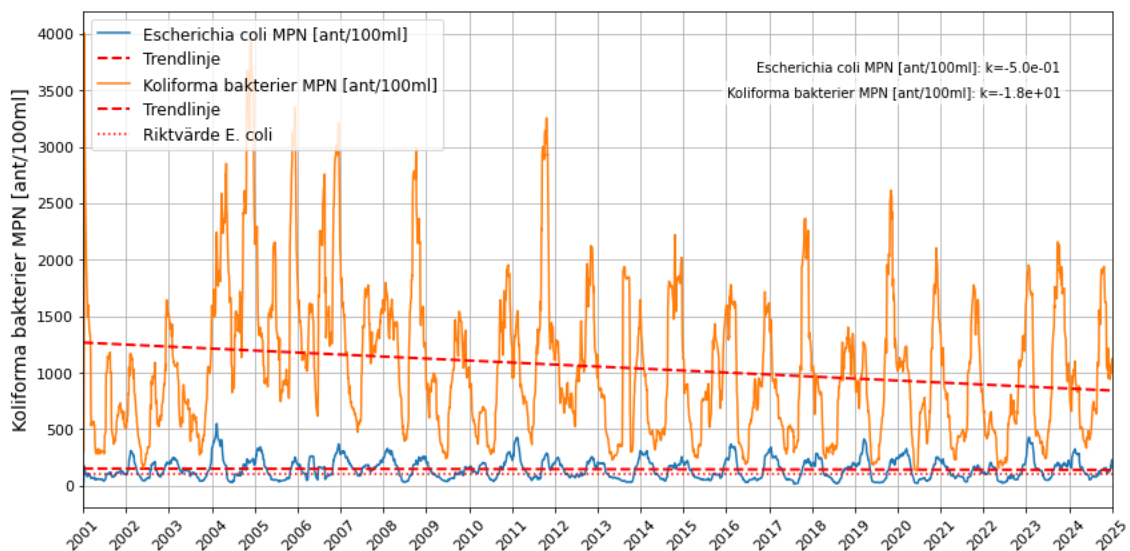
4.4 Bakterier

I figur 4.10 presenteras halterna av *E.coli* och koliforma bakterier i vattnet mellan 2001 och 2025. Korrelationsdiagrammet visar ett starkt positivt samband mellan *E.coli* och koliforma bakterier med korrelationskoefficient på 0,68. Det kan observeras från figuren att bakteriehalterna uppvisar tydliga säsongvariationer, med högre koncentrationer under vissa perioder av året.

(a)



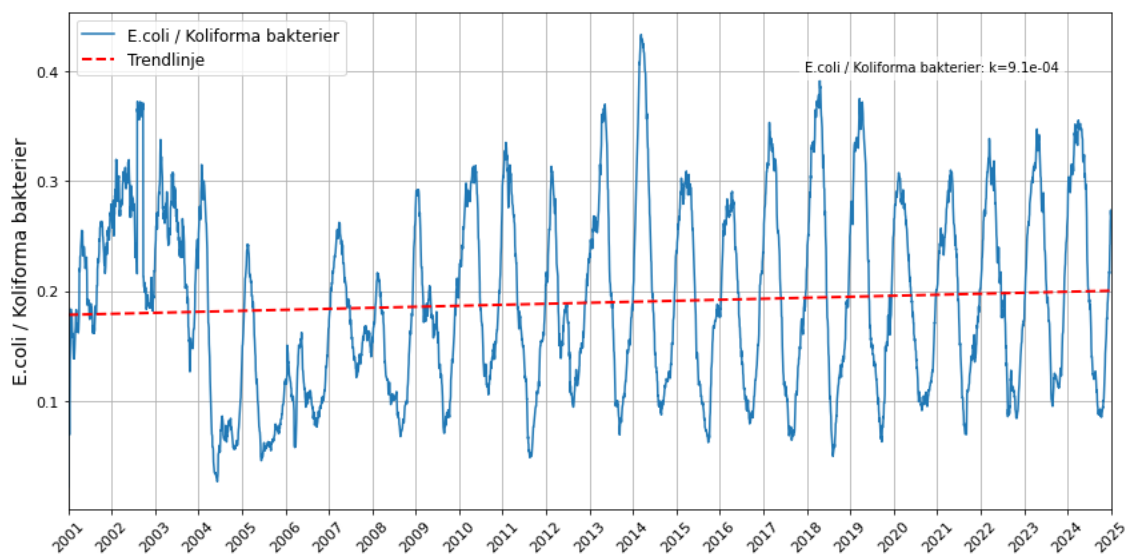
(b)



Figur 4.10: *E.coli* och koliforma bakterier vid Lärjeholm med ett glidande medelvärde på 28 dagar för att tydliggöra säsongvariationer mellan 2001 och 2025. Korrelationskoefficienten är 0.68. a) visar korrelation mellan *E.coli* och koliforma bakterier. b) visar *E.coli* och koliforma bakterier över tid.

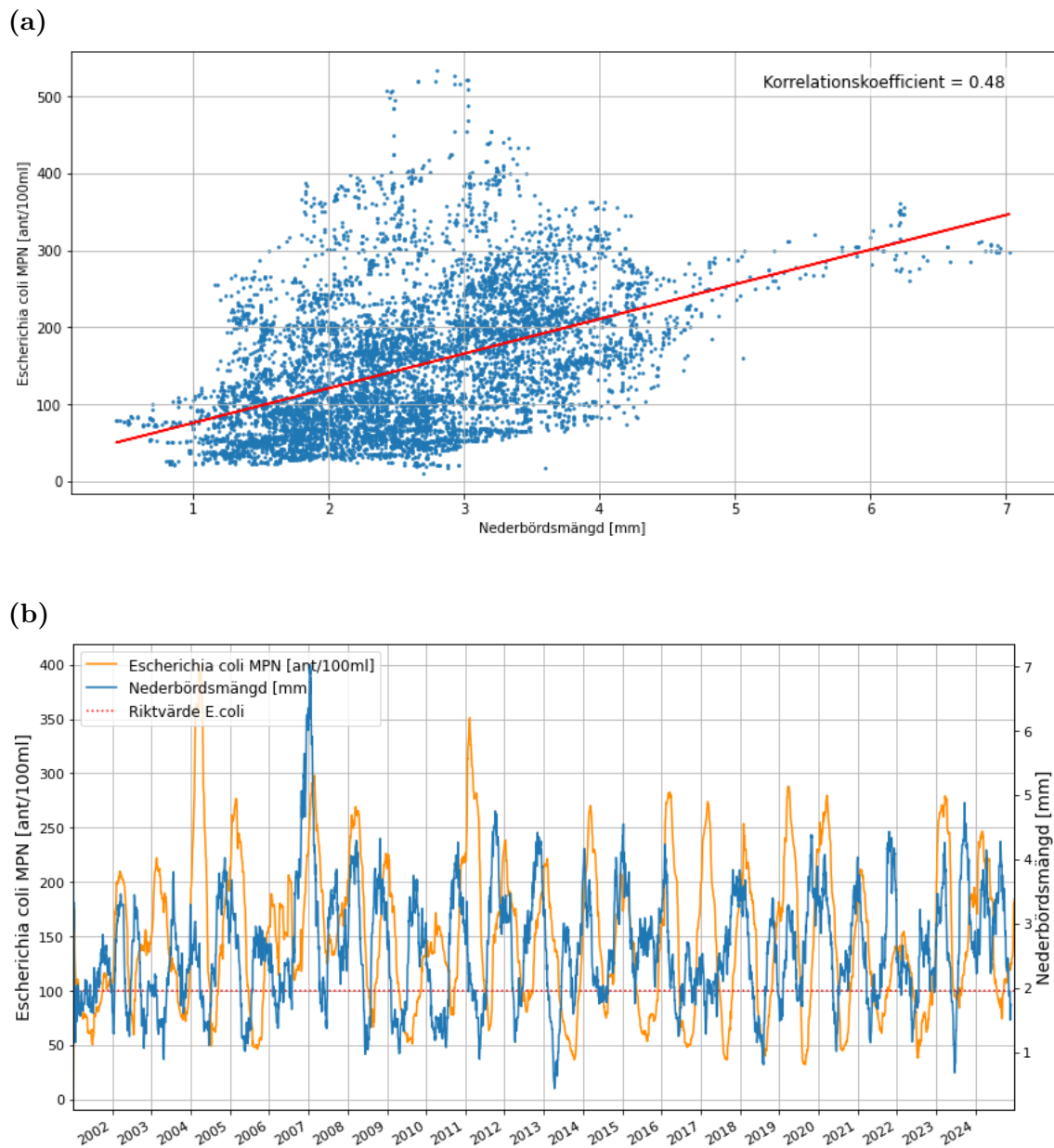
Ett samband mellan de två parametrarna kan observeras, *E.coli* (en undergrupp av koliforma bakterier) följer generellt samma trend som de totala koliforma bakterierna, men med något lägre halter. Trendlinjerna för både koliforma bakterier och *E.coli* visar en negativ lutning med lutningar $k = -0.5 \text{ ant}/(100\text{ml} * \text{år})$ respektive $k = -18 \text{ ant}/(100\text{ml} * \text{år})$.

Figur 4.11 visar andel *E.coli* bland koliforma bakterier över en tidsperiod från 2001 till 2025. En trendlinjen visar en svagt stigande trend över tiden med lutningen $k = 9.1 * 10^{-4} 1/\text{år}$. Det observeras från figuren att förhållandet mellan *E.coli* och koliforma bakterier varierar under året vilket tyder på säsongbetonade mönster som diskuteras i diskussionen.



Figur 4.11: *E.coli* per antal koliforma bakterier vid Lärjeholm med ett glidande medelvärde på 28 dagar för att tydliggöra säsongvariationer mellan 2001 och 2025.

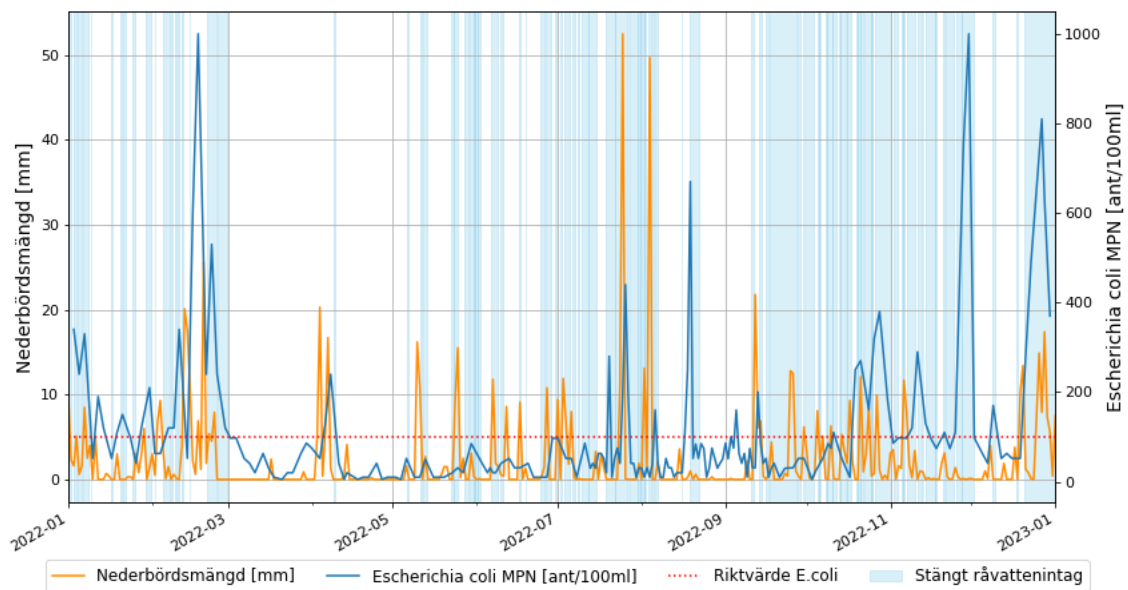
I figur 4.12 presenteras sambandet mellan nederbörds mängd och halter av *E.coli* i vattnet under perioden 2001- 2025. Figur 4.12a visar ett korrelationsdiagram med ett positivt samband mellan nederbörd och *E.coli* med korrelationskoefficient på 0,48, vilket indikerar måttlig men tydlig samvariation. Spridningsdiagrammets fördelning visar att extrem nederbörd nästan alltid associeras med höga *E.coli* halter däremot förekommer även högre *E.coli* halter vid mindre nederbörd. Figur 4.12b illustrerar tydliga säsongsmässiga variationer. Halterna av *E.coli* når en tydlig topp som delvis sammanfaller med perioder av högre nederbörd men med en märkbar fördröjning.



Figur 4.12: Säsongsvariationer för nederbörd i Göteborg och *E.coli* vid Lärjeholm mellan 2001 och 2025 med ett glidande medelvärde på 60 dagar för *E.coli* och 90 dagar för nederbörd. Korrelationskoefficienten är 0.48. a) visar korrelation mellan nederbörd och *E.coli*. b) visar nederbörd och *E.coli* över tid.

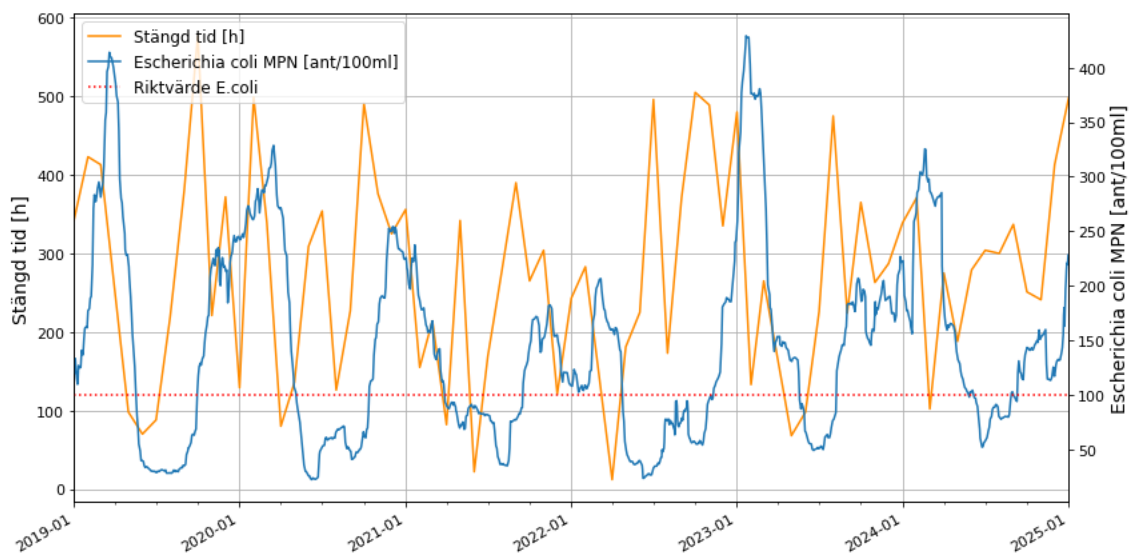
I figur 4.13 presenteras en detaljerad analys av sambandet mellan nederbördsmängden och halter av *E.coli* under perioden 2022 till 2023, med särskild markering av perioder då vattenintaget varit stängt. En tydlig koppling mellan nederbörd och ökning av *E.coli*-halter kan observeras, där kraftiga regnperioder vanligtvis följs av förhöjda *E.coli*-halter med tidsfördröjning på cirka 1 vecka. Det kan observeras att höga bakteriehalter till följd av ökad nederbörd nästan alltid följs av en stängning av råvattenintag.

4. Resultat



Figur 4.13: Nederbörd i Göteborg och *E.coli* vid Lärjeholm mellan 2022 och 2023. De blå områdena representerar när intaget är stängt.

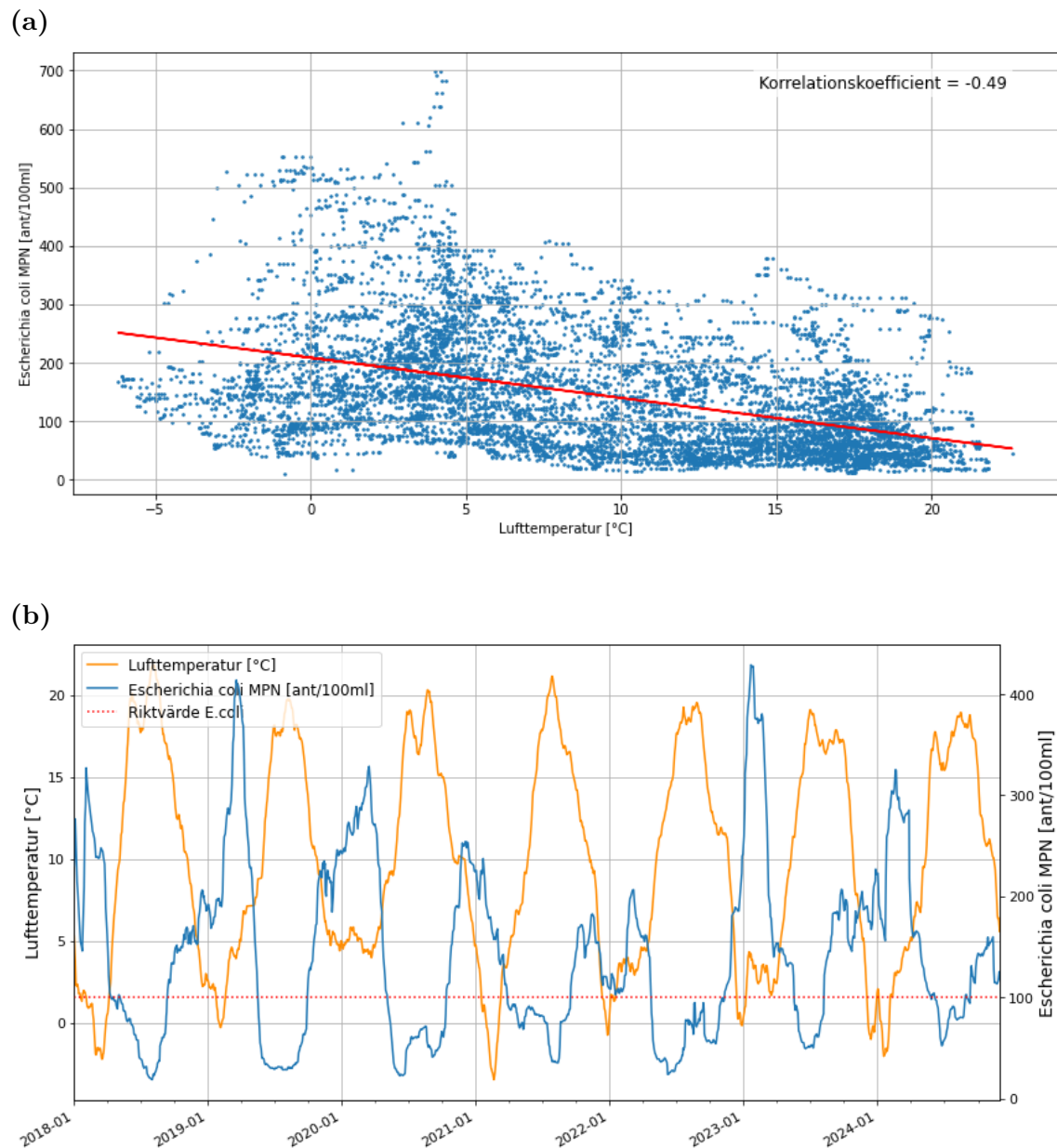
Figur 4.14 visar sambandet mellan *E.coli*-halter och vattenintagets stängningstimmar per månad under perioden 2018-2025. Ur figuren kan observeras att stängningar av intaget sammanfaller konsekvent med perioder av förhöjda *E.coli* halter. De längsta tiderna intaget är stängt inträffar under höstmånaderna.



Figur 4.14: *E.coli* vid Lärjeholm med ett glidande medelvärde på 28 dagar och stängd tid per månad mellan 2018 och 2025

Figur 4.15 visar sambandet mellan lufttemperatur och halter av *E.coli* under perioden 2018 till 2025. Ur figuren observeras en tydlig koppling mellan högre lufttemperatur och lägre halter av *E.coli* i vattnet. Korrelationsdiagrammet visar ett negativt

samband mellan lufttemperatur och *E.coli* halter. Kalla perioder visar större variation i bakteriemängd .



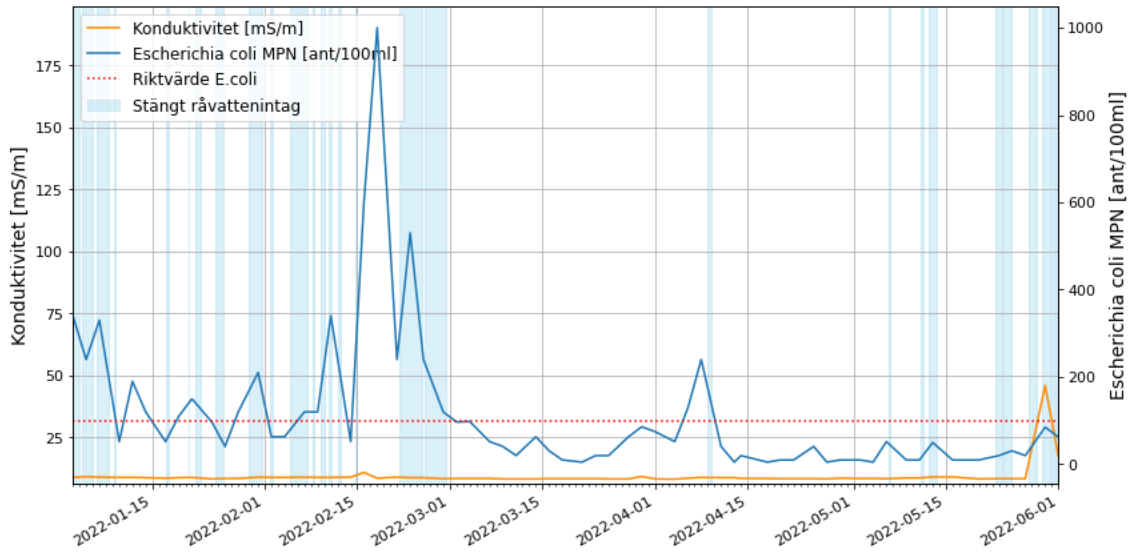
Figur 4.15: Lufttemperatur i Göteborg och *E.coli* vid Lärjeholm med ett glidande medelvärde på 28 dagar 2018 och 2025. Korrelationskoefficienten är -0.49 . a) visar korrelation mellan temperatur och *E.coli*. b) visar temperatur och *E.coli* över tid.

4.5 Säsongsbaserade stängningar

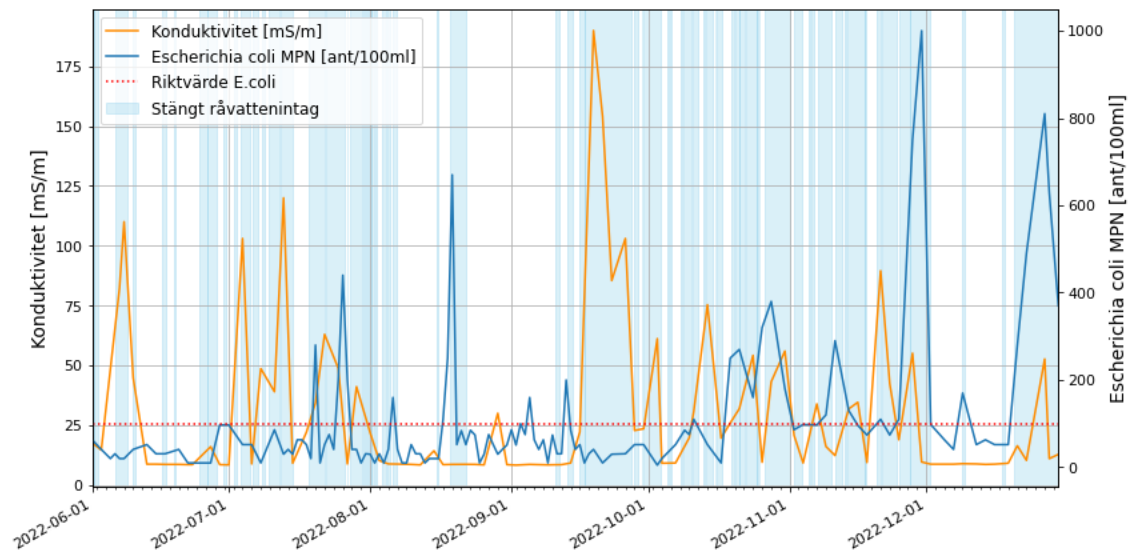
I Figur 4.16 visas konduktiviteten, *E.coli* och stängningar av intaget under året 2022. Det syns en tydlig korrelation mellan hög konduktivitet alternativt hög *E.coli* halt och sammanfallande stängning. Det kan även observeras att det förekommer

stängningar utan en ökning av konduktivitet eller bakteriehalt.

(a)



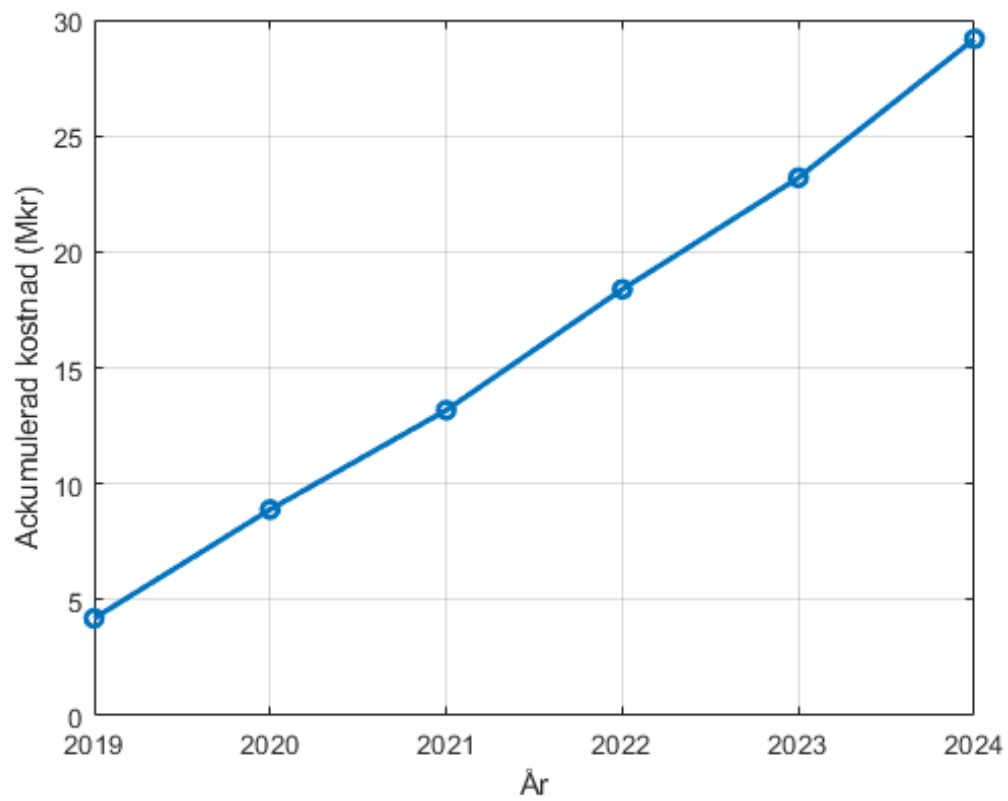
(b)



Figur 4.16: Graferna visar konduktivitet och *E.coli* vid Lärjeholm för 2022 och är uppdelad för att öka upplösningen och tydliggöra säsongsvariationer. a) visar konduktivitet och *E.coli* från januari till juni 2022. b) visar konduktivitet och *E.coli* från juni till december 2022. De blå områdena är när intaget är stängt

4.6 Ekonomiska konsekvenser av stängningar

I figur 4.17 presenteras de ackumulerade kostnaderna för stängningar av råvattenintaget i Göta älv under perioden 2019-2024. Figuren visar en tydlig ökningstrend i de totala kostnaderna över tid.



Figur 4.17: Figuren visar en estimerad ackumulerad kostnad för stängningar av råvattenintaget i Göta Älv från år 2019 till 2024.

5

Diskussion

5.1 Saltvatteninträngning

Figur 4.7 visar hur konduktiviteten korrelerar med vattenståndet i Vänern. Alla höga mätningar av konduktivitet kan korreleras med ett lågt vattenstånd i Vänern, däremot gäller inte motsatsen. Det finns tillfällen då låga flöden i Vänern inte leder till saltvatteninträngning vid Lärjeholm. Detta kan bero på att det är en låg havsnivå som minskar risken för saltvatteninträngning. Figur 4.5 visar säsongsvariationer på havsnivån utanför Göteborg. Grafen visar att vattennivån i havet är som lägst på tidig vår. Därmed kan nästan alla höga mätningar av konduktivitet förklaras med vattenståndet i Vänern i kombination med havsnivån vid Göteborg. Detta visas i figur 4.8 där ett lågt vattenstånd i Vänern inte leder till höga halter av konduktivitet, däremot kan det förklaras med lägre havsnivåer. Detta visar att saltvatteninträngning huvudsakligen kopplas till flödet i Göta älv.

5.1.1 Klimatpåverkan

Som tidigare nämnts påverkas saltvatteninträngningen av klimatförändringarna. På grund av de höjda havsvattennivåerna ökar trycket mot sötvattnet som kommer från Göta älv, därmed blir det större risk att en saltvattenkil tränger sig in längs botten av älven. Dessutom leder klimatförändringarna till mer torra, vilket minskar flödet i Göta älv och därmed ökar risken för saltvatteninträngning ytterligare.

Göteborg är väldigt beroende av dricksvattenförsörjningen från Göta älv. Om saltvatteninträngningen ökar kommer det leda till att dricksvattenkvaliteten försämras. Av den anledningen är klimatet en viktig faktor för att undvika stängningar av råvattenintaget. Fortsätter temperaturen öka ges det upphov till fortsatt ökning av havsnivåer och låga flöden i älven, vilket i sin tur leder till att dricksvattenkvaliteten försämras.

5.1.2 Säsongsvariationer

Som tidigare nämnts påverkar flödet i Göta älv risken för saltvatteninträngning. Detta visualiseras i figur 4.7 där det är en tydlig negativ korrelation mellan konduktivitet och vattenståndet vid Vänern. Ett lågt vattenstånd i sjön innebär ett lågt flöde i älven eftersom Vänern står för omkring 90 % av det totala flödet vid Göteborg. Därmed visar figur 4.7 att ett lågt vattenstånd i Vänern innebär stor risk för saltvatteninträngning vid Lärjeholm. September 2018 och 2022 var det låga vat-

tenstånd i Vänern och vid samma tidpunkter är det höga halter konduktivitet vid Lärjeholm. Bland de lägsta vattenstånden i Vänern från 2001 var efter sommaren 2018. Det året hade den varmaste uppmätta sommaren i Sverige, se figur 4.3, och det korrelerar med Vänerns vattenstånd och saltvatteninträngning i Göta älv.

I Figur 4.16 syns det att det är betydligt lägre konduktivitet under vintern i början av året och under våren. Vilket betyder att det finns en lägre risk att saltvatteninträngning har skett. Detta kan bero på att det har varit mer smältvatten under denna period vilket medför ett ökat flöde av vatten i älven. Därför beror de flesta stängningarna under våren inte på konduktivitet.

I samband med sommaren, som redovisas i Figur 4.16, var konduktiviteten hög. Detta kan förklaras av att det var en torrare sommar med mindre nederbörd, se figur C.4. När det är mindre nederbörd leder det till ett reducerat flöde i älven och kan därför resultera i ökad risk för inträngning av saltvatten i älven. Det kan därför ha resulterat i betydligt fler stängningar än under våren.

Under hösten och vintern i figur 4.16 syns det att konduktiviteten är hög. Däremot är nederbörden också relativt hög under denna period, vilket redovisas i figur C.4. Mycket nederbörd borde leda till ett högt flöde i älven och därmed låg konduktivitet. Men det kan bero på att det finns en fördröjning innan regnet på hösten fyller upp det som har avdunstat under sommaren. En ytterligare möjlighet nämndes i avsnitt 2.2.1, vilket är att vind kan vara en faktor som avgör hur långt in i älven en saltvattenkilen kan komma. Vindhastighet skulle därför kunna motivera att det var ett lägre flöde i älven under denna period eftersom det vanligtvis är mer vind under höst och vinter. Havsvindar kan därför driva in saltvatten i älven, vilket ökar risken för saltvatteninträngning. Förhöjda havsnivåer i och med klimatförändringar kan även vara en stor faktor till att mer saltvatten har kunnat tränga in sig under denna period. Intaget har stängts ofta under den här tiden och höga nivåer av konduktivitet är en faktor till detta. Risken för saltvatteninträngning varierar därmed med årstiderna, vilket innebär att behovet av att stänga vattenintaget förändras över året beroende på hur hög risken är.

Det är däremot svårt att fastställa om konduktivitet är den främsta orsaken till att intaget stängs. I de flesta fall där konduktiviteten är hög förekommer även förhöjda halter av *E.coli*. Enligt figur 4.16 framgår det att intaget ibland inte stängs vid enbart hög konduktivitet, medan det däremot ofta stängs när både konduktiviteten och *E.coli*-halterna är höga. Detta tyder på att beslutet att stänga intaget sannolikt i första hand beror på förekomsten av *E.coli*, eftersom det finns tillfällen då konduktiviteten är hög utan att intaget stängs.

5.2 *E.coli* och Koliforma bakterier

Koliforma bakterier och *E.coli* mäts främst för att undersöka om det finns risk för fekal förorening i vattnet. En hög andel *E.coli* av de totala koliforma bakterierna indikerar färsk avföring i vattnet (Åsa Rosengren, 2022). En hög mängd koliforma bakterier indikerar inte nödvändigtvis fekal påverkan, utan det är mängden *E.coli*

i jämförelse med koliforma bakterier som indikerar var bakterierna kommer ifrån. En låg andel *E.coli* av de koliforma bakterierna tyder därmed på att bakterierna sannolikt kommer från andra källor, exempelvis jord eller växtmaterial.

5.2.1 Säsongsvariationer och klimatförändringar

Koliforma bakterier har en tydlig säsongsvariation där mängden går upp i september och når sitt högsta värde runt oktober, november för att nå det lägsta värdet under vår och sommar, se figur 4.10. Ökningen under hösten kan förklaras av ökad nederbörd under sensommar och höst som leder till ökad mängd jord som hamnar i vattnet. Ökad nederbörd medför dessutom att det blir mer fekal kontaminering från närliggande boskap då regnet drar med det till vattendrag. Minskningen under vintern kan förklaras med att marken fryser vilket gör att mindre jord och humusämnen kan dras med i vattnet.

När lufttemperaturen ökar leder detta även till en ökning av vattentemperaturen och enligt figur 4.2 observeras det att medeltemperaturen har stigit med cirka två grader under de senaste åren. Samtidigt har en minskning av uppmätta halter *E.coli* noterats under sommarsäsongen baserat på figur 4.15. Detta kan ge intrycket att högre vattentemperaturer leder till lägre bakterienivåer, men denna tolkning bör göras med försiktighet. Bakterier dör snabbare i varmt än kallt vatten på grund av ökad metabolisk aktivitet i varmt vatten (Bergstedt, 2025), vilket kan leda till att mängden bakterier vid provtagningstillfället framstår som lägre än den faktiskt har varit. Eftersom provtagningar ofta genomförs med viss fördröjning, finns en risk att bakterier hinner brytas ned innan de kan påvisas i analyserna. Detta innebär att tidigare förekommande föroreningar kan förbli oupptäckta. Den förhöjda temperaturen kan därmed påverka mätresultaten negativt genom att maskera tidigare höga bakteriehalter och därmed bidra till en underskattning av den mikrobiologiska föroreningsnivån. Troligen är det inte endast detta som ger de låga mängderna bakterier på sommaren, men det förstärker den redan negativa trenden under varma förhållanden.

Koliforma bakterier har haft en minskning från 2017 till 2024 enligt figur 4.10. Detta kan bero på bättre metoder att förhindra att restämnen från boskap och åkermark implementerats, till exempel att leda bort regnvattnen ifrån markerna ifrån närliggande vattendrag. Det kan också bero på att fler jordbruk går över till att använda konstgödsel eller att jordbruket i Sverige minskar. Däremot visar samma figur att halten *E.coli* nästan är konstant, samtidigt som koliforma bakterier minskat betydligt mer än *E.coli*. Därmed resulterar det i att andelen *E.coli* bland det totala antalet koliforma bakterier ökar. Detta kan även observeras i figur 4.11 där trendlinjen för antal *E.coli* per koliforma bakterier tydligt gått upp. Däremot blir det svårt att förklara ökningen av *E.coli* procentuellt på kontaminering från jordbruk och mark. Om mängden kontamineringar från jordbruk minskar borde *E.coli* minskat konstant med mängden koliforma bakterier, då detta ej var fallet tyder det på att den ökade mängden *E.coli* kommer från en annan källa. Ökningen hade kunnat bero på en annan källa av utsläpp innehållande koliforma bakterier, till exempel avloppsvatten

från bräddning med en högre procentuell mängd av *E.coli* jämfört med koliforma bakterier.

5.2.2 Bräddning

Bräddning av avloppsvatten kan förklara trenden att andelen *E.coli* bland koliforma bakterier ökar. Vid kraftig nederbörd ökar mängden vatten i Göta älv vilket sänker koncentrationen av koliforma bakterier men samtidigt kan bräddning innebära att det släpps ut avloppsvatten med en hög koncentration bakterier, speciellt *E.coli*. Detta kan förklara trenden att koliforma bakterier går ner samtidigt som mängden *E.coli* ökar. Figur 4.12 visar ett tydligt samband mellan ökad nederbörd och ökad mängd *E.coli*, vilket pekar på att bräddning är en trolig orsak till de förhöjda mängderna *E.coli*. Mätdata av *E.coli* visar en korrelation mellan ökad mängd *E.coli* och säsongerna med mycket nederbörd. Generellt är de högsta värdena på hösten, med några tillfälliga toppar på våren, och är som lägst under sommaren. Trots att det förekommer kraftig nederbörd på sommaren leder detta snarare till tillfälliga toppar än en generell trend. Under sommaren är det dessutom rimligt att undvika bräddning till största möjliga grad då man ej vill riskera föroreningar vid populära badställen. Figur 4.11 bekräftar denna säsongsvariation då man kan se att mängden *E.coli* per antal koliforma bakterier är som högst under vinter och lägre under sommaren, vilket indikerar att *E.coli* på hösten och vintern mer troligen härstammar från fekala föroreningar som bräddning.

I figur 4.14 kan det observeras ett förhållande mellan högre halter *E.coli* och antal stängningstimmar. När bakterierna är höga är det ett högt antal stängningstimmar, vilket kan indikera att någon typ av förorening har förekommit, till exempel bräddning. Sambandet mellan stängningstimmar och *E.coli* tenderar att vara svagt förskjutet, vilket tyder på att intaget stängs innan mätningarna på bakterierna har gjorts. Detta beror på att intaget stängs i förebyggande syfte när det är risk för mikrobiella föroreningar, till exempel inför kraftig nederbörd då det är risk för bräddning. Enligt (Holm, 2025) har Kretslopp och vatten kontakt med kommuner uppströms i Göta älv och kan bli förvarnade när bräddning eller andra utsläpp har skett. Detta innebär att intaget kan stängas innan *E.coli* har påvisats i vattenproven. Notera i figur 4.14 att det finns tidpunkter med högt antal stängningstimmar utan att bakteriemängden är förhöjd; detta indikerar en annan anledning till stängningen, till exempel saltvatteninträngning.

5.2.3 Konduktivitet

Konduktivitet skulle kunna påverka mätningarna för *E.coli* genom att salthalt i vattnet kan påverka bakteriers förmåga att bilda så kallade biofilmer. Biofilmer är ansamlade bakterier som formar strukturer, ofta skikt i vattenmassor istället för att lösas med vattnet. Ökad salthalt ökar poläriteten hos bakterierna vilket gör det svårare att bilda biofilmer som är opolära och bakterierna blir istället utspridda i

vattnet (Malvankar m. fl., 2012). Vid provtagning är detta av intresse då det vid hög konduktivitet med bakterier utspridda i vattnet ger en mer exakt mätning än vid lägre konduktivitet där risken är att provet antingen innehåller biofilmer med väldigt höga koncentrationer av bakterier eller att man tar ett prov utan biofilmer med lägre mängder bakterier än vad det faktiskt är. På så sätt kan provtagningar under högre konduktivitet möjligen ge mer exakta resultat än vid lägre, dock hade även saltets påverkan på andra aspekter av bakterier behövts studeras för att dra relevanta slutsatser vilket hade varit intressant för framtida studier.

5.3 Metaller

Det fanns även data på metaller, men de ansågs ej vara relevanta att använda eftersom metallerna inte översteg riktvärden satta för dricksvatten. Dessutom var värdena relativt linjära de senaste åren. Därför bedömdes det inte vara intressant att analysera på grund av minimal förändring.

5.3.1 PCA

Bilaga B visar resultatet av en PCA på metaller i råvattnet i Göta älv. Figur B.1 visar den mest betydande komponenten i datamängden som beskriver 53 %. Figuren visar en säsongsvariation med en avtagande trend. Tabell A.1 visar en relativt liten variation på hur mycket de olika parametrarna påverkar komponenten, vilket kan innebära att PC1 beskriver säsongsvariationer i datamängden. Figur B.2 har en avtagande trend med avvikande säsongsvariationer. I jämförelse med PC1 visar tabell A.1 att parametrarna i PC2 har en större variation i hur mycket de påverkar komponenten. De parametrar med mest påverkan är bor, kalcium, kalium, magnesium och natrium. Tillsammans beskriver PC1 och PC2 70 % av datamängden och båda har en avtagande trend. Samtidigt är trenden för de flesta parametrar individuellt avtagande och under riktvärdet för råvatten. Därmed anses dessa parametrar inte vara mest relevanta för att undersöka stängningar av intaget har ökat.

5.4 Stängningar och kostnader

Som tidigare nämnts har antalet stängningstimmar från 2012 ökat med nästan 50 %. Enligt (Bergstedt, 2025) är det snarare striktare krav och mer redundans i dricksvattensystemet än ökade föroreningar som har påverkat ökningen i stängningstimmar. Detta arbete visar att de flesta föroreningarna har minskat de senaste 20 åren och att många är under riktvärdet för råvatten. Däremot har extremväder som torra och nederbörd ökat, se figurer 4.3 och 4.2, samtidigt som havsnivåerna har höjts, se figur 4.5. Detta kan innebära att utöver striktare krav och redundans i systemet har klimatförändringar en stor påverkan på ökningen i antal stängda timmar. Därmed kan man anta att antalet timmar intaget är stängt kommer att fortsätta öka i framtiden som en följd av mer torra, kraftigare nederbörd och högre havsnivåer.

5.4.1 Nödvändiga stängningar

Under 2022 skedde det 95 stängningar av intaget och totalt var det stängt i 198 dagar, vilket motsvarar 3313 timmar, se tabell 4.1. Baserat på gränsvärdena för *E.coli* och konduktivitet uppskattas det att av 198 stängda dagar var 30 dagar inte nödvändiga enligt tillgänglig data. I avsnitt 4.1 diskuterades det att cirka 90 % av stängningarna bör kunna förklaras av saltvatteninträngning och bakteriehalter. Under 2022 innebär det att 85 % kan förklaras med konduktivitet och *E.coli* och 15 % av de stängda dagarna är, enligt tillgänglig data, omotiverade.

Däremot finns det många potentiella felkällor. Vid flertalet av de omotiverade stängningarna var det en förhöjd nivå *E.coli* eller konduktivitet, däremot var den inte tillräckligt hög för att motivera en stängning, men enligt (Holm, 2025) sker i många fall stängningar i förebyggande syfte. Detta innebär att det misstänktes att nivåerna skulle fortsätta stiga trots att de i verkligheten inte gjorde det. Dessutom kan det finnas andra föroreningar som får intaget att stänga, som olyckor eller plötsliga oväntade utsläpp i älven som inte kan mätas med *E.coli* eller konduktivitet som får intaget att stänga.

5.4.2 Säsongsbaserade stängningar

Som tidigare nämnts finns det en säsongsvariation *E.coli* och konduktivitet. Detta medför en säsongsvariation i stängningarna och vad som orsakar dem. Under vårsommar är stängningarna generellt som lägst. Detta beror på att *E.coli* minskar under den perioden, se figur 4.10, samtidigt som det är ett högt vattenstånd i Väneren vilket minskar risken för saltvatteninträngning, se figur 4.7. Därmed visar figur 4.16a att det är få stängningar mellan mars och juni. Risken för stängningar ökar igen under sommar och höst eftersom vattenståndet i Väneren minskar och kraftigare regn ökar risken för förhöjda halter *E.coli*. Från september till mars är det dessutom lägre temperaturer som leder till en förhöjd halt *E.coli*, se figur 4.15. Utöver detta har havsnivåerna en säsongsvariation, däremot verkar saltvatteninträngning påverkas mer av flödet i Göta älv än av havsnivåerna. Detta innebär att havsnivåerna påverkar saltvatteninträngning mer beroende på situation snarare än att bero på en säsongsvariation. Exempelvis skulle ett tillfälligt lågt flöde i Göta älv i april kunna leda till saltvatteninträngning om havsnivån är hög under samma period.

5.4.3 Ekonomiska konsekvenser av stängningar

De ekonomiska konsekvenserna av stängningarna av råvattenintaget vid Lärjeholm utgör en central del för helhetsbedömningen av Göteborgs framtida vattenförsörjning. Enligt en äldre studie uppskattades merkostnaden vid sådana stängningar till ungefär 20 000 kronor per dag då reservvattentäkterna i Delsjöarna används som komplement((SGI), 2011).

Genom att estimerar en årlig prisökning för el på 5.64% har merkostnaden justerats för varje år. Detta resulterade i en samlad kostnad som uppsteg till närmare 30 miljoner kronor mellan åren 2019 och 2024, se figur 4.17. Dessa beräkningar

var baserade på en förenklad modell som inte garanterar den exakta summan, så tydliggör den fortfarande vad den ekonomiska inverkan blir av långa och frekventa stängningar. Dessa förluster i kapital hade kunnat användas till förbättringar och förebyggande åtgärder för att minimera antalet stängningar.

5.5 Slutsats

Detta arbete har syftat till att utvärdera hur saltvatteninträngning och bakteriehalter bidrar till att råvattenintaget i Lärjeholm stängs. Arbetet har fokuserat på säsongsvariationer och långsiktiga trender mellan *E.coli*, konduktivitet och väder. Genom att analysera data på väder, vattenstånd i Väneren och havsnivåer med data på råvattenkvalitet mellan åren 2001 till 2025 har arbetet påvisat att risken för saltvatteninträngning och koncentrationen *E.coli* har ökat över tid. Risken för saltvatteninträngning har ökat som en följd av torra och lägre flöden i Göta älv tillsammans med höjda havsnivåer. Samtidigt visar resultatet att andelen *E.coli* bland koliforma bakterier har ökat. Dessutom har *E.coli* en korrelation med kraftig nederbörd, vilket ökar med klimatförändringar. Av den anledningen har man valt att stänga intaget fler gånger än man tidigare gjort, även om det inte behövs. Detta för att säkerställa en god dricksvattenkvalitet.

Resultatet visar att under mars till juni är det generellt låg risk för att intaget behöver stängas eftersom det är låg risk för saltvatteninträngning och låga halter *E.coli*. Risken för saltvatteninträngning ökar under sommaren och hösten och halter *E.coli* ökar från sensommaren till mars.

Enligt (Bergstedt, 2025) är två möjliga anledningar till att råvattenintaget stänger att det är mer redundans i systemet och att det är högre krav på dricksvattenkvalitet. Detta innebär att intaget stänger mer frekvent men det behöver inte betyda att det är mer föroreningar. Detta arbete visar att 85% av stängningarna kan förklaras med höga halter konduktivitet och *E.coli*, och övriga stängningar kan bero på andra utsläpp eller stängningar i förebyggande syften. Detta innebär att en stor majoritet av stängningarna var motiverade, dessutom visar det att Kretslopp och vatten hellre stänger intaget än att släppa in dåligt vatten av misstag. Arbetet har dessutom påvisat en korrelation mellan stängningar och extremväder. Som en följd av klimatförändringar väntas mer extremväder som torra och kraftig nederbörd, dessutom högre havsnivåer. Resultatet från detta arbete är att temperatur, nederbörd och havsnivåer har ökat de senaste 20 åren. Detta är faktorer som bidrar till saltvatteninträngning och förhöjda bakteriehalter i Göta älv. Därmed kommer troligtvis stängningarna av råvattenintaget fortsätta att öka i takt med klimatförändring och extremväder.

Utöver de vattenkvalitativa faktorerna har studien också belyst att stängningarna vid Lärjeholm medför betydande ekonomiska konsekvenser i längden. Resultatet av denna ekonomiska översikt visade att merkostnaden ökade för varje år mellan 2019 och 2024 och den ackumulerade kostnaden uppsteg till nästan 30 miljoner kronor. Detta visar att stängningar inte enbart påverkar vattenförsörjningen fysiskt, det medför också en tung ekonomisk belastning för kommunen som hade kunnat

användas till förbättringar.

Avslutningsvis visar denna studie att flera faktorer har en tydlig påverkan på stängningarna av råvattenintaget vid Lärjeholm. Extremväder och höjda havsnivåer är en följd av klimatförändringar; detta ökar risken för saltvatteninträngning och höga bakteriehalter som i sin tur medför att stängningarna av råvattenintaget ökar. Till sammans med de ekonomiska konsekvenserna förstärks behovet av vidare forskning och åtgärder som minskar stängningsfrekvensen.

5.5.1 Vidare forskning

Som nämnts i diskussionen hade det varit intressant att studera hur konduktiviteten kan påverka mätningen av *E.coli* precisionen och av den. Utifrån de resultaten hade det kunnat undersökas om nya provmetoder behövs för att säkerställa mer koncisa resultat.

I denna studien fanns inte resurser för att undersöka hur bakteriemängden påverkas av temperaturen. Som nämdes i diskussionen är det känt att bakteriehalten ofta underskattas under varma temperaturer på sommaren men till vilken utsträckning är okänt. Det hade varit intressant för vidare studier att undersöka om man kan behandla datamängden annorlunda för att få en mer exakt tolkning av den. Detta är relevant att undersöka med den stigande medeltemperaturen på jorden för att undersöka hur provtagningen kommer fungera när vattnet blir varmare.

Det hade varit fördelaktigt att få data på när breddning skett för att kunna mer säkert säga att orsaken till stängningar från höga mängder *E.coli* var på grund av bräddning. Framtida studier på detta hade gynnats av att få data på detta från Göteborg men framförallt från kommuner uppströms.

Mer utförlig data på TOC och näringsämnen hade varit intressant för att undersöka hur detta påverkar bakteriemängden eftersom näring kan gynna tillväxten av bakterier. Det hade även varit intressant att undersöka utvecklingen under åren då trots att övergödning i nutid inte är en risk för Göta älv kan det möjligen bli mer relevant i framtiden.

Vidare hade en analys om vilka faktorer utöver konduktivitet och *E.coli* som bidrar mest till stängningarna av intaget varit relevant. För detta hade ett närmare arbete med Kretslopp och vatten behövts för att bättre förstå anledningarna kring varje stängning. I denna rapport har huvudsakligen frekvensen av stängningarna undersökts. För vidare forskning skulle även varaktigheten av varje stängning kunnat undersökas. Om intaget stänger mer frekvent och dessutom är stängt under en längre tid varje gång kan man uppskatta hur lång tid det tar innan Delsjöarna och Rådasjön inte räcker som reservoarer. För att genomföra detta skulle trender för stängningarna behöva undersökas mer noggrant och över en längre tid. Därmed skulle data på stängningar över en längre tidsperiod varit gynnsamt.

Referenser

- Agerblad, J., Axén, H., Hammarstrand, S., & Olsson, L. (2021). *Förändringar i klimatet som påverkar energisektorn i Sverige* (Energiforskrappport Nr 2021:745). Energiforsk. <https://energiforsk.se/media/28766/forandringar-i-klimatet-som-paverkar-energiesektorn-i-sverige-energiforskrappport-2021-745.pdf>
- Bergstedt, O. (2025). Muntlig kommunikation [Adjungerad professor, Vattenteknik och miljö, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Chalmers tekniska högskola].
- Blom, L. (2024 september). *Water challenges och water planning - Gothenburg perspective* [Föreläsning, Kretslopp och Vatten, Göteborg].
- Carden, K. (2024 oktober). *Cape Town and Day Zero* [Föreläsning, Kapstadens Universitet, via Zoom].
- Energiföretagen Sverige. (2024). Spotprisets utveckling [Hämtad 29 april 2025].
- Energimarknadsbyrån. (2024). Energiskatt – skattesatser och kostnader [Hämtad 29 april 2025].
- Fedfell, E., Ullman, R., & Bengtsson, E. (2019). *Ultrafilter och granulerat aktivt kol för avskiljning av mikroföroreningar*. Svenskt Vatten AB. <https://www.svenskvatten.se/globalassets/dokument/avlopp-och-miljo/bestallargrupp/vu-rayt-19-01.pdf>
- Gao, S., Sutton, N. B., Wagner, T. V., Rijnaarts, H. H. M., & van der Wielen, P. W. J. J. (2024). Influence of combined abiotic/biotic factors on decay of *P. aeruginosa* and *E. coli* in Rhine River water. *Microorganisms*. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051185>
- Göransson, G., Larson, M., & Bendz, D. (2013). Variation in turbidity with precipitation and flow in a regulated river system—river Göta Älv, SW Sweden. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 2529–2542. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2529-2013>
- Göta älvs Vattenvårdsförbund. (2016). *Fakta om Göta älv - En beskrivning av Göta älv och dess avrinningsområde nedströms Vänern 2015* (tekn. rapport). Göta älvs Vattenvårdsförbund. https://www.gotaalvvvf.org/download/18.2f0ad835166c596881356a83/1540998119692/fakta_om_gota_alv_webb.pdf
- Göteborgs Stad. (2022). PM Råvatten och dricksvattenkvalitet [Hämtad 29 april 2025]. [https://www4.goteborg.se/prod/Intraservice/Namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/93ec9160f537fa30c12572aa004b6c1a/5dd9bed8d2ef84cac1258aa000352ac2/%5C\\$FILE/7.%20Bilaga%201%20PM%20Ravatten%20och%20Dricksvattenkvalitet.pdf](https://www4.goteborg.se/prod/Intraservice/Namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/93ec9160f537fa30c12572aa004b6c1a/5dd9bed8d2ef84cac1258aa000352ac2/%5C$FILE/7.%20Bilaga%201%20PM%20Ravatten%20och%20Dricksvattenkvalitet.pdf)
- Göteborgs Stad. (2023). Råvatten och Dricksvattenkvalitet [Hämtad: 2025-04-01]. <https://www4.goteborg.se/prod/Intraservice/Namndhandlingar/SamrumPortal>

- nsf/93ec9160f537fa30c12572aa004b6c1a/5dd9bed8d2ef84cac1258aa000352ac2/\$FILE/7.%20Bilaga%201%20PM%20Ravatten%20och%20Dricksvattenkvalitet.pdf
- Hirdman, D. (2024 september). *Climate change and water: risks, challenges and adaptation from a Gothenburg perspective* [Föreläsning, Climate adaptation strategit, SWECO, Göteborg].
- Holm, K. (2025 januari). *Kretslopp och vatten* [Föreläsning, Kretslopp och Vatten, via Zoom].
- Klimat- och näringslivsdepartementet. (2007). *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter* (Statens offentliga utredningar (SOU) Nr 2007:60) (Särskild utredare: Bertil Falk). Klimat- och näringslivsdepartementet. <https://www.regeringen.se/contentassets/94b5ab7c66604cd0b8842fd6510b42c9/sverige-infor-klimatforandringarna---hot-och-mojligheter-bilagedel-b-for-teckning-bilaga-b-28-31-sou-200760/>
- Lidén, P., & Saglamoglu, S. (2010). *Saltvattenuppträngning i Göta älv – Inverkan av förhöjd havsvattennivå på råvattenintaget vid Alelyckan* [Examensarbete]. Chalmers teknologiska högskola. <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/127948.pdf>
- Livsmedelsverket. (2022). *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten (LIVSFS 2022:12)*. Hämtad 11 februari 2025, från https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/om-oss/lagstiftning/dricksvatten---naturl-mineralv---kallv/livsfs-2022-12_web_t.pdf
- Malvankar, S., Lau, J., Nevin, K., Franks, E., Tuominen, T., & Lovley, R. (2012). *Electrical Conductivity in a Mixed-Species Biofilm* (Hämtad 13 maj 2025). <https://doi.org/10.1128/AEM.01803-12>
- Modin, O. (2025). Om vatten. <https://omvatten.github.io/textbook>
- National Human Genome Research Institute. (2025). Bacteria - Genetics Glossary [Hämtad 1 april 2025]. <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Bacteria>
- (SGI), S. G. I. (2011). *Göta älvutredningen - Metodik konsekvensbedömning – VA-system* (tekn. rapport Nr Delrapport 22). Statens Geotekniska Institut (SGI). Linköping. <https://www.swedgeo.se>
- Shi, X., Mao, D., Song, K., Xiang, H., Li, S., & Wang, Z. (2024). Effects of Landscape Changes on Water Quality: A Global Meta-Analysis. *Water Research*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121946>
- SMHI. (2022). *Observerad klimatförändring i Sverige 1860–2021* (Klimatologi Nr 69) (Hämtad från SMHI:s publikationer). SMHI. <https://www.smhi.se/publikationer-fran-smhi/sok-publikationer/2022-11-20-observerad-klimatforandring-i-sverige-1860-2021>
- SMHI. (2024). *Solinstrålning*. Hämtad 17 april 2025, från <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/solinstralning>
- SMHI. (2025a). Ladda ner väderobservationer – Dygnsmedeltemperatur, station 71420 [Hämtad: 24 april 2025].
- SMHI. (2025b). Ladda ner väderobservationer – Dygnsnederbörd, station 71420 [Hämtad: 24 april 2025].
- SMHI. (2025c). Ladda ner väderobservationer – Solstrålning, station 71415 [Hämtad: 24 april 2025].

- Svenskt Vatten. (2024 december). *Riktlinjer för råvattenkontroll* [Digital version].
- Tornevi, A., Bergstedt, O., & Forsberg, B. (2014). Precipitation Effects on Microbial Pollution in a River: Lag Structures and Seasonal Effect Modification. *PLOS ONE*, 9(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098546>
- World Bank. (2024). *Vattenkvalitet vid Alelyckans vattenverk 2024 (JAN-AUG)*. Hämtad 5 februari 2025, från <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/8ec457c4-1954-45a9-8071-5478ffc2a4cf/R%C3%A5vatten+och+dricksvatten+vid+vattenverk+jan-aug+2024.pdf?MOD=AJPERES>
- World Health Organization. (2018). E. coli [Hämtad: 2025-04-29]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- Åsa Rosengren. (2022). Escherichia coli och koliforma bakterier i dricksvatten från små dricksvattenanläggningar för privat bruk. Riskhanteringsrapport [Hämtad: 19 februari 2025]. *Livsmedelsverket*. <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/publikationsdatabas/rapporter/2022/l-2022-nr-14-e.-coli-och-koliforma-bakterier-i-dricksvatten.pdf>

A

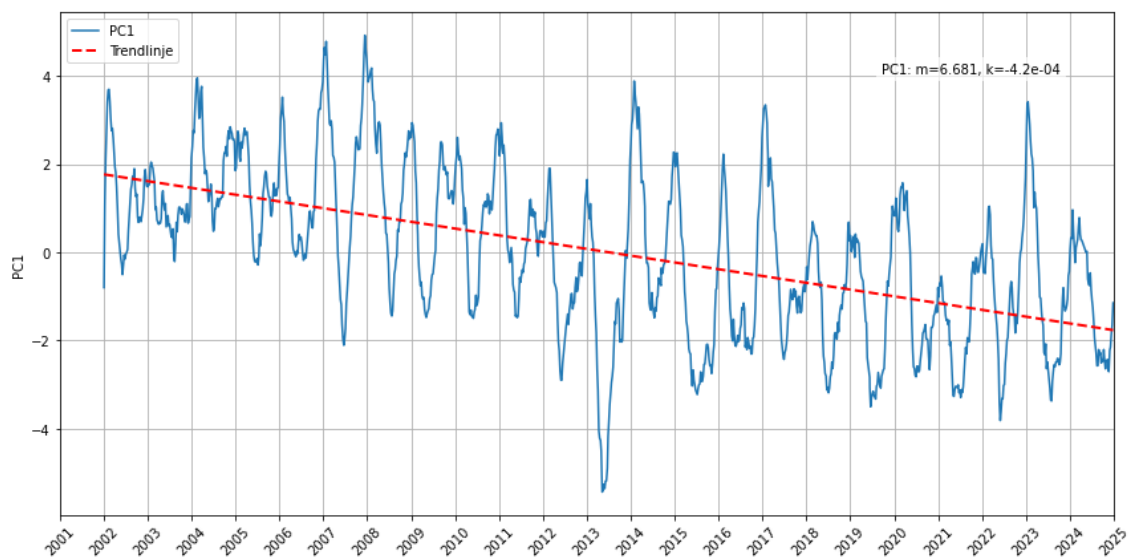
PCA - Loadings

Tabell A.1: PCA-loadings för tre huvudkomponenter (PC1–PC3) baserat på mätvärden av metaller i råvattnet vid Lärjeholm.

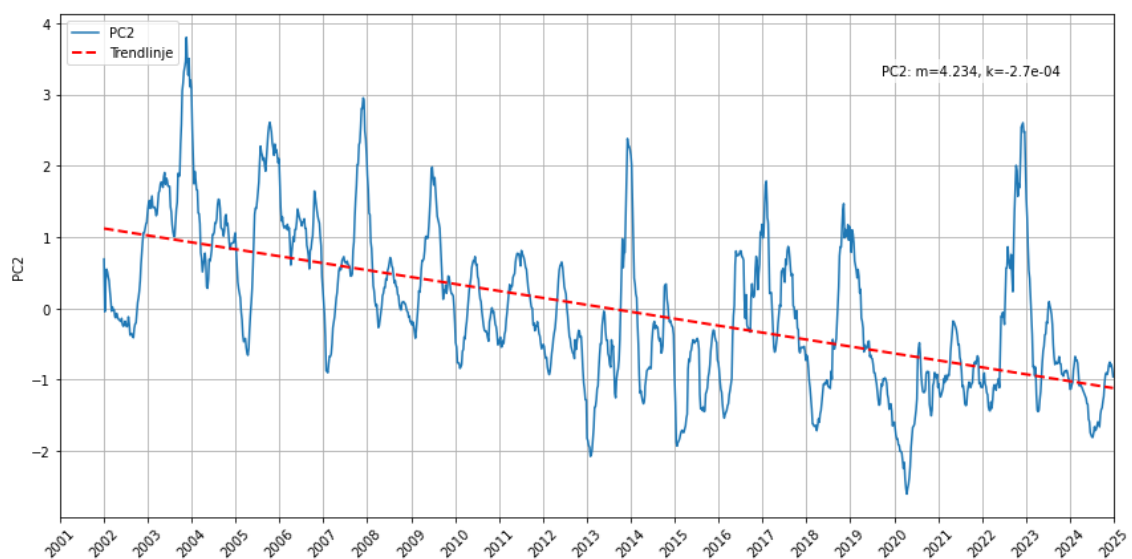
| Parameter | PC1 | PC2 | PC3 |
|-------------------------|------------|------------|------------|
| Aluminium ICP-MS [mg/l] | 0.247 | -0.226 | 0.269 |
| Arsenik ICP-MS [µg/l] | 0.252 | 0.084 | -0.231 |
| Barium ICP-MS [µg/l] | 0.266 | -0.006 | -0.130 |
| Bly ICP-MS [µg/l] | 0.268 | -0.193 | 0.029 |
| Bor ICP-MS [µg/l] | 0.145 | 0.353 | 0.167 |
| Järn ICP-MS [mg/l] | 0.265 | -0.240 | 0.187 |
| Kalcium ICP-MS [mg/l] | 0.165 | 0.379 | -0.084 |
| Kalium ICP-MS [mg/l] | 0.223 | 0.314 | 0.160 |
| Kobolt ICP-MS [µg/l] | 0.281 | -0.174 | 0.033 |
| Koppar ICP-MS [µg/l] | 0.210 | -0.030 | -0.375 |
| Krom ICP-MS [µg/l] | 0.244 | -0.008 | -0.309 |
| Magnesium ICP-MS [mg/l] | 0.187 | 0.382 | 0.211 |
| Mangan ICP-MS [mg/l] | 0.266 | -0.158 | 0.075 |
| Molybden ICP-MS [µg/l] | 0.157 | 0.189 | -0.023 |
| Natrium ICP-MS [mg/l] | 0.159 | 0.412 | 0.200 |
| Nickel ICP-MS [µg/l] | 0.230 | 0.025 | -0.458 |
| Uran ICP-MS [µg/l] | 0.191 | -0.193 | 0.452 |
| Vanadin ICP-MS [µg/l] | 0.280 | -0.157 | 0.089 |
| Zink ICP-MS [µg/l] | 0.240 | -0.101 | -0.105 |

B

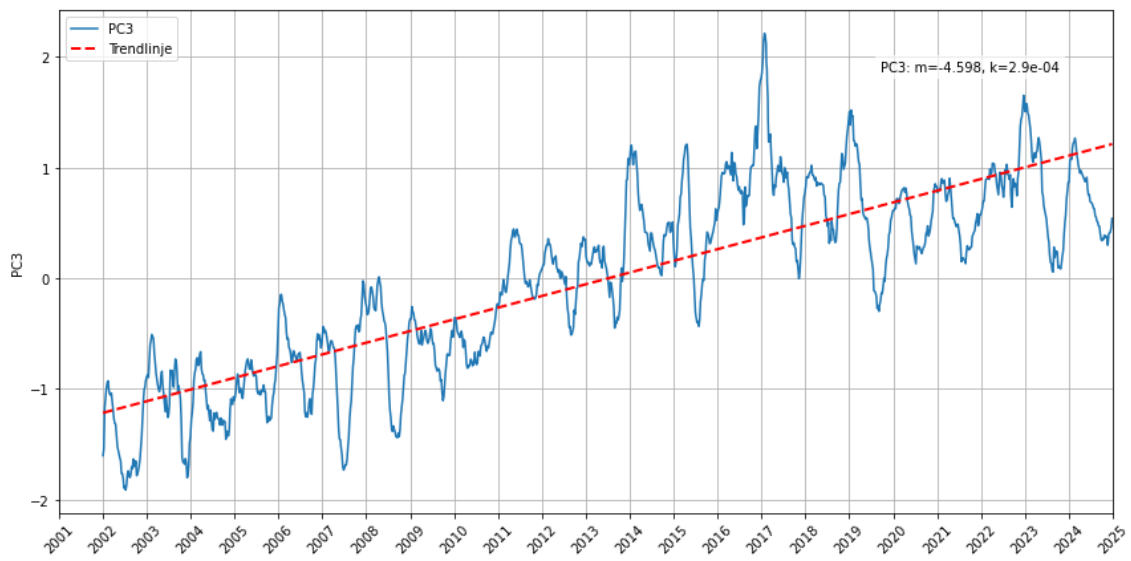
Principal component 1-3



Figur B.1: Principal component 1 för alla metaller med ett glidande medelvärde på 14 dagar mellan 2001 och 2025. Beskriver 53 % av datamängden.



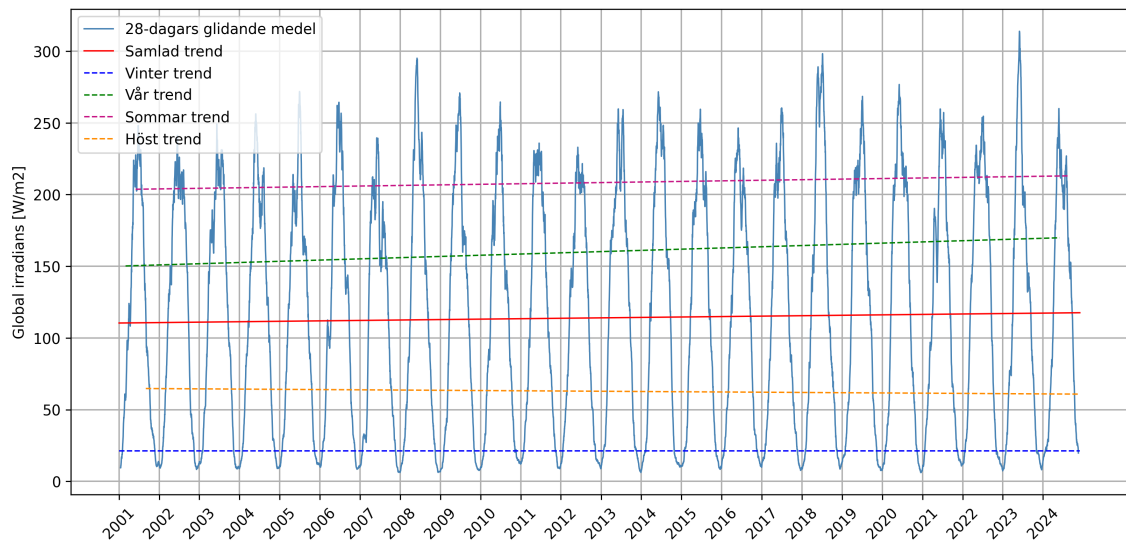
Figur B.2: Principal component 2 för alla metaller med ett glidande medelvärde på 14 dagar mellan 2001 och 2025. Beskriver 17 % av datamängden.



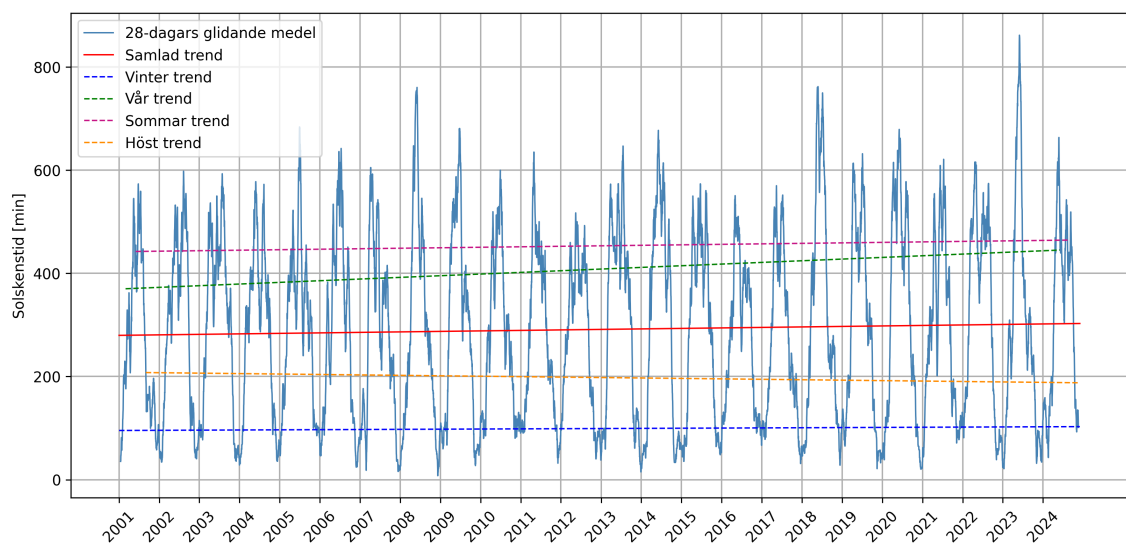
Figur B.3: Principal component 3 för alla metaller med ett glidande medelvärde på 14 dagar mellan 2001 och 2025. Beskriver 7 % av datamängden.

C

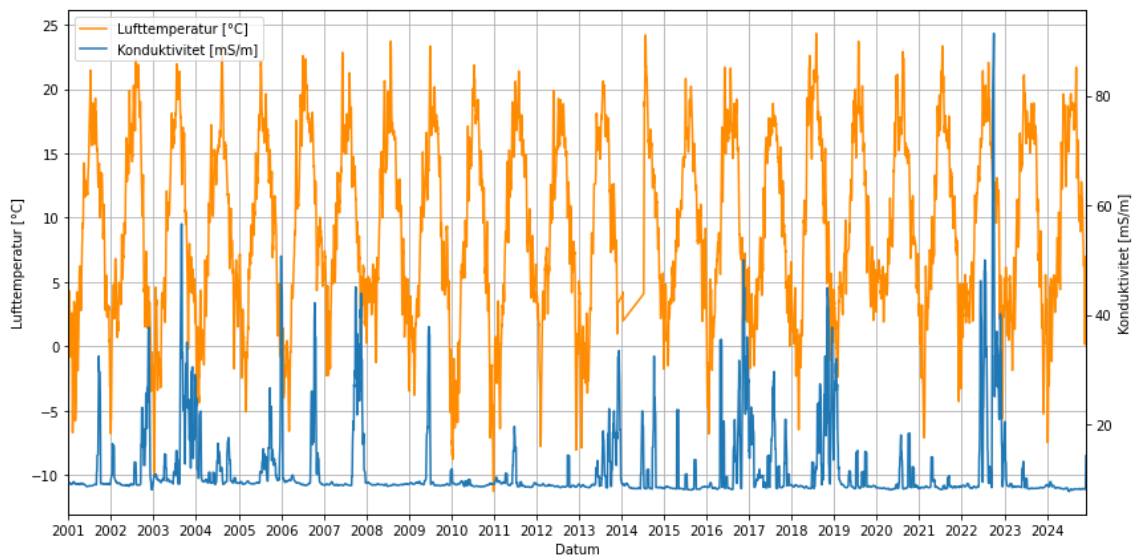
Grafer



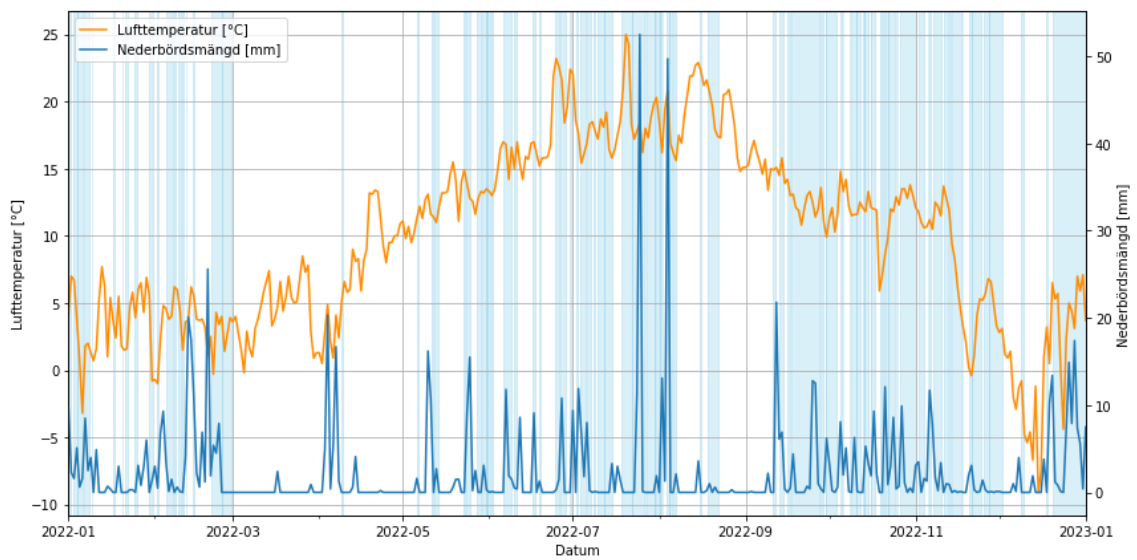
Figur C.1: Global irradians i Göteborg 2001 till 2024 med trendlinjer för de fyra årstiderna.



Figur C.2: Solskenstid i Göteborg 2001 till 2024 med trendlinjer för de fyra årstiderna.



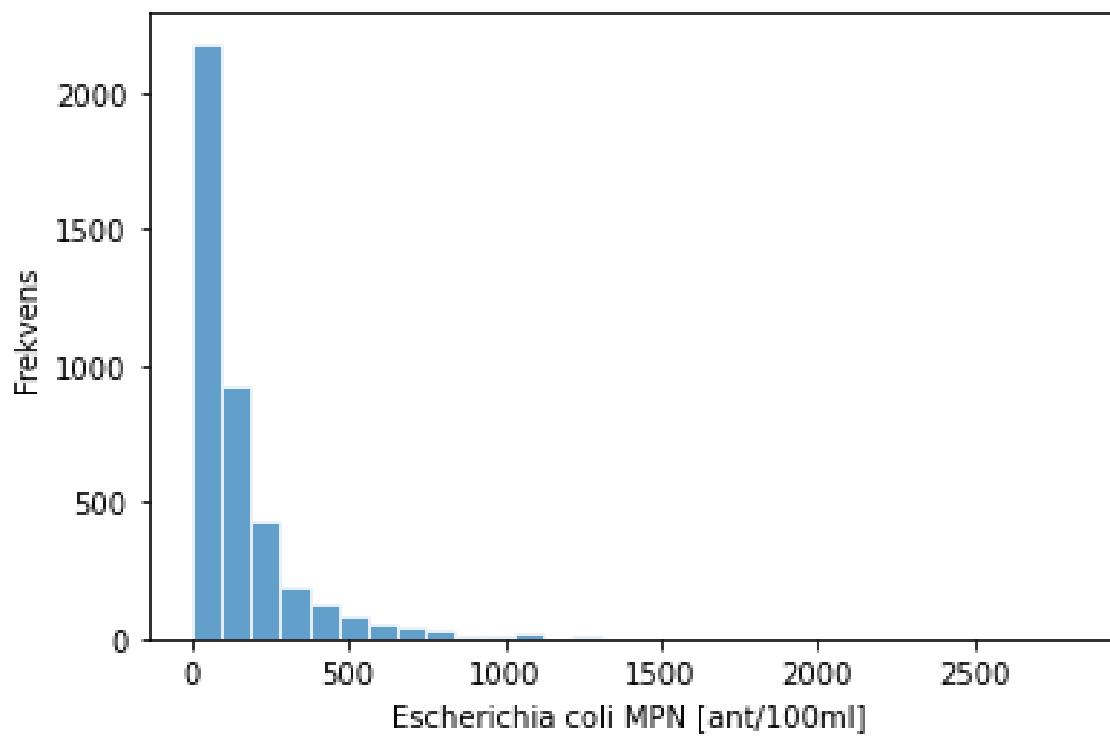
Figur C.3: Lufttemperatur i Göteborg och konduktivitet vid Lärjeholm med ett glidande medelvärde på 7 dagar mellan 2001 och 2025.



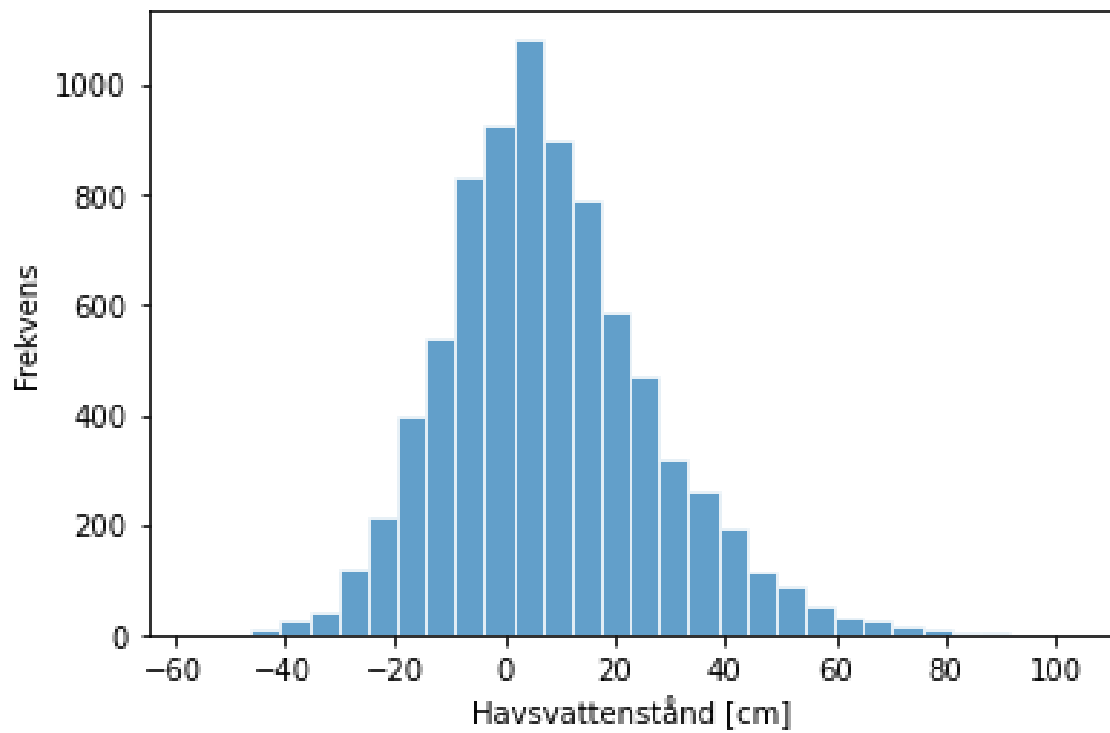
Figur C.4: Nederbörd och lufttemperatur i Göteborg under ett år, mellan 2022 och 2023, där de blå områdena representerar stängningar.

D

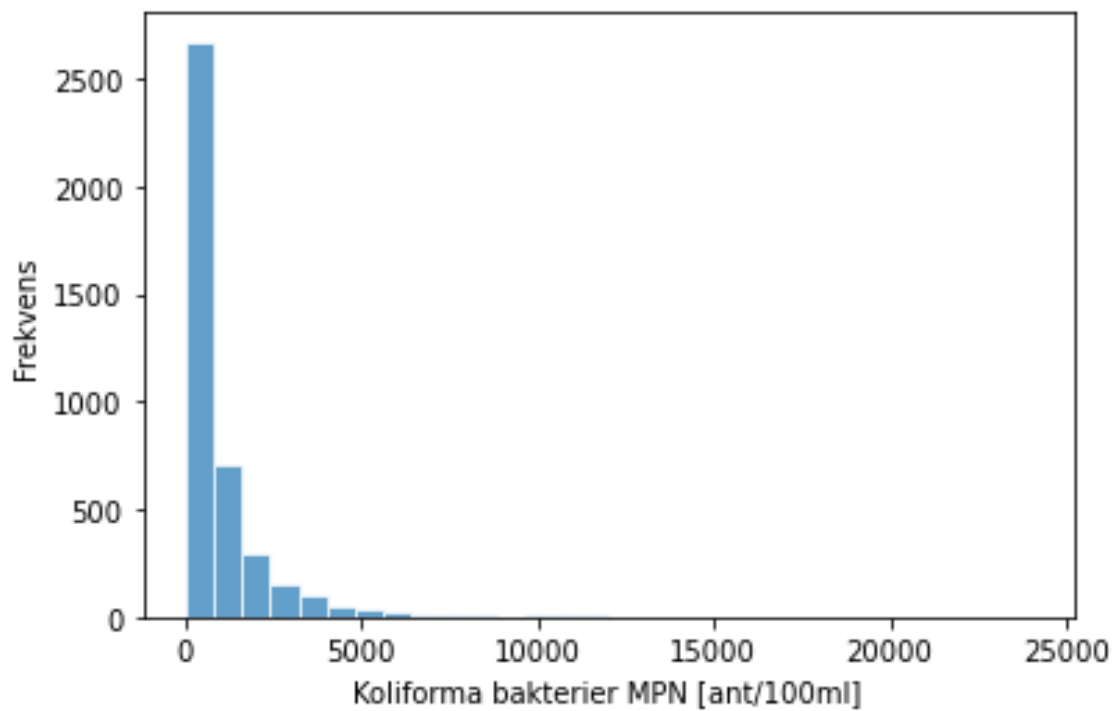
Histogram



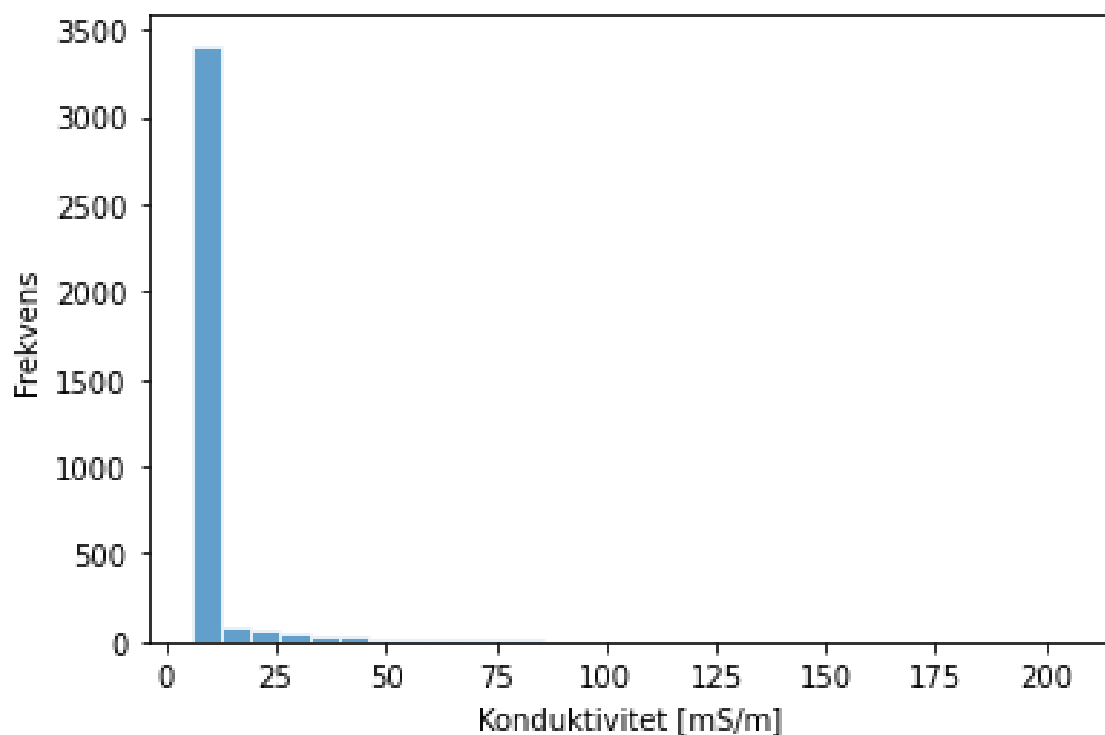
Figur D.1: Histogram av *E.coli* med data från 2001 till 2025 och tre till fyra mätningar i veckan.



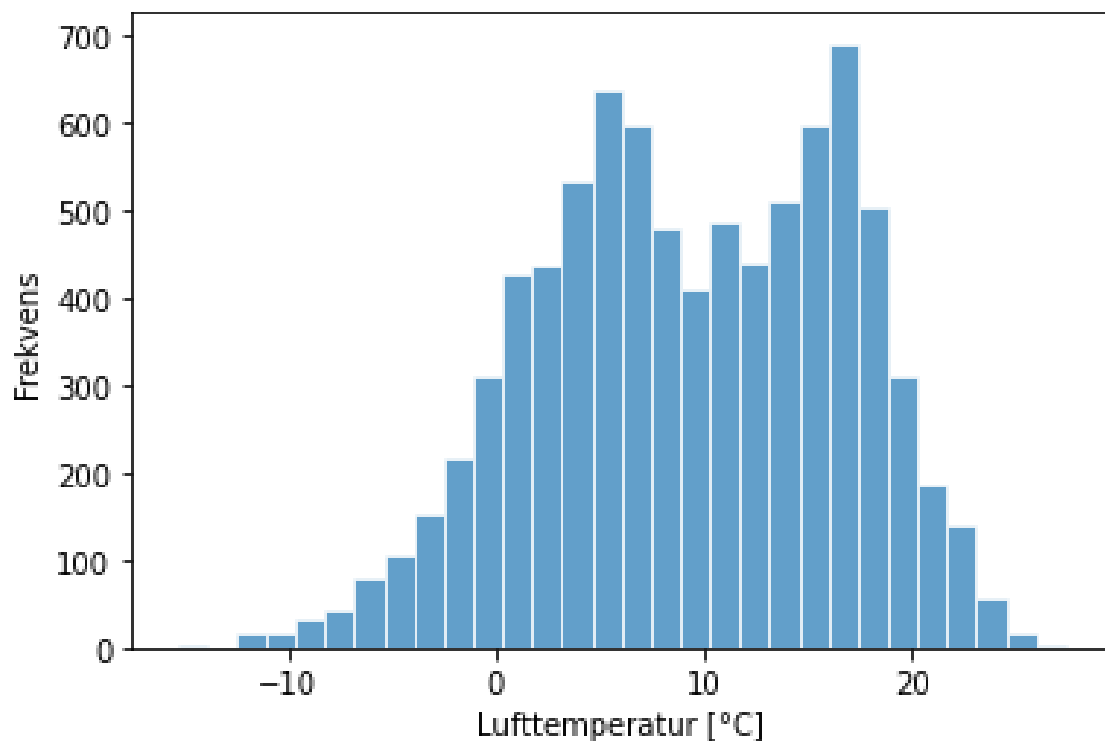
Figur D.2: Histogram av havsvattennivå utanför Göteborg med data från 2001 till 2023 och ett värde per dag.



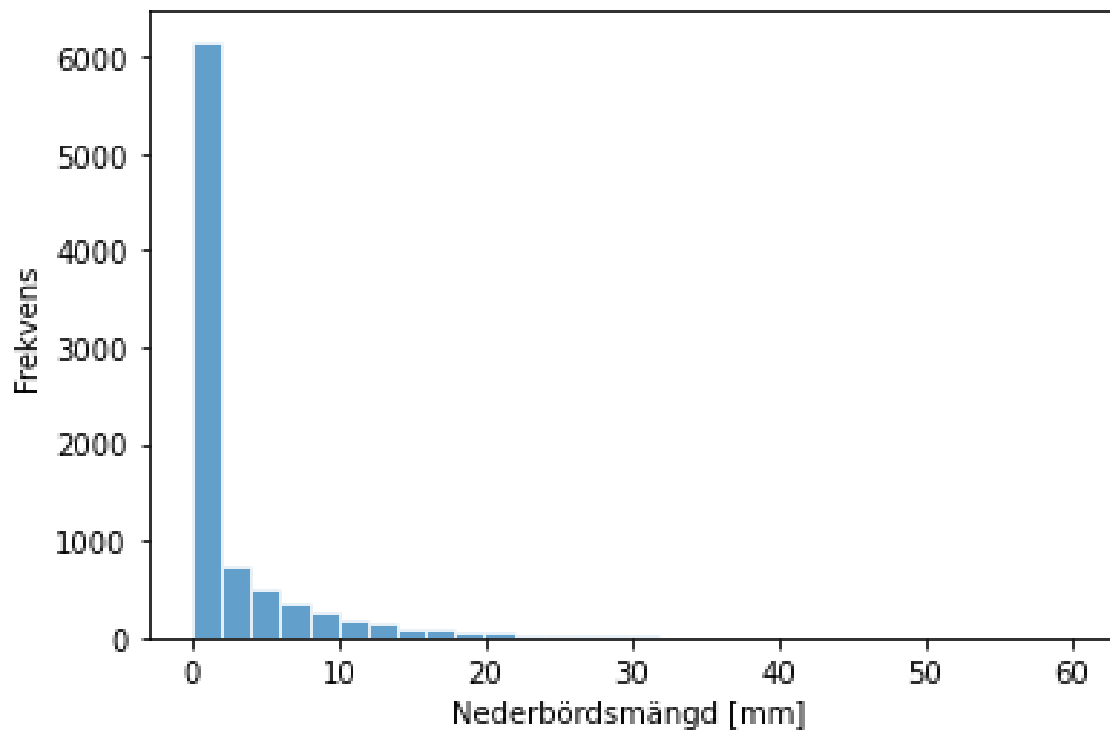
Figur D.3: Histogram av koliforma bakterier med data från 2001 till 2025 och tre till fyra mätningar i veckan.



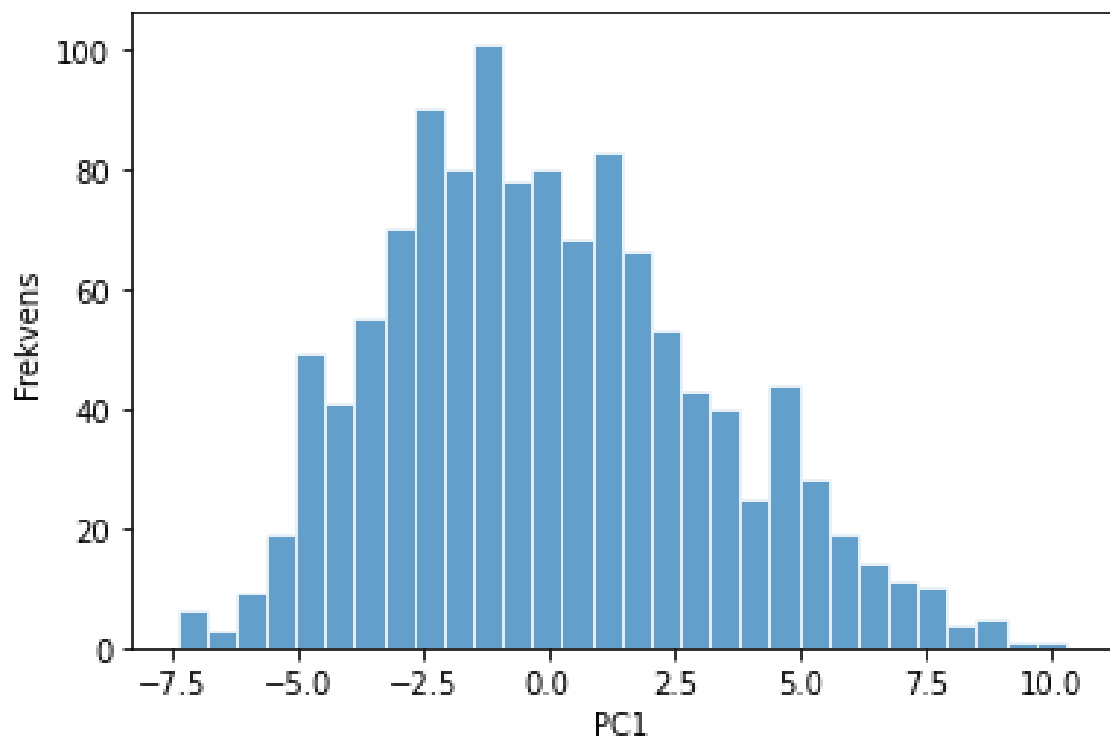
Figur D.4: Histogram av konduktivitet med data från 2001 till 2025 och tre mätningar i veckan.



Figur D.5: Histogram av lufttemperatur i Göteborg med data från 2001 till 2025 och ett värde per dag.

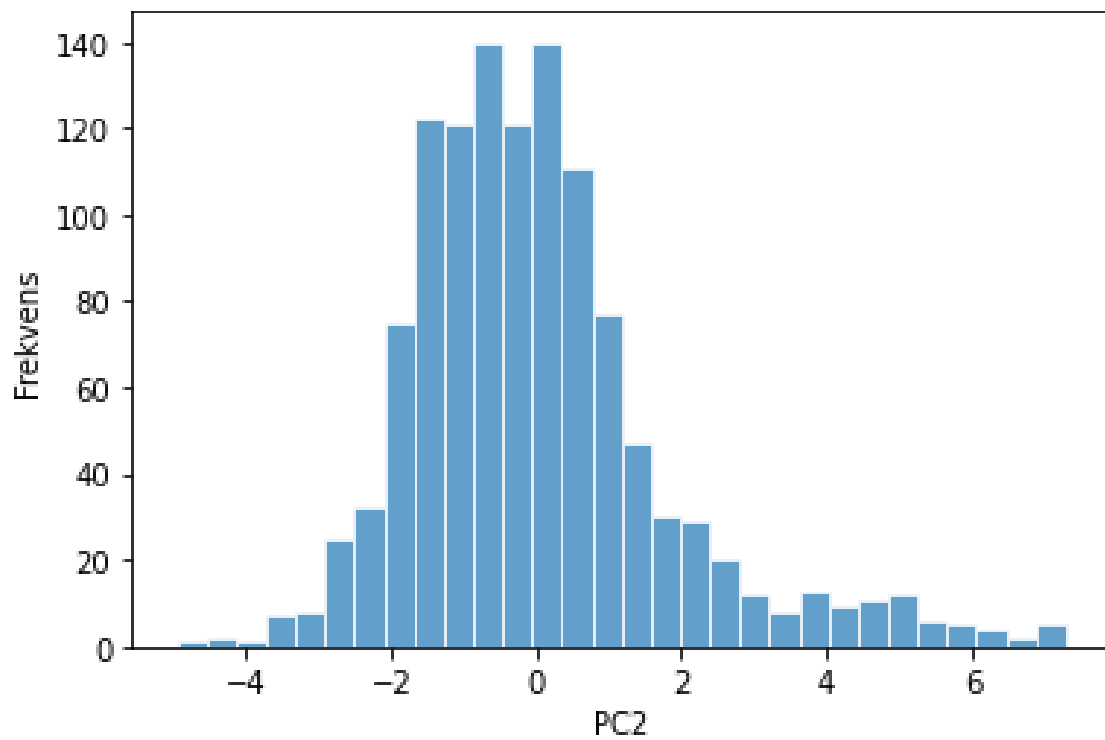


Figur D.6: Histogram av nederbörd i Göteborg med data från 2001 till 2025 och ett värde per dag.

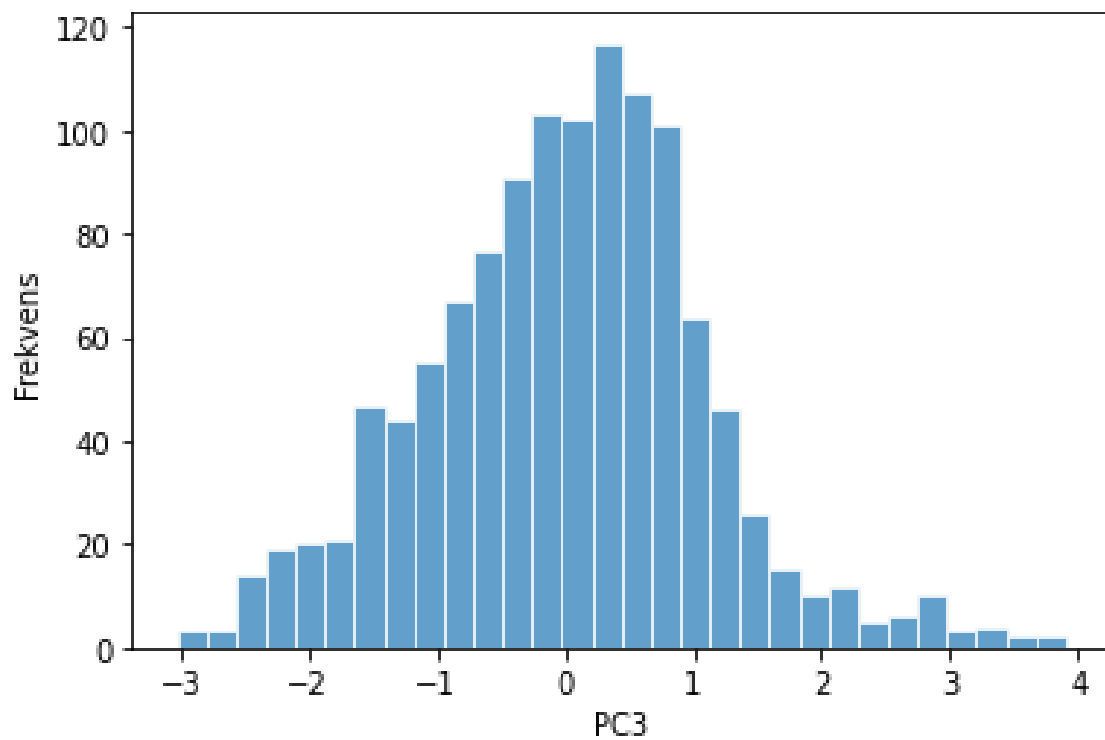


Figur D.7: Histogram av PC1 med data på metaller från 2001 till 2025 och en mätning i veckan.

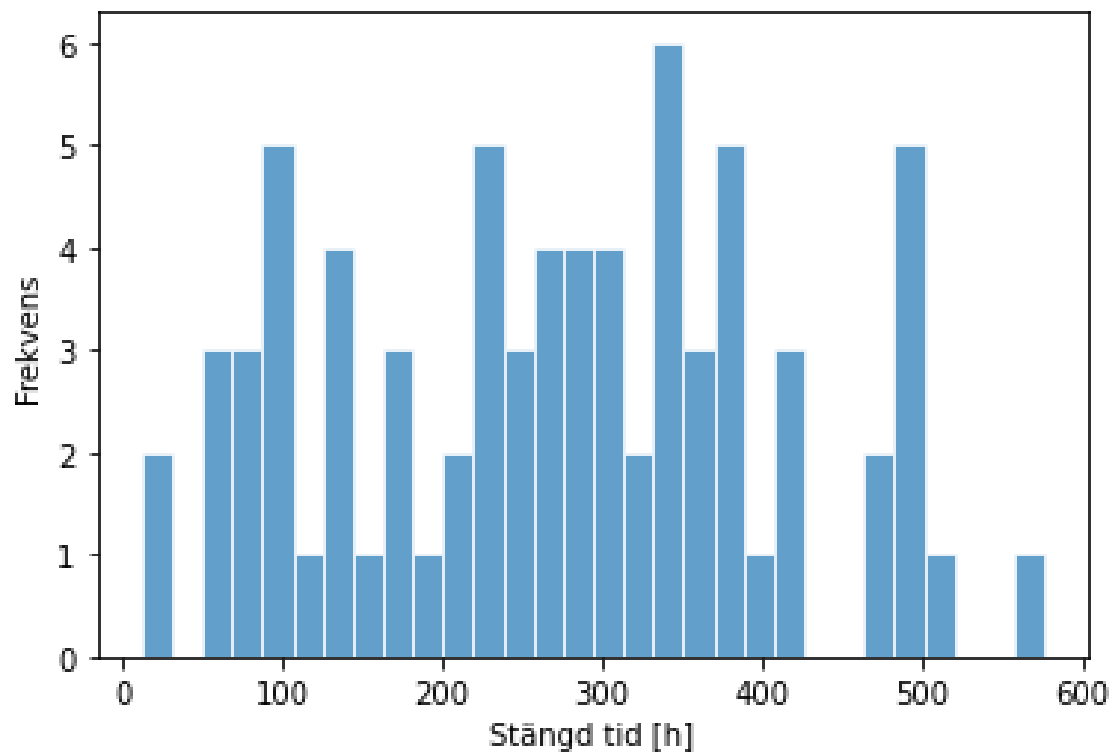
D. Histogram



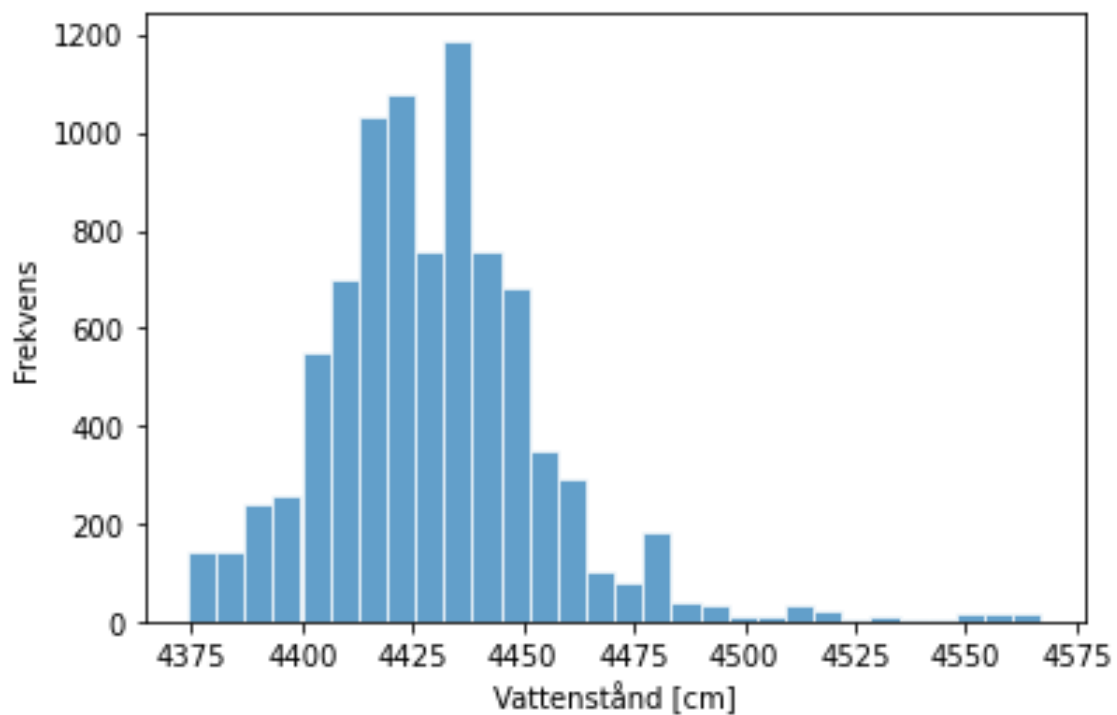
Figur D.8: Histogram av PC2 med data på metaller från 2001 till 2025 och en mätning i veckan.



Figur D.9: Histogram av PC3 med data på metaller från 2001 till 2025 och en mätning i veckan.



Figur D.10: Histogram av råvattenintagets stängda tid med data från slutet av 2018 till 2025 och en mätningar varje gång intaget är stängt.



Figur D.11: Histogram av vattenståndet i Vänern med data från 2001 till 2025 och ett värde per dag.

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

www.chalmers.se



CHALMERS