STØTTET AF
Promilleafgiftsfonden for landbrug

Statusrapport

De hydrografiske og kemiske forhold i Kattegat

Dato:	31. december 2021
Forfatter(e):	Morten Holtegaard Nielsen
Udarbejdet for:	Landbrug & Fødevarer F.m.b.A., SEGES
Klientens rep.:	Flemming Gertz
Klientens projekt-nr.:	7849
Klientens projekt:	Kvælstofreduktionsmål for landbruget – marine miljømål
Version:	Endelig
Status:	Klientens ejendom

Marine Science & Consulting ApS
Peder Lykkes Vej 8, 4. th.
2300 København S

P: +45 5369 0888
E: info@msandc.dk
W: http://www.msandc.dk
CVR-nr: 39987082

1. Indledning

Denne rapport beskriver status for arbejdet med undersøgelse af de hydrografiske og kemiske forhold i Kattegat ifølge leverandøraftale mellem SEGES og Marine Science & Consulting ApS, dateret d. 1. november 2021. Projektets formål er at opnå en grundlæggende forståelse af hydrografien i Kattegat samt vandudvekslingen med Nordsøen. Dette er en forudsætning for at forstå vandudvekslingen og omsætningen af næringssalte dels i en række forskellige fjorde og kystnære farvande, dels i de danske farvande i deres helhed. Hvad angår sidstnævnte, spiller Kattegat en central rolle, for stort set alle udstrømmende vandmasser fra og indstrømmende vandmasser til de indre danske farvande kommer gennem Kattegat. Arbejdet er foretaget udelukkende med udgangspunkt i eksisterende observationer og eksisterende viden, som er tilgængelig i den videnskabelige litteratur.

Kattegat er i ekstrem grad præget af mødet mellem store mængder brakvand, som via Øresund og Storebælt strømmer ud af Østersøen, og det saltholdige vand i Nordsøen, som via en bred åbning mod nord til Skagerrak kan strømme ind i Kattegat. De komplicerede strømningsforhold, som dette kan give anledning til, er vigtige at forstå hvis man gerne vil enten gennemskue, hvad observationer af f.eks. strøm, salinitet og/eller temperatur betyder, eller forsøge at beregne transporten gennem Kattegat af vandmasser og stoffer, herunder næringssalte.

I projektet har der foreløbigt været fokus på at undersøge forholdene omkring Kattegat-Skagerrak-fronten. Dette afspejles i nærværende statusrapport. I det følgende afsnit beskrives strømningsforholdene i Kattegat med udgangspunkt i eksisterende viden, herunder den meget centrale rolle som Kattegat-Skagerrak-fronten spiller. Dernæst beskrives dels det tilrådighed værende data-materiale, dels hvordan dette benyttes til at kvantificere strømningerne ind og ud af vandmasser og næringssalte langs Kattegat-Skagerrak-fronten. Derefter følger en diskussion af de foreløbige resultater af projektet og resultater af andre undersøgelser. Da projektet er et såkaldt udviklingsprojekt, forventes det at arbejdet kan fortsætte, og at udestående spørgsmål kan forfølges på et senere tidspunkt.

2. De hydrografiske forhold i Kattegat

Observationer viser at Kattegat er præget af en to-lags-struktur, hvor det øvre lag er kraftigt påvirket af det udstrømmende brakvand fra Østersøen, og hvor det nedre lag primært består af vandmasser fra Skagerrak, som igen er næsten ufortyndet Nordsø-vand. Samtidigt har Kattegat en relativ stor horisontal udstrækning i forhold til den såkaldte interne Rossby-radius (f.eks. Gill, 1982). Dette betyder at forholdene i Kattegat primært omfatter strømningsfænomener, som er barokline, dvs. drevet af densitetsforskelle, og som er påvirkede af jordens rotation. Endvidere har Kattegat en kompliceret bathymetry, hvor kyster og stejle konturer kan lede strømninger og forstyrrelser, og hvor lavvandede områder kan føre til både forstærkning af de densitetsdrevne strømninger, men også øget friktion og blanding af vandmasserne.

Et meget karakteristisk træk ved Kattegat er den brede og åbne rand mod Skagerrak mod nord. Overgangen har meget ofte karakter af en veldefineret front, kaldet Kattegat-Skagerrak-fronten, som forløber omtrentlig i en vest-øst-gående retning fra det nordlige Jylland til Sverige (Gustafsson og Stigebrandt, 1996; Jakobsen, 1997). Langs denne front foregår der en kraftig baroklin transport, som sender vandmasserne i det øvre lag mod øst, og som samtidigt sender vandmasserne i det nedre lag mod vest. Typiske strømningshastigheder i det øvre lag langs fronten er 0.5 – 1.0 m s^{-1}. Den lagdelte struktur af vandmasserne i Kattegat og den næsten homogene struktur af vandmasserne i Skagerrak betyder at der i det øvre lag i Kattegat optræder et højtryk, og at der i det nedre lag er et tilsvarende lavtryk. Disse højtryk og lavtryk og de tilhørende, barokline cirkulationsmønstre svarer præcis til de fænomener med samme betegnelser som kendes fra atmosfæren. Lavtryk og højtryk betegnes også hhv. cyckloner og anticykloner.

Kattegat-Skagerrak-frontens veldefinerede karakter viser at denne til stadighed vedligeholdes, sandsynligvis via kraftige, vind-inducerede strømninger omkring Skagen (Nielsen, 2005). Dette medfører at de barokline strømningsforhold langs Kattegat-Skagerrak-fronten forplanter sig dels op i Skagerrak mod nord langs den svenske kyst, dels ned i Kattegat mod syd langs den jyske kyst. Dette er illustreret i Figur 1. Denne anticykloniske cirkulation påvirker en stor del af Kattegat og kan observeres meget tydeligt i form af bl.a. en kraftig nordgående strømning i den smalle Læsø Rende og en vedvarende sydvestgående strømning i den sydøstlige del, udfor for den nordsjællandske kyst (se dels observationer, dels referencer til andre studier omfattende observationer i Nielsen, 2005). Bemærk at der i det nedre lag foregår en strømning i modsat retning. Pga. Kattegat-Skagerrak-fronten sker der altså en rimelig veldefineret og vedvarende udveksling af vandmasser og dermed også næringssalte mellem Kattegat og Skagerrak.

Et andet meget karakteristisk træk er forbindelserne til Kattegat via Storebælt og Øresund. Herigennem kan vandmasserne strømme ud af eller ind i Kattegat i retning af Østersøen. I den forbindelse sker der en blanding af vandmasserne. Da der i middel foregår en udstrømning af vand fra Østersøen, sker der generelt en tilstrømning af mindre salt vand til Kattegat via Storebælt og Øresund. I almindelighed er forholdene dog meget mere komplicerede end dette. I perioder med indstrømning til Østersøen ser forholdene i Kattegat ud som beskrevet ovenfor og skitseret til venstre i Figur 1. Når mindre salte vandmasser i perioder strømmer ud i Kattegat fra Storebælt og Øresund, introduceres der imidlertid relativt lette vandmasser i den øvre del af vandsøjlen, som i nogen grad kan blive ført med af den eksisterende, anticyklone cirkulation i Kattegat (se Figur 1 i midten). I situationer med længerevarende tilstrømning til Kattegat kan Østersøens brakke vandmasser i mere eller mindre ufortyndet grad nå frem til Kattegat. Disse vandmasser kan have et omfang og en densitet som gør, at der kan opstå separate, anticykloniske strømninger (se Figur 1 til højre). Disse strømninger kan i perioder observeres i både den sydvestlige del og den sydøstlige del af Kattegat samt i form af lavsaline vandmasser langs den svenske kyst (Nielsen, 2005). Pga. den korte afstand mellem Østersøen og Kattegat via Øresund er det især udstrømning gennem Øresund, som kan medføre separate anticykloniske strømninger i Kattegat.

Figur 1: Forenklet oversigt over strømningerne og cirkulationen i øvre lag i Kattegat. (Bemærk at strømningerne i øvre lag i Kattegat overalt er forbundet med strømninger i nedre lag i modsat retning.) I forbindelse med indstrømning til Østersøen foregår der en anticyclonisk cirkulation drevet af densitetsgradienten over Kattegat-Skagerrak-fronten (til venstre). Når der foregår en svag udstrømning fra Østersøen, er den anticykloniske cirkulation drevet af Kattegat-Skagerrak-fronten stort set uændret, og de udstrømmende vandmasser fra Storebælt og Øresund trækkes med i denne cirkulation (i midten). Den anticykloniske cirkulation drevet af Kattegat-Skagerrak-fronten foregår også i forbindelse med en kraftig udstrømning fra Østersøen, men her kan de udstrømmende vandmasser fra Storebælt og Øresund give anledning til lokal, anticyklonisk cirkulation (til højre).

De her skitserede strømningsforhold og cirkulationsmønstre er en funktion af dels tilførslen af ferskvand, dels vindblandingen. Begge dele tilfører energi til cirkulationen, jævnfør betragtningerne i Nielsen (2005). Dermed kan man i nogen grad observere variationer i cirkulationen over både relativt korte og relativt lange tidsskalaer, herunder sæsonvariationer da ferskvandsafstrømningen til Østersøen typisk er størst i foråret i forbindelse med afsmeltning af sne (Hänninen og Vuorinen, 2011). F.eks. vil en periode med kraftig vind og blanding medføre en øget densitet og tykkelse af det øvre lag. Ved Kattegat-Skagerrak-fronten øges dermed både udstrømningen af vandmasserne i det øvre lag og indstrømningen af vandmasserne i det nedre lag. Samtidigt forplanter den forøgede udveksling sig ned i Kattegat og vil formentligt kunne observeres tydeligt i form af bl.a. tilstrømningen af mere eller mindre ufortyndet Nordsø-vand til den sydlige del af Katttegat.

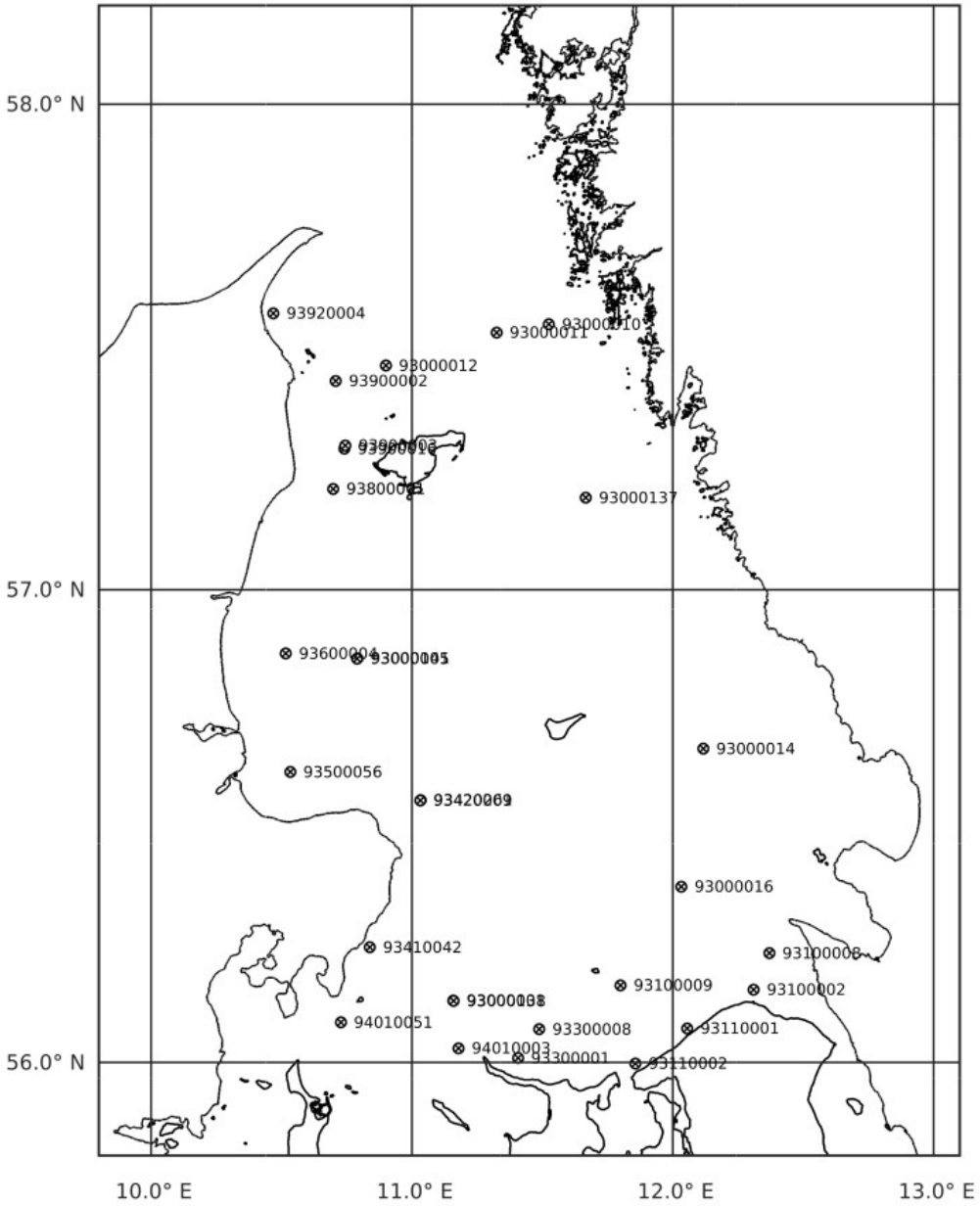
Endvidere vil såkaldt up- eller downwelling, som i Kattegat vil optræde primært i nærheden af kyster eller stejl bathymetry, kunne skabe en lokal cirkulation i større eller mindre omfang. Denne lokale cirkulation vil kunne forplante sig langs kysten eller den stejle bathymetry i form af en såkaldt Kelvin-bølge under indflydelse af jordens rotation (f.eks. Gill, 1982).

Samtidigt med de barokline strømningsforhold og cirkulationsmønstre i Kattegat beskrevet ovenfor sker der en barotrop transport gennem de danske farvande, drevet af den primært vind-inducerede vandstandsforskel mellem Kattegat og den vestlige Østersø. Denne barotrope transport medfører at Kattegat-Skagerrak-fronten advekteres langsomt mod syd eller nord afhængigt af strømningsretningen. Til et vilkårligt tidspunkt kan den barotrope transport målt i vandføring let overstige den barokline udveksling af vandmasser mellem Kattegat og Skagerrak. Men med få og sjældne undtagelser (længerevarende indstrømning til eller udstrømning fra Østersøen, jævnfør f.eks. Matthäus and Franck, 1992) er den barotrope transport af relativ kortvarighed. En indstrømning efterfølges derfor relativt hurtigt af en næsten tilsvarende udstrømning. Langs Kattegat-Skagerrak-fronten er den barokline udveksling af vandmasser til gengæld vedvarende, dog med en varierende intensitet afhængigt af ferskvandstilførslen og vindblandingen, som beskrevet ovenfor. Derfor kan en undersøgelse af den barokline udveksling mellem Kattegat og Skagerrak fortælle meget om transporterne af bl.a. næringssalte ind i og ud af de indre danske farvande.

Omsætningen af næringssalte i Kattegat er imidlertid vanskelig at udtale sig om på det forhåndenværende data-grundlag. Denne omsætning omfatter bl.a. fytoplankton-vækst, sedimentation og frigivelse af næringssalte fra sedimentet.

3. Observationer

Til nærværende analyse af forholdene i Kattegat er alle tilgængelige overvågningsdata fra 1980 til 2021 fundet via Overfladevandsdatabasen (ODA), som er Miljøministeriets og Aarhus Universitets fælles database. Der er udvalgt stationer som omfatter både CTD- og vandkemi-data. For den pågældende periode omfatter dette et meget stort antal stationer (omkring 250). Størstedelen af disse omfatter dog ganske få observationer. Fokus er derfor lagt på stationer med en lang og god datadækning i perioden fra 1990 til 2020. Dette er i alt 32 stationer, jævnfør kortet vist i Figur 2 og Bilag 1. Nogle kystnære stationer er fravalgt da de formodes ikke at afspejle forholdene i de frie vandmasser, som omfatter størstedelen af volumenet af Kattegat.



Figur 2: Kort med angivelse af stationer med god datadækning, hvor både CTD-profiler og vandkemi-data er til rådighed. Se også Bilag 1, hvoraf datadækningen fremgår.

I Bilag 2, hvoraf en del af datamaterialet fremgår, er vandets densitet beregnet udfra de observerede saliniteter og temperaturer ifølge UNESCO (1981). Koncentrationerne af opløste, uorganiske næringssalte omfatter summen af NH_3 og NH_4^+, summen af NO_3^- og NO_2^- og PO_4^{3-}, alle omregnet til ækvivalenter af N hhv. P. Endvidere er koncentrationen af SiO_2 vist, men denne er ikke brugt i analysen nedenfor. De organiske/partikulære koncentrationer af N og P er beregnet som koncentrationerne af total N og P minus de nævnte koncentrationer af opløste, uorganiske næringssalte. (I skrivende stund er det uklart om data i ODA oplyser ækvivalenter af Si for SiO_2.)

I nærværende statusrapport, hvor fokus er lagt på udvekslingen mellem Kattegat og Skagerrak, er der benyttet observationer fra 1995 målt på fire stationer i den nordlige del af Kattegat. Disse observationer er beskrevet nærmere afsnit 5.

4. Analyse

Da strømningsforholdene i Kattegat som beskrevet ovenfor primært er barokline, kan man vha. fordelingen af salinitet og temperatur, hvoraf densiteten og derefter trykket kan beregnes, med rimelig nøjagtighed bestemme strømningerne. Hvis man havde viden om fordelingen af salt og temperatur i hele Kattegat til et givent tidspunkt, ville man kunne udtale sig om strømningerne overalt. Vores kendskab til fordelingen af salt og temperatur er imidlertid begrænset til diskrete observationer i tid og sted. Vores indsigt i strømningsforholdene vil være begrænset tilsvarende og vil i nogen grad være afhængig af eventuelle antagelser.

En fornuftig antagelse vil i mange tilfælde være at strømningerne i Kattegat er i geostrof balance, dvs. at der er ligevægt mellem den horisontale trykgradient og Coriolis-kraften. Denne ligevægt kan udtrykkes på denne måde (se f.eks. Gill, 1982):

$$\rho f u = \frac{\partial p}{\partial x} \quad ,$$

hvor ρ er vandets densitet, f er Coriolis-parameteren, som afhænger af breddegraden, og u er den horisontale hastighed vinkelret på den horisontale retning x. Trykket p kan med meget god tilnærmelse antages at være hydrostatisk, dvs. at i dybden z under den vertikale akses nulpunkt kan trykket beregnes som vægten af den overliggende vandsøjle:

$$p(z) = \int_z^{\eta} g \rho \, dz \quad ,$$

hvor g er tyngdeaccelerationen, og η er overfladens højde over det vertikale nulpunkt. Denne overhøjde er en ganske lille størrelse, typisk nogle få centimeter. Overhøjden er bestemt af at den samlede trykkraft mellem to forskellige vandsøjler i et baroklint system skal være nul.

Antagelsen om geostrof balance er mindre god hvis strømningerne ikke forløber langs rette linjer. I givet fald skal der i ovenstående ligning tages højde for centrifugalkraften. Uden fuldstændigt kendskab til enten fordelingen af salt og temperatur overalt til et givent tidspunkt eller strømlinjernes forløb er det dog næsten umuligt at tage højde for en eventuel afvigelse fra geostrof balance på en rimelig måde.

I nærværende rapport fokuseres der på den nordlige del af Kattegat og den barokline udveksling langs Kattegat-Skagerrak-fronten. Hvis det antages, at vandsøjlen på Skagerrak-siden af fronten består af en homogen vandmasse med en densitet, ρ_R, svarende til den nedre del af vandsøjlen på Kattegat-siden af fronten, kan den barokline udveksling bestemmes. I givet fald kan overhøjden η på Kattegat-siden beregnes vha. denne sammenhæng:

$$\int_D^0 (p(z) - p_R(z)) dz \approx -\rho_R g \, \eta D \quad ,$$

hvor D er den samlede dybde, og p_R er trykfordelingen på Skagerrak-siden af fronten. Derefter kan den barokline transport i den ene retning langs fronten (i den øvre del af vandsøjlen) bestemmes som

$$Q = \frac{1}{\rho f} \int_{z_0}^0 (p(z) + \rho_R g \, \eta - p_R(z)) \, dz \quad ,$$

hvor z_0 er dybden, hvor den horisontale trykgradient er nul, dvs. hvor strømhastigheden skifter retning. I den nedre del af vandsøjlen er vandføringen er lige så stor og i modsat retning.

Tæt på den svenske kyst (og andre steder med stejl bathymetry) er beregninger ifølge denne metode i mindre grad troværdige af følgende to årsager. Dels vil der ske en afbøjning af strømningerne mod nord langs kysten, og dermed kan der opstå en betydelig afvigelse fra geostrof balance. Dette

betyder at metoden vil overestimere vandføringen. Dels kan der ske up- eller downwelling pga. vinden, hvilket kan enten over- eller underestimere den beregnede vandføring.

Beregning af den dermed forbundne transport af næringssalte kan findes ved at multiplicere med koncentrationerne af næringssalte hvor disse er til rådighed. Dermed kan man sætte tal på transporterne i hver retning langs fronten.

Den beregnede udveksling ovenfor kan sammenlignes med udstrømningen og indstrømningen beregnet på basis af bevarelse af salt og volumen, dvs. de såkaldte Knudsens relationer (se f.eks. Fischer et al., 1979). Betegnes den samlede tilstrømning af ferskvand til Østersøen med Q_F, og vandføring og salinitet i det udstrømmende øvre lag fra Kattegat med hhv. Q_O og S_O, og vandføring og salinitet i det indstrømmende vand fra Skagerrak med hhv. Q_I og S_I, udtrykker disse to ligninger bevarelse af hhv. volumen og salt:

$$Q_F + Q_I = Q_O \quad , \quad Q_I \cdot S_I = Q_O \cdot S_O$$

De to ligninger kan hurtigt løses for de to vandføringer, dvs.

$$Q_O = Q_F \cdot \frac{S_I}{S_I - S_O} \quad , \quad Q_I = Q_F \cdot \frac{S_O}{S_I - S_O} \quad ,$$

Det skal bemærkes at denne beregning alene opfylder betingelsen om bevarelse af kontinuitet. Denne betingelse skal være opfyldt når systemet betragtes over lange tidsperioder. Over korte tidsperioder kan betingelsen imidlertid ikke forventes opfyldt, for så vil systemet være ikke-stationært og vil være udsat for både barotrope og barokline påvirkninger.

5. Resultater

Ovenstående metode til beregning af udveksling af dels vandmasser, dels næringssalte mellem Kattegat og Skagerrak er foreløbigt anvendt på observationer målt i det nordlige Kattegat på stationerne 93900002, 93000012, 93000011 og 93000010, jævnfør Figur 2. Beregningerne er udført på data fra 1995, hvor der ni gange i løbet af året blev foretaget observationer på alle fire stationer, fordelt på tværs af det nordlige Kattegat. Dette giver forhåbning om i nogen grad at kunne observere en sæsonvariation, drevet af bl.a. afstrømningen fra Østersøen. Derimod giver dette datagrundlag ikke mulighed for at følge og eventuelt bortfiltrere hurtige og muligvis store variationer, drevet af bl.a. kortvarige vindhændelser.

Metoden beskrevet ovenfor er foreløbigt benyttet for 1995, hvor der blev foretaget et relativt højt antal (ni) observationer på de pågældende stationer. For årene 1990-94 og 1996-97 er dækningen omtrent lige så god, og fra 1998 og fremefter er observationerne begrænset til nogle få hvert år, primært i iltsvindssæsonen (august-november), jævnfør Bilag 1. Det videre arbejde med projektet må vise i hvilken grad man kan benytte datamaterialet til at skabe lange tidsserier af udvekslingen mellem Kattegat og Skagerrak.

Observationerne fra de fire stationer fra 1995 er vist i alle detaljer i Bilag 2 og er beskrevet nedenfor. Men først skal der gøres opmærksom på følgende fejl og manglende data.

Der er tydelige fejl i profil-målingerne af salt d. 13. september (stationer 93000011 og 93000012) og d. 11. oktober (station 93000011), hvor værdierne i den nedre, men store del af vandsøjlen er 10-15 PSU lavere end på de andre stationer målt på næsten samme tidspunkt ikke så langt væk. Bortset fra station 93000011 d. 11. oktober ser profil-målingerne af temperatur på de pågældende datoer og stationer ikke tydeligt ud til at være fejlbehæftede. Pga. disse fejl er de pågældende observationer ikke brugt til at beregne den barokline udveksling langs fronten.

På flere datoer og stationer mangler der en del observationer af salt og/eller temperatur forskellige steder i vandsøjlen, primært på station 93000011 d. 8. februar, station 93900002 d. 14. marts og station 93900002 d. 13. september. Der er taget højde for de manglende data på følgende måde.

Hvis de manglende data optræder internt i vandsøjlen, er der foretaget lineær interpolation, hvorefter den barokline udveksling er beregnet. Hvis de manglende data optræder enten ved bunden eller ved overfladen, er den barokline udveksling ikke beregnet.

På intet tidspunkt og på ingen stationer er der foretaget profil-målinger af ilt eller klorofyl-fluorescence. Til gengæld er der foretaget vandkemiske analyser af disse størrelser forskellige steder i vandsøjlen på næsten alle stationer. Målingerne af ilt diskuteres ikke i denne rapport.

På intet tidspunkt og på ingen stationer findes der vandkemiske data for koncentrationerne af total N, og på nogle dage er der heller ikke foretaget målinger af total P. Ingen af disse data benyttes dog i den følgende analyse. D. 16. august er der ingen vandkemiske data for PO_4^{3-} på nogen af stationerne. D. 2. maj er der ingen vandkemiske data for $NH_3 + NH_4^-$ på station 93000010. I nogle tilfælde ser der ud til at optræde fejl i observationerne af næringssalte. Et eksempel er d. 8. februar, hvor koncentrationerne af $NH_3 + NH_4^-$ er lig nul i alle dybder på alle stationer. Dette forekommer urealistisk.

Her følger først en kvalitativ beskrivelse og tolkning af primært de hydrografiske data på de fire stationer i 1995, jævnfør Bilag 2.

Dato	Beskrivelse
8. februar	Kattegat-Skagerrak-fronten er beliggende syd for de fire stationer, hvorfor overfladevandet i Kattegat kun i ringe grad kan observeres. Øverst i vandsøjlen længst mod den svenske kyst kan udstrømmende vand fra det øvre lag i Kattegat observeres.
14. marts	En tydelig lagdelt struktur observeres, som med god tilnærmelse består af to lag. Mod øst langs den svenske kyst ses et betydeligt tykkere øvre lag og en lavere saltholdighed, som tyder på en høj grad af udstrømmende Østersø-vand.
2. maj	En tydelig lagdelt struktur kan observeres, som med god tilnærmelse består af to lag. Mod øst optræder en lidt lavere saltholdighed, hvilket tyder på udstrømmende Østersø-vand. Vandmasserne i den centrale del af vandsøjlen på især de to østlige stationer er i nogen grad koldere end vandmasserne ovenover. Samtidigt bemærkes det at disse vandmasser har relativt lave koncentrationer af næringssalte. Dette indikerer at disse vandmasser tidligere var overfladevand.
13. juni	En tydelig lagdelt struktur kan observeres, som i nogen grad kan antages at bestå af to lag. Mod øst ses en lidt højere saltholdighed, hvilket tyder på tilstedeværelsen af lokal cirkulation.
12. juli	En tydelig lagdelt struktur kan observeres. Denne lagdeling består tilnærmelsesvist af to lag, men der er dog tegn på eksistensen af mere end to vandmasser. I den centrale del af vandsøjlen på især de to østlige stationer er vandmasserne i nogen grad varmere end vandmasserne ovenover. Samtidigt har disse vandmasser relativt lave koncentrationer af næringssalte. Dette indikerer at disse vandmasser tidligere var overfladevand.
16. august	En tydelig lagdelt struktur kan observes, som med god tilnærmelse består af to lag. Mod øst er det øvre lag dog ret tyndt, hvilket tyder på enten eksistensen af lokal cirkulation, eller at Kattegat-Skagerrak-fronten er beliggende lidt mod nord. Mod øst er der et tydeligt, mellemliggende lag med en relativ høj temperatur, en relativ høj saltholdighed (omkring 30 PSU) og lave koncentrationer af næringssalte. Dette indikerer at dette mellemliggende lag tidligere var overfladevand, formodentligt med oprindelse i Skagerrak.
13. september	En tydelig lagdelt struktur kan observeres, som kan betragtes som to lag. Mod øst er saltholdigheden lidt lavere, hvilket tyder på udstrømmende Østersøvand. De to

midterste CTD-profiler er meget tydeligt fejlbehæftede.

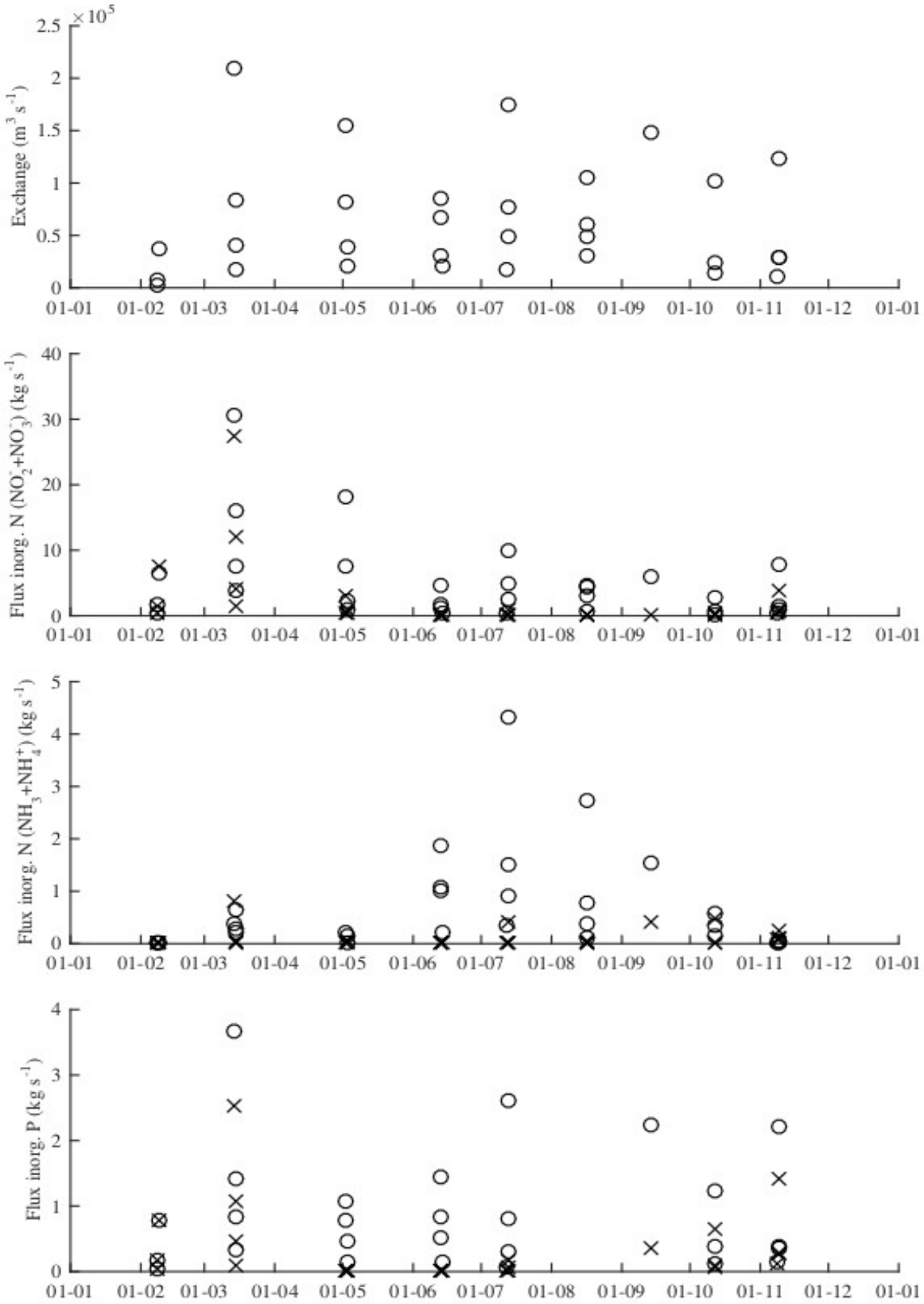
11. oktober — En svag lagdelt struktur kan observeres, hvilket tyder på, at Kattegat-Skagerrak fronten befinder sig tæt på. Mod øst optræder et tyndt lag udstrømmende Østersøvand. Et af profilerne er tydeligt fejlbehæftet.

8. november — Lagdelingen er svag overalt, hvilket tyder på, at fronten enten er tæt på, eller at den befinder sig lidt mod syd.

Betragter man de uorganiske næringssalte, er der i vintermånederne og i det tidlige forår ret høje koncentrationer af N (NO_3^- + NO_2^-) i vandmasserne i både Kattegat og Skagerrak. Fra begyndelsen af maj falder koncentrationerne i det øvre lag i Kattegat kraftigt, mens koncentrationerne i vandmasserne i Skagerrak vedbliver at være relativ høje, også selvom niveauet i løbet af sommeren og i efteråret er markant lavere end om vinteren. Et meget tilsvarende billede ses for P (PO_4^{3-}). Dette indikerer med tydelighed at næringssaltene forbruges i forbindelse med vækst af fytoplankton, og samtidigt viser observationerne i den øvre del af vandsøjlen ofte høje koncentrationer af klorofyl-fluorescence. Dette er meget tydeligt d. 14. marts, som formentligt viser forårsopblomstringen. Koncentratiorne af N (NH_3 + NH_4^-) er generelt ret lave i sammenligning med N (NO_3^- + NO_2^-). Men i visse perioder ses koncentrationer i de dybtliggende vandmasser i Skagerrak som er sammenlignelige med koncentrationerne af N (NO_3^- og NO_2^-) på samme tid og sted. I løbet af sommeren er koncentrationerne af alle næringssalte så lave at det ikke kan afgøres, hvilket næringssalt er begrænsende for væksten af fytoplankton.

Et karakteristisk træk er at samtidigt med de lave koncentrationer i den øvre del af vandsøjlen, altså i de vandmasser som strømmer ud af Kattegat langs Kattegat-Skagerrak-fronten, er der relativt høje koncentrationer i den nedre del af vandsøjlen, altså i de vandmasser som strømmer ind i Kattegat. Dette er tydeligt gennem det meste af året bortset fra dels d. 8. februar, hvor observationerne er foretaget nord for fronten, og hvor øvre lags vand i Kattegat ikke ses på de pågældende stationer, dels 8. november, hvor væksten af fytoplankton formentligt er aftaget, og hvor det i øvrigt er uklart, i hvor stor grad øvre lags vand i Kattegat er til stede på stationerne. Denne fordeling af næringssalte i de forskellige vandmasser medfører at der i løbet af sommeren sker en betydelig netto-indstrømning af uorganiske næringssalte fra Skagerrak til den nedre del af vandsøjlen i Kattegat.

Vha. metoden beskrevet i det forrige afsnit er det muligt at kvantificere den barokline udveksling og transporten af næringssalte langs Kattegat-Skagerrak-fronten. Resultaterne af beregningerne er vist i Figur 3.



Figur 3: Tidsserier for 1995 af vandføring langs Kattegat-Skagerrak-fronten (øverst) samt transporterne af uorganisk N (NO_3^- og NO_2^-) (næstøverst), uorganisk N (NH_3 + NH_4^+) (næstnederst) og P (PO_4^{3-}) (nederst). Transporterne ind i Kattegat er vist med cirkler, mens transporterne ud af Kattegat er vist med krydser. Enheden for transporterne af næringssalte er kg s^{-1}, hvilket svarer til godt 31.000 tons pr. år. Bemærk at de meget store vandføringer og de tilhørende store transporter af næringssalte nok ikke er realistiske, jævnfør forklaringen i teksten.

Det fremgår at den beregnende, barokline udveksling langs fronten for hver dag hvor der er foretaget observationer, er forbundet med en stor variation (Figur 3 foroven). Dette afspejler den dynamik som den lagdelte struktur i Kattegat er forbundet med. De meget store værdier af de beregnede udvekslinger er i alle tilfælde knyttet til profilmålingerne tæt på den svenske kyst. Som beskrevet ovenfor kan disse være betydeligt overestimerede pga. strømmens afbøjning. Det samme gælder de tilhørende, beregnede værdier af transporten af næringssalte. Derfor ligger den faktiske udveksling langs Kattegat-Skagerrak-fronten nok almindeligvis mellem 25.000 og 100.000 $m^3 s^{-1}$, afhængigt af udstrømningen fra Østersøen og forøgelsen af øvre lags tykkelse og densitet pga. vindblandingen i Kattegat. Det skal bemærkes at de relativt lave udvekslinger beregnet d. 8. februar og til dels d. 11. oktober og d. 8. november skyldes, at Kattegat-Skagerrak-fronten har befundet sig syd for eller tæt på målestationerne, jævnfør den kvalitative beskrivelse af profilmålingerne ovenfor. Derfor giver beregningerne på disse dage nok ikke et korrekt indtryk af udvekslingen mellem Kattegat og Skagerrak. Til trods for at Kattegat-Skagerrak-fronten har befundet sig syd for målestationerne på disse dage, har den barokline udveksling stadig fundet sted.

Foretages der beregninger med typiske saltholdigheder og en middeltilstrømning af ferskvand til Østersøen på 15.000 $m^3 s^{-1}$, finder man vha. Knudsens relationer en udstrømning fra øvre lag i Kattegat på mellem 40.000 og 90.000 $m^3 s^{-1}$ og en indstrømning fra Skagerrak på mellem 25.000 og 75.000 $m^3 s^{-1}$. Disse tal må siges at være i fin overenstemmelse med beregningerne baseret på den geostrofe balance. Ved denne sammenligning skal man imidlertid være opmærksom på dels at tilstrømningen af ferskvand til Østersøen er forbundet med nogen variation, dels at det tager relativ lang tid, før en ændring i tilstrømningen af ferskvand til Østersøen slår igennem ved Kattegat-Skagerrak-fronten. Med forbehold for disse variationer må den barokline udveksling må dog forventes at være nogenlunde lige stor året rundt. Analyse af flere data kan kaste lys over mulige variationer mellem både sæsoner og år.

Når de beregnede udvekslinger langs Kattegat-Skagerrak-fronten kombineres med de observerede koncentrationer af næringssalte, finder man på årsbasis en betydelig netto-indstrømning af uorganiske næringssalte fra Skagerrak til Kattegat (Figur 3 næstøverst, næstnederst og nederst). Dette hænger ganske enkelt sammen med at de indstrømmende vandmasser fra Skagerrak i en stor del af året indeholder højere koncentrationer end det udstrømmende vand fra Kattegat (se Bilag 2). Netto-indstrømningen af uorganisk N (NO_3^- + NO_2^-) og uorganisk N (NH_3 + NH_4^+) til Kattegat sker primært i løbet af månederne juni-september. Konservative, meget grove skøn på de samlede mængder i 1995 er hhv. ca. 50.000 tons og ca. 10.000 tons. Indstrømningen af uorganisk N (NH_3 + NH_4^+) er særligt udpræget begrænset til sommermånederne og det tidlige efterår. Figur 3 (nederst) indikerer at der også sker en netto-indstrømning af P (PO_4^{3-}) til Kattegat. Et groft skøn på den samlede mængde er ca. 20.000 tons, men dette tal er forbundet med en stor usikkerhed.

Bruttoværdierne af indstrømningen af næringssalte til Kattegat er forbundet med endnu større usikkerheder. I 1995 finder man for uorganisk N (NO_3^- + NO_2^-) ca. 300.000 tons, for uorganisk N (NH_3 + NH_4^+) ca. 20.000 tons og for P (PO_4^{3-}) ca. 30.000 tons.

I vintermånederne og det sene efterår, hvor koncentrationerne af næringssalte i både Kattegat og Skagerrak er relativ høje og nogenlunde ens, er der både stor indstrømning til og stor udstrømning fra Kattegat. I løbet af fytoplanktonets vækstsæson er det tydeligt hvordan udstrømningen af uorganiske næringssalte fra Kattegat generelt er meget begrænset pga. forbruget af næringssalte i det øvre lag i Kattegat. I denne periode må der til gengæld forventes en betydelig netto-udstrømning af organisk materiale og organisk bundne næringssalte fra Kattegat til Skagerrak, jævnfør klorofyl-koncentrationerne vist i Bilag 2. På det forhåndenværende datagrundlag er det dog ikke muligt at kvantificere denne udstrømning.

Antallet af observationer som ligger til grund for Figur 3, er relativt begrænset, og samtidigt er de beregnede udvekslinger forbundet med stor variation. Derfor er det ønskeligt at analysen udvides og kommer til at omfatte langt flere observationer på positioner både syd og nord for området i det

nordlige Kattegat, hvor Kattegat-Skagerrak-fronten optræder. Hvis flere observationer inddrages, bliver det forhåbentligt muligt dels at validere antagelserne om trykfordelingen og vandmassernes karakteristika omkring fronten, herunder koncentrationerne af næringssalte, dels at etablere en lang tidsserie af udvekslingen af vandmasser og næringssalte mellem Kattegat og Skagerrak. En sådan tidsserie kan forhåbentligt bruges til at kaste lys over mulige variationer over lange tidsperioder.

6. Diskussion

I de to seneste rapporter fra DCE vedrørende tilstanden i de marine områder i Danmark er der foretaget undersøgelser af strømningerne af og blandingen mellem vandmasserne i de indre danske farvande (Hansen og Høgslund, 2021a; Hansen og Høgslund, 2021b). Undersøgelserne er udelukkende foretaget vha. en numerisk model, som er beskrevet i referencer i de to nævnte rapporter. Undersøgelserne leder til bl.a. kvantificering af de årlige ind- og udstrømninger i en række dele af de indre danske farvande opdelt i øvre og nedre lag, defineret ved en dybde på 14 m, samt den vertikale udveksling mellem disse lag i hvert af bassinerne. Endvidere estimeres den årlige transport af næringssalte gennem de indre danske farvande. Her skal fremhæves en beregnet transport på samlet ca. 42.000 tons NO_3-N i 2019 i det nedre lag, som strømmer ind i Kattegat fra Skagerrak (s. 36 i Hansen og Høgsholt, 2021a. Det er uklart hvordan denne beregning er foretaget). Dette tal er sammenligneligt med den samlede transport på ca. 50.000 tons for 1995, beregnet i nærværende rapport. Selvom de to tal er sammenlignelige, skal man være meget varsom med at bruge dette som et udtryk for pålidelighed. Dette diskuteres nedenfor. Bl.a. skal der her gøres opmærksom på at en definition af overgangen mellem øvre og nedre lag på 14 m ofte ikke er i overenstemmelse med observationerne i det nordlige Kattegat, jævnfør Bilag 2 og 3.

Selvom de refererede tal fra de to rapporter har en vis lighed med de transporter af uorganiske næringssalte, som er beregnet i nærværende rapport for det nordlige Kattegat, skal det bemærkes at sådanne modelresultater er enormt afhængige af den parametrisering af blandingen mv., som foregår i modellen. Ydermere skal det bemærkes at langt de fleste af de modelresultater som fremlægges i de to rapporter (Hansen og Høgslund, 2021a; Hansen og Høgslund, 2021b), er årsgennemsnit af en række forskellige variable, bl.a. transporterne af vand og næringssalte gennem forskellige tværsnit. Sådanne gennemsnitsværdier taget over lange perioder kan være meget svære både at forholde sig til og tro på. Det skyldes at de på den ene side kan skjule effekterne af en lang række vigtige processer, og at de på den anden side kan dække over tydelige fejl. Brug af gennemsnitsresultater over lang tid betyder endvidere at det er umuligt at sammenligne med direkte observationer af f.eks. salinitet, temperatur eller strømningshastighed, og at man dermed ikke kan undersøge, om modellen er troværdig.

7. Konklusion

Konklusionen på det foreløbige arbejde er at metoden baseret på dels observationer af salinitet og temperatur i det nordlige Kattegat, dels antagelsen om geostrof balance ser ud til at give fornuftige resultater mht. udvekslingen af vandmasser mellem Kattegat og Skagerrak. Ganske vist er de beregnede udvekslinger på et givent tidspunkt forbundet med stor variation, hvilket skyldes, at øvre lag i Kattegat er meget dynamisk. Men beregningerne er i fin overensstemmelse med udvekslingen baseret på Knudsens relationer, dvs. bevarelse af volumen og salt, hvilken dog udtrykker en middelværdi over en lang periode. Pga. fordelingen af næringssalte i vandmasserne omkring Kattegat-Skagerrak-fronten sker der en netto-indstrømning af uorganiske næringssalte fra Skagerrak til Kattegat. Denne netto-indstrømning foregår primært i løbet af sommeren og det tidlige efterår, hvor koncentrationerne af uorganiske næringssalte i det øvre lag i Kattegat er relativt lave. Konservative, meget grove skøn på den samlede netto-indstrømning for 1995 er ca. 50.000 tons for uorganisk N (NO_3^- + NO_2^-), ca. 10.000 tons for uorganisk N (NH_3 + NH_4^+) og ca. 20.000 tons for P (PO_4^{3-}).

Referencer

Gill, A.E. (1982) Atmosphere–Ocean Dynamics. Academic Press, London. 680 pp.

Gustafsson, B., and Stigebrandt, A. (1996) Dynamics of the fresh-water-influenced surface layers in the Skagerrak. Journal of Sea Research, vol. 35, pp. 39 – 53.

Fischer, H. B., E. J. List, R. C. Y. Koh, J. Imberger, N. H. Brooks (1979) Mixing in coastal and inland waters. Academic Press, London, 499 pp.

Hansen, J.W., and Høgslund, S. (red.) (2021a) Marine områder 2019. NOVANA. Videnskabelig rapport fra DCE nr. 418. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 174 pp.

Hansen, J.W., and Høgslund, S. (red.) (2021b) Marine områder 2020. NOVANA. Videnskabelig rapport fra DCE nr. 475. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 192 pp.

Hänninen, J., and Vuorinen, I. (2011) Time-Varying Parameter Analysis of the Baltic Sea Freshwater Runoffs. Environmental Modelling & Assessment, vol 16, pp. 53–60.

Jakobsen, F. (1997) Hydrographic investigation of the northern Kattegat front. Continental Shelf Research, vol. 17, pp. 533 – 554.

Matthäus, W., and Franck, H. (1992) Characteristics of major Baltic inflows - a statistical analysis, Continental Shelf Research, vol. 36, pp. 1375 – 1400.

Nielsen, M. H. (2005) The baroclinic surface currents in the Kattegat. Journal of Marine Systems, vol. 55, pp. 97 – 121.

UNESCO (1981) International oceanographic tables, Vol. 3. UNESCO Technical Papers in Marine Science, 39. UNESCO, Paris.

Bilag

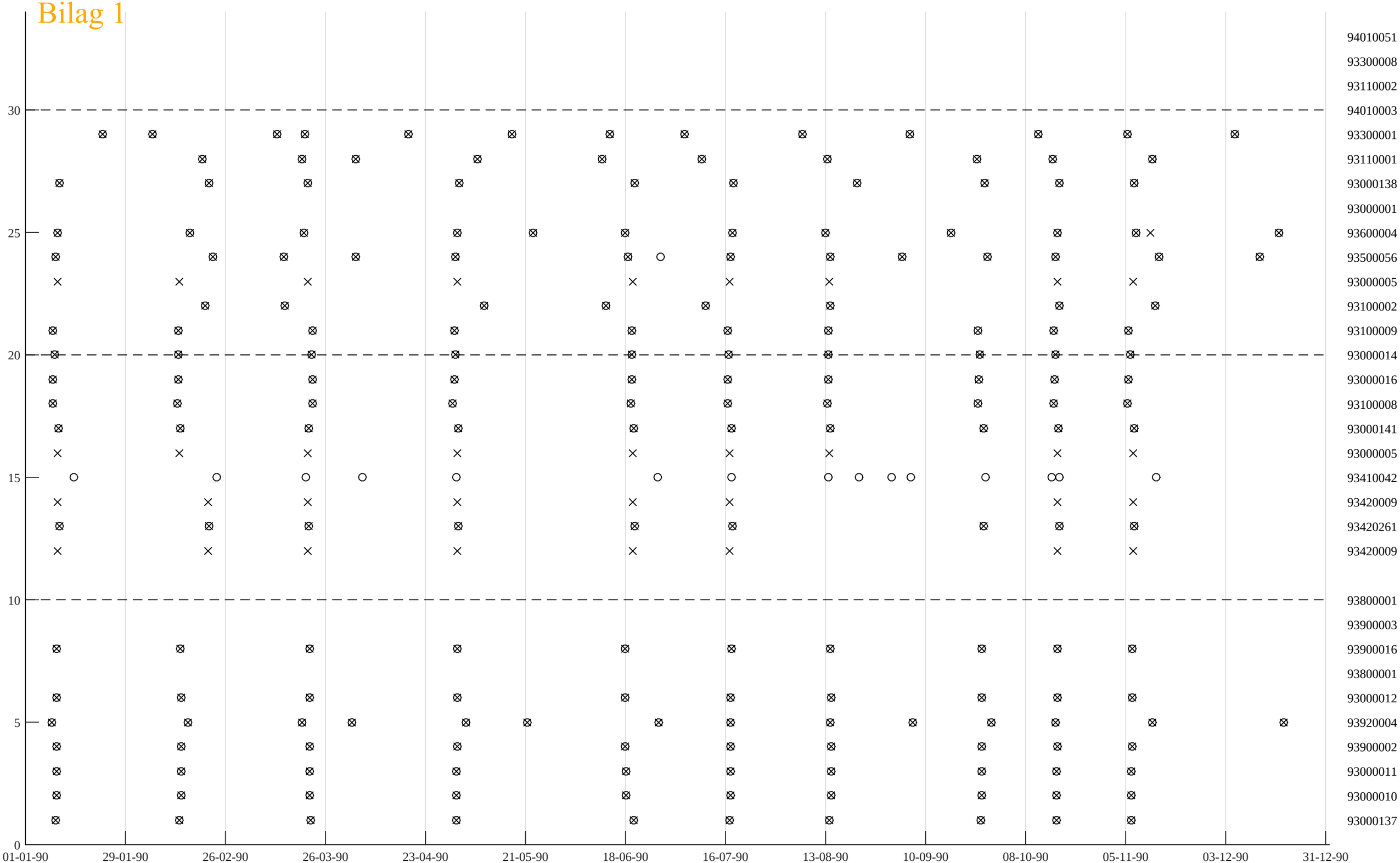
Vedlagt som separate filer i PDF-format er følgende bilag.

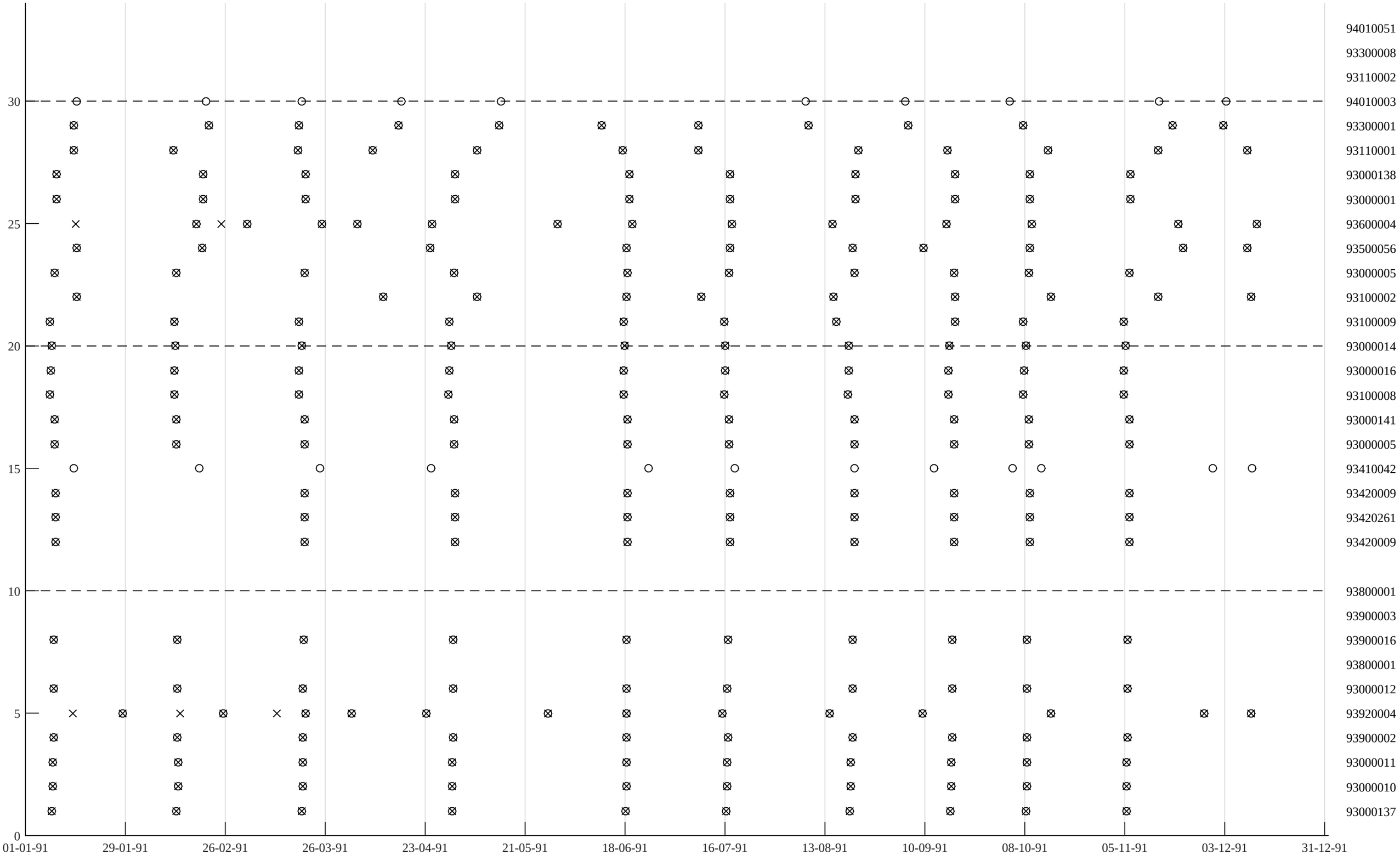
1. Datadækning, jævnfør stationerne vist i Figur 2.

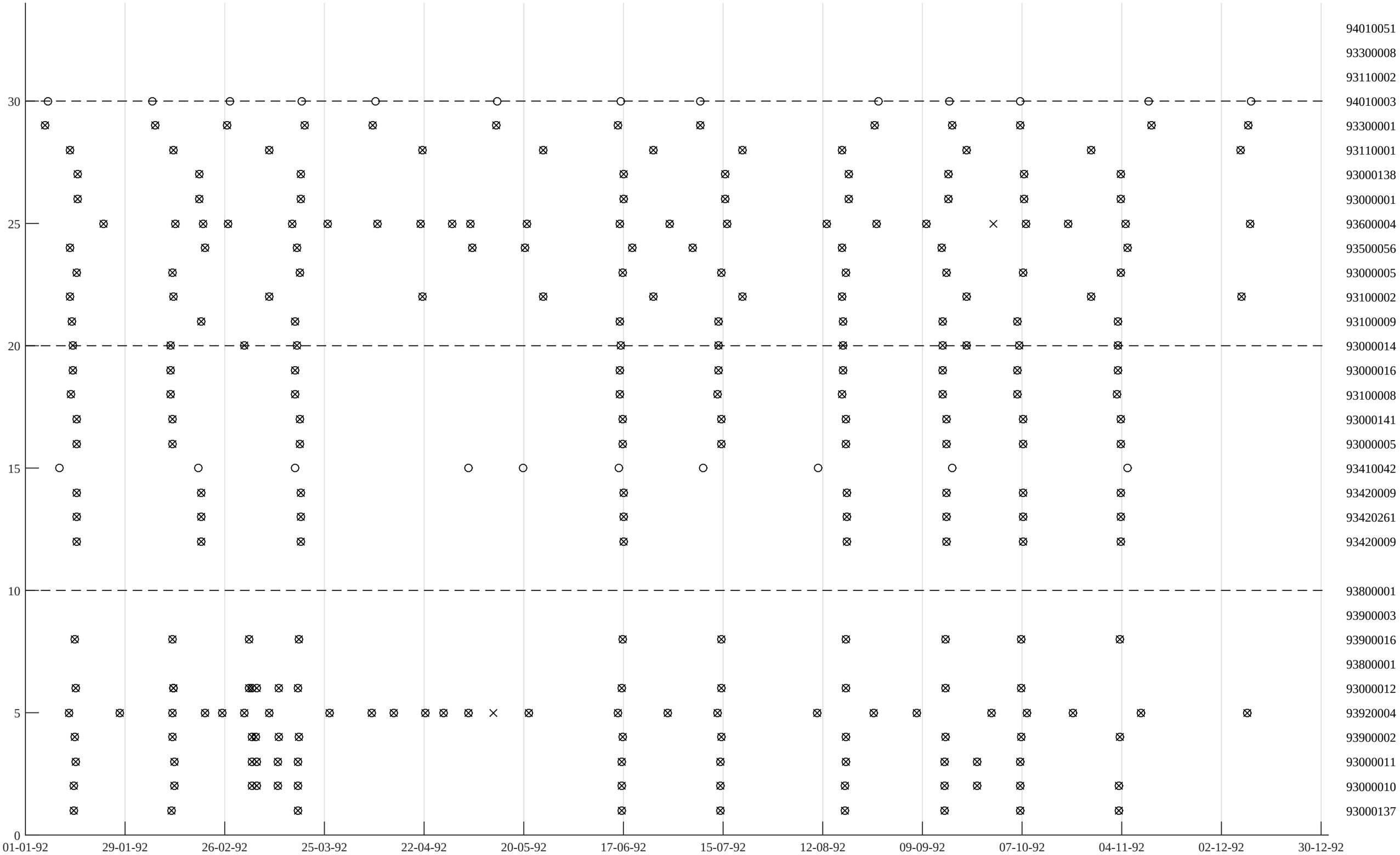
2. Profilmålinger og vandkemiske data fra stationerne 93900002, 93000012, 93000011 og 93000010 for 1995.

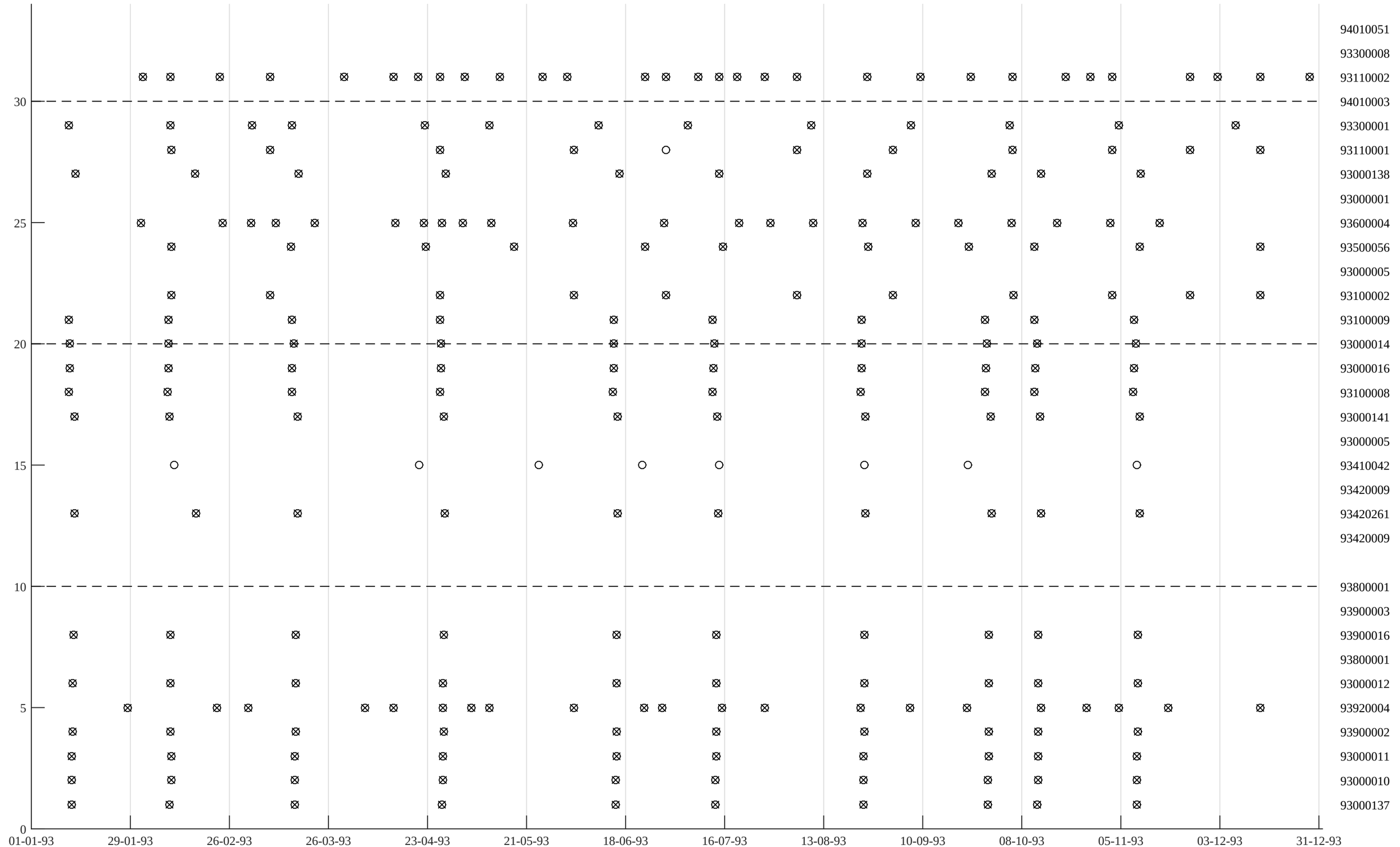
3. Densitetsprofiler og beregning af horisontal tryk gradient for stationerne 93900002, 93000012, 93000011 og 93000010 for 1995.

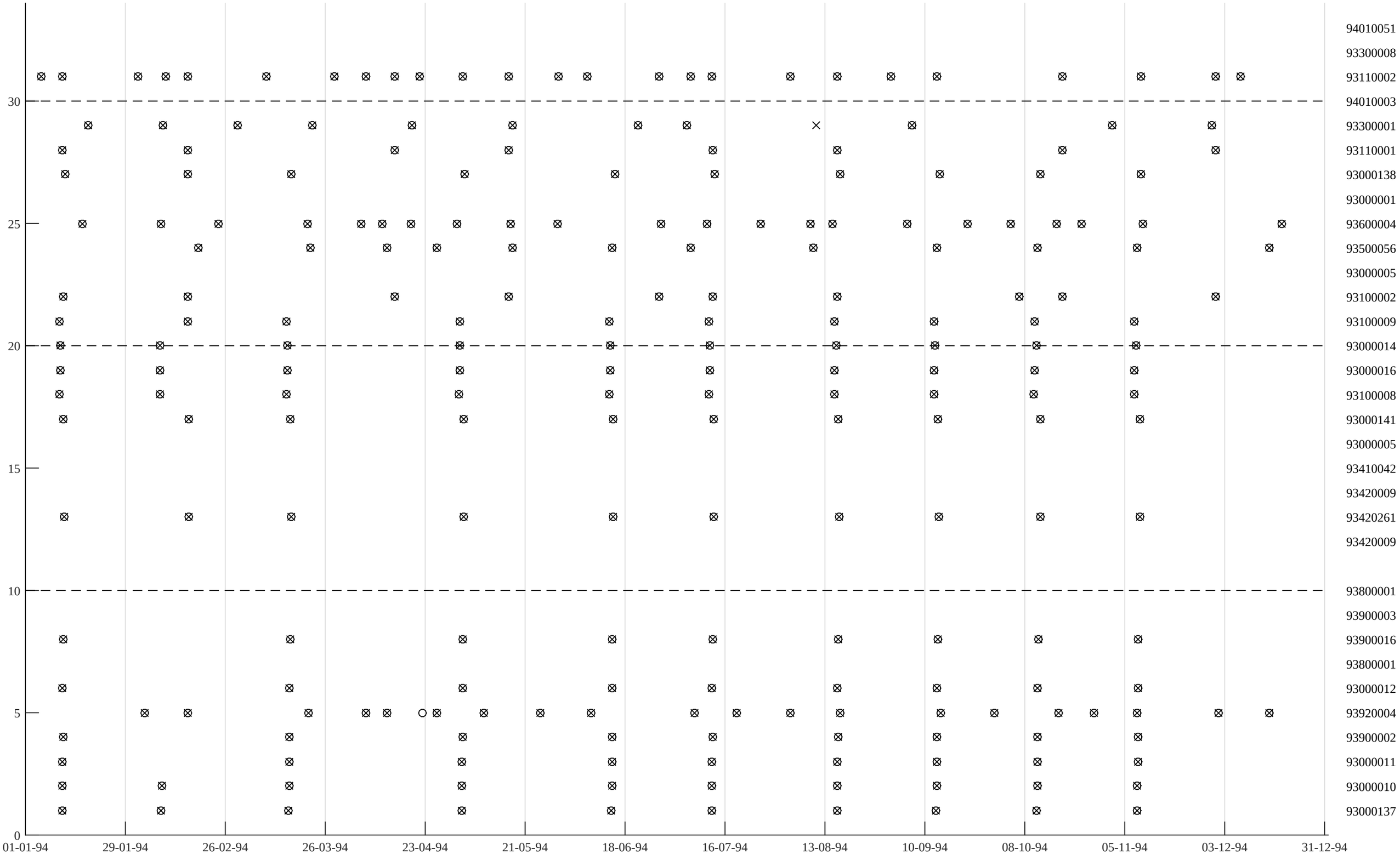
Bilag 1

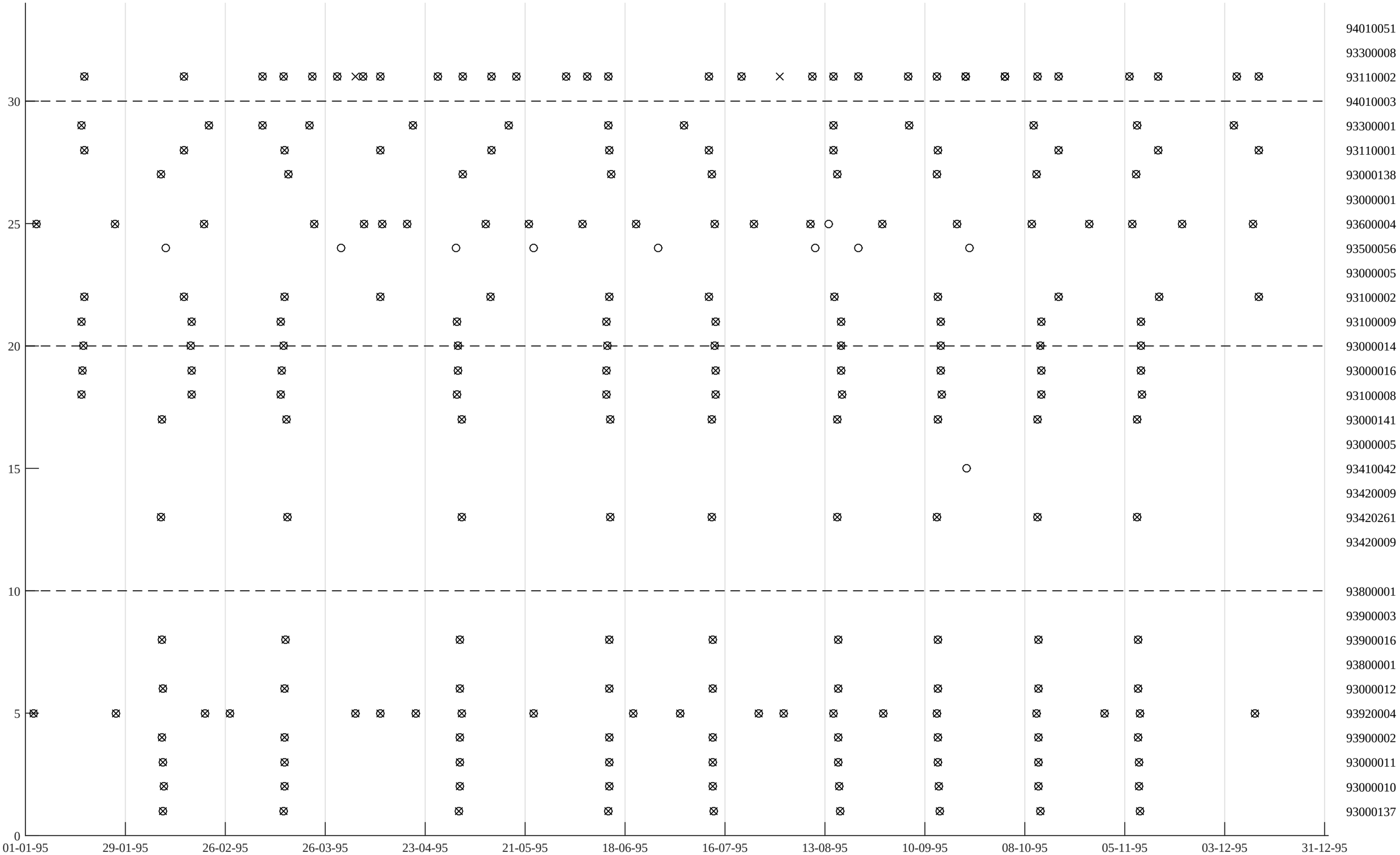

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-90
29-01-90
26-02-90
26-03-90
23-04-90
21-05-90
18-06-90
16-07-90
13-08-90
10-09-90
08-10-90
05-11-90
03-12-90
31-12-90

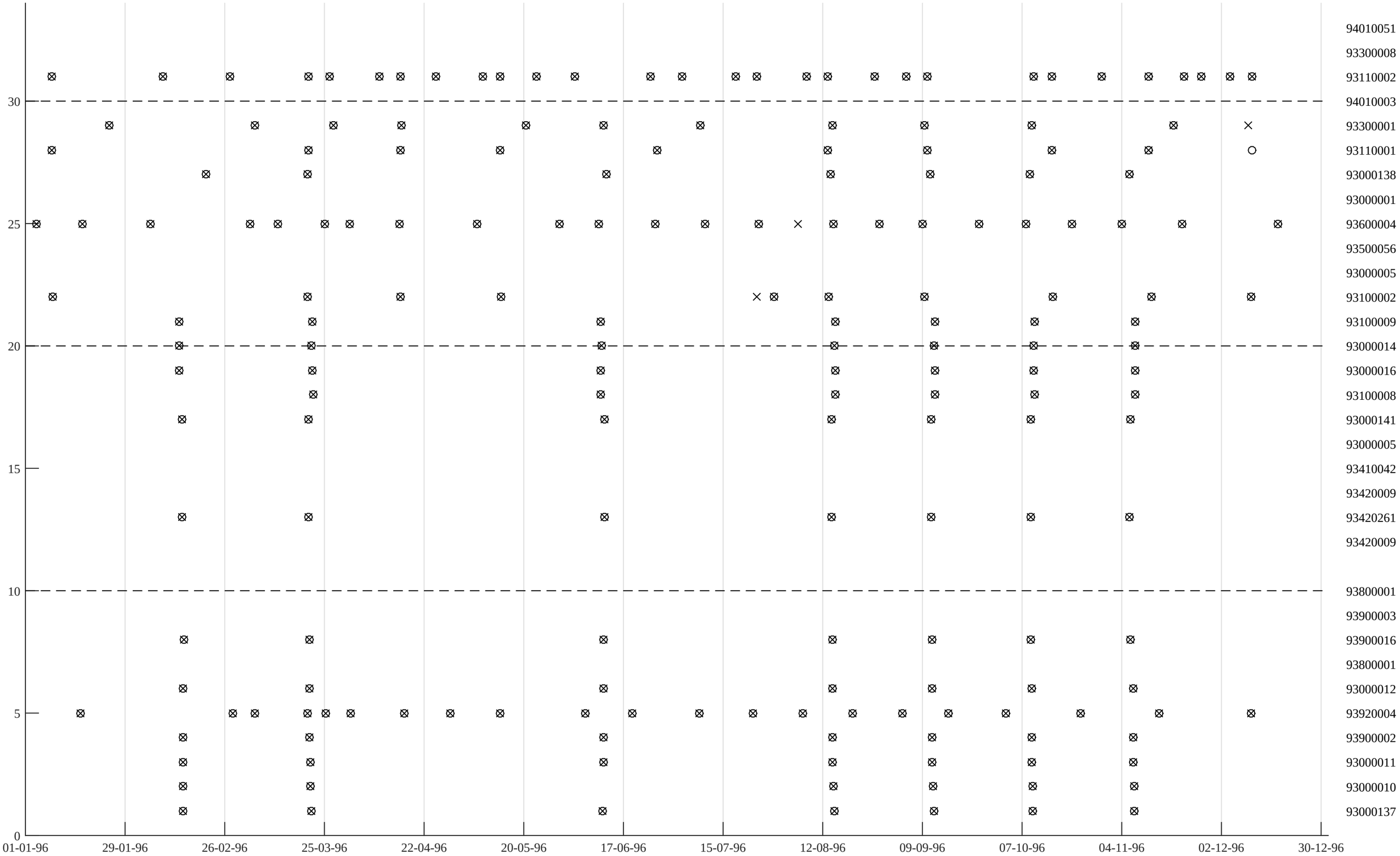

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-91
29-01-91
26-02-91
26-03-91
23-04-91
21-05-91
18-06-91
16-07-91
13-08-91
10-09-91
08-10-91
05-11-91
03-12-91
31-12-91

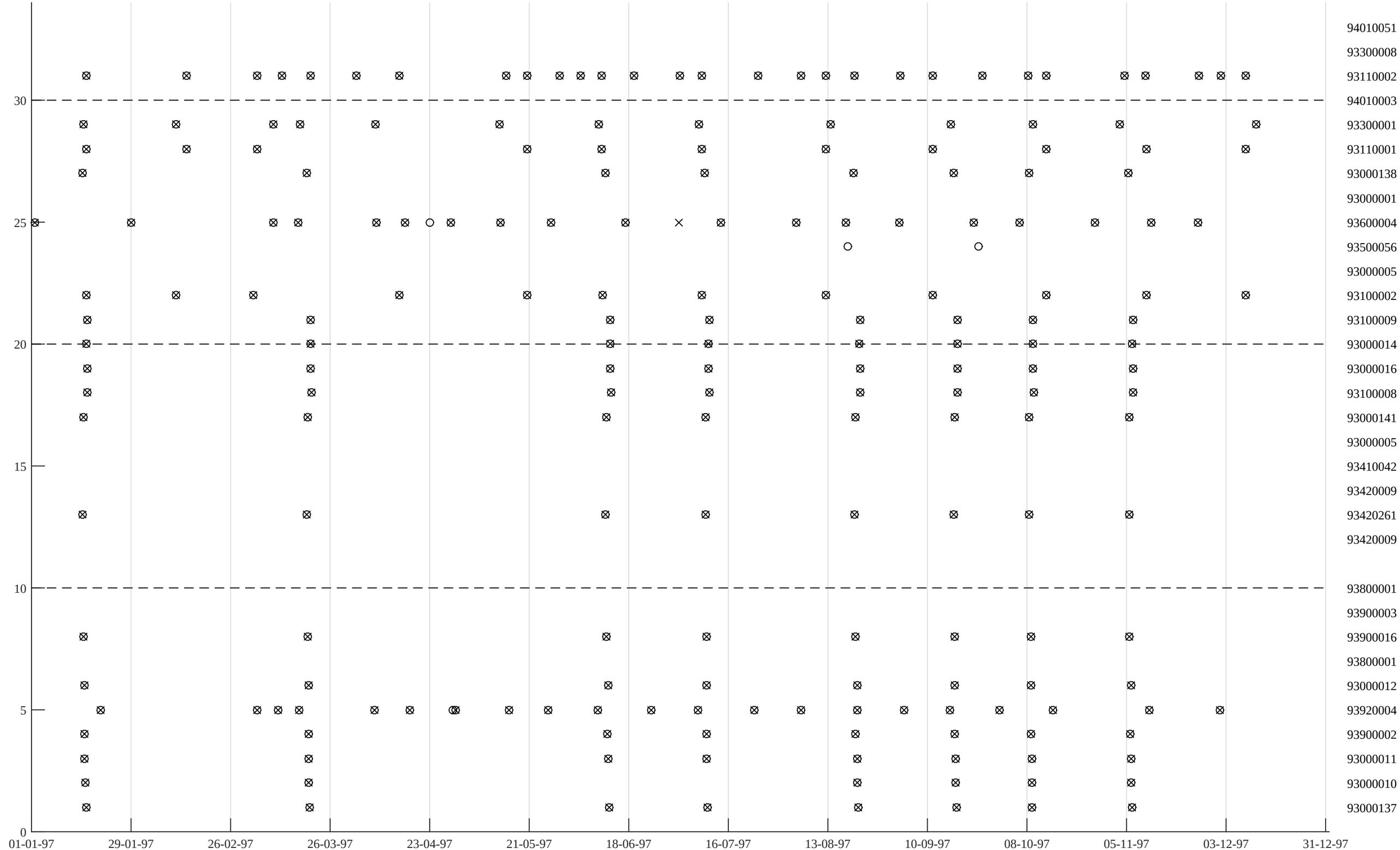

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-92
29-01-92
26-02-92
25-03-92
22-04-92
20-05-92
17-06-92
15-07-92
12-08-92
09-09-92
07-10-92
04-11-92
02-12-92
30-12-92

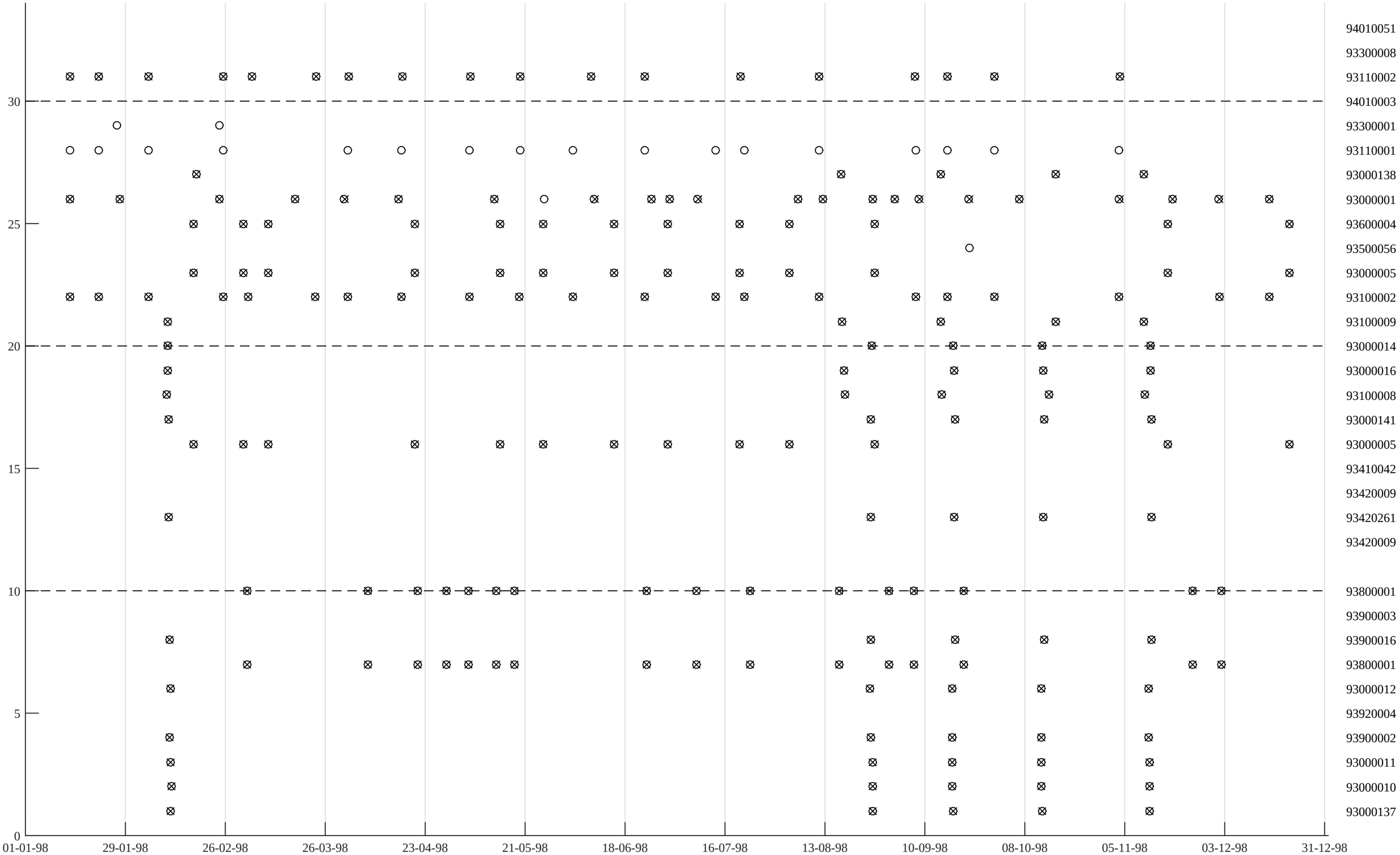

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-93
29-01-93
26-02-93
26-03-93
23-04-93
21-05-93
18-06-93
16-07-93
13-08-93
10-09-93
08-10-93
05-11-93
03-12-93
31-12-93

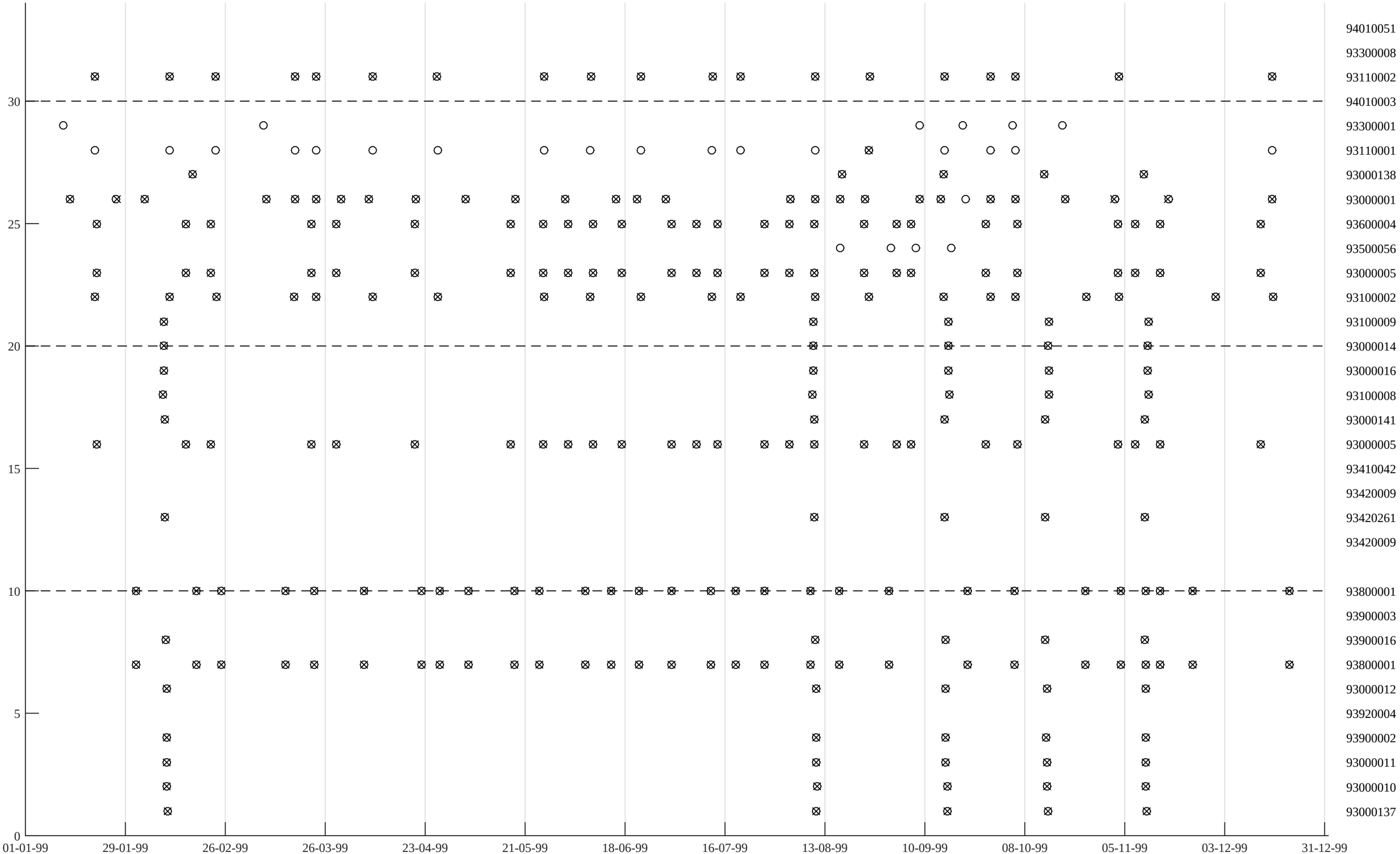

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-94
29-01-94
26-02-94
26-03-94
23-04-94
21-05-94
18-06-94
16-07-94
13-08-94
10-09-94
08-10-94
05-11-94
03-12-94
31-12-94

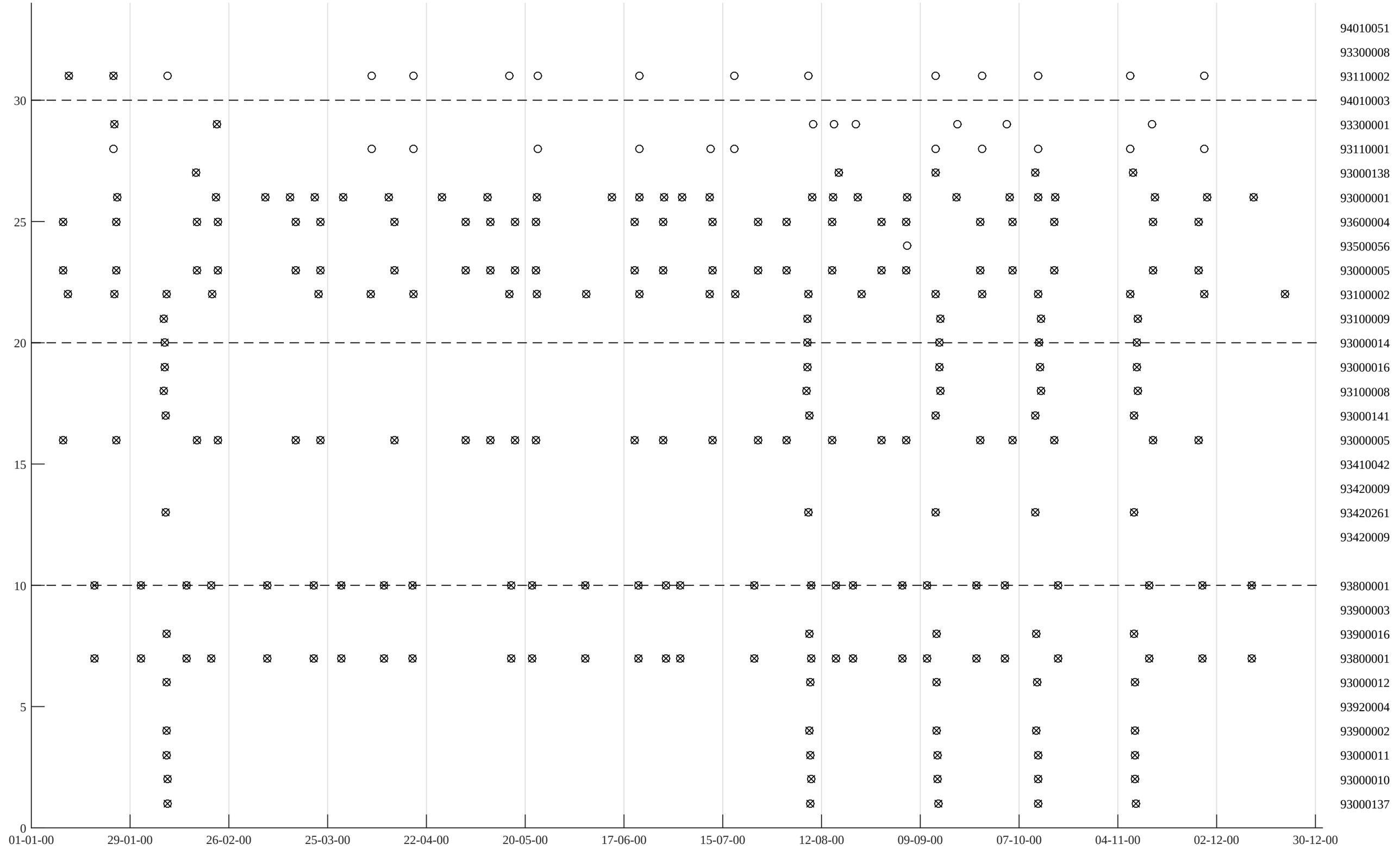

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-95
29-01-95
26-02-95
26-03-95
23-04-95
21-05-95
18-06-95
16-07-95
13-08-95
10-09-95
08-10-95
05-11-95
03-12-95
31-12-95

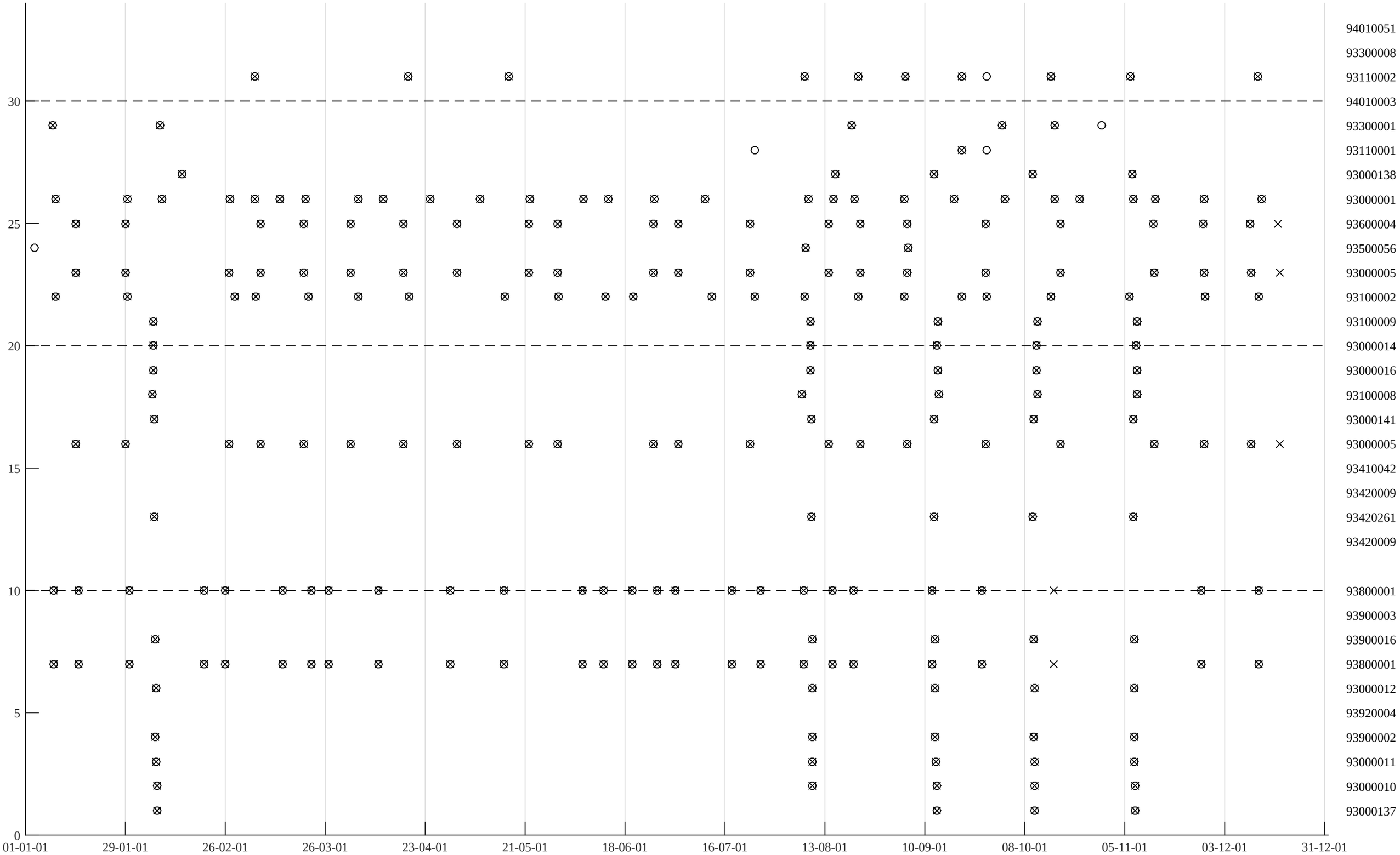

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-96
29-01-96
26-02-96
25-03-96
22-04-96
20-05-96
17-06-96
15-07-96
12-08-96
09-09-96
07-10-96
04-11-96
02-12-96
30-12-96

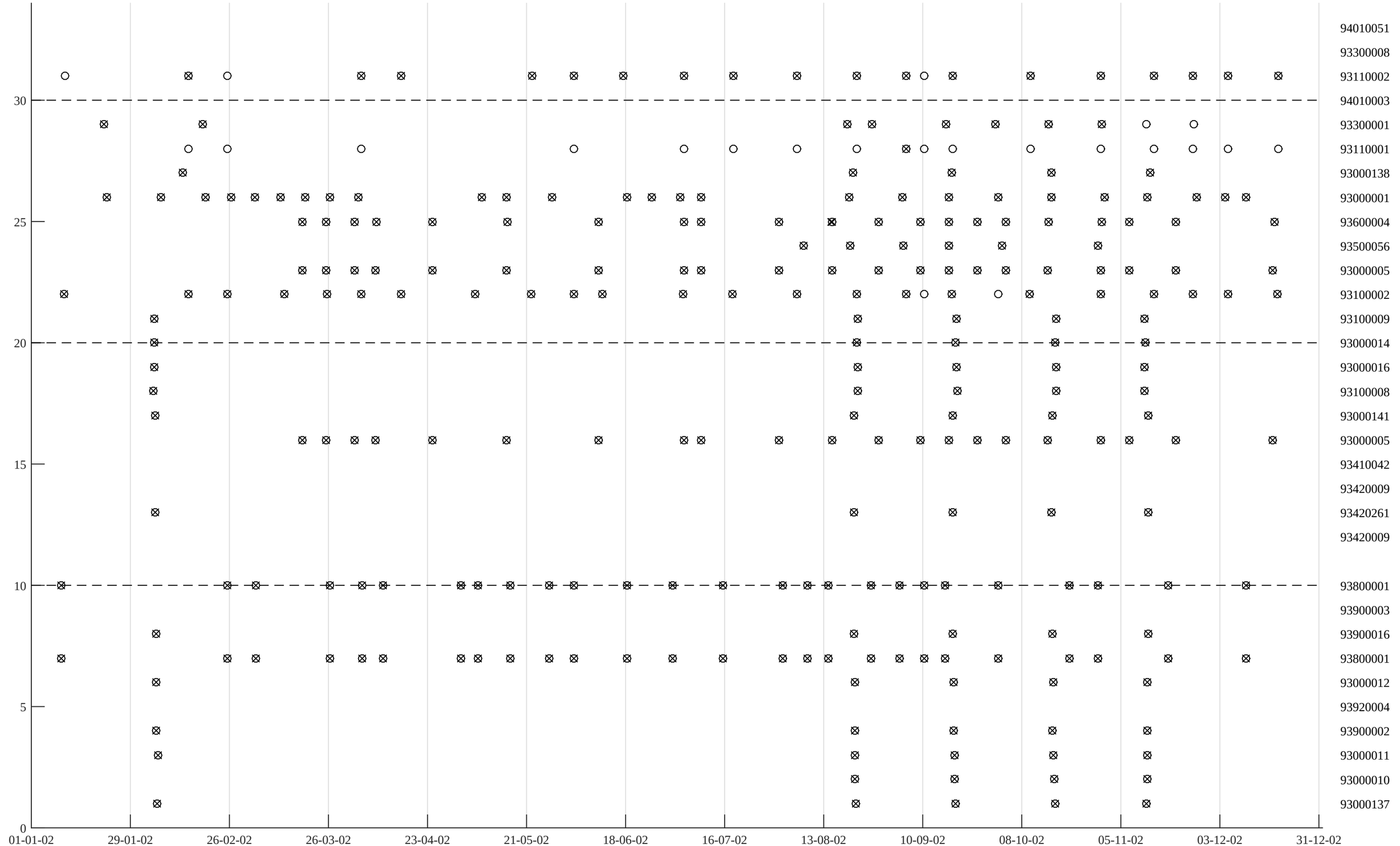

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-97
29-01-97
26-02-97
26-03-97
23-04-97
21-05-97
18-06-97
16-07-97
13-08-97
10-09-97
08-10-97
05-11-97
03-12-97
31-12-97

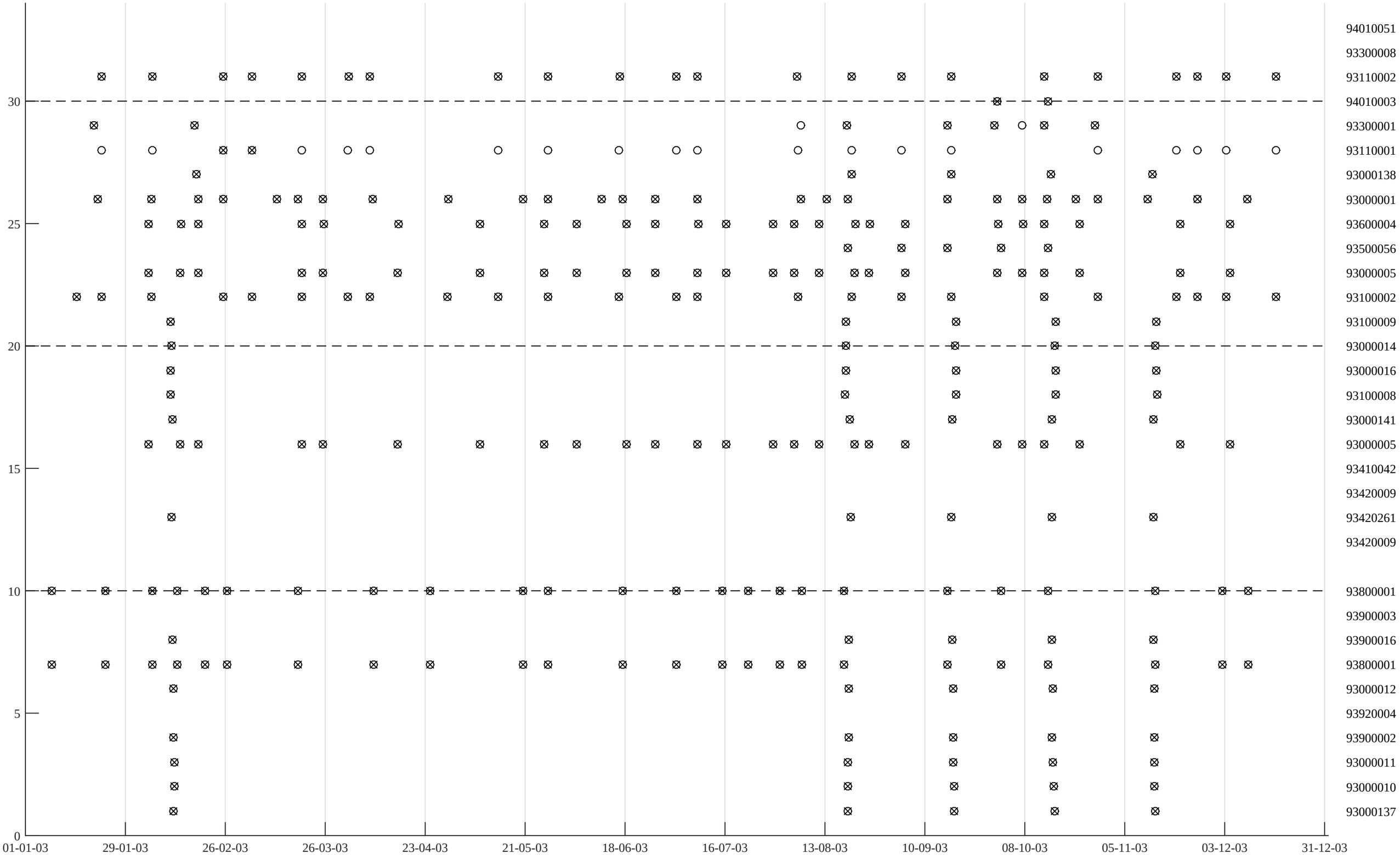

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-98
29-01-98
26-02-98
26-03-98
23-04-98
21-05-98
18-06-98
16-07-98
13-08-98
10-09-98
08-10-98
05-11-98
03-12-98
31-12-98

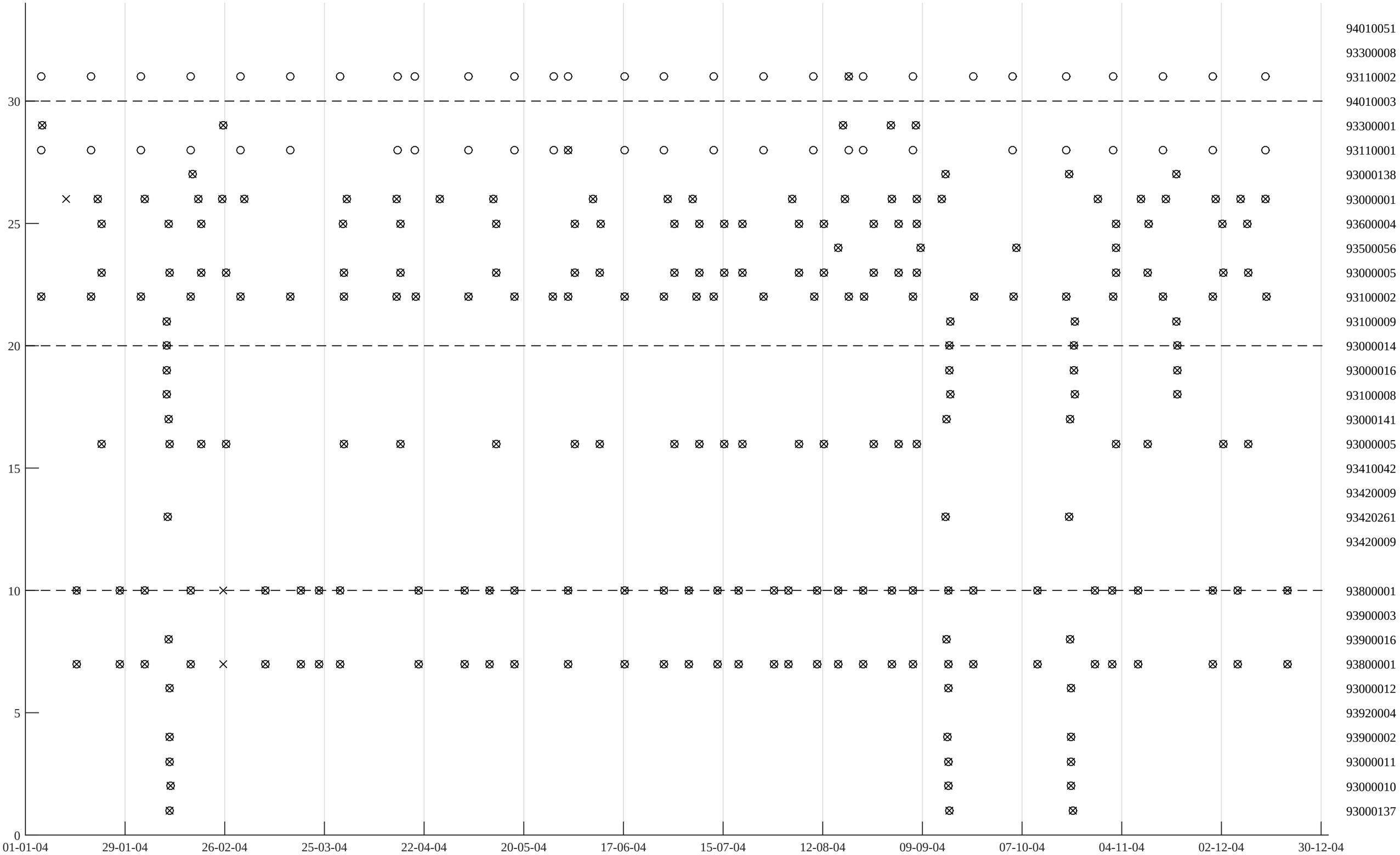

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-99
29-01-99
26-02-99
26-03-99
23-04-99
21-05-99
18-06-99
16-07-99
13-08-99
10-09-99
08-10-99
05-11-99
03-12-99
31-12-99

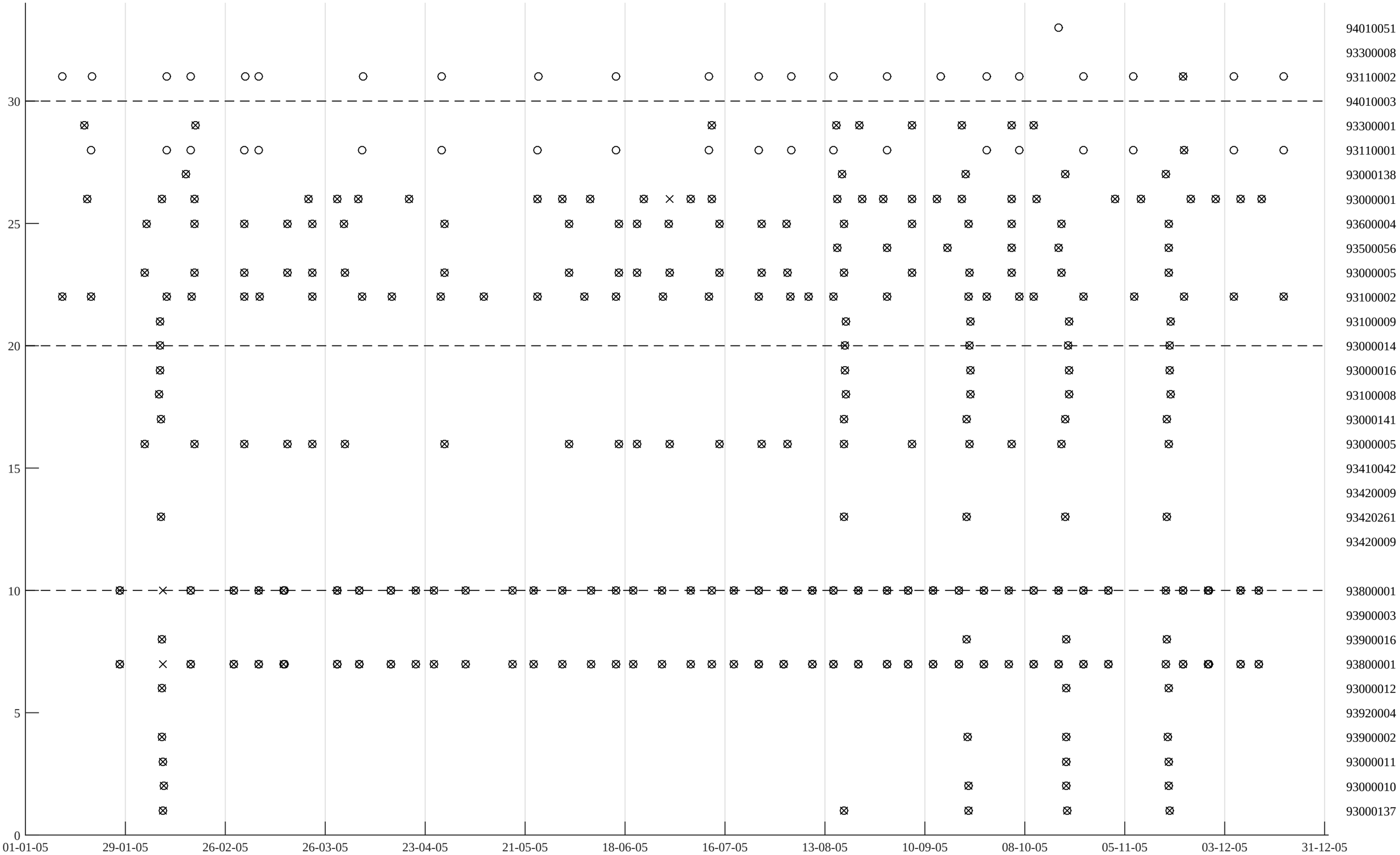

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-00
29-01-00
26-02-00
25-03-00
22-04-00
20-05-00
17-06-00
15-07-00
12-08-00
09-09-00
07-10-00
04-11-00
02-12-00
30-12-00

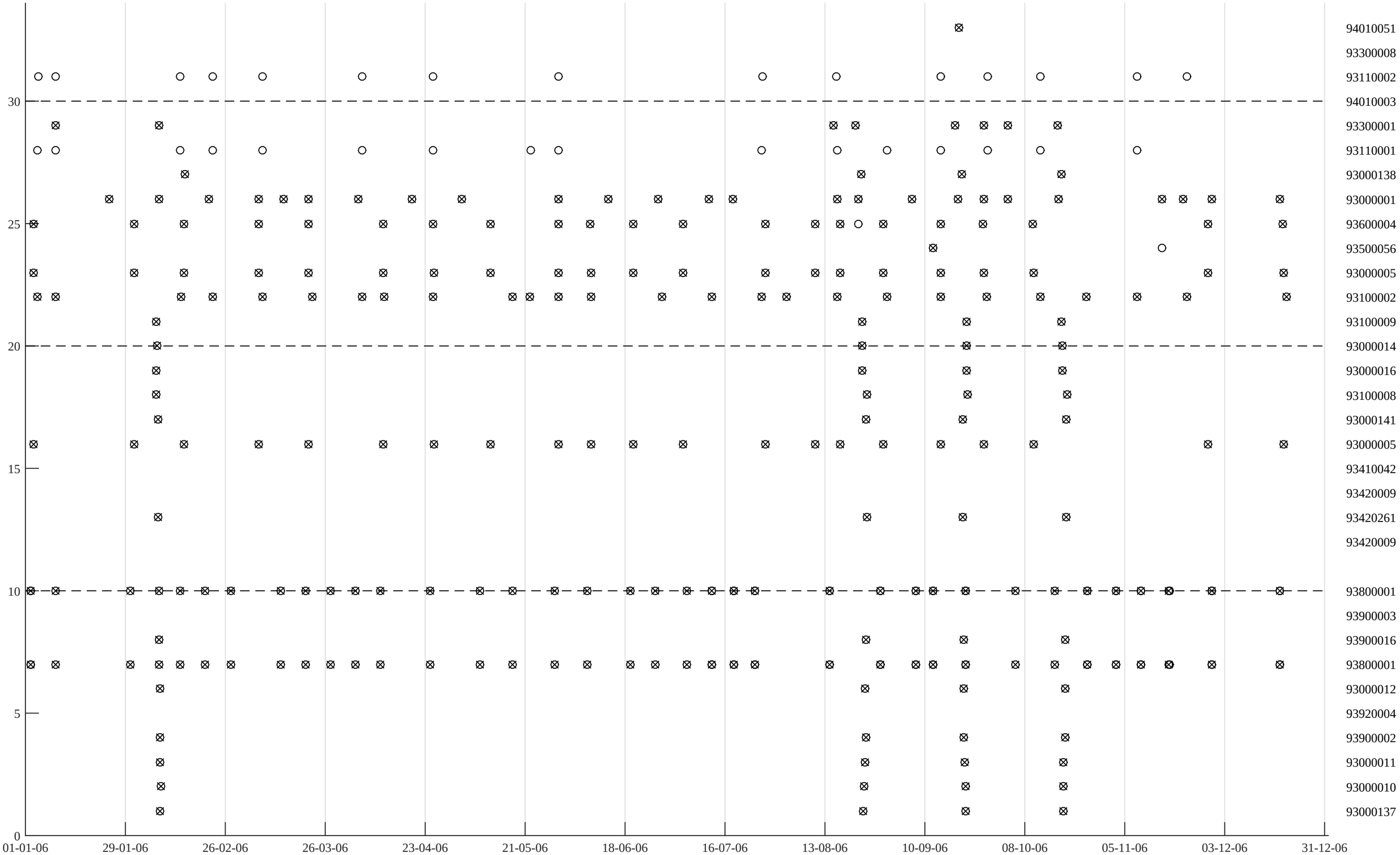

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-01
29-01-01
26-02-01
26-03-01
23-04-01
21-05-01
18-06-01
16-07-01
13-08-01
10-09-01
08-10-01
05-11-01
03-12-01
31-12-01

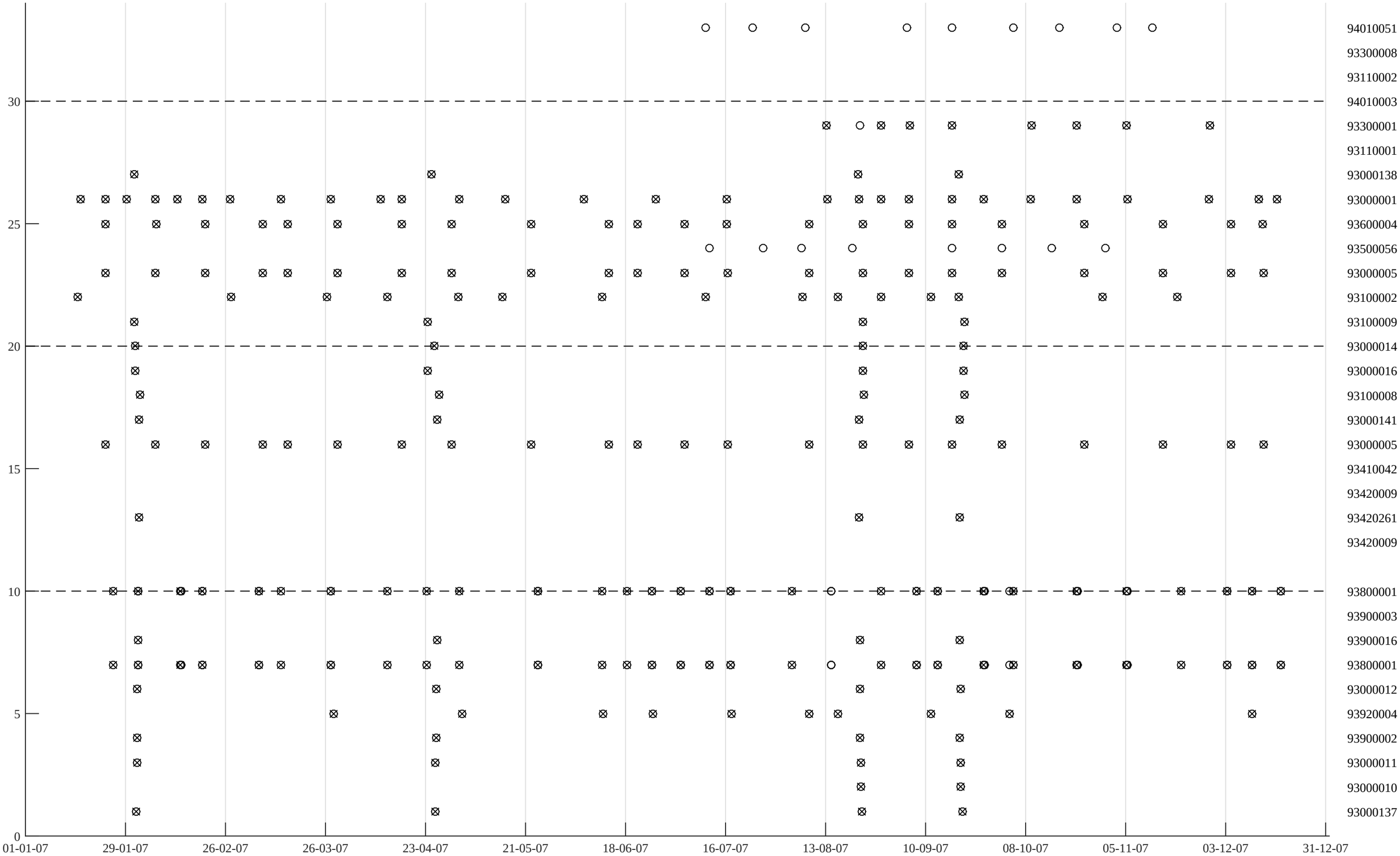

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-02
29-01-02
26-02-02
26-03-02
23-04-02
21-05-02
18-06-02
16-07-02
13-08-02
10-09-02
08-10-02
05-11-02
03-12-02
31-12-02

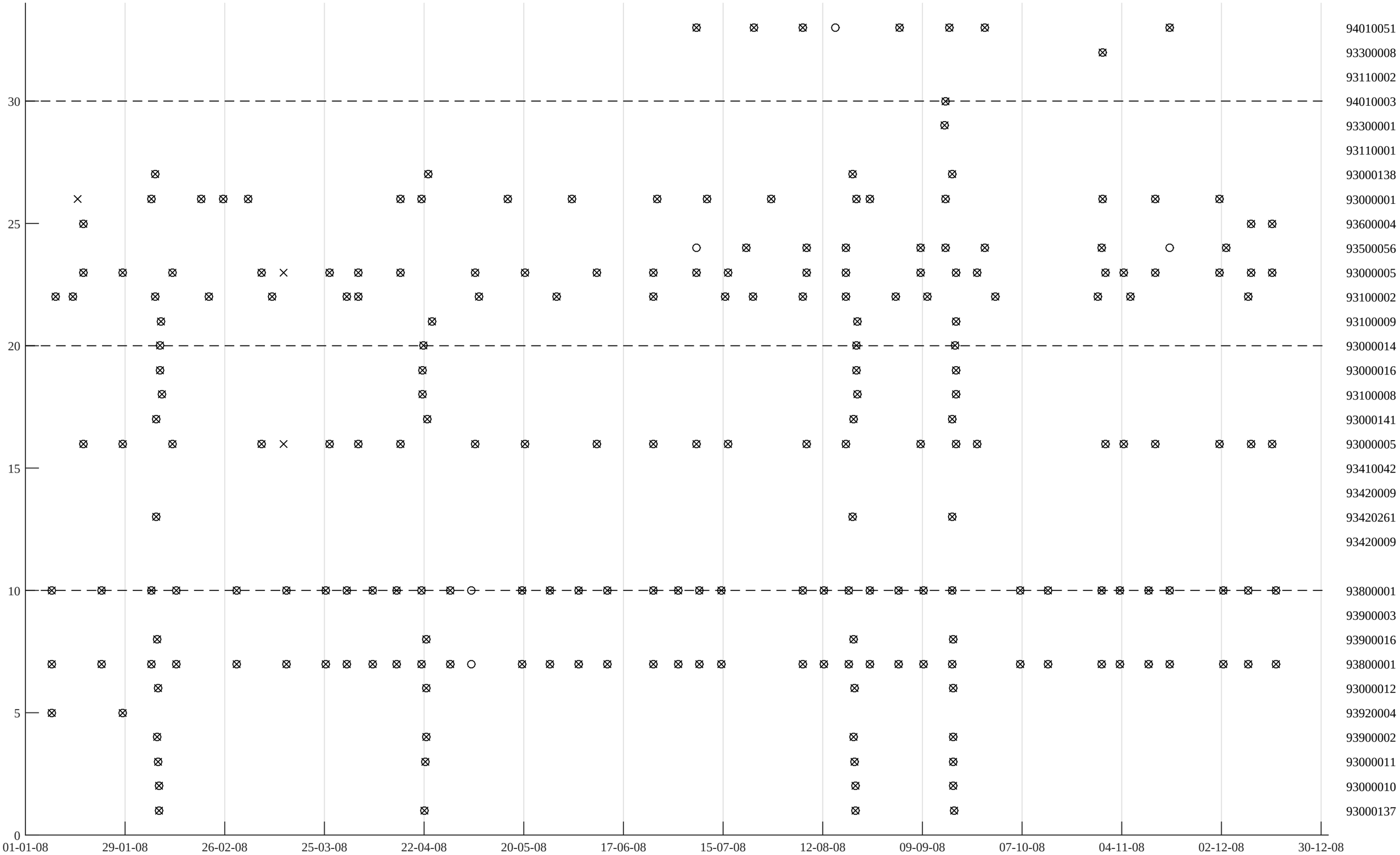

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-03
29-01-03
26-02-03
26-03-03
23-04-03
21-05-03
18-06-03
16-07-03
13-08-03
10-09-03
08-10-03
05-11-03
03-12-03
31-12-03

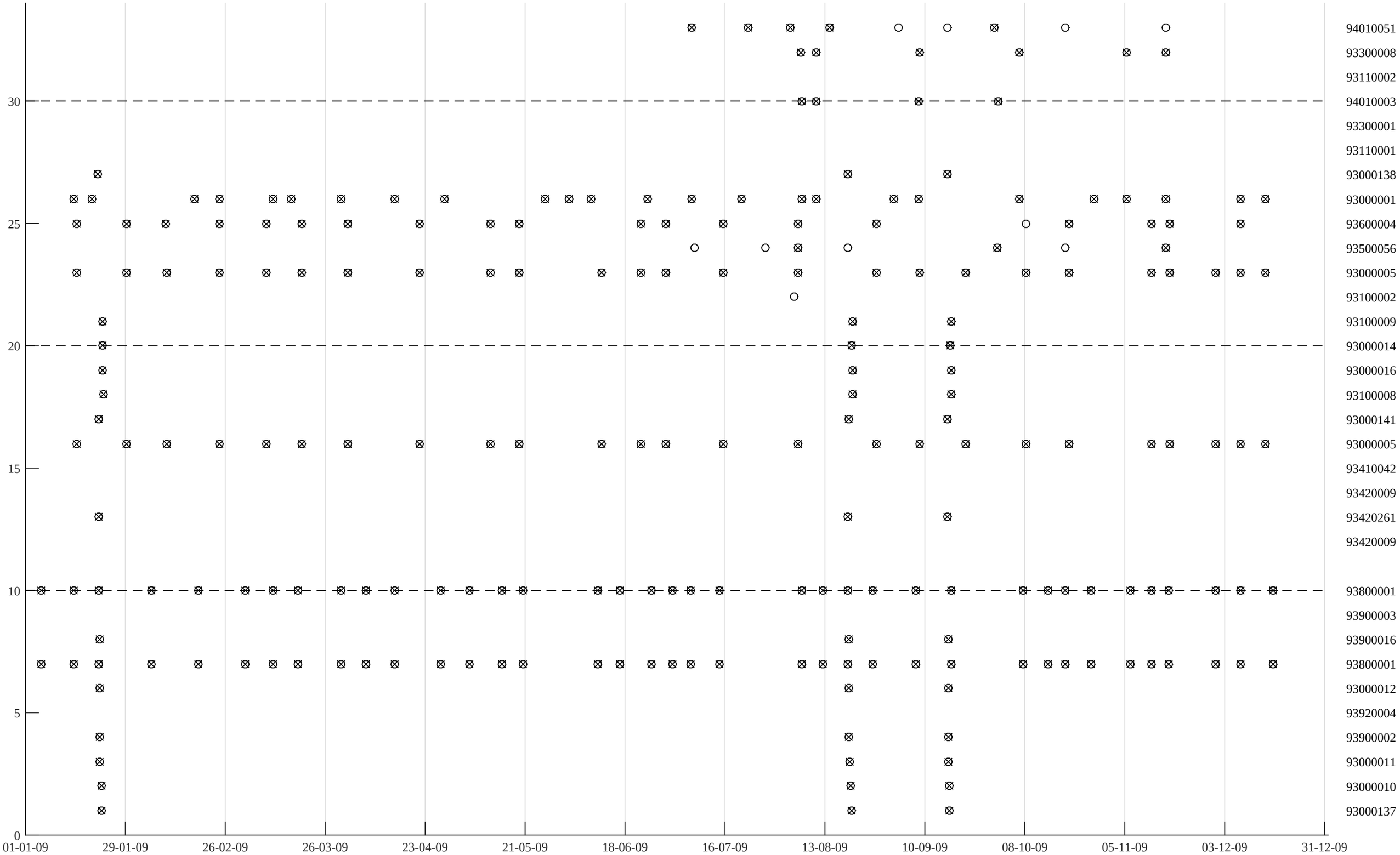

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-04
29-01-04
26-02-04
25-03-04
22-04-04
20-05-04
17-06-04
15-07-04
12-08-04
09-09-04
07-10-04
04-11-04
02-12-04
30-12-04

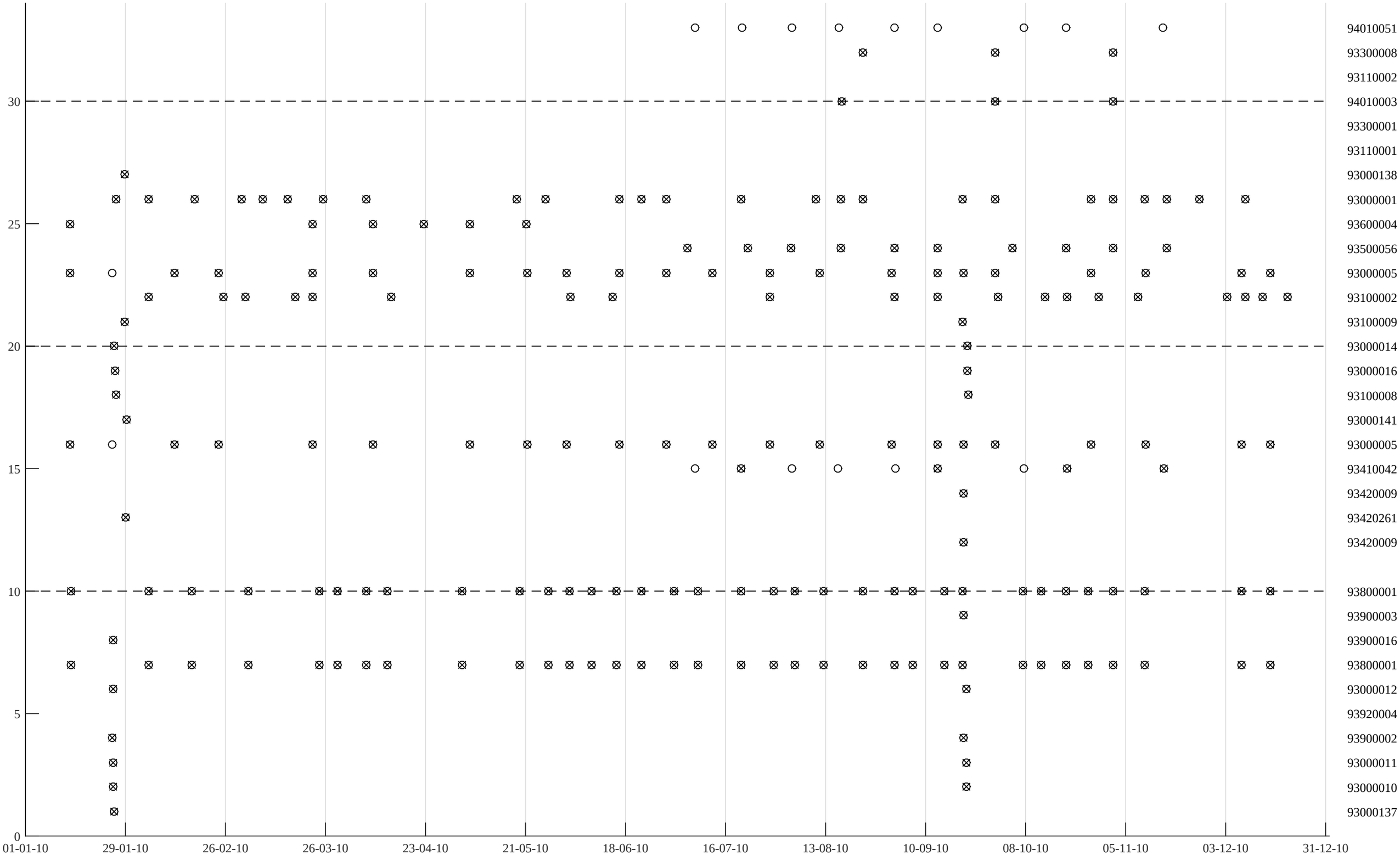

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-05
29-01-05
26-02-05
26-03-05
23-04-05
21-05-05
18-06-05
16-07-05
13-08-05
10-09-05
08-10-05
05-11-05
03-12-05
31-12-05

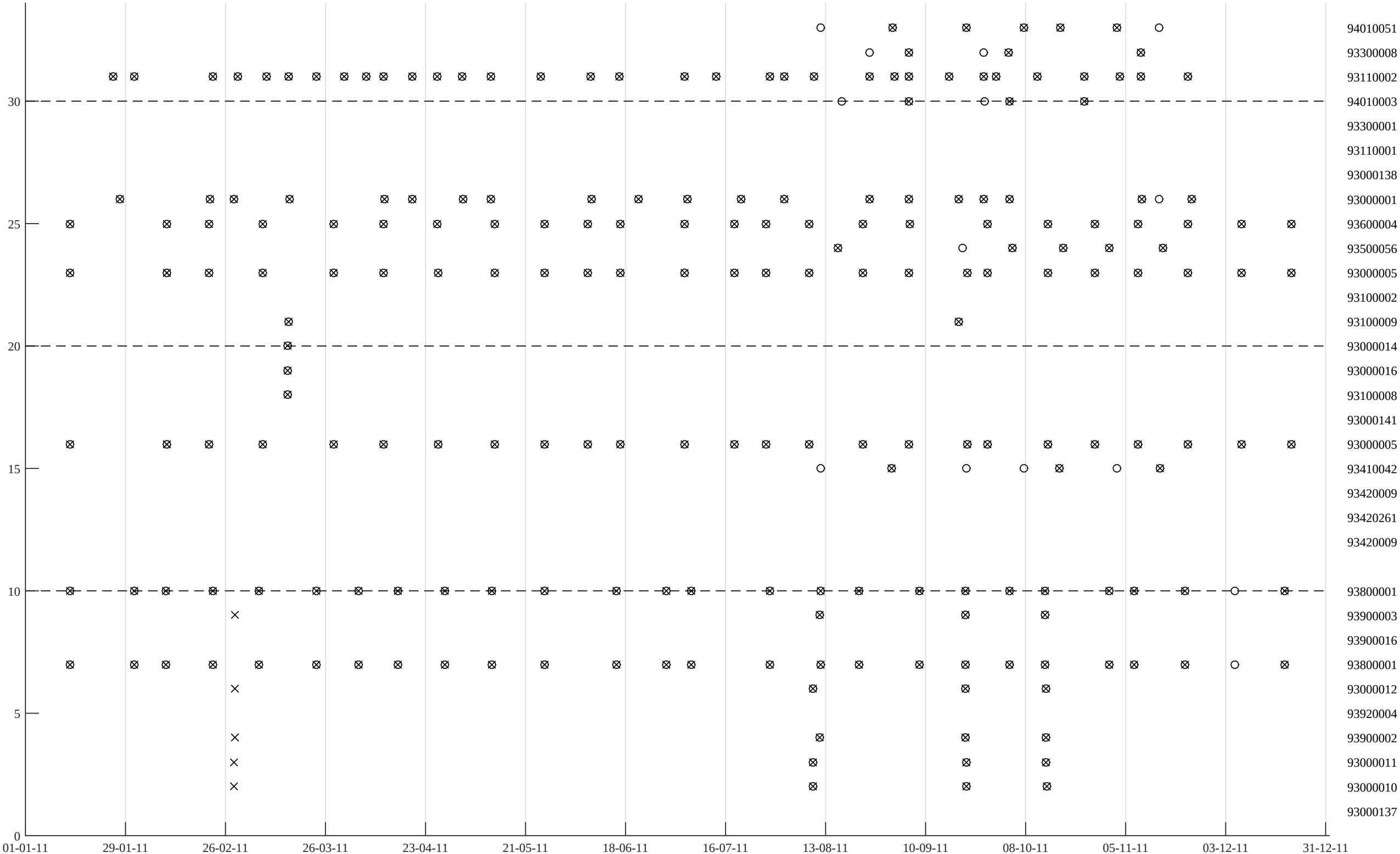

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-06
29-01-06
26-02-06
26-03-06
23-04-06
21-05-06
18-06-06
16-07-06
13-08-06
10-09-06
08-10-06
05-11-06
03-12-06
31-12-06

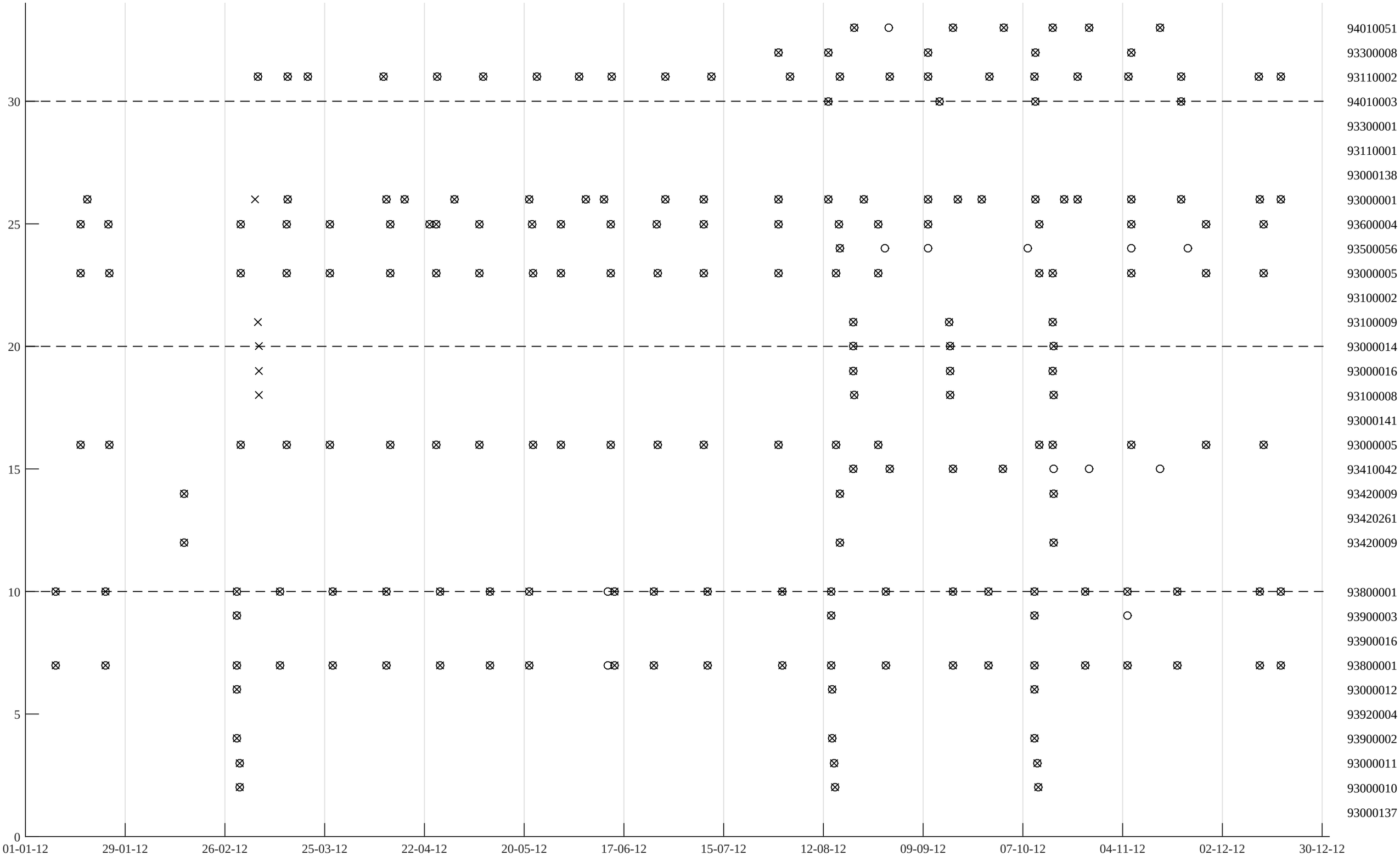

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-07
29-01-07
26-02-07
26-03-07
23-04-07
21-05-07
18-06-07
16-07-07
13-08-07
10-09-07
08-10-07
05-11-07
03-12-07
31-12-07

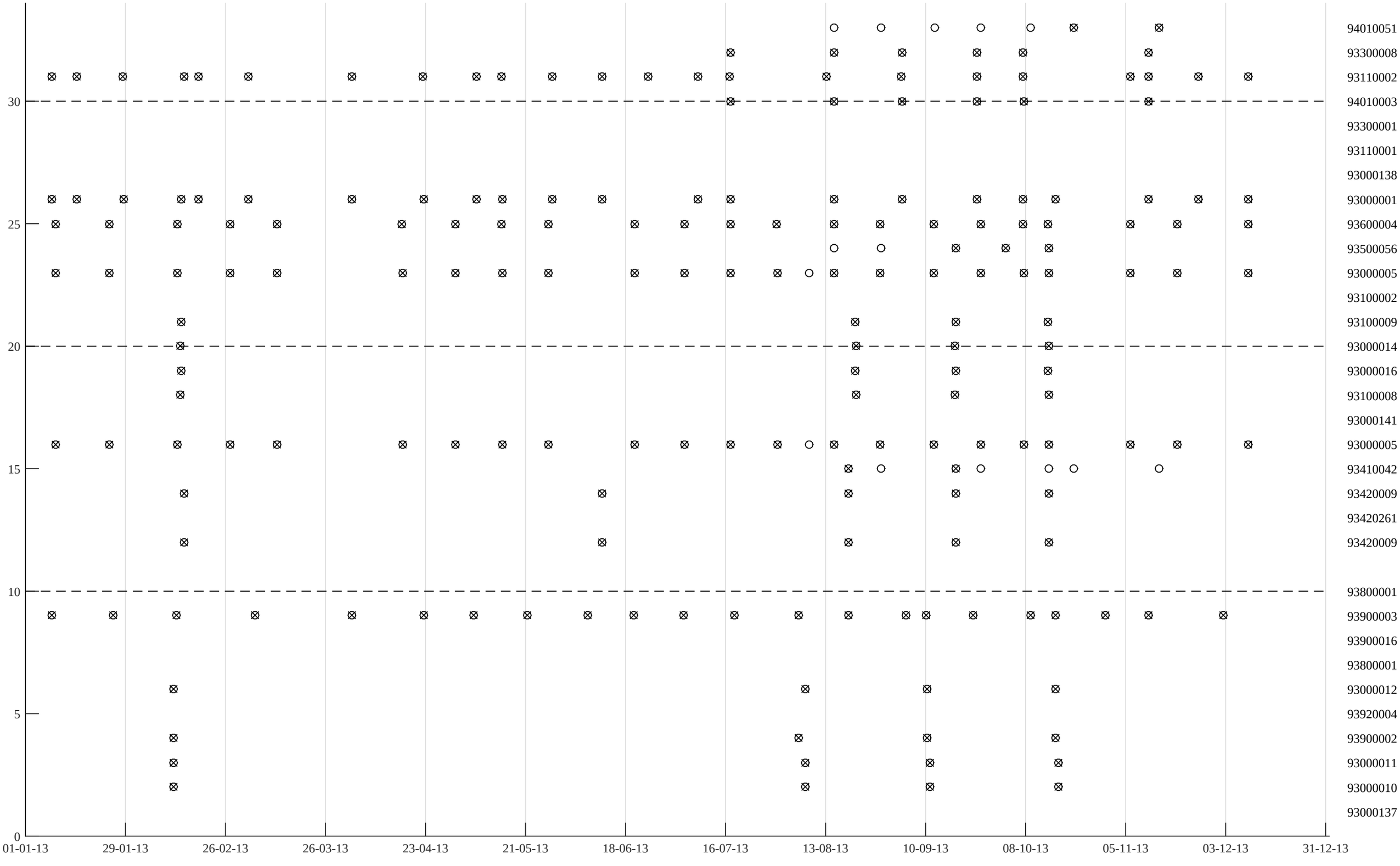

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-08
29-01-08
26-02-08
25-03-08
22-04-08
20-05-08
17-06-08
15-07-08
12-08-08
09-09-08
07-10-08
04-11-08
02-12-08
30-12-08

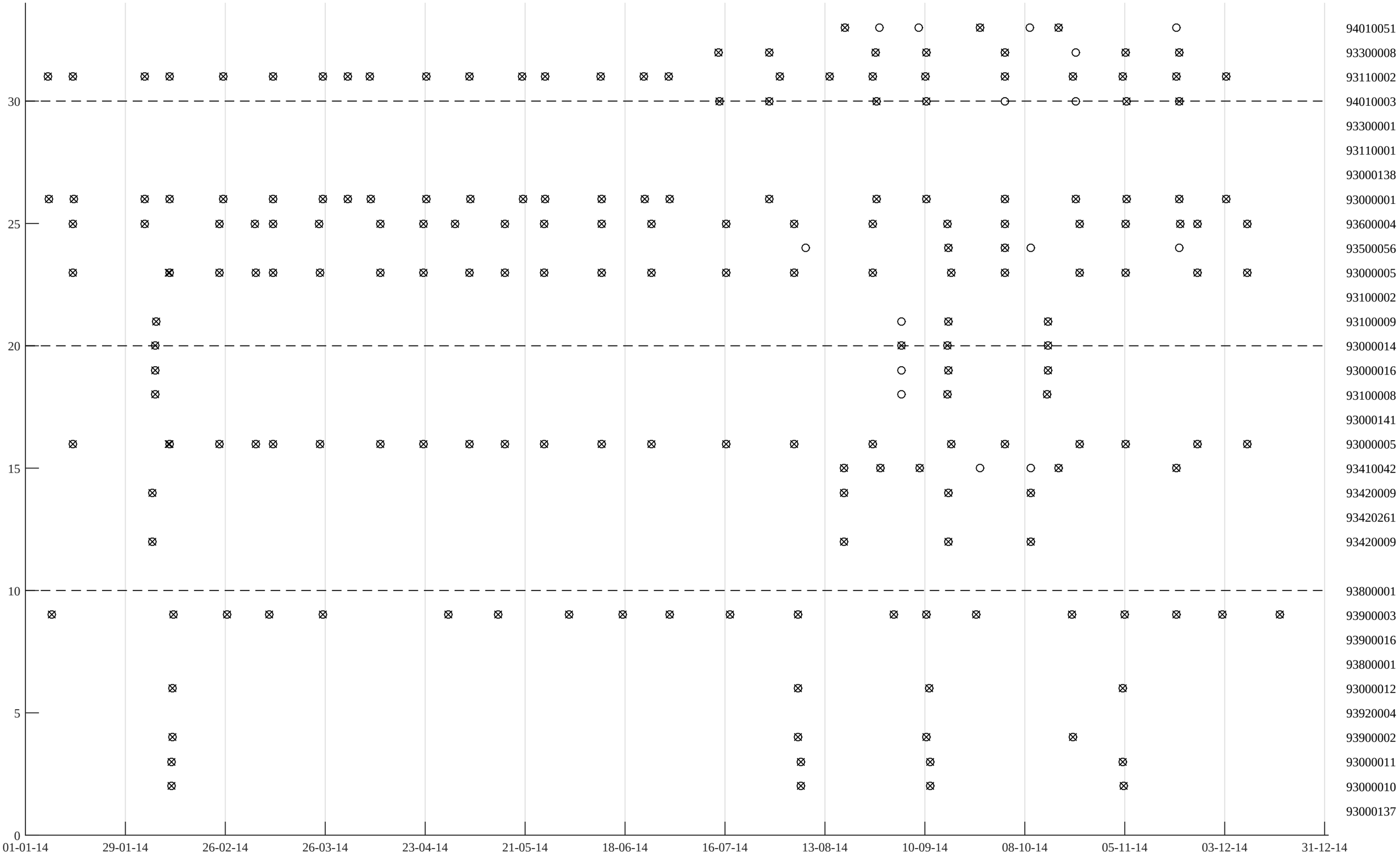

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-09
29-01-09
26-02-09
26-03-09
23-04-09
21-05-09
18-06-09
16-07-09
13-08-09
10-09-09
08-10-09
05-11-09
03-12-09
31-12-09

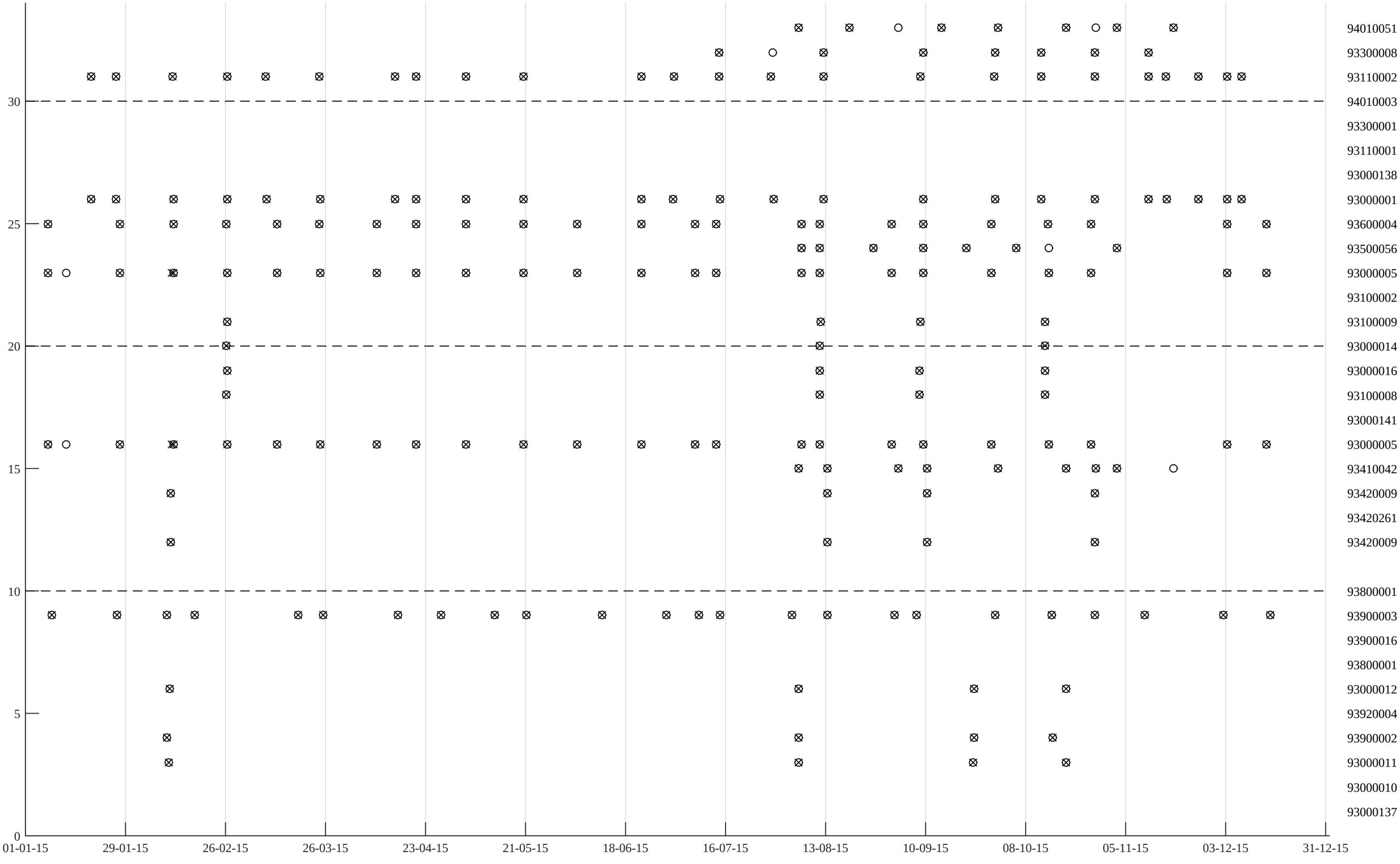

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-10
29-01-10
26-02-10
26-03-10
23-04-10
21-05-10
18-06-10
16-07-10
13-08-10
10-09-10
08-10-10
05-11-10
03-12-10
31-12-10

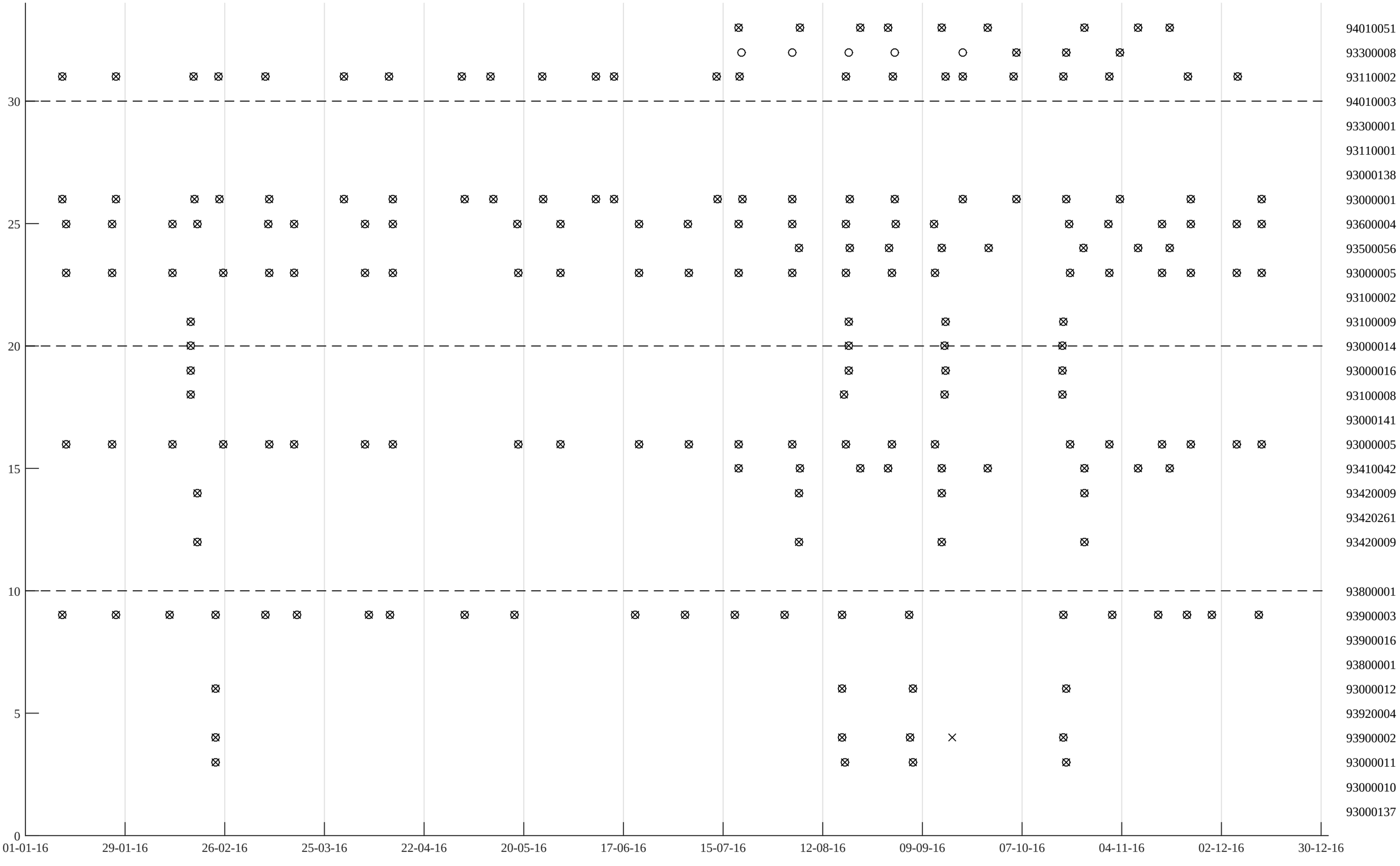

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-11
29-01-11
26-02-11
26-03-11
23-04-11
21-05-11
18-06-11
16-07-11
13-08-11
10-09-11
08-10-11
05-11-11
03-12-11
31-12-11

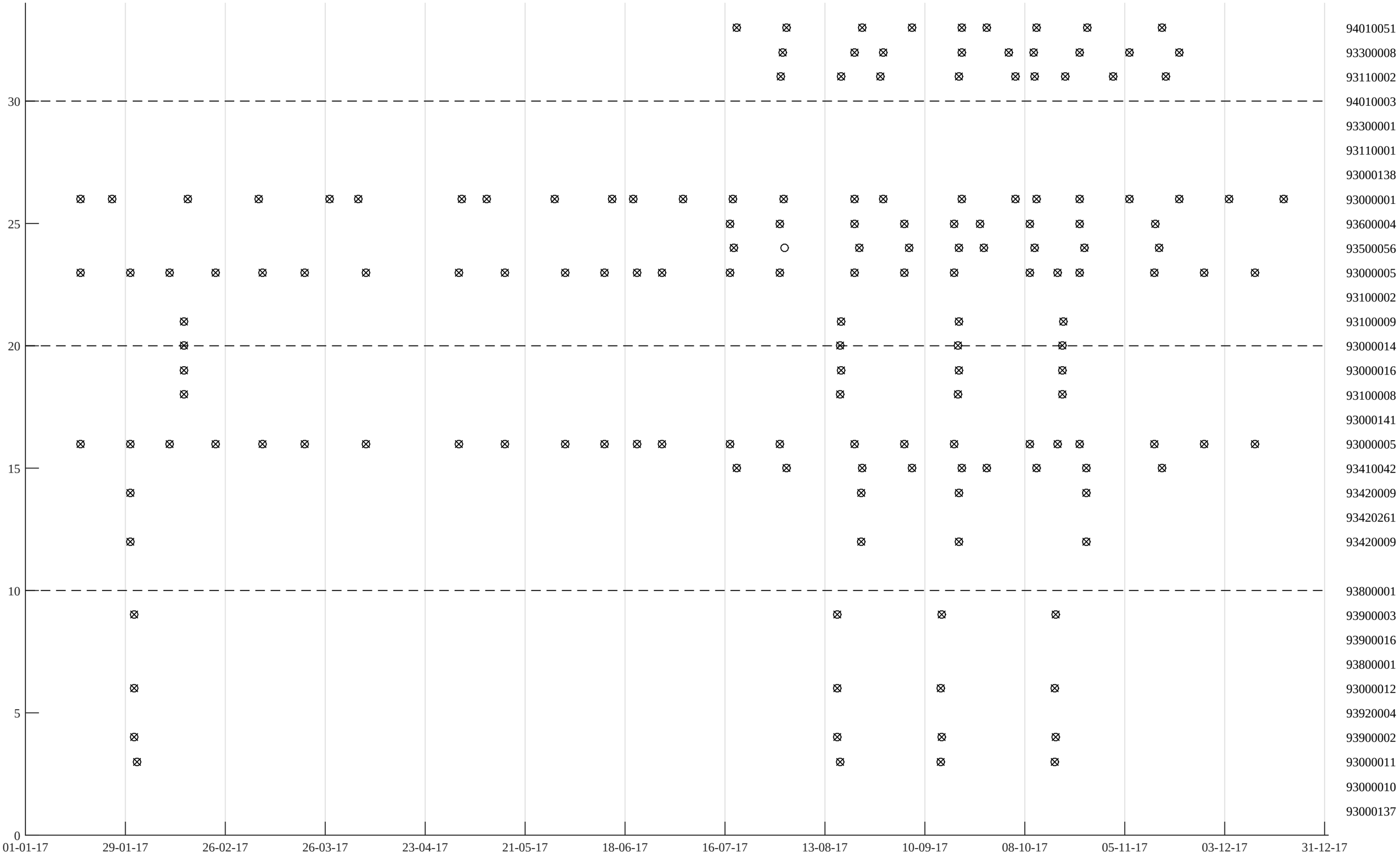

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-12
29-01-12
26-02-12
25-03-12
22-04-12
20-05-12
17-06-12
15-07-12
12-08-12
09-09-12
07-10-12
04-11-12
02-12-12
30-12-12

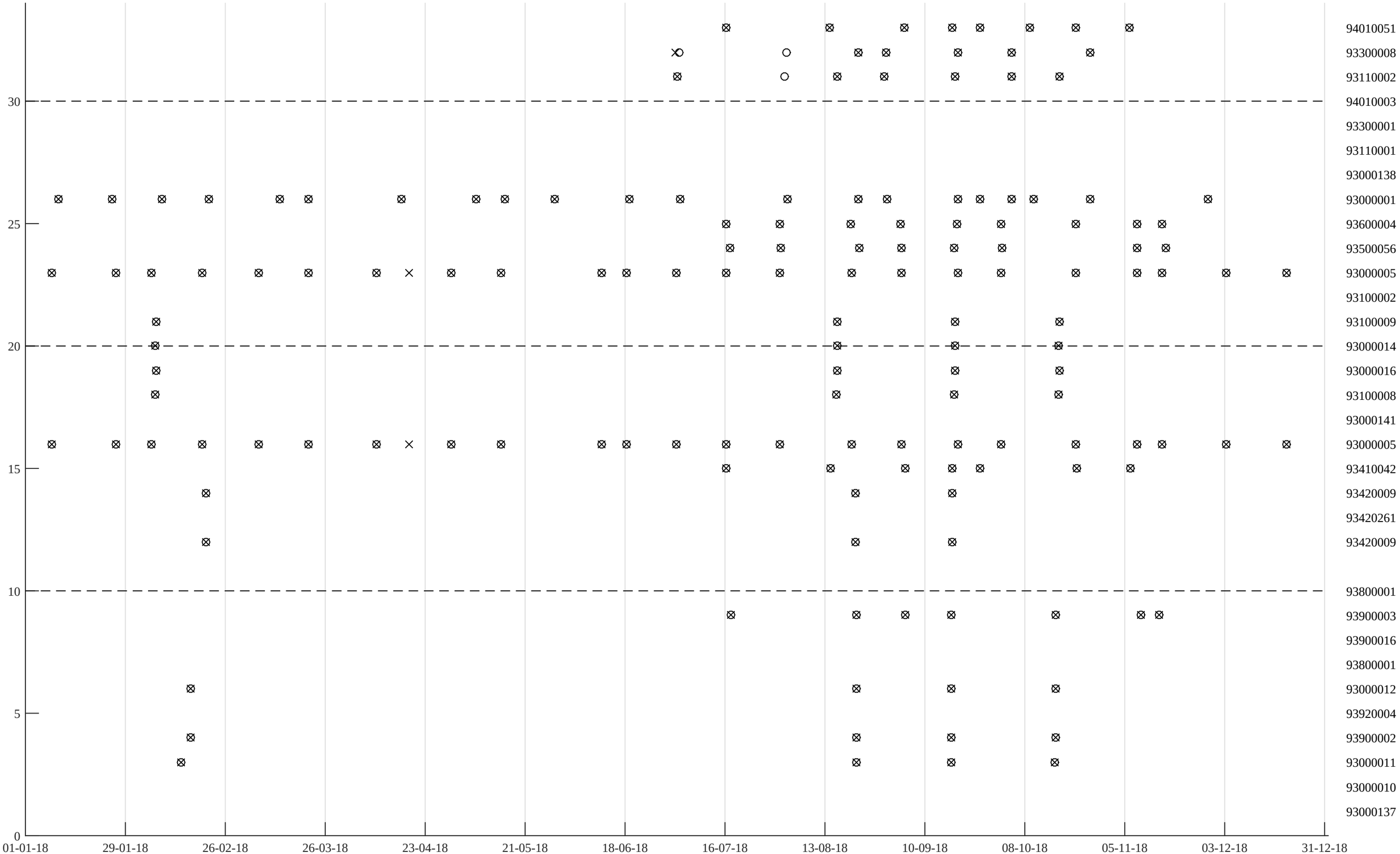

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-13
29-01-13
26-02-13
26-03-13
23-04-13
21-05-13
18-06-13
16-07-13
13-08-13
10-09-13
08-10-13
05-11-13
03-12-13
31-12-13

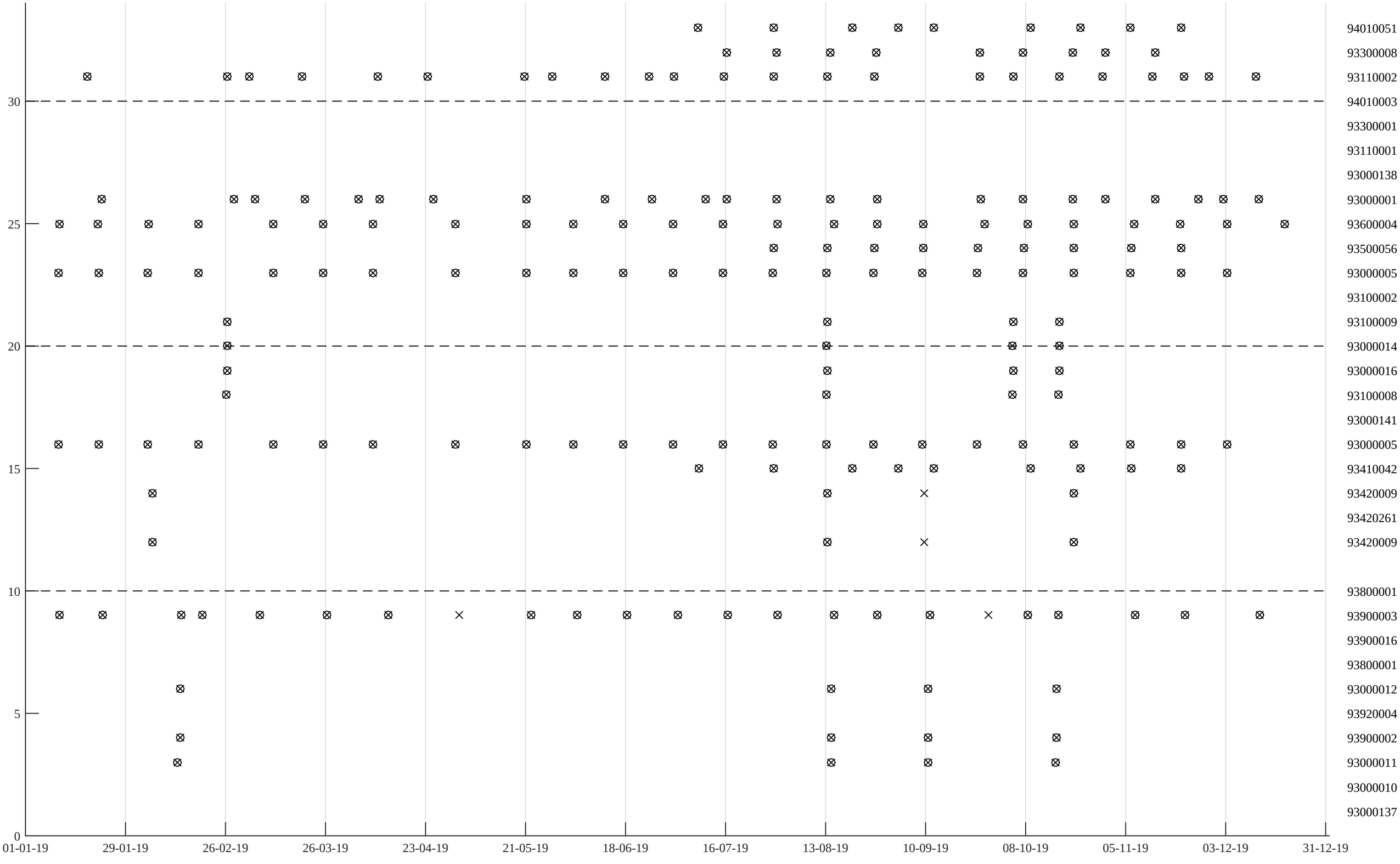

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-14
29-01-14
26-02-14
26-03-14
23-04-14
21-05-14
18-06-14
16-07-14
13-08-14
10-09-14
08-10-14
05-11-14
03-12-14
31-12-14

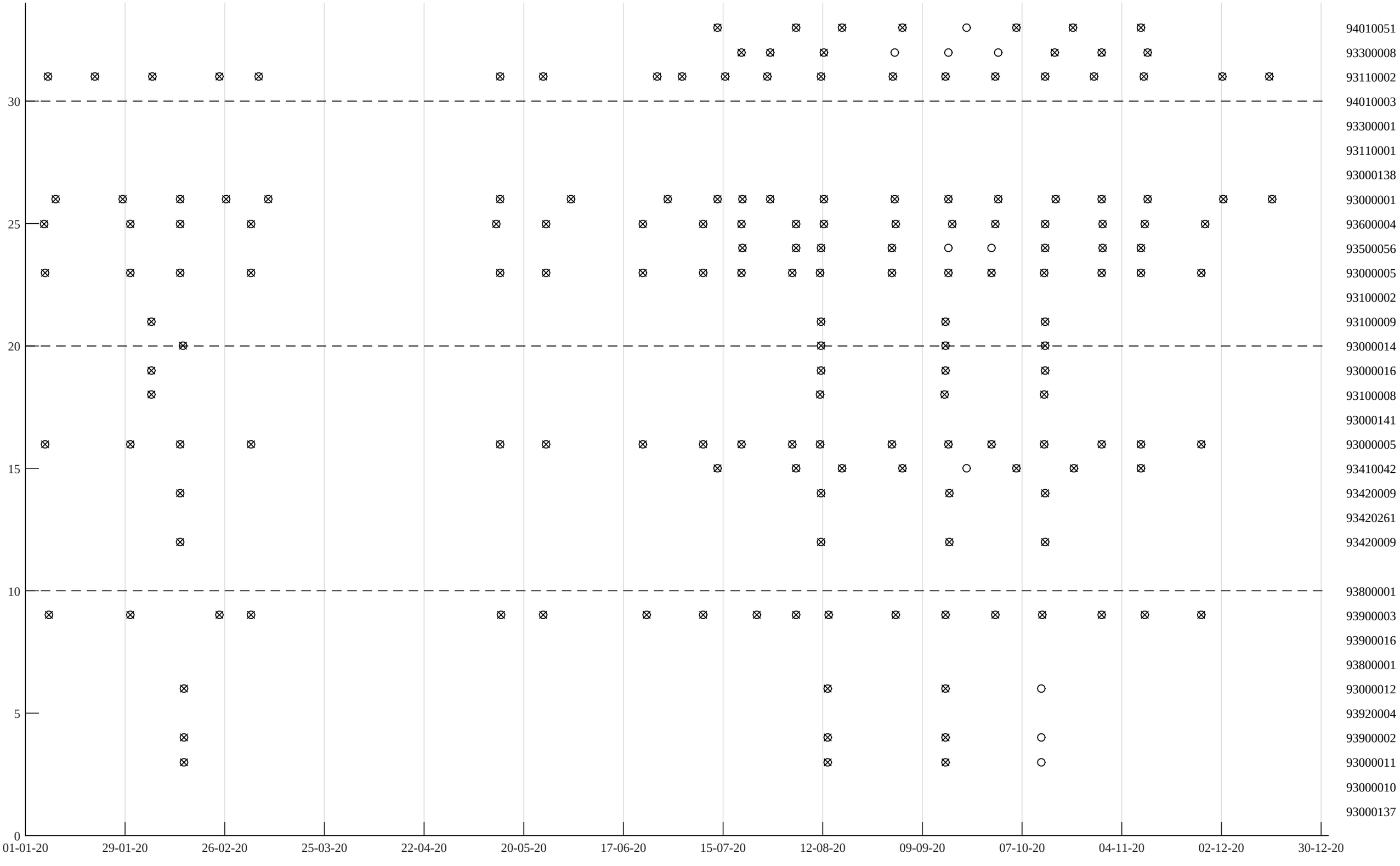

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-15
29-01-15
26-02-15
26-03-15
23-04-15
21-05-15
18-06-15
16-07-15
13-08-15
10-09-15
08-10-15
05-11-15
03-12-15
31-12-15


94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-16
29-01-16
26-02-16
25-03-16
22-04-16
20-05-16
17-06-16
15-07-16
12-08-16
09-09-16
07-10-16
04-11-16
02-12-16
30-12-16


94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-17
29-01-17
26-02-17
26-03-17
23-04-17
21-05-17
18-06-17
16-07-17
13-08-17
10-09-17
08-10-17
05-11-17
03-12-17
31-12-17


94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-18
29-01-18
26-02-18
26-03-18
23-04-18
21-05-18
18-06-18
16-07-18
13-08-18
10-09-18
08-10-18
05-11-18
03-12-18
31-12-18

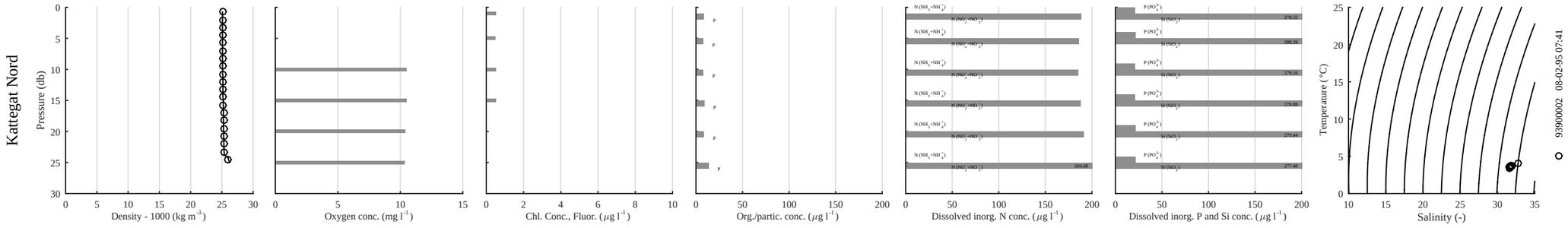

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-19
29-01-19
26-02-19
26-03-19
23-04-19
21-05-19
18-06-19
16-07-19
13-08-19
10-09-19
08-10-19
05-11-19
03-12-19
31-12-19

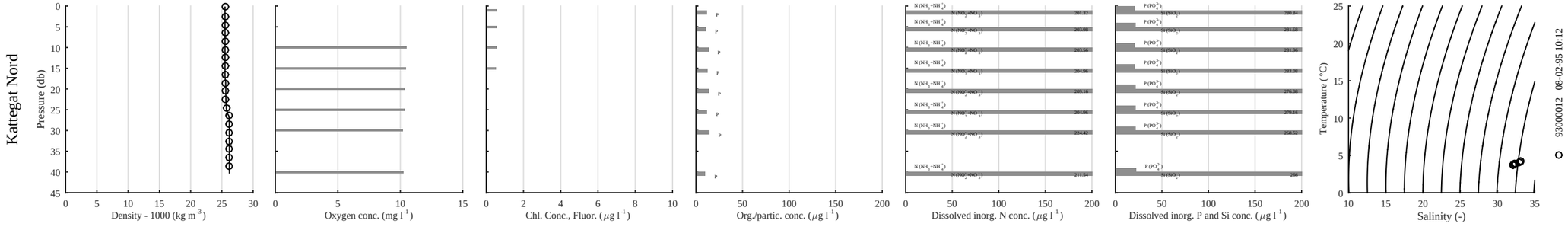

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
30
25
20
15
10
5
0
01-01-20
29-01-20
26-02-20
25-03-20
22-04-20
20-05-20
17-06-20
15-07-20
12-08-20
09-09-20
07-10-20
04-11-20
02-12-20
30-12-20

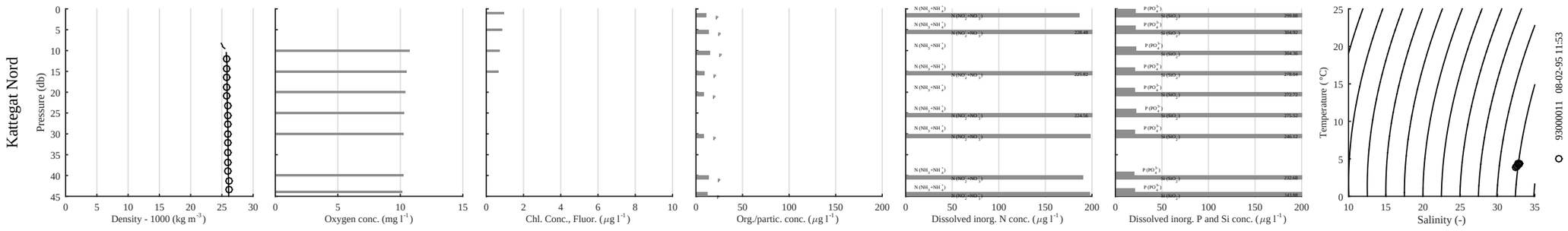
Bilag 2

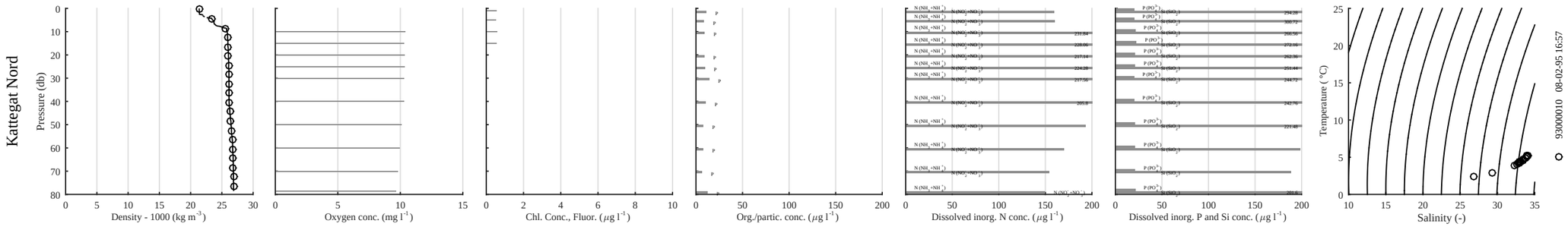
94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
0
5
10
15
20
25
30
01-01-95
29-01-95
26-02-95
26-03-95
23-04-95
21-05-95
18-06-95
16-07-95
13-08-95
10-09-95
08-10-95
05-11-95
03-12-95
31-12-95

CTD-profiler og vandkemi i Kattegat nord 07 February 1995 - 13 March 1995

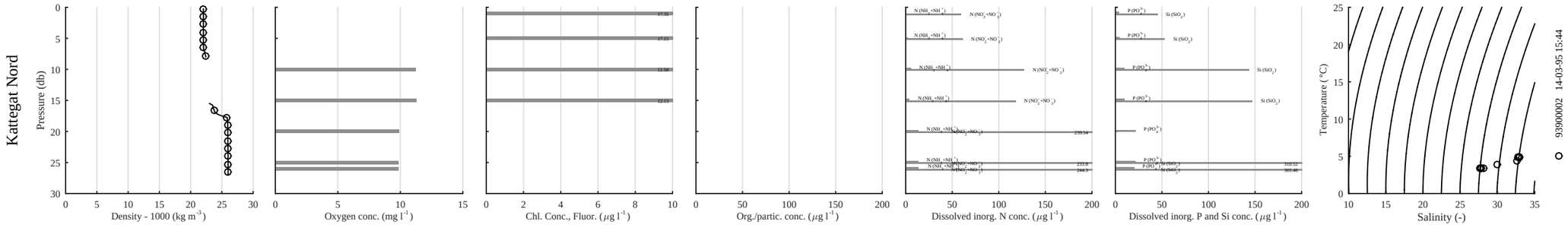


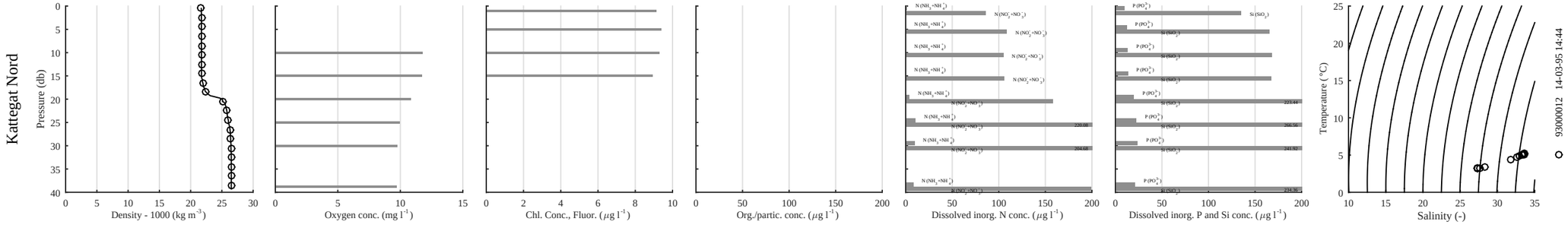


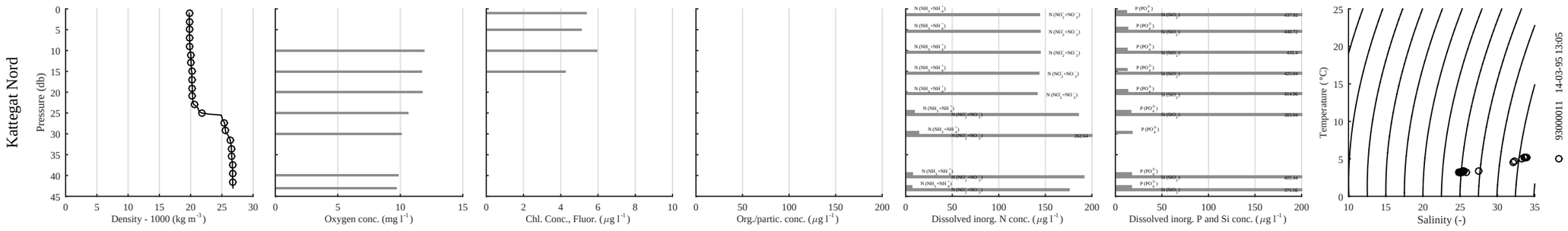


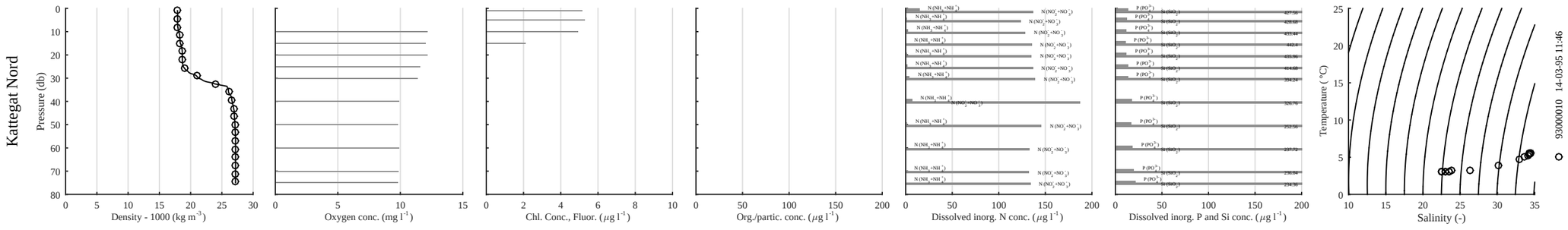


CTD-profiler og vandkemi i Kattegat nord 13 March 1995 - 01 May 1995

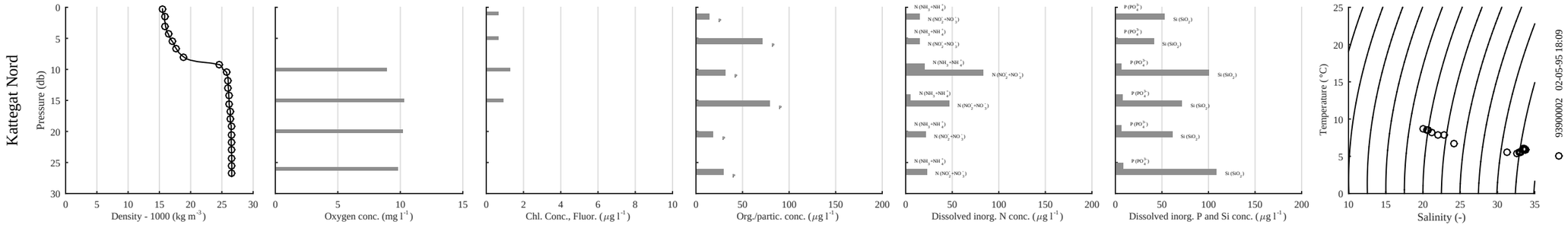


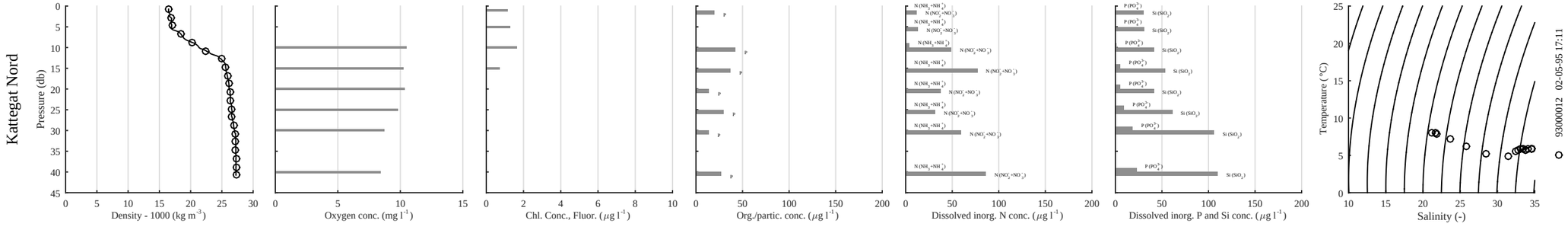


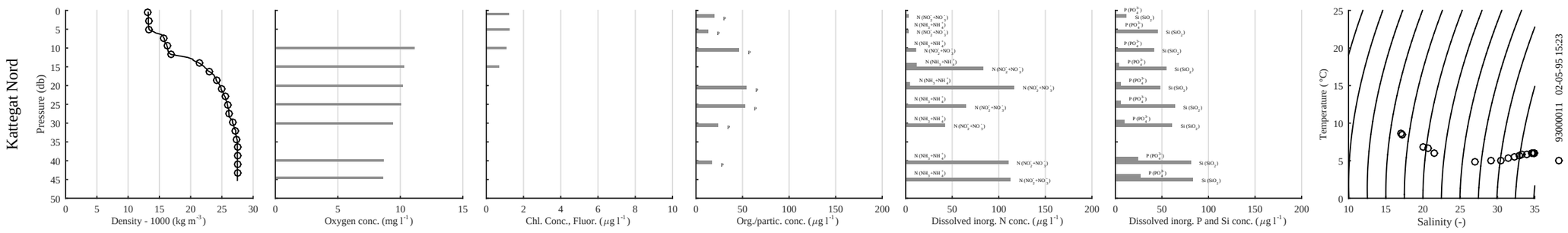


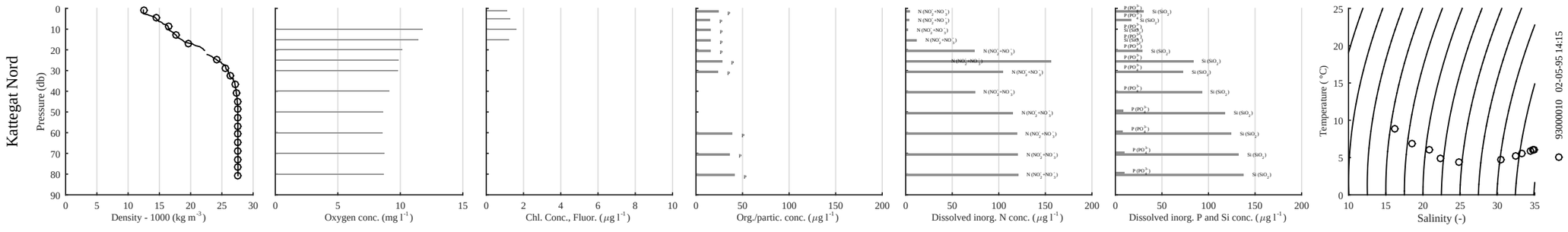


CTD-profiler og vandkemi i Kattegat nord 01 May 1995 - 12 June 1995

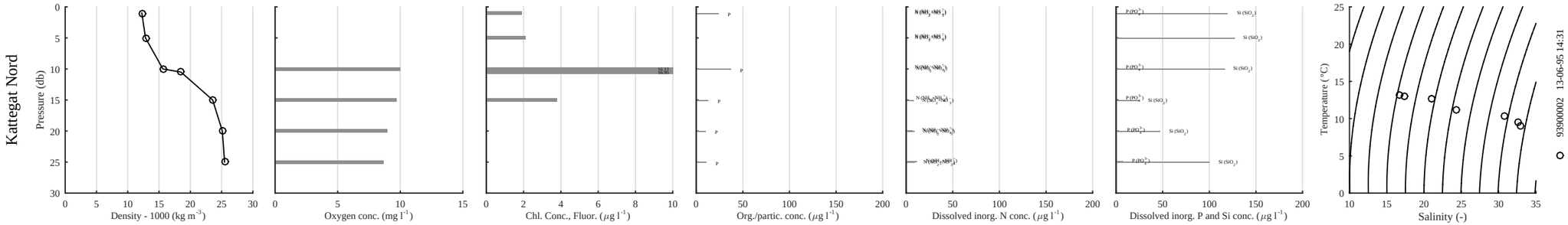


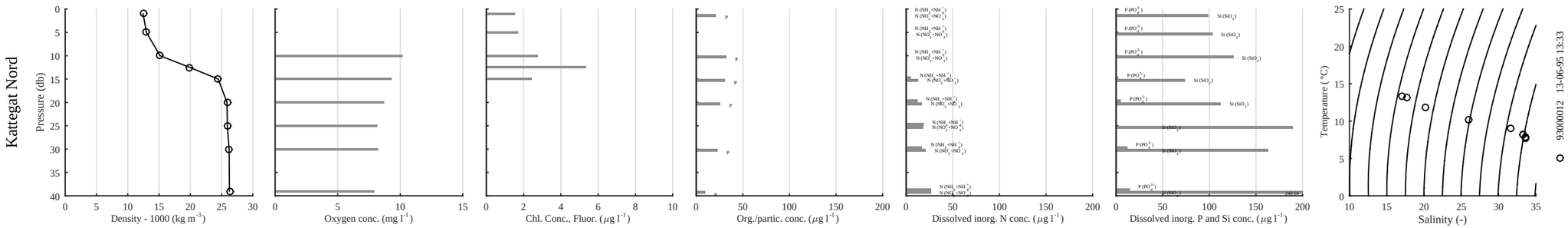


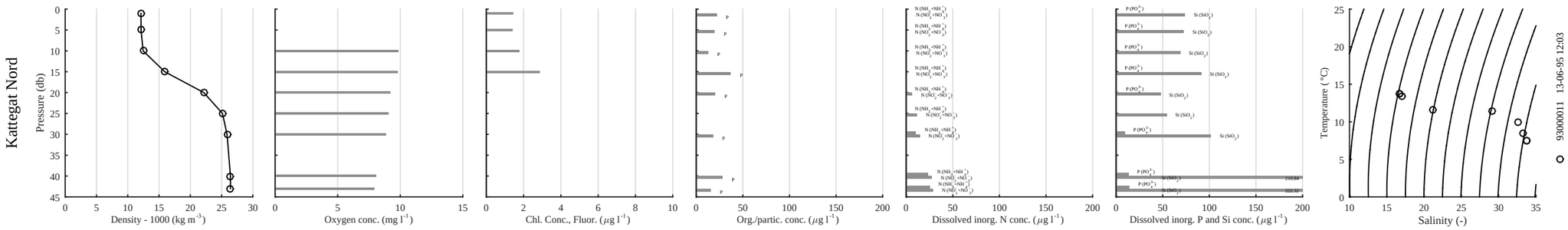


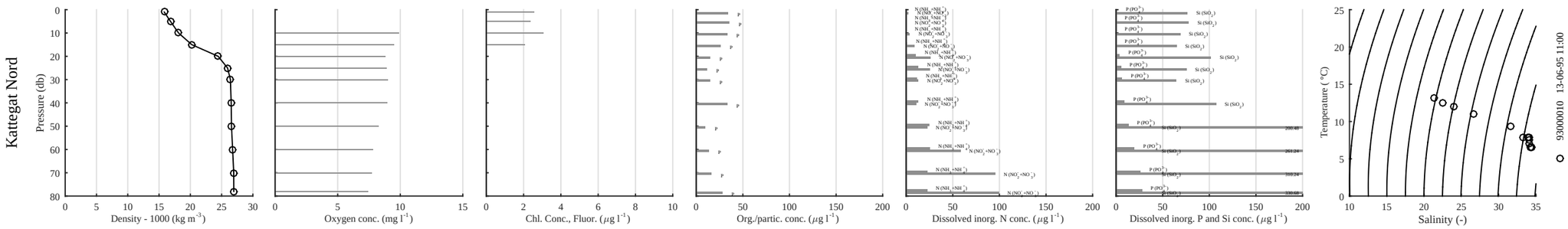


CTD-profiler og vandkemi i Kattegat nord 12 June 1995 - 11 July 1995

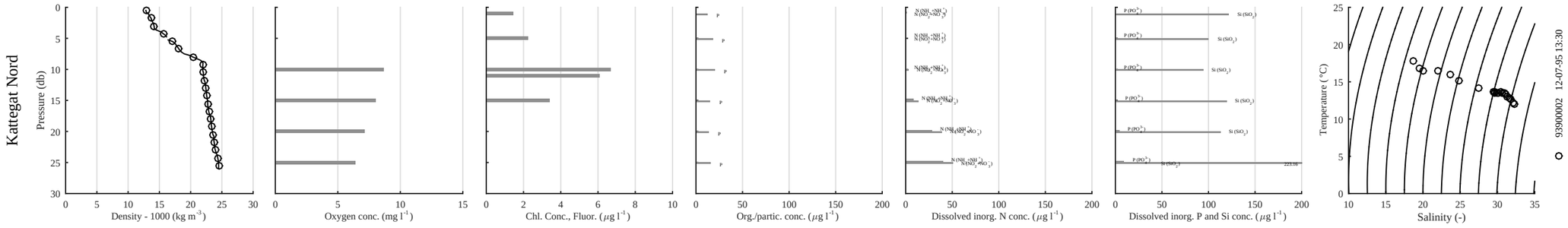


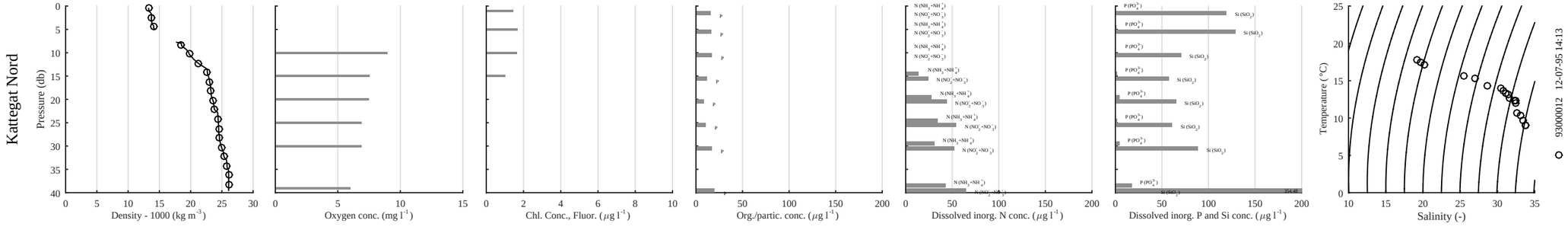


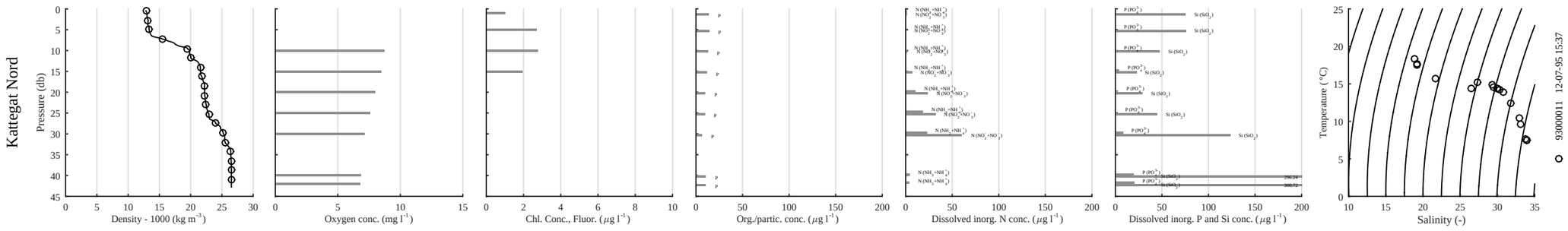


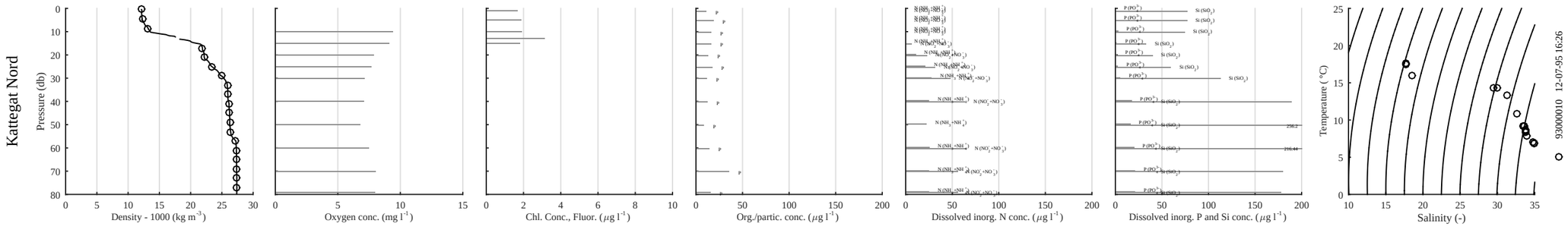


CTD-profiler og vandkemi i Kattegat nord 11 July 1995 - 15 August 1995

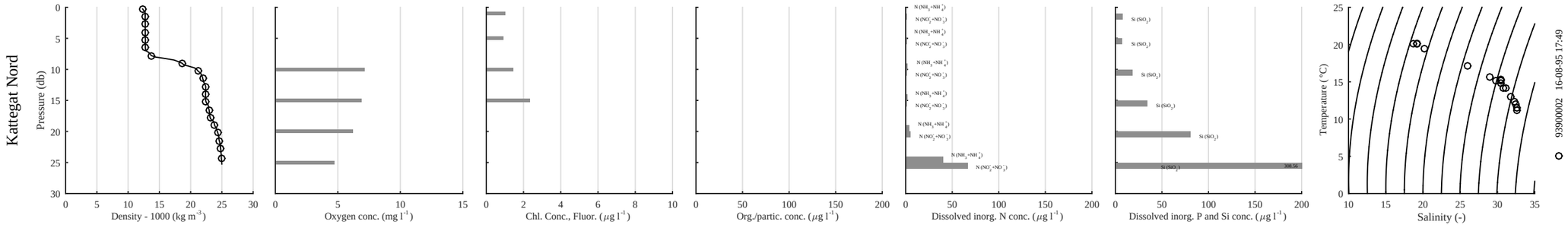


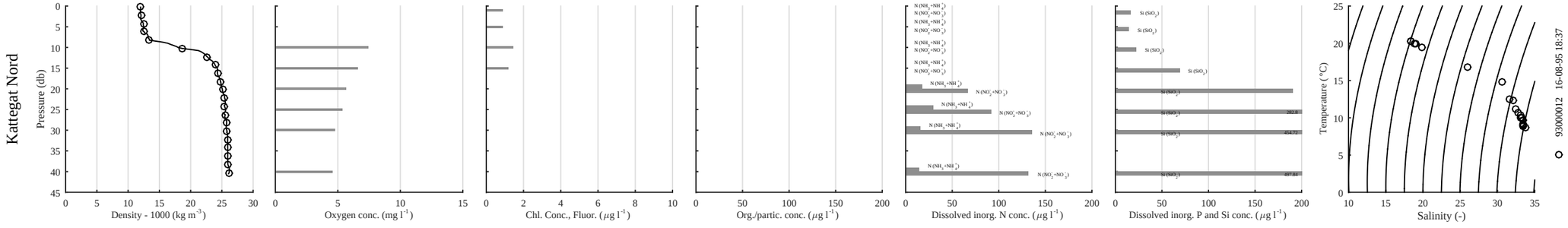


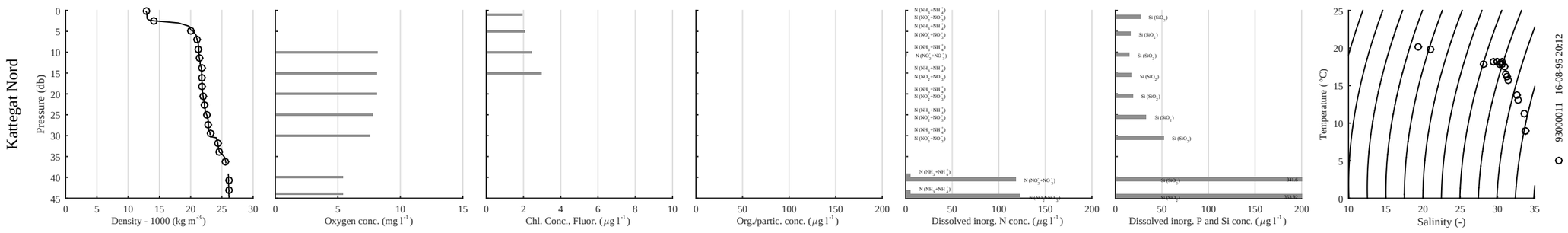


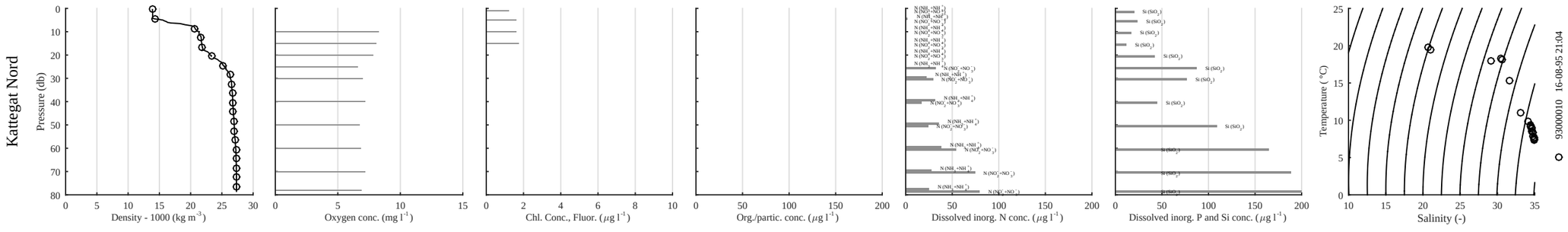


CTD-profiler og vandkemi i Kattegat nord 15 August 1995 - 12 September 1995

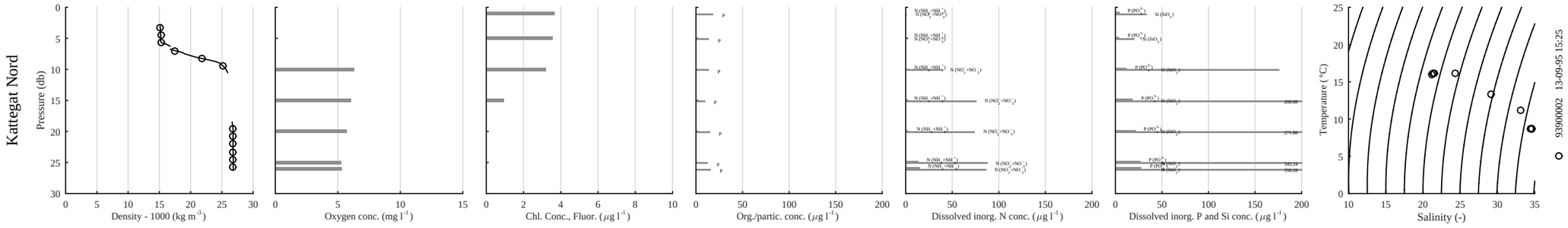


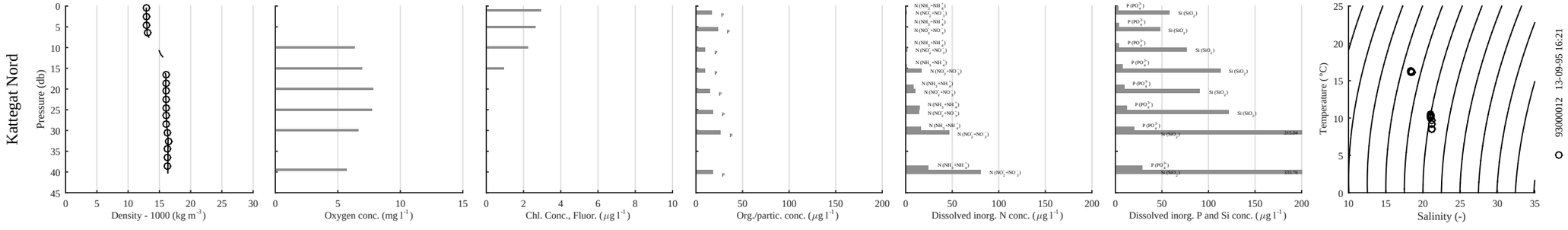


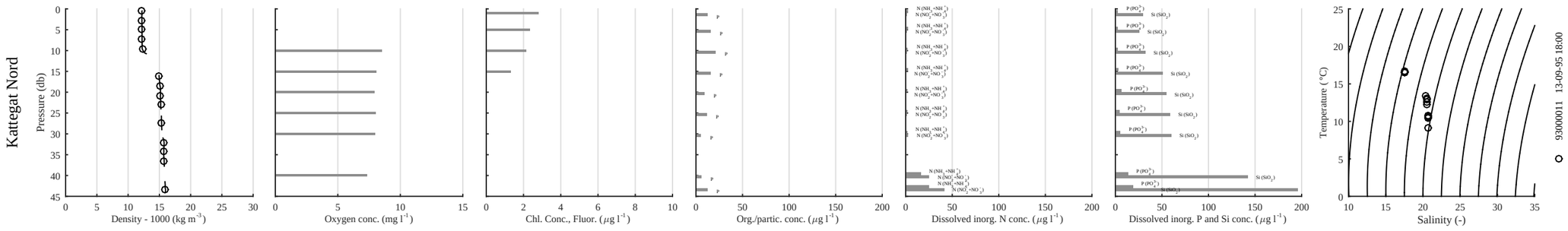


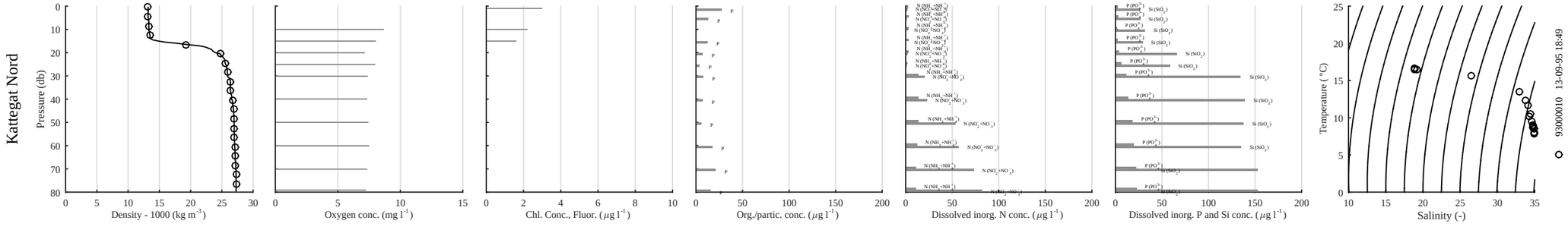


CTD-profiler og vandkemi i Kattegat nord 12 September 1995 - 10 October 1995

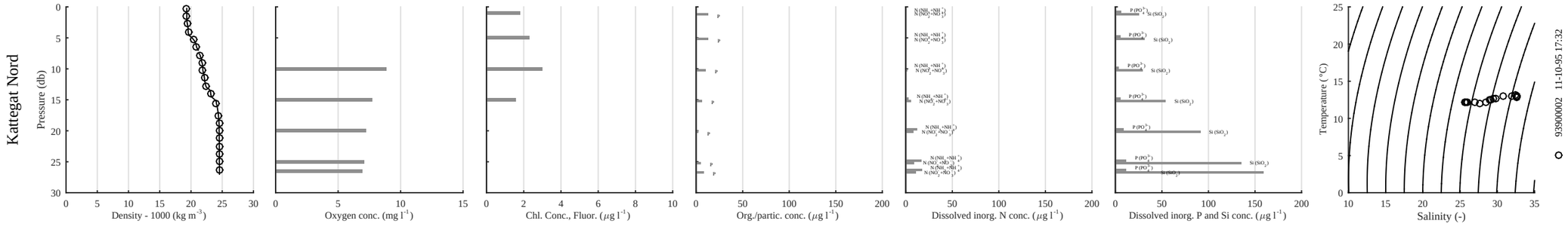


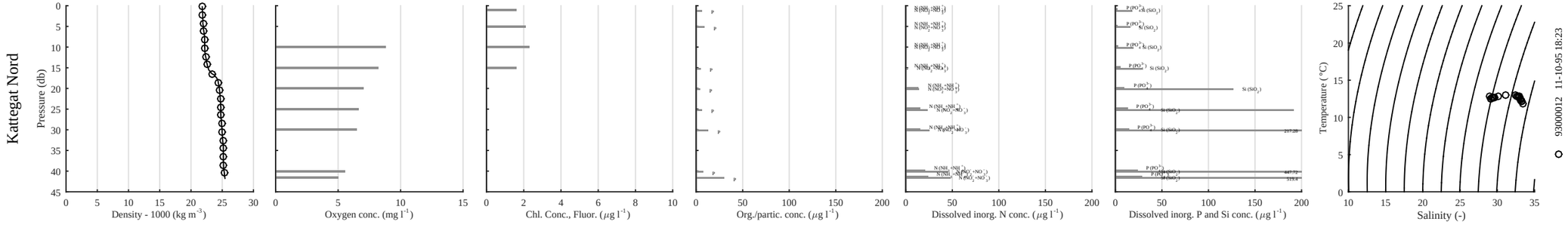


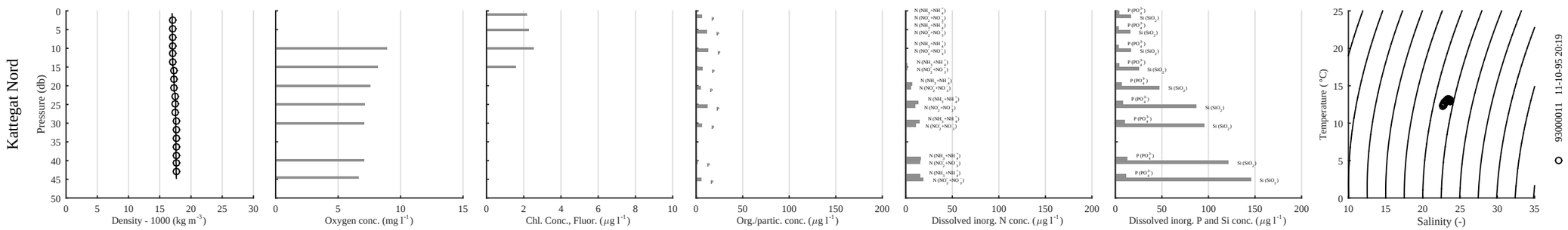


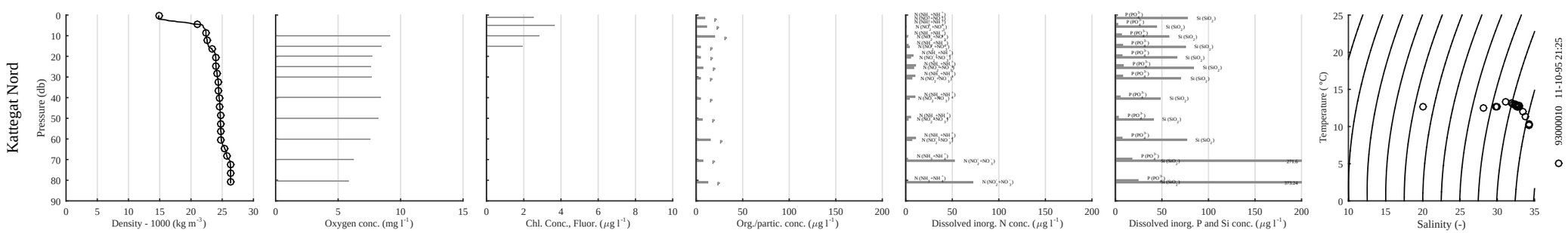


CTD-profiler og vandkemi i Kattegat nord 10 October 1995 - 07 November 1995

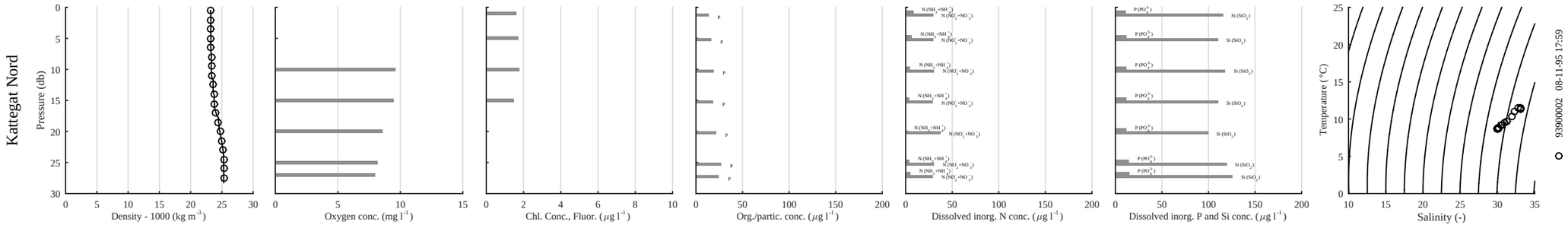


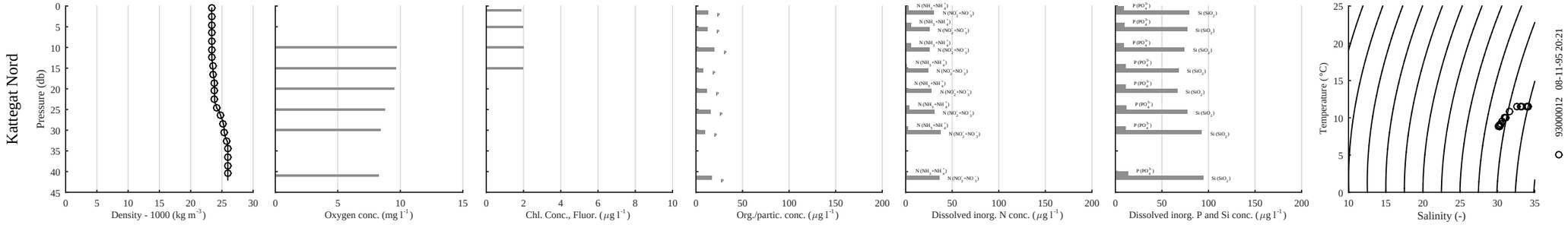


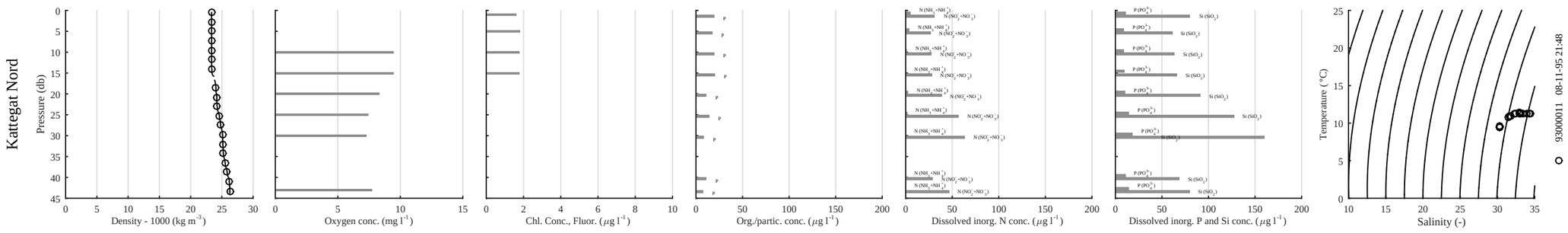


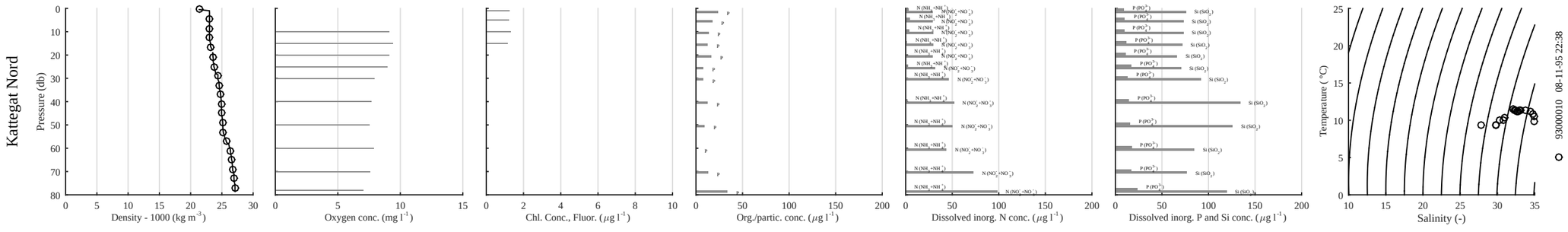


CTD-profiler og vandkemi i Kattegat nord 07 November 1995 - 15 November 1995

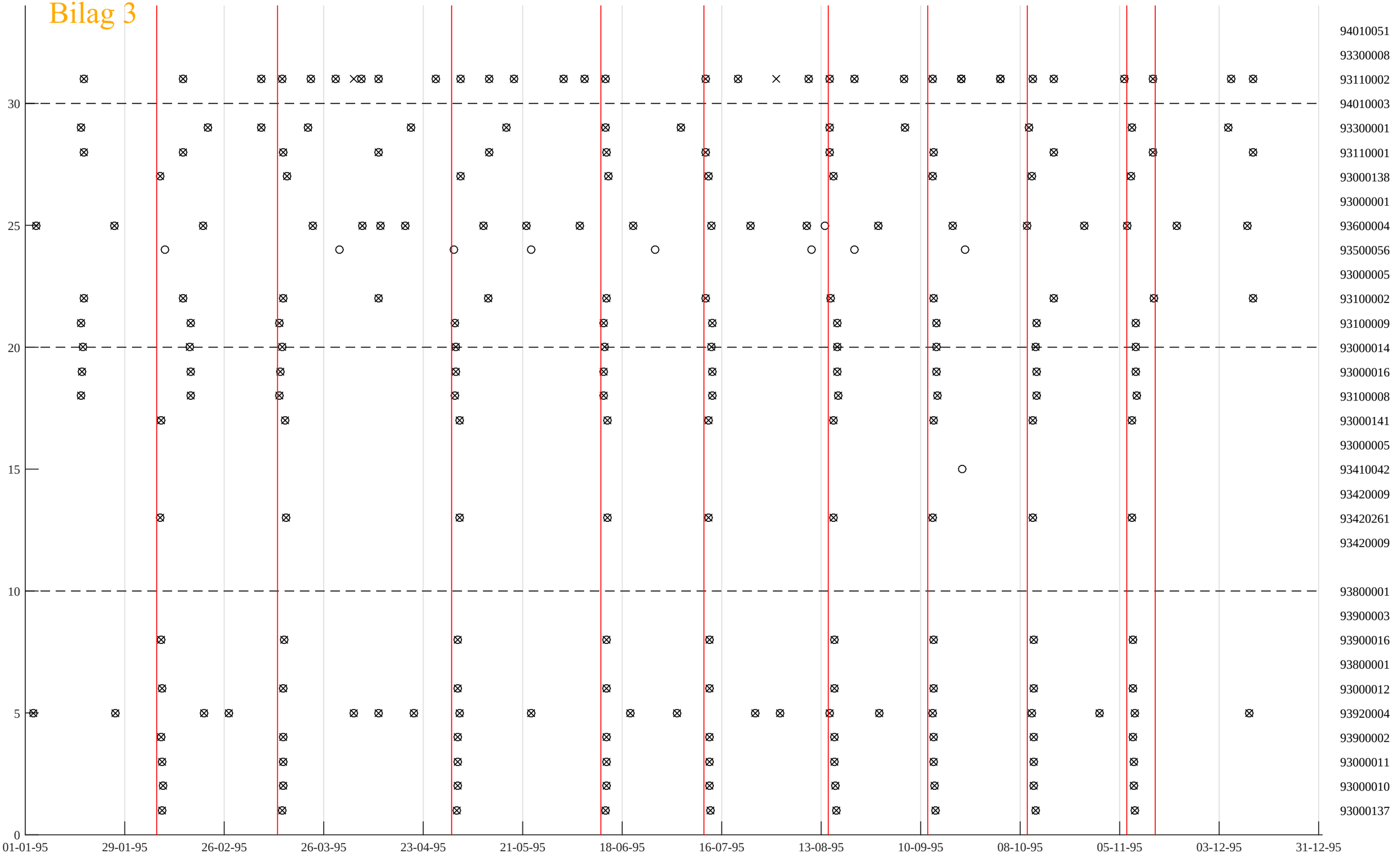




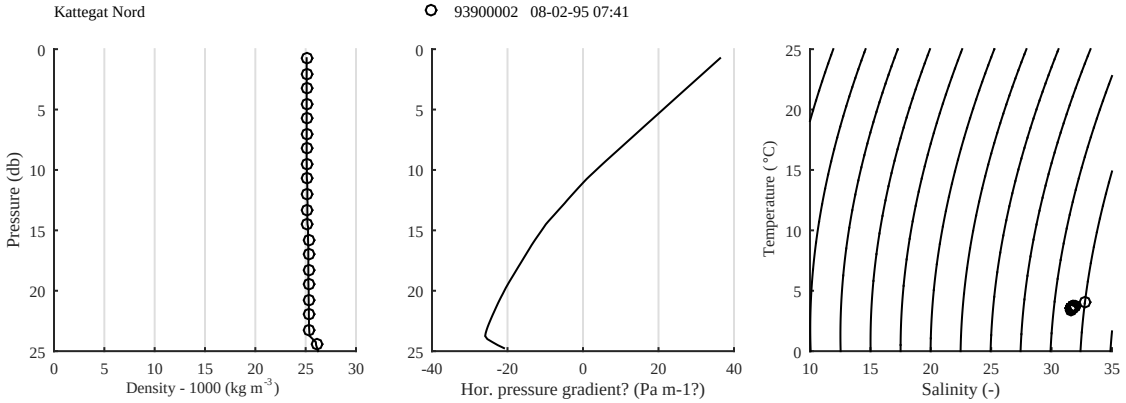


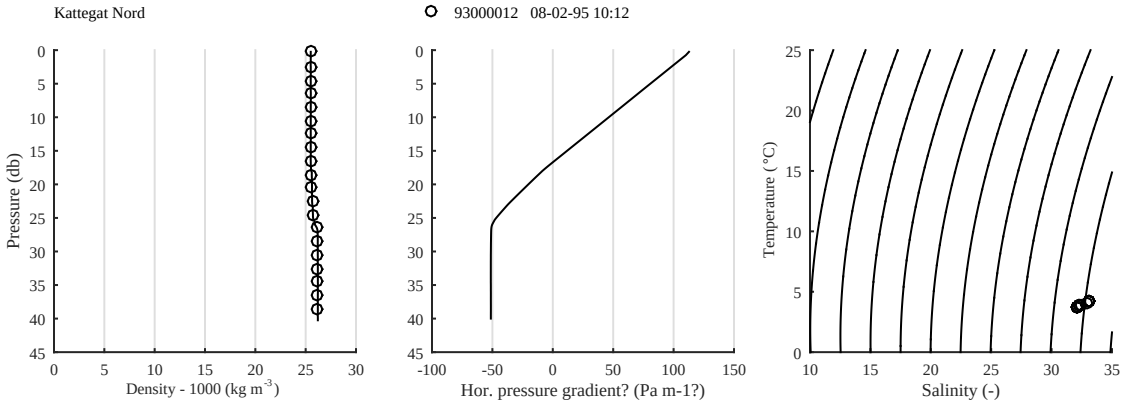


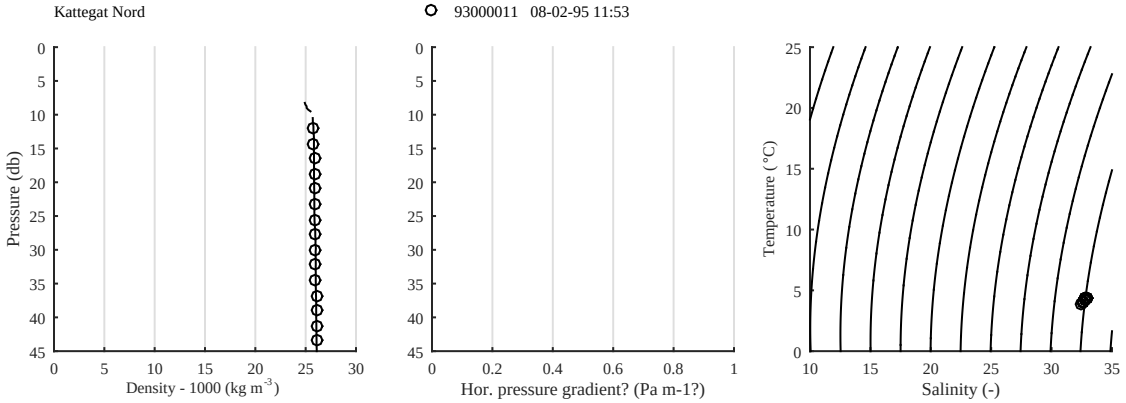
Bilag 3

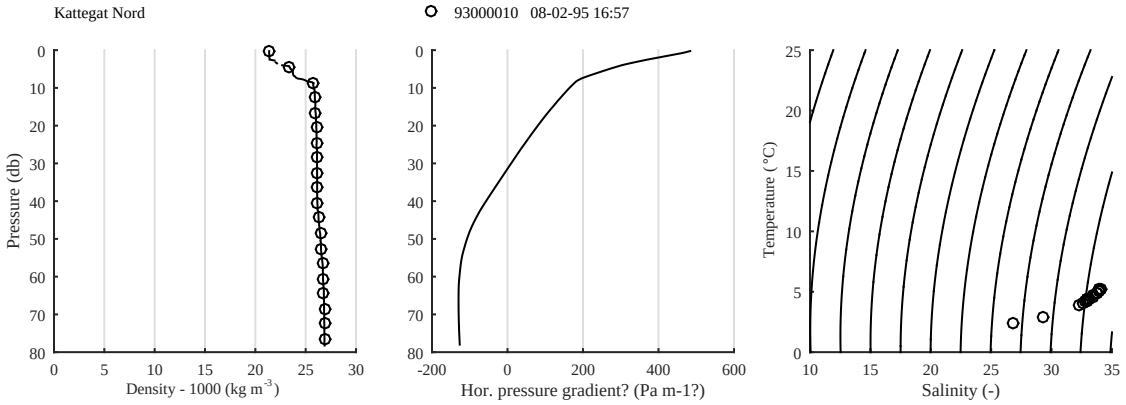

94010051
93300008
93110002
94010003
93300001
93110001
93000138
93000001
93600004
93500056
93000005
93100002
93100009
93000014
93000016
93100008
93000141
93000005
93410042
93420009
93420261
93420009
93800001
93900003
93900016
93800001
93000012
93920004
93900002
93000011
93000010
93000137
0
5
10
15
20
25
30
01-01-95
29-01-95
26-02-95
26-03-95
23-04-95
21-05-95
18-06-95
16-07-95
13-08-95
10-09-95
08-10-95
05-11-95
03-12-95
31-12-95

CTD-profiler og baroklin udveksling i Kattegat nord 07 February 1995 - 13 March 1995

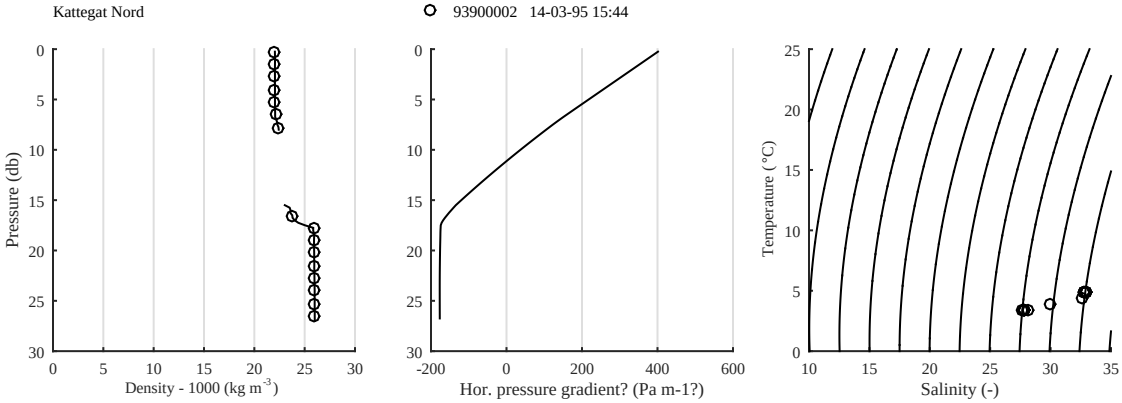


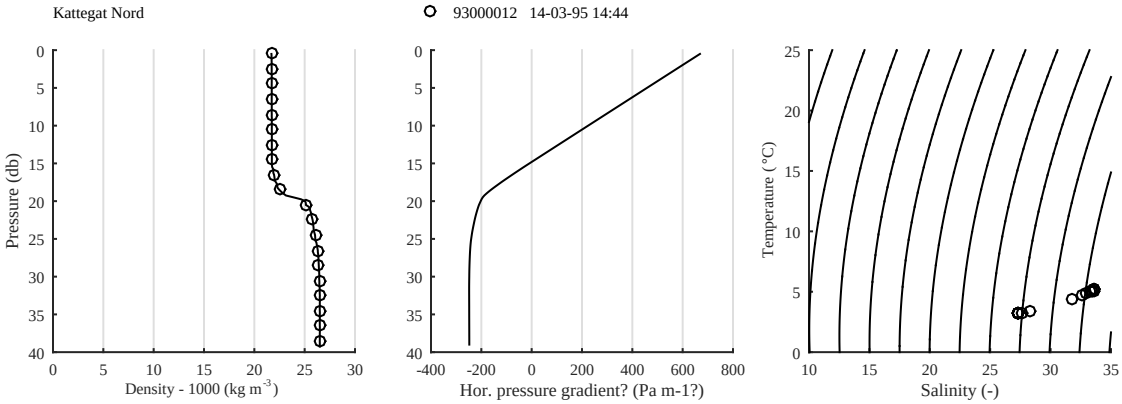


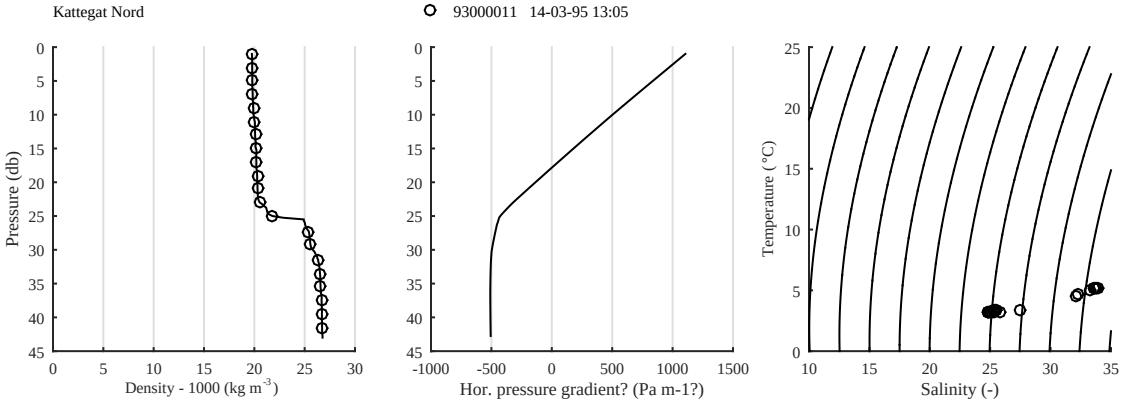


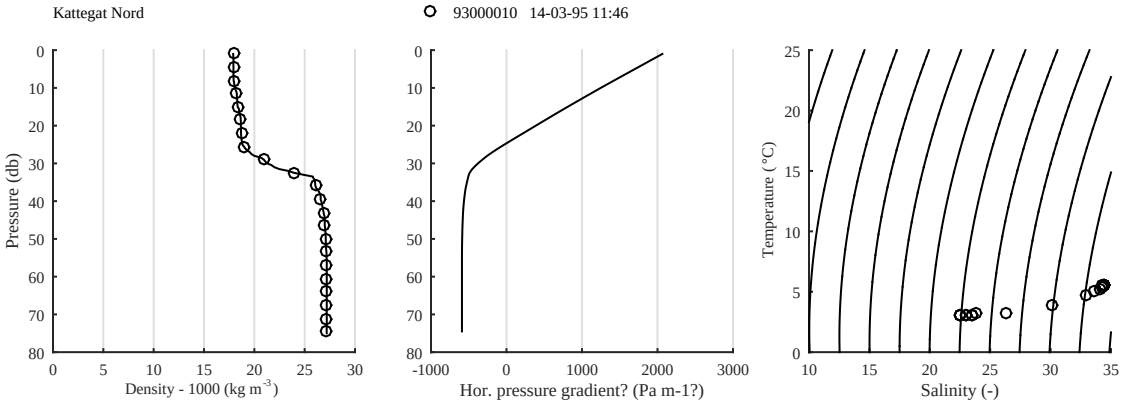


CTD-profiler og baroklin udveksling i Kattegat nord 13 March 1995 - 01 May 1995

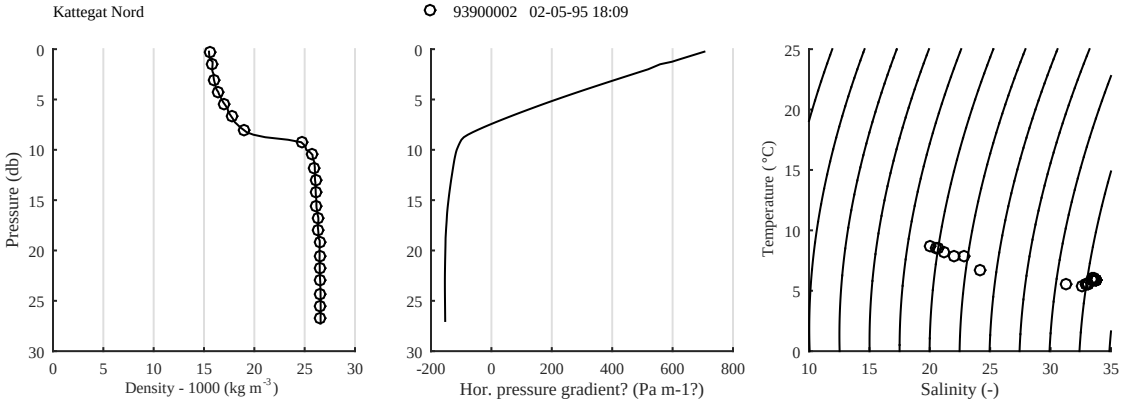


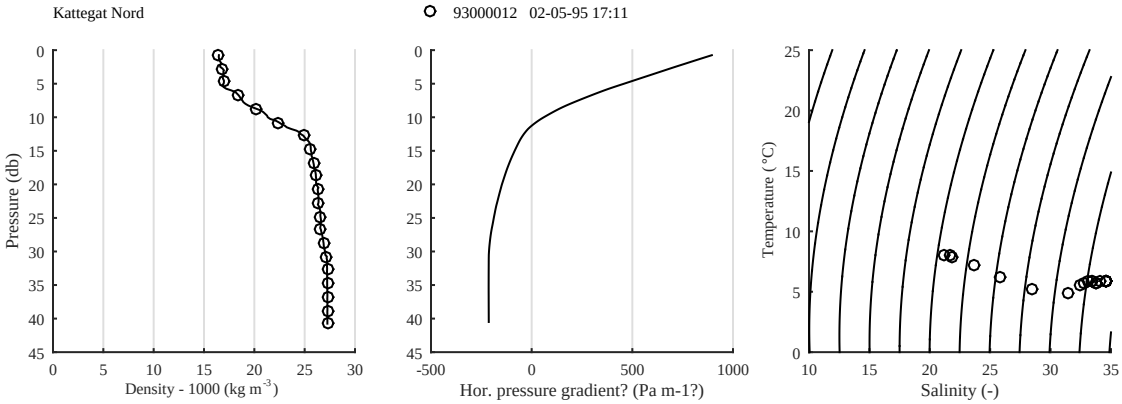


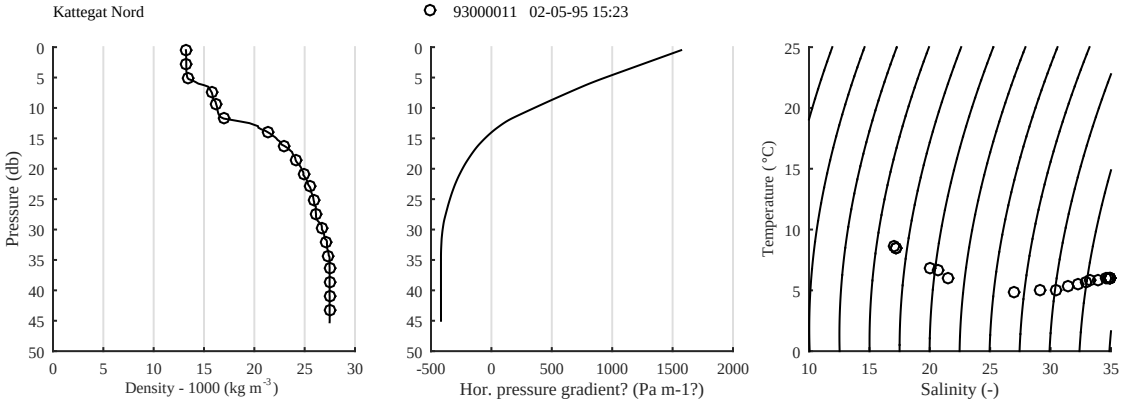


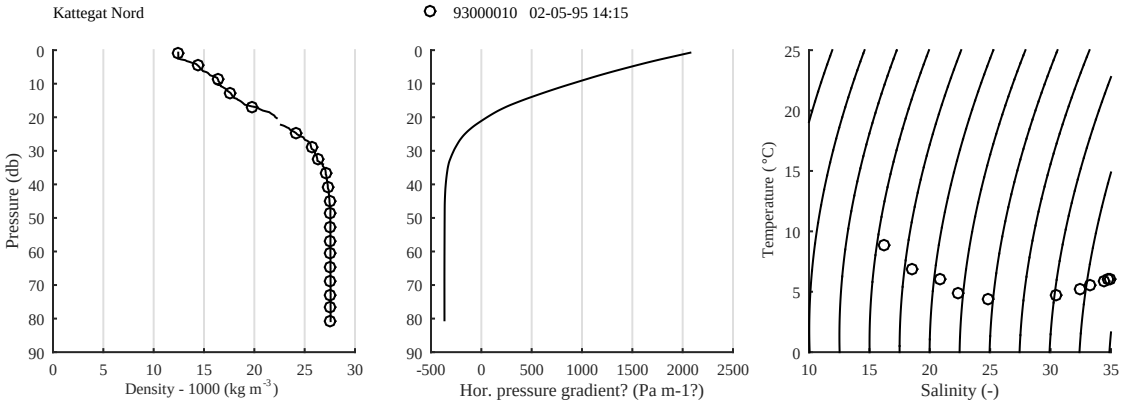


CTD-profiler og baroklin udveksling i Kattegat nord 01 May 1995 - 12 June 1995

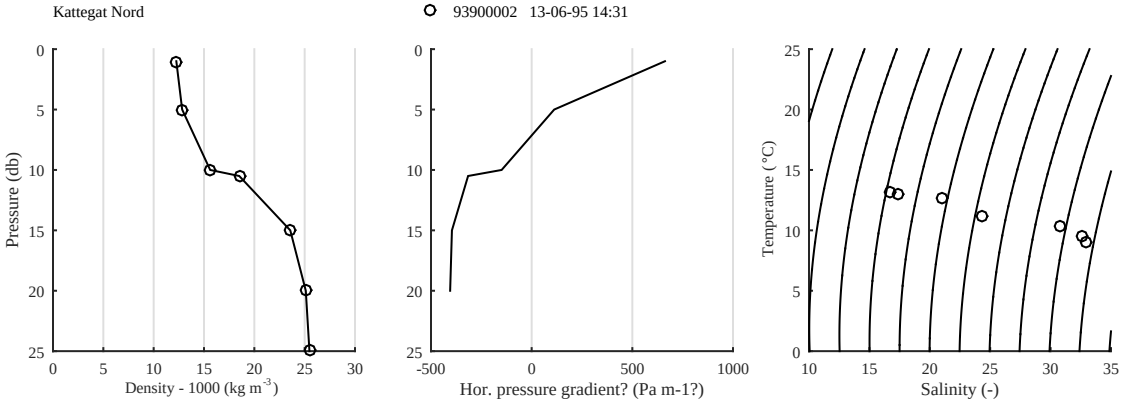


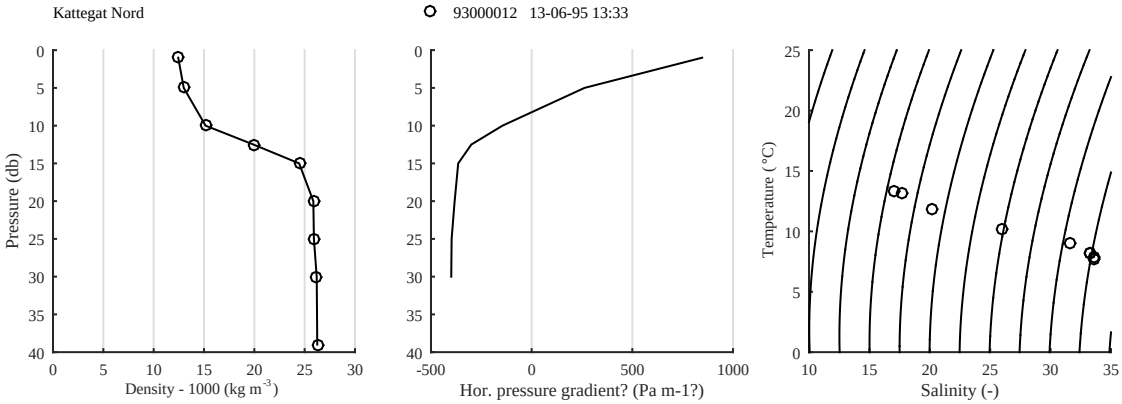


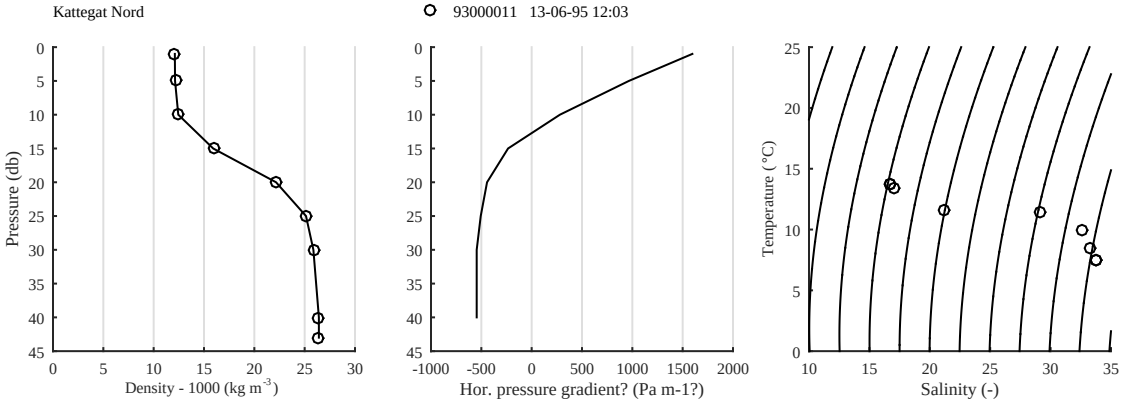


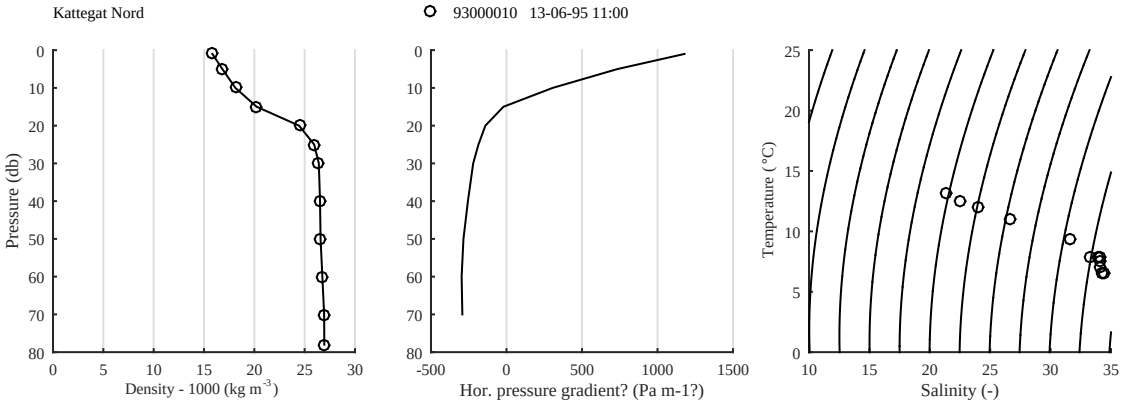


CTD-profiler og baroklin udveksling i Kattegat nord 12 June 1995 - 11 July 1995

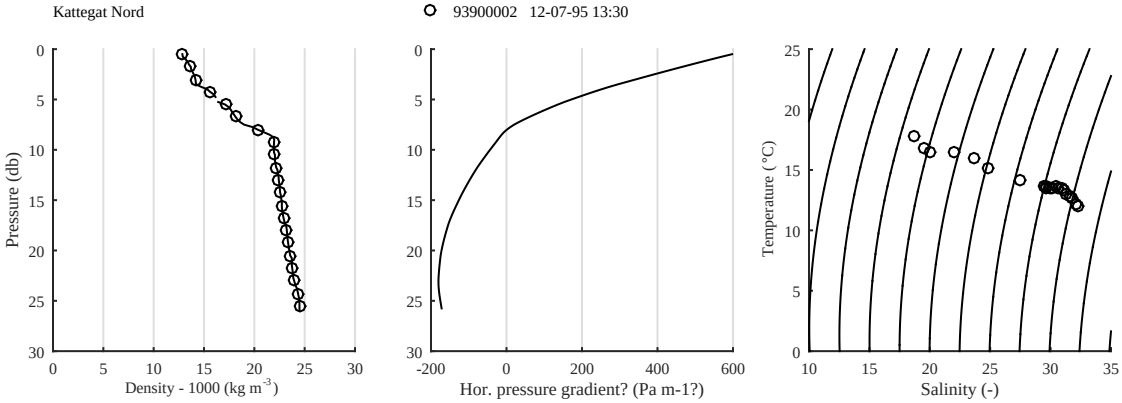


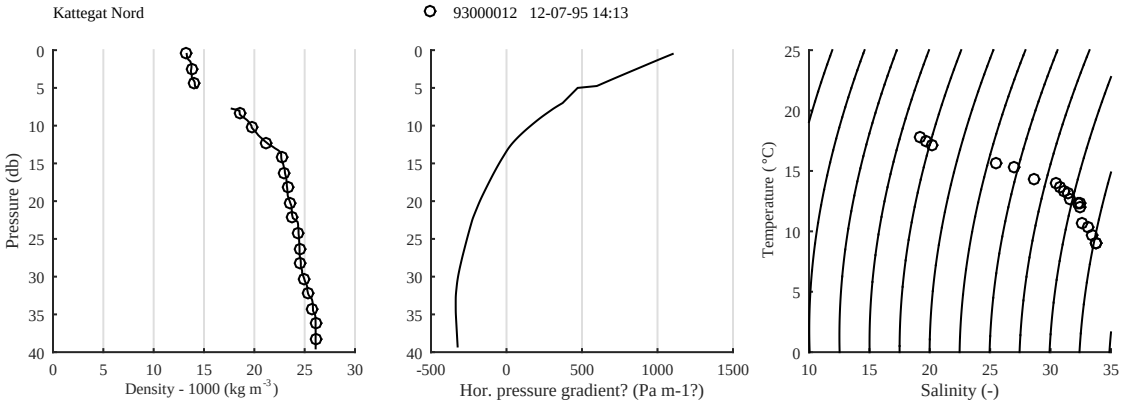


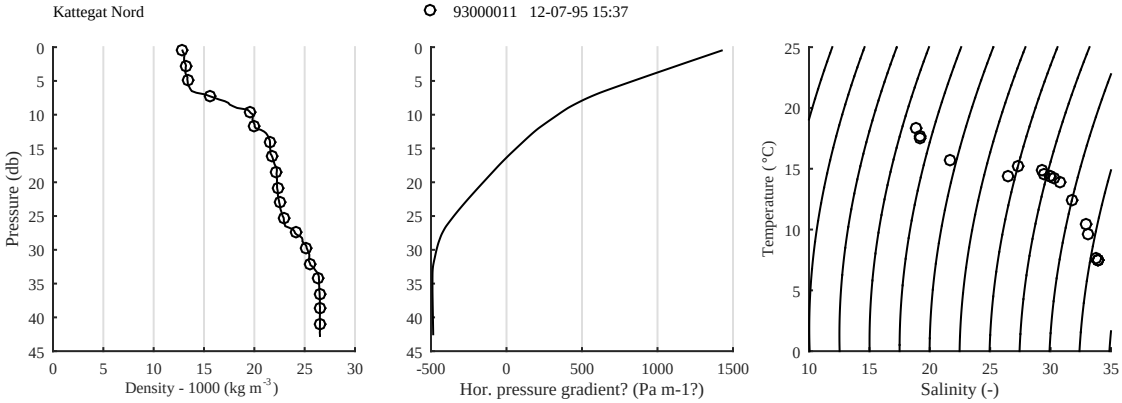


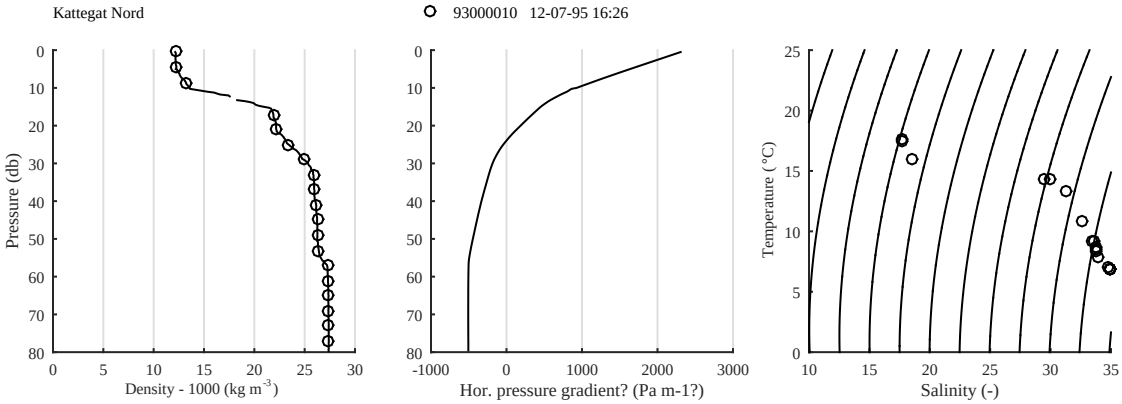


CTD-profiler og baroklin udveksling i Kattegat nord 11 July 1995 - 15 August 1995

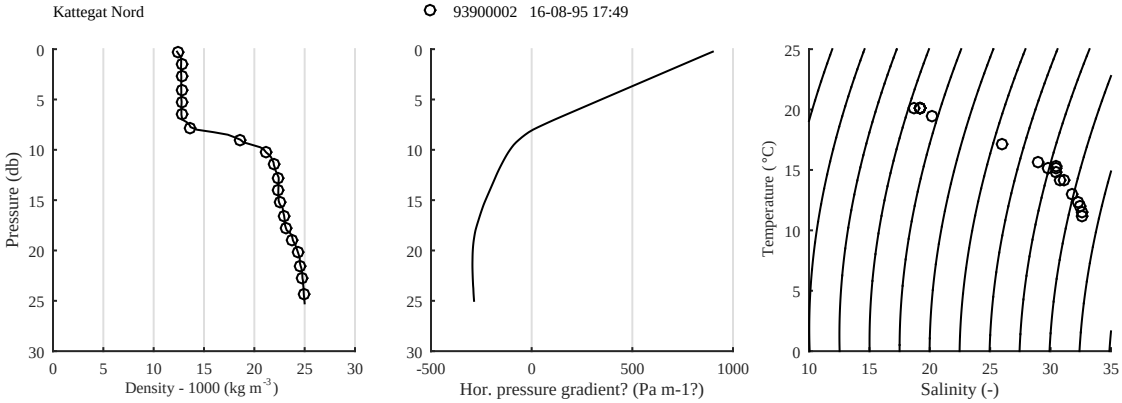


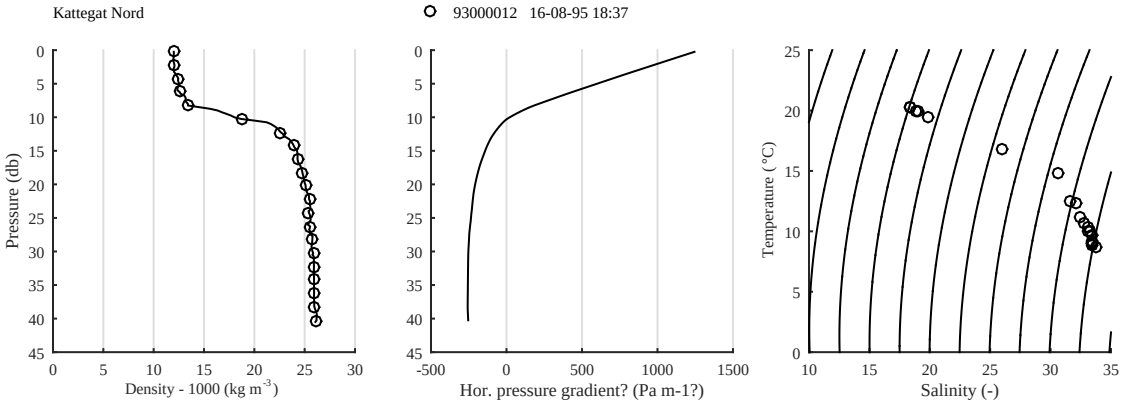


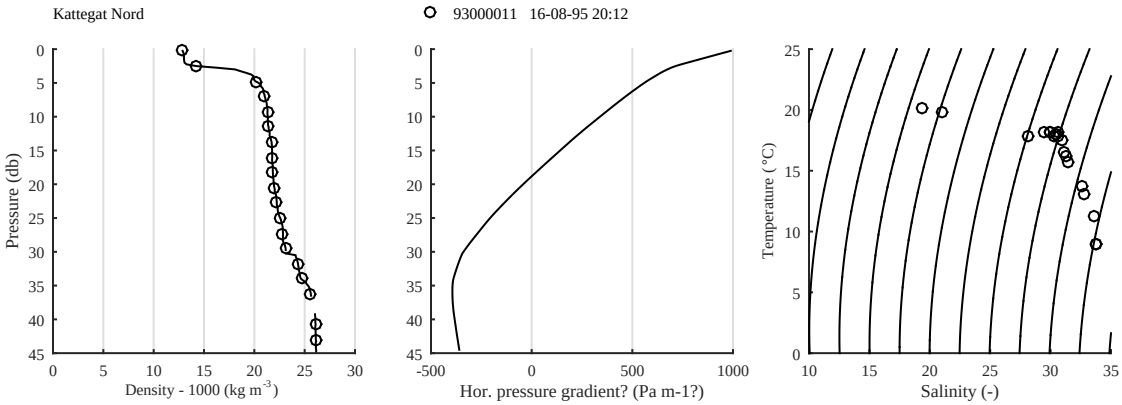


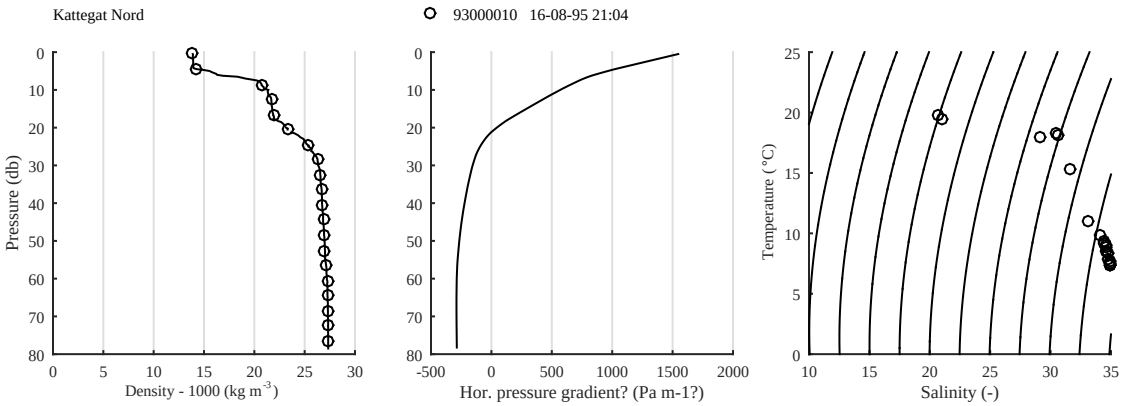


CTD-profiler og baroklin udveksling i Kattegat nord 15 August 1995 - 12 September 1995

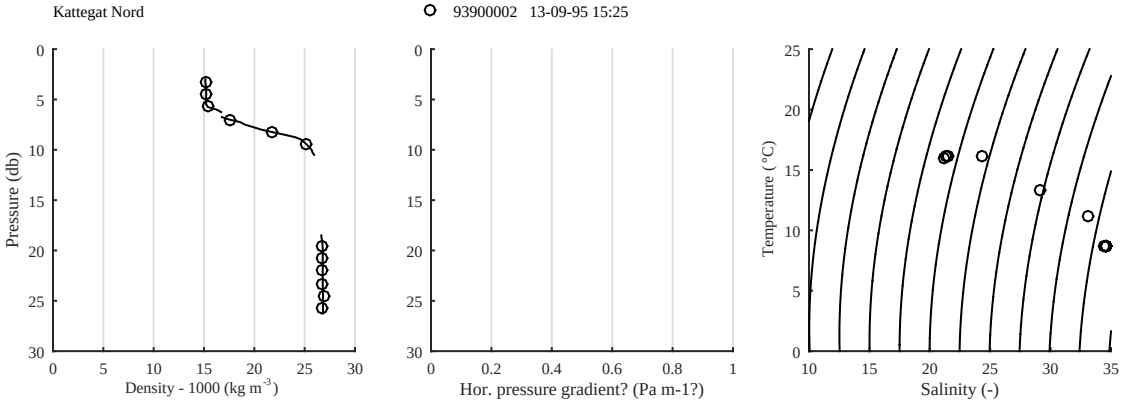


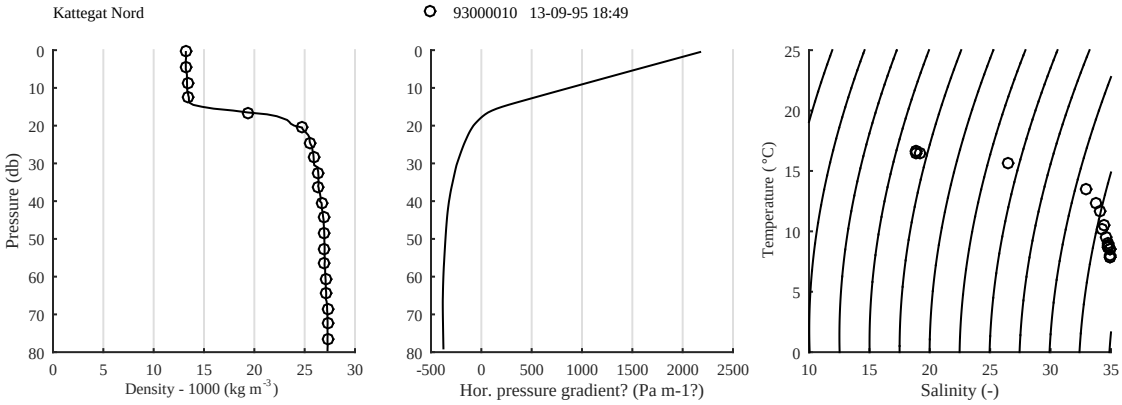




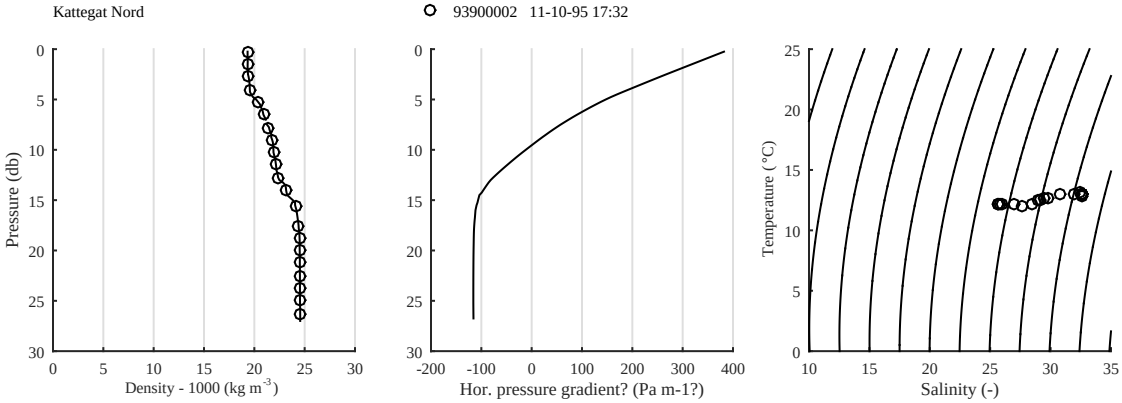


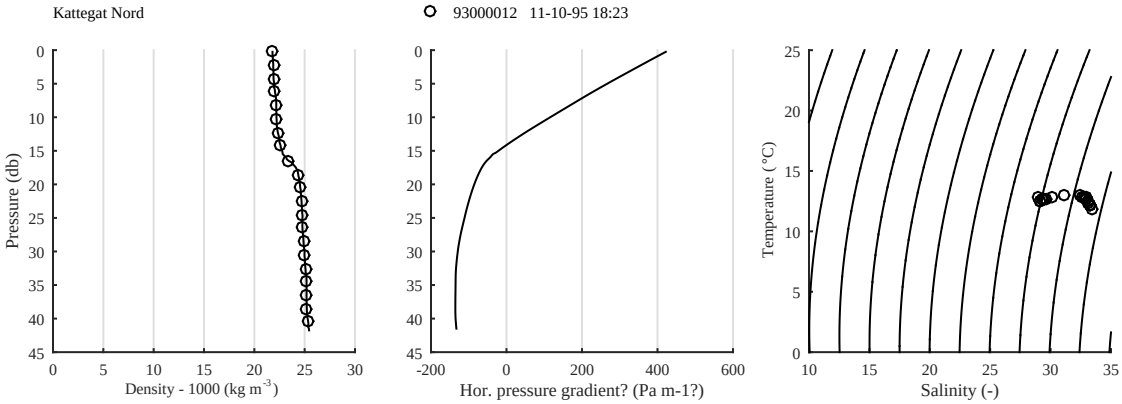
CTD-profiler og baroklin udveksling i Kattegat nord 12 September 1995 - 10 October 1995

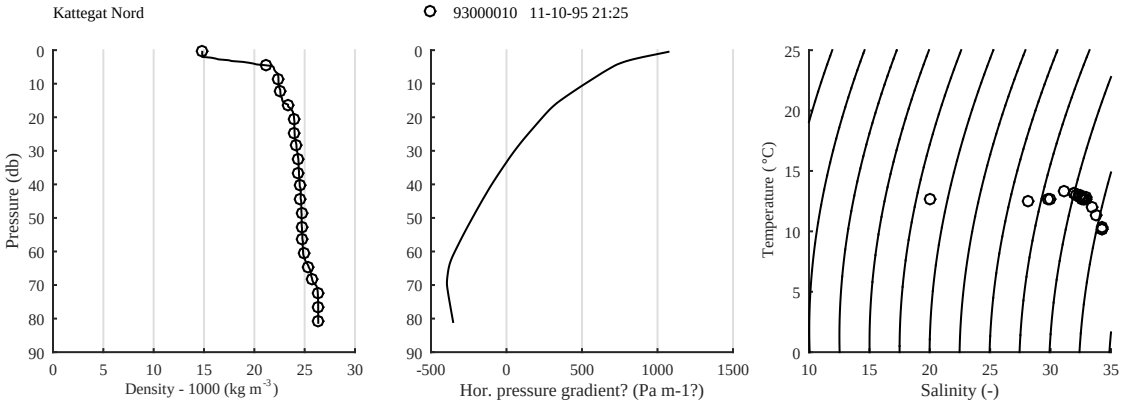
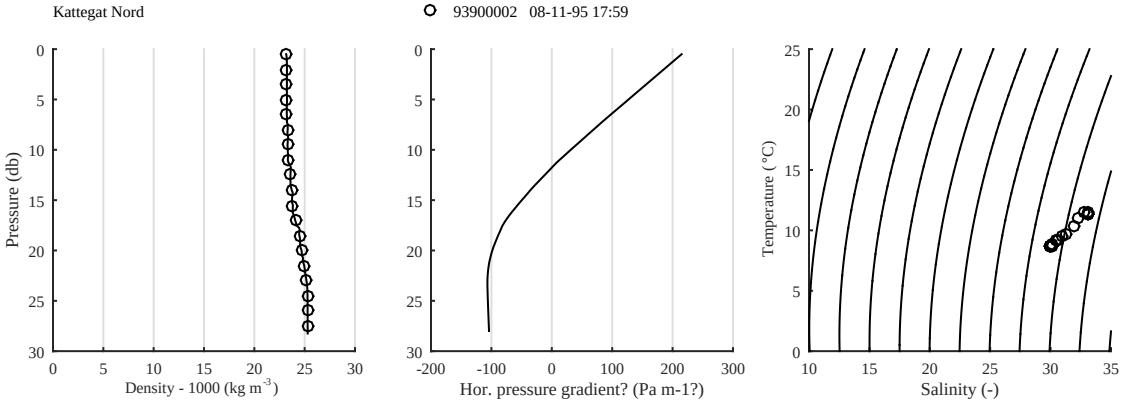
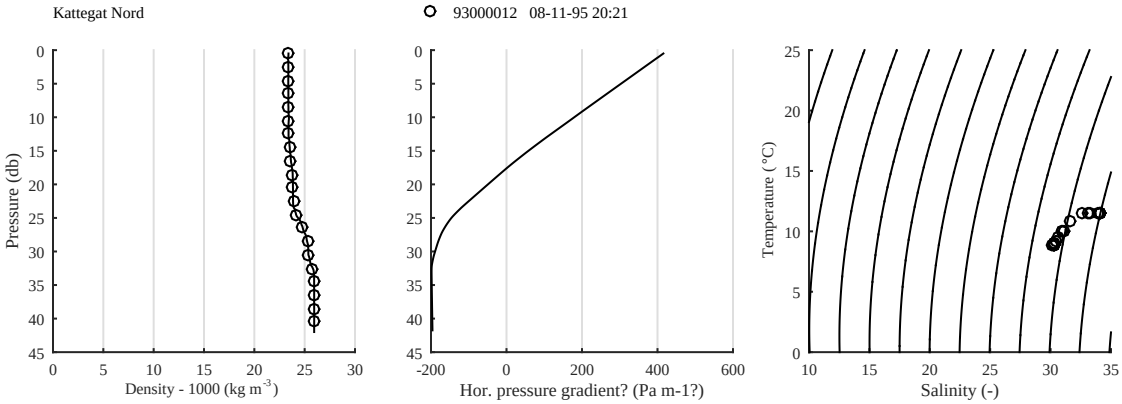
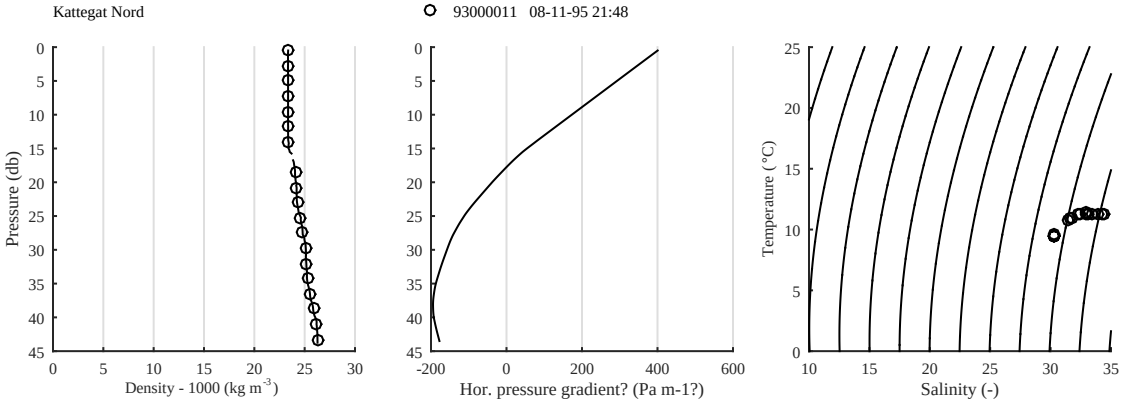
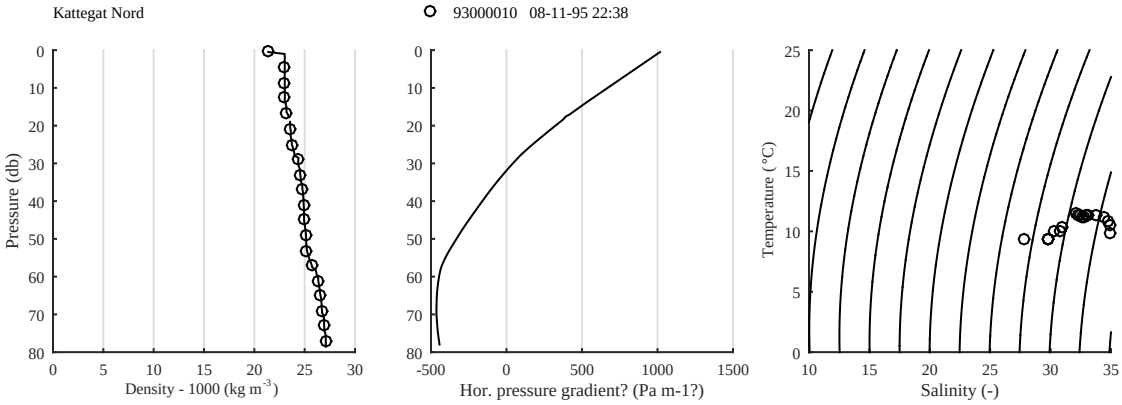




CTD-profiler og baroklin udveksling i Kattegat nord 10 October 1995 - 07 November 1995







CTD-profiler og baroklin udveksling i Kattegat nord 07 November 1995 - 15 November 1995