

PFAS – Fingerprint for forskellige brancher

En statistisk analyse af PFAS i terrænnært grundvand



Projektet er finansieret med puljemidler fra Den Syddanske Udviklingspulje for rent vand og jord

RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.

 Region
Syddanmark

PFAS – Fingerprint for forskellige brancher

En statistisk analyse af PFAS i terrænnært grundvand

Projektnr. **1100053855**
Modtager **Region Syddanmark**
Dato **2024/05/30**
Udarbejdet af **Helena Hjørringgaard**
Kontrolleret af **Nanna Thomsen**
Godkendt af **Jette Kjøge Olsen**

Rambøll
Olof Palmes Allé 22
DK-8200 Aarhus N

T +45 5161 1000
<https://dk.ramboll.com>

Ansvarsfraskrivelse:

Region Syddanmark vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporten som er finansieret med puljemidler fra "Den Syddanske Udviklingspulje for rent vand og jord".

Det skal bemærkes, at offentliggørelse af rapporten ikke nødvendigvis betyder, at Region Syddanmark er enig i rapportens indhold og konklusioner, men er udelukkende med henblik på at dele viden om teknologiudviklingen på jordforureningsområdet.

Rambøll Danmark A/S
CVR NR. 35128417

Medlem af FRI

Indhold

1.	Indledning	2
2.	Litteraturstudie af PFAS fingerprints	2
2.1	Anvendelse af PFAS fingerprints	2
2.2	Danske branchers anvendelse af PFAS	3
3.	Beskrivelse af data fra regionerne	6
3.1	Undersøgte brancher	6
3.2	Undersøgte PFAS-forbindelser	7
3.3	Undersøgte lokaliteter og PFAS-forbindelser	11
4.	Metode og antagelser	12
4.1	Metoder og antagelser der typiske anvendes ved en PCA	12
4.2	Metode og antagelser anvendt i projektet	12
5.	Resultater fra PCA-analysen	14
6.	Fingerprint for jern- og metalindustrien	16
7.	Fingerprint for forkromningsindustri	19
8.	Diskussion af metodevalg og perspektivering	22
9.	Konklusion	23
10.	Referencer	24
Bilag 1 Beskrivelser af statistiske metoder		26
	Parametric metoder til at sammenligne prøver der er relevant til PFAS fingerprints	27
	Principal component analysis (PCA)	27
	Hierarchical cluster analysis (HCA)	29
Bilag 2 Inddeling af brancher i hovedgrupper		30
Bilag 3 Principal Component Analysis (PCA)		31

1. Indledning

Det er blevet mere og mere anvendt at undersøge PFAS forureninger for dets fingerprint for at kunne vurdere hvilke kilder der har bidraget, eller stadig gør, til forureningen. Der eksisterer mere end 12.000 PFAS-forbindelser, som kan benyttes i forskellige mængder i produkter afhængig af dets egenskaber og produktets anvendelse. Forskellige brancher og produkter vil derfor kunne have en PFAS-sammensætning som kan være unik, og som kan spores i forureningen ved at bruge en branches/kildes såkaldte PFAS fingerprint. Forureninger som PFAS, der er persistente eller har en forventet omdannelse, egner sig særligt godt til fingerprints. Forurening med PFAS-stoffer i jord, grundvand og overfladevand findes i forbindelse med f.eks. brandøvelsespladser, lossepladser, tekstil- og papirindustri, malingsindustri og flere andre brancher.

Projektidéen er et udredningsprojekt, der skal belyse sammensætning af PFAS-forbindelser, et såkaldt PFAS-fingerprint, i grundvandet ved forskellige brancher/kilder. PFAS-fingerprint vil blive sammenholdt med diffus PFAS-forurening i grundvandet. Dette projekt vil anvende PFAS-fingerprint på et udvalg af analyserede terrænnære grundvandsprøver for forskellige brancher og teste om der kan ses en generel trend i sammensætningen af PFAS-forbindelser ved de enkelte brancher eller fra en mulig diffus forurening. Dette kan gøres med multivariate statistiske metoder såsom Principal Component Analysis (PCA), hvor tendenser i datasættet visualiseres grafisk og identificeres.

Med projektet forventes det at kunne klarlægge om man på baggrund af fingerprints vil kunne blive klogere på sammensætningen af PFAS-forbindelser i grundvandet på de enkelte brancher. Dette er nyttigt i forhold til at skelne bidrag fra forskellige brancher og f.eks. diffus forurening. Det er desuden vigtig viden i forhold til at kunne planlægge undersøgelser og afværge af PFAS grundvandsforureninger.

2. Litteraturstudie af PFAS fingerprints

Dette afsnit er en opsummering af resultaterne fra et litteraturstudie omkring PFAS fingerprints og statistiske metoder til fingerprinting. I afsnittet beskrives kort hvilke PFAS-forbindelser studierne har associeret med en kilde eller branche, og hvilke metoder de har anvendt. Litteraturstudiet belyser eksempler på PFAS fingerprints for forskellige brancher, steder og media (drikke-, grund- og spildevand). I bilag 1 er der en forklaring til de statistiske begreber, og det anbefales at læseren er bekendt med disse inden litteraturstudiet læses.

2.1 Anvendelse af PFAS fingerprints

PFAS fingerprints kan udføres i mange forskellige media såsom blod, jord, overfladevand og grundvand. Et fingerprint fra en bestemt branche eller produkt vil være mest nøjagtigt, hvis det udføres på baggrund af prøver i forskellige media. Det er dog udfordrende at isolere et fingerprint da mange faktorer spiller ind. (Balgooyen & Remucal, 2023) undersøger PFAS fingerprints lavet med analyser af grundvand, overfladevand og sediment. De konkluderer, at de mest retvisende fingerprints udføres i enten grundvand eller overfladevand, da kortkædede PFAS-forbindelser findes i ringe grad i sediment, og kortkædede forbindelser vil i fremtiden have stor betydning, grundet et skifte fra langkædede til kortkædede forbindelser i de fleste produktioner.

Et fingerprint kan også blive mere nøjagtigt, hvis der tages forbehold for at stoffer kan optræde på forskellige former – isomeri. Hvis der anvendes analysemetoder, som kan bestemme hvorvidt stoffet er lineært eller forgrenet, vil dette være med til at præcisere et fingerprint yderligere (Charbonnet, et al., 2021).

(Charbonnet, et al., 2021) anbefaler, at analyser for PFAS fingerprints udføres med supervised metoder i kombination med en konceptuel model for områderne. Eksempelvis vil indholdet af PFAS i en grundvandsprøve være afhængig af strømningsveje i jorden, jordtypen og dybden af den

umættede zone. Grunden til at (Charbonnet, et al., 2021) anbefaler supervised metoder skyldes at disse vil give et mere generelt fingerprint, men for at udføre disse analyser kræves der store datamængder. Der er derfor udført flere forskellige studier, hvor unsupervised metoder anvendes, som ikke kræver så store datamængder og er lettere at implementere. Dette er f.eks. PCA, HCA og PCA-MLR (Charbonnet, et al., 2021).

(Li, et al., 2022) fandt fem relevante brancher, der kan have bidraget til forurening af grundvandet i tre områder i Kina ved hjælp af PFAS fingerprints. De fandt f.eks. at en papir- og plastikfabrik i området muligvis havde ydet et bidrag til grundvandsforurening. Dette gjorde de ved at udføre en PCA, hvor en af clusterne var styret af mængden af PFBA, 3:3 FTA og 4:2 FTS. Disse stoffer anvendes til fødevareremballage. Inden PCA udførte (Li, et al., 2022) en NMDS og fandt Spearman korrelationer mellem variablerne. En NMDS udføres generelt inden en PCA, hvis variationen af data ikke kan beskrives med en distance som f.eks. euclidean. Et andet eksempel til brug af PCA til PFAS fingerprints er (Sörensengård, et al., 2022), som udførte en PCA af forurenede drikkevandsboringer i Sverige, og brugte denne til at lokalisere en kilde mere end 10 km opstrøms.

(Zhang, et al., 2016) brugte PCA og HCA til at finde forureningskilder i overfladevand i New York, og fandt, at det sandsynligvis var lufthavne/tekstil-, affald- og metalindustrien. De brugte også modeller, der omhandler strømningsveje og afstande til industrier, til at lokalisere hvilke kilder der bidrog til forureningen. De fandt, at lufthavn/tekstil bedst beskrives af PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFHxA og PFDA, at affaldsindustrien beskrives af N-MeFOSAA, PFUnDA og PFDODA, og at metalindustrien beskrives af PFOS, PFPeA og 6:2 FTS.

(Xiao, et al., 2012) anvendte en PCA og ANOVA til at undersøge PFAS i spildevand. De anvendte PCA til at finde fire clusters, og brugte efterfølgende ANOVA til at undersøge om der en korrelation mellem forekomsten af to PFAS-forbindelser, for at se om der vil være en sammenhæng mellem kilder.

Både (Hu, et al., 2018), (He, et al., 2017) og (Qi, et al., 2016) laver en multiple regression model (MLR) efter en PCA. (He, et al., 2017) benytter modellen til at allokerer, hvor stor en del af den samlede forurening, dvs. summen af PFAS, der stammede fra de forskellige kilder identificeret med PCA'en. De fandt eksempelvis, at tekstilindustrien muligvis havde bidraget med 28% af PFAS-forureningen i sedimentet i et område i Kina.

Ovenstående eksempler har udelukkende brugt PFAS data til fingerprints. Der findes dog eksempler for brug af andre stoffer i kombination med PFAS, der kan anvendes som en indikator for hvilken branche forureningen stammer fra. (Bonelli, et al., 2020) har bl.a. undersøgt forholdet mellem forekomsten af krom og PFAS-typer i overfladevand, og fandt at der en sammenhæng mellem forekomsten af krom og PFBS med galvanisering og svejsning af rustfrit stål. Det kan således også være relevant at undersøge PFAS-fingerprints sammenholdt med andre kendte stoffer, der anvendes i specifikke brancher.

De ovennævnte studier, fokuserer på mindre specifikke områder, hvori der ligger potentielle forureningskilder. Der er kun fundet et studie, hvor PFAS-forekomst og sammensætning undersøges på nationalt plan. (Guelfo & Adamson, 2018) har undersøgt mere end 36.000 vandprøver i USA for seks PFAS-forbindelser vha. sandsynligheds-ratioer, korrelationstest (Mann-Whitney) og HCA. De fandt, at PFOA og PFHpA grupperes i samme cluster, og PFOS og PFHxS grupperes sammen. PFNA og PFBS grupperes ikke med andre stoffer, hvilket skyldes, at de har mere 'unikke' kilder og transportmekanismer som f.eks. adsorptionsevne til jord.

2.2 Danske branchers anvendelse af PFAS

(Miljøstyrelsen, 2016) har undersøgt hvilke brancher i Danmark, der anvender eller har anvendt PFAS, og således kan være en potentiel forureningskilde. De fandt at PFTE udgjorde 60% af den

totale indberettede mængde af PFAS-forbindelser for alle årene 1983, 1993, 2003, 2009, 2001, 2013 og 2016. Hvis der ses bort fra anvendelsen af PTFE, udgøres 70% af de registrerede mængder af seks stoffer, der ikke er omfattet af Miljøstyrelsens kvalitetskriterier (Niras & Rambøll, 2022) (Miljøstyrelsen, 2016). Disse stoffer vil således ikke indgå direkte i PFAS fingerprints, selvom stofferne kan være branchespecifikke, og således fungere som indikatorer for brancher. Dog kan de indirekte fremgå af PFAS fingerprints i tilfælde af at de omdannes til nogle af de 22 stoffer i Miljøstyrelsens kvalitetskriterie.

I (Miljøstyrelsen, 2016) nævnes følgende brancher, eller områder, som potentielle kilder:

- Forkromningsindustri
- Tæppeindustri
- Malingsindustri
- Træindustri
- Møbelindustri
- Kemisk industri
- Jern og metalindustri
- Gummi og plastindustri
- Tekstil og læderindustri
- Brandøvelsespladser
- Fyldpladser for byggeaffald og ældre lossepladser for dagrenovation
- Lokalteter hvor der er sket en slukning af større kemikalie/olie brand

Tabel 2-1 giver en oversigt over hvilke af Miljøstyrelsens 22 PFAS-forbindelser, der er fundet i relation til brancher i Danmark, pba. branchebeskrivelser og ovenstående undersøgelse fra 2016. På nuværende tidspunkt er der kendskab til 17 brancher, der kan have anvendt PFAS (Danske regioner, u.d.). Antallet af brancher kan/vil sandsynligvis vokse i takt med at der opnås mere viden om brugen af PFAS. De brancher som ikke er omfattet af tabellen, er vaskehaller, betonvarefabrikker, renserier og brancher relateret til brand. Tabellen skal ikke ses som en komplet liste, og er kun et udtryk for den nuværende viden.

Tabel 2-1 Oversigt over dokumenteret anvendelse af 22 PFAS-forbindelser i brancher eller fra studier der finder en tilstedeværelse af forbindelserne ved brancherne. Baseret på (Niras & Rambøll, 2022) (Miljøstyrelsen, 2016) og branchebeskrivelser af (Niras, u.d.). For fyld-, losse- og brandøvelsespladser er det antaget at alle 22 PFAS-forbindelser kan forekomme (Niras & Rambøll, 2022). De 22 forbindelser er inddelt efter hovedgrupper af PFAS.

	Forkromning	Tæppeindustri	Malingsindustri	Træ- og møbel	Kemisk industri	Jern- og metal	Gummi- og plast	Tekstil og læder	Trykkerier	Pap- og papir	Elektronik	Fyld- og lossepladser	Brandøvelsespladser
PFBA				X	X			X		X	X	X	X
PFPeA				X				X		X		X	X
PFHxA				X	X			X				X	X
PFHpA				X				X		X		X	X
PFOA				X	X	X		X		X		X	X
PFNA								X				X	X
PFDA					X			X				X	X
PFUnDA								X				X	X
PFDoDA								X				X	X
PFTTrDA								X				X	X
PFBS							X	X	X		X	X	X
PFPeS												X	X
PFHxS				X		X	X	X				X	X
PFHpS				X				X		X		X	X
PFOS	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
PFNS					X							X	X
PFDS				X	X			X				X	X
PFUnDS												X	X
PFDoDS												X	X
PFTTrDS												X	X
PFOSA	X					X					X	X	X
6:2 FTS	X		X		X	X	X				X	X	X
Øvrige	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

3. Beskrivelse af data fra regionerne

Regionerne udfører forureningsundersøgelser efter jordforureningsloven, og registrerer alle analyser i databasen GeoGIS2020. Til dette projekt har regionerne udleveret alle analyseprøver af PFAS-forbindelser i jord og grundvand fra GeoGIS2020 udført indtil august-november 2023. Sammen med data er der udleveret oplysninger om hvilke brancher, der er registeret i JAR (Jordforureningslovens Areal Register) på lokaliteterne. Data er behandlet i Python 3.11, og i forbindelse med den indledende datavask er der taget udgangspunkt i et script udleveret af Kathrine Mathiesen, der har udviklet et script i forbindelse med sit bachelorprojekt (Mathiesen, 2023). I det følgende anvendes begrebet "analyse" om én analyse af ét stof, mens en "prøve" er de samlede analyser pr. udtaget prøve.

Datavask har omfattet at fjerne dubletter (24.849 analyserede stoffer), analyser med ukendt enhed (9.593 analyserede stoffer), jordanalyser (88.572 analyserede stoffer) og grundvandsanalyser fra dybe filtersætninger (83.700 analyserede stoffer). Dybe filtersætninger er defineret som prøver, hvor toppen af indtaget er dybere end 10 m under terræn. Derudover er forskellige navngivninger af samme PFAS-forbindelse ændret sådan at navngivningen i nærværende følger (Niras & Rambøll, 2022).

Region Midtjylland har udleveret en liste med inddeling af PFAS-relevante brancher til 15 PFAS-relevante hovedgrupper. Derudover er der hovedgrupperne "Ikke PFAS-relevant" og "Ikke specificeret". Listen fremgår af bilag 2. Da der kan være flere brancher pr. lokalitet, og det ikke vides hvilken branche, der kan have forårsaget PFAS-forureningen, er analyserne efterfølgende gentaget pr. branche for lokaliteten.

I det følgende inddeles PFAS-forbindelser efter potentialet for omdannelse: dead-end og precursors samt funktionelle grupper: PFCA'er (carboxylsyrer) og PFSA'er (sulfonsyrer). Indenfor hver gruppe er stofferne angivet med stigende længde af carbonkæde. Definitionen af kort- og langkædede forbindelser følger OECD definitionen (OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development) (ITRC, 2023).

Tabel 3-1 Oversigt over antal carbonatomer, der angiver kort- eller langkædede forbindelser for PFCA'er og PFSA'er (ITRC, 2023).

Carbonatomer	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
PFCA	Kortkædede				Langkædede						
	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoDA	PFTTrDA	
PFSA	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoDS	PFTTrDS	
	Kortkædede		Langkædede								
Precursors					6:2FTS/ PFOSA						

3.1 Undersøgte brancher

Det ses af Tabel 3-2 at der er relativ stor forskel på antallet af undersøgte brancher. Jern- og metalvareindustri er undersøgt 498 gange, mens malingsindustri er undersøgt tre gange. Det ses også, at der er analyseret relativt mange stoffer for brancher relateret til brand sammenlignet med jern- og metalvareindustri, selvom der er undersøgt fem gange så mange lokaliteter for jern- og metalvareindustri. Summen af alle undersøgte brancher er 2.934, mens summen af undersøgte lokaliteter er 1.629, hvilket svarer til at hver lokalitet har 1,8 branche/hovedgruppe registreret i JAR. Antallet af analyser svarer i gennemsnit til at der er 97 analyserede stoffer pr. lokalitet, hvilket svarer til 4,4 prøver pr. lokalitet, hvis hver prøve består af 22 stoffer.

Tabel 3-2 Antal undersøgte lokaliteter og analyser (analyserede stoffer) baseret på brancher. Samme analyse kan være gentaget flere gange hvis der er flere brancher pr. lokalitet.

Brancher	Sum lokaliteter	Betonvare-fabrikker	Brancher relateret til brand	Elektronik-virksomheder	Forkromnings-industri	Gummi- og plastindustri	Jern- og metalvareindustri	Kemisk industri	Losse- og fyldpladser
Undersøgte brancher	1.629	26	95	67	115	85	498	37	204
Analyserede stoffer	158.235*	5.122	25.429	6.437	11.140	7.274	45.901	3.308	20.997
Brancher	Malingsindustri	Pap- og papirindustri	Renserier	Tekstil- og læderindustri	Trykkerier	Træ- og møbelindustri	Tæppeindustri	Ikke PFAS-relateret industrier	Ikke specificeret
Undersøgte brancher	3	20	169	71	29	149	11	1.199	156
Analyserede stoffer	278	2.067	16.963	7.022	4.096	10.607	1.050	112.687	14.585

*Antal analyserede stoffer. Summen angiver ikke summen af analyser fordelt ud på brancherne.

3.2 Undersøgte PFAS-forbindelser

Det ses af Tabel 3-3 at 24% af alle analyserede stoffer er påvist, og at der er omtrent 3.100 analyser, hvor detektionsgrænsen er hævet til mere end 100 ng/l. Det ses, at stoffet PFTTrDS aldrig er blevet påvist, men alligevel er 170 analyser potentielt over kvalitetskriteriet når ikke-påvist prøver medregnes. Det betyder, at pga. den forhøjede detektionsgrænse, vides det ikke om den faktiske værdi er over kvalitetskriteriet eller ej. Tallet 170 går igen ved flere af stofferne. Dette indikerer, at der er omtrent 170 prøver, hvor detektionsgrænsen er hævet for flere af stofferne. Hvis indholdet af alle analyserne i prøven er hævet til samme detektionsgrænse, vil prøven i PCA'en blive behandlet på samme måde som en prøve, hvor ingen detektionsgrænser er hævet. Dette skyldes, at der anvendes procentfordelinger, hvilket uddybes i afsnit 4.2. Differencen mellem antallet af ikke-påviste og påviste analyser over kvalitetskriteriet på 100 ng/l er lavest for PFOA, hvilket betyder, at nogle af de 170 prøver med forhøjede detektionsgrænser kan have haft et indhold af PFOA over 100 ng/l, eller at der generelt er mange analyser hvor PFOA er påvist til mere end 100 ng/l.

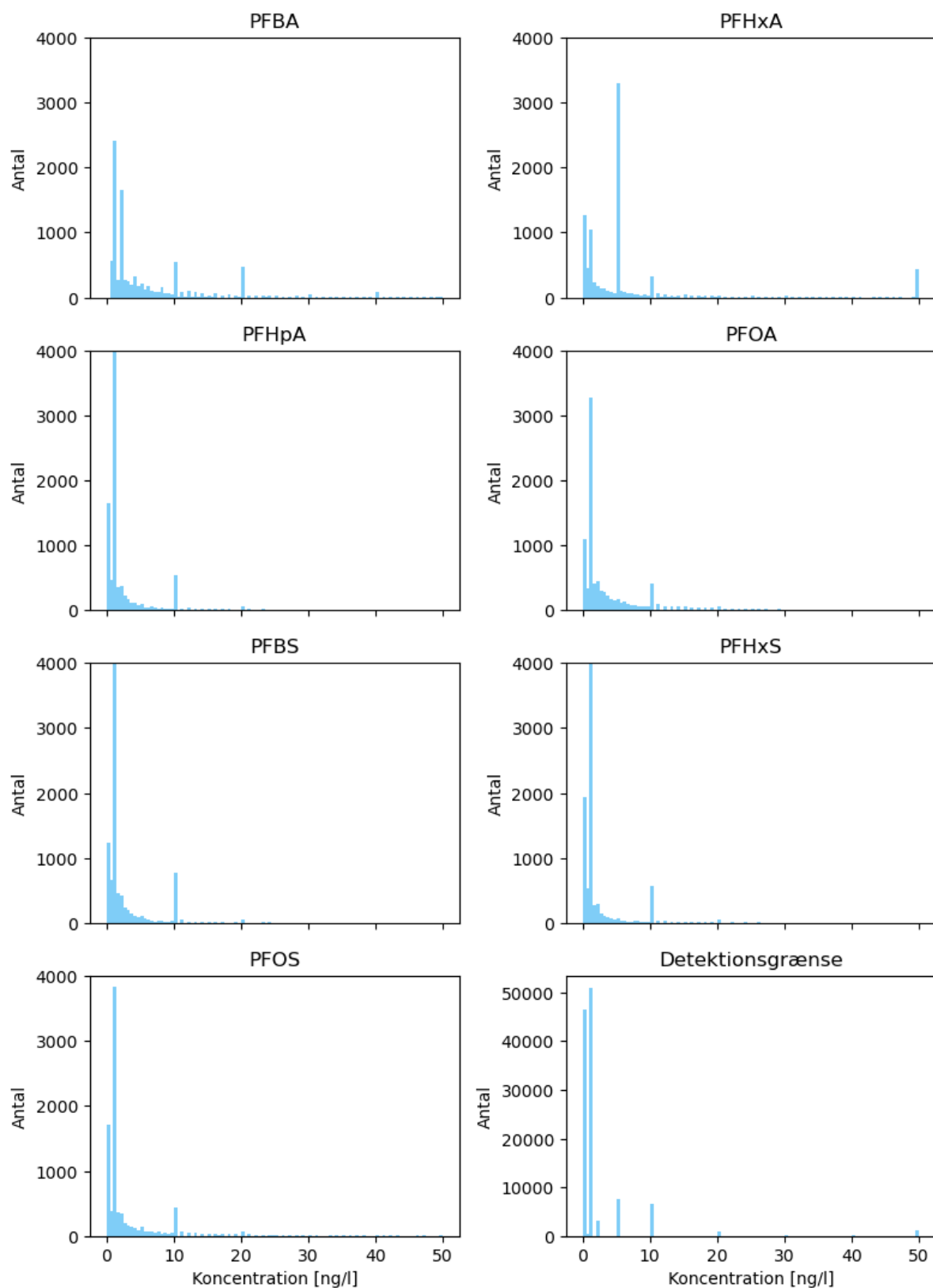
Tabel 3-3 Antallet af analyser (analyserede stoffer), der er påvist eller over kvalitetskriteriet – både med og uden analyser, hvor stoffet ikke er påvist. Hvis et stof ikke er påvist, og er over kvalitetskriteriet, skyldes det forhøjede detektionsgrænser.

PFAS-stoffer	22 PFAS stoffer*	Øvrige	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoDA	PFTrDA
Analyserede stoffer	158.235	1.743	10.076	9.728	9.915	9.951	9.954	9.946	9.888	4.033	4.027	4.045
Påviste analyser [%]	23,7	14,3	45,0	29,9	38,7	40,9	57,5	12,4	4,5	0,9	0,4	0,2
Over kvalitetskriterie** inkl. ikke-påviste	6.507	98	404	567	595	412	576/ 4.698	178/ 1.246	173	170	170	171
Over kvalitetskriterie** ekskl. ikke-påviste	3.394	65	268	406	499	310	513/ 4.199	29/ 496	10	3	1	1
PFAS-stoffer	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoDS	PFTrDS	PFOSA	6:2 FTS
Analyserede stoffer	9.737	3.850	9.967	4.027	9.957	3.850	4.087	3.842	3.849	3.844	9.942	9.720
Påviste analyser [%]	43,2	22,4	34,9	10,7	44,4	0,2	0,17	0,03	0,1	0,0	5,6	6,6
Over kvalitetskriterie** inkl. ikke-påviste	328	206	454/ 2.530	185	596/ 3.511	170	170	170	170	170	197	301
Over kvalitetskriterie** ekskl. ikke-påviste	259	61	352/ 1.789	22	509/ 2.917	0	0	0	1	0	31	136

*Samlet antal af stoffer, der indgår i Σ PFAS22 kriteriet fra Miljøstyrelsen. Det er ikke summen af 22 PFAS-forbindelser pr. prøve.

** Kvalitetskriterie for Σ PFAS22 (100 ng/l) med undtagelse af PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS, hvor Σ PFAS4 (2 ng/l) kvalitetskriteriet også er benyttet.

Det ses også af Tabel 3-3, at der er relativ stor forskel på, hvor ofte et stof detekteres. Otte af stofferne påvises i mindre end 1% af analyserne. Dette er særligt for langkædede PFSA'er med 9-13 carbonatomer og PFCA'er med 10-13 carbonatomer. PFOA er stoffet som oftest påvises i 57,7% af analyserne, og dernæst er det PFBA i 45% af analyserne.



Figur 3-1 Histogram for de forbindelser, der er påvist i mere end 30% af analyserne samt detektionsgrænsen (figur nederst til højre) for alle ikke-påviste analyser. Figuren viser ikke max koncentration, men alle koncentrationer op til 50 ng/l. Bemærk forskellige y-akser.

Histogrammerne for de syv stoffer, der er påvist i mere end 30% af analyserne viser, at data ikke er normalfordelt. Fordelingen er skæv mod venstre, og med en høj distribution omkring detektionsgrænsen.

Tabel 3-4 Fordeling af analyserede PFAS-forbindelser. Værdierne er for alle påviste og ikke-påviste analyser. Detektionsgrænse er for alle ikke-påviste analyser.

	Middel	Standardafvigelse	Min	0,25%	Median	0,75%	Max
Enhed	ng/l						
Detektionsgrænse	12	90	0,0	0,3	1,0	1,0	10.000
PFBA	143	2.074	0,6	1,0	2,7	10	100.000
PFPeA	235	3.845	0,3	1,6	5,0	10	224.000
PFHxA	116	1.799	0,3	1,1	5,0	8,4	148.000
PFHpA	39	537	0,3	1,0	1,0	3,7	36.000
PFOA	77	1.068	0,1	1,0	1,8	8,6	81.700
PFNA	12	185	0,1	0,3	1,0	1,0	10.000
PFDA	11	186	0,3	0,3	1,0	1,0	10.000
PFUnDA	22	280	0,3	0,3	0,3	0,3	10.000
PFDoDA	22	280	0,3	0,3	0,3	0,3	10.000
PFTTrDA	29	294	0,3	0,3	1,0	1,0	10.000
PFBS	70	1.928	0,3	1,0	1,0	3,3	174.000
PFPeS	80	2.712	0,3	0,3	0,3	0,6	166.000
PFHxS	259	13.879	0,1	1,0	1,0	2,2	1.370.000
PFHpS	25	301	0,3	0,3	0,3	0,3	12.000
PFOS	217	3.264	0,1	1,0	1,0	5,1	199.000
PFNS	22	286	0,3	0,3	0,3	0,3	10.000
PFDS	21	278	0,3	0,3	0,3	0,3	10.000
PFUnDS	55	355	0,3	1,0	1,0	1,0	10.000
PFDoDS	36	515	0,3	0,3	1,0	1,0	26.000
PFTTrDS	63	599	0,3	1,0	1,0	1,0	20.000
PFOSA	13	201	0,3	0,3	1,0	1,0	10.000
6:2 FTS	119	3.011	0,3	0,3	1,0	1,2	180.000

Det ses af Tabel 3-4, at der for alle forbindelser er høje standardafvigelser samt store forskelle på middel- og medianværdier, hvilket underbygger den skæve fordeling af data. De høje standardafvigelser skyldes især høje max koncentrationer. Det som bør fremhæves fra Tabel 3-4 er kvartilerne 25%, median og 75%. Her ses det, at for PFOA er median 0,2 ng/l under kvalitetskriteriet. Dette betyder, at næsten halvdelen af PFOA-analyser overskrider kvalitetskriteriet på 2 ng/l. De højeste mediankoncentrationer findes for PFPeA og PFHxA på 5,0 ng/l, og de højeste koncentrationer for 75%-kvartilen er for PFBA og PFPeA på 10 ng/l. Det er således særligt de kortkædede carboxylsyrer som oftest påvises i de største koncentrationer.

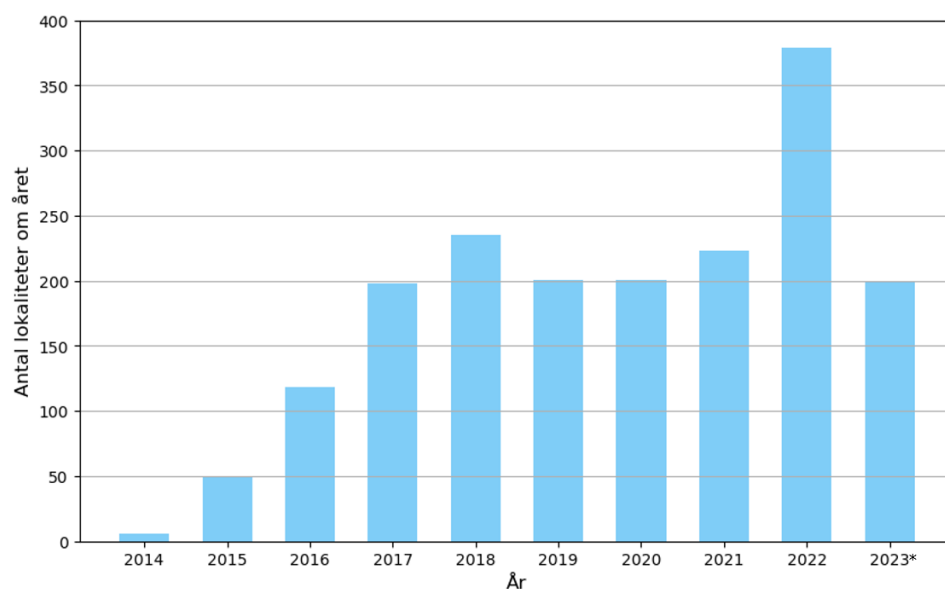
25%-kvartilen er relativt høj for PFUnDS og PFTTrDS, selvom stofferne sjældent eller aldrig påvises, jf. Tabel 3-3. Dette skyldes således ikke høje påviste indhold, men at detektionsgrænsen enten ofte er forhøjet eller har været højere førhen.

Mindsteværdien for detektionsgrænser er 0,0 ng/l hvilket skyldes indtastningsfejl i GeoGIS. Mindsteværdien for PFBA er 0,6 ng/l, men mindsteværdien for angivet detektionsgrænser er 0,3

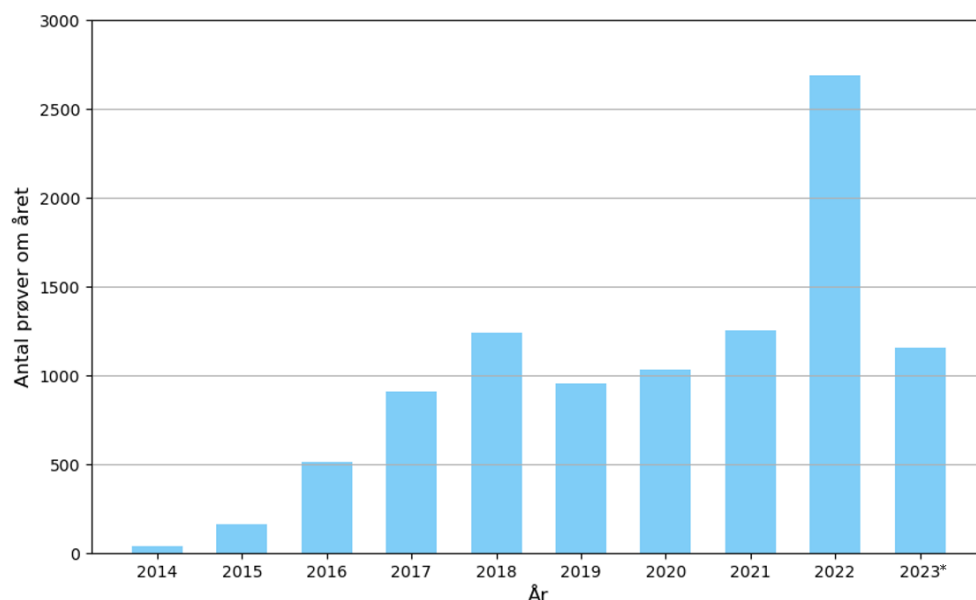
ng/l. De to tal vil indikere, at PFBA altid påvises, hvilket dog ikke er sandt, jf. Tabel 3-3. Dette betyder, at efter analysemetodens detektionsgrænse er sænket til 0,3 ng/l er alle efterfølgende analyser af PFBA angivet som værende påvist. Dette gælder for 1.925 analyser.

3.3 Undersøgte lokaliteter og PFAS-forbindelser

De nedenstående figurer viser omfanget og udviklingen i undersøgelser for PFAS af regionerne i perioden 2014 til at data er udleveret i august-oktober 2023.



Figur 3-2 Antal undersøgte lokaliteter om året med PFAS-analyser. *Tallene fra 2023 dækker indtil august-november afhængigt af regionen.



Figur 3-3 Antal analyserede prøver om året for PFAS. En prøve er talt med når mindst en af de 22 forbindelser i PFAS Σ22-kvalitetskriteriet indgår. *Tallene fra 2023 dækker indtil august-november afhængigt af regionen.

Figur 3-2 og Figur 3-3 viser, at der generelt er en stigning i antallet af undersøgte lokaliteter og stoffer frem til 2018. Der ses et mindre fald mellem 2018-2019, og en kraftig stigning mellem 2021-2022. Antallet af lokaliteter er ca. det samme i årene 2019, 2020 og 2023, men antallet af analyser er stigende. Dette viser, at der udtages flere prøver pr. lokalitet. Stigningen af antal undersøgte lokaliteter kan skyldes, at i 2018 fik de fleste regioner en PFAS-strategi, der bl.a. dikterer, der skal

analyseres for PFAS, hvis lokalitetens aktiviteter er registreret under en branche, som er PFAS-relevant. Derudover havde regionerne i 2022 fokus på at undersøge mange brandøvelsespladser.

4. Metode og antagelser

4.1 Metoder og antagelser, der typisk anvendes ved en PCA

Anvendelsen af PFAS-forbindelser har ændret sig med tiden, da visse stoffer i dag reguleres (PFOS i 2006 og PFOA i 2020). Disse erstattes især af kortkædede forbindelser (Niras & Rambøll, 2022). Ændringen af anvendte PFAS-forbindelser i brancherne vil potentielt kunne ses i PFAS fingerprints afhængigt af hvilke stoffer PFOS og PFOA erstattes af og deres omdannelse.

Eftersom de fleste spild/forureninger i dette projekt er foregået før 2020, forventes det ikke, at man vil påvise de kortkædede erstatningsprodukter i forbindelse med undersøgelsen, da selve spildet er sket inden de blev introduceret. Det skal bemærkes at PFAS fingerprints for brancher vil kunne ændres over tid.

Yderligere, kan PFAS-koncentrationer ændres over tid som følge af fysiske og kemiske processer i jord og grundvand. Eksempelvis kan nogle forbindelser omdannes til dead-end stoffer ved oxidation, og således forøge eller mindske koncentrationen for hhv. dead-end stoffer og precursors. Grundvandsstrømninger kan være medvirkende til at transportere forbindelser over større afstande, og således mindske koncentrationen ved forureningskilden (Niras & Rambøll, 2022). Det er vanskeligt at vurdere hvordan enkelte prøver er påvirket af disse forhold, og det er i dette projekt ikke inkluderet. Det vil sige, at det antages, at PFAS-forureninger ikke ændres i sammensætningen i tid og sted eller at alle prøver er ændret lige meget. Dette vil i høj grad være tilfældet for de persistente PFAS-forbindelser, men for precursors og andre ikke persistente forbindelser, vil man forvente en udvikling i stofsammensætningen som følge af de processer, der indgår i grundvandstransporten.

Det er ikke alle undersøgte PFAS-forbindelser, der altid detekteres. En PCA kan kun håndtere prøver der er detekteret, så valget af metode for at håndtere ikke-påviste prøver kan spille en stor rolle for udkommet af analysen, hvis der ofte ikke detekteres en PFAS-forbindelse. De fleste studier anvender et afskæringskriterie for hvor ofte en PFAS-forbindelse skal være detekteret for at indgå i deres analyse. (Li, et al., 2022) fjerner forbindelser, der detekteres i < 30% af prøverne og (Zhang, et al., 2016) < 60%. Hvis en PFAS-forbindelse i en prøve er under detektionsgrænsen kan der anvendes forskellige metoder til at lade dem indgå i PCA'en. (Xiao, et al., 2012) sætter koncentrationen til halvdelen af detektionsgrænsen, mens (Hu, et al., 2018) og (Li, et al., 2022) anvender Robust Regression on Order Statistics (ROS). (Hu, et al., 2018) dividerer detektionsgrænsen med kvadratroden af to og (Bonelli, et al., 2020) sætter værdierne lig nul. Ikke-påviste værdier kan erstattes af f.eks. halvdelen af detektionsgrænsen, såfremt at det er mindre end 15% af datasættet, som indeholder ikke-påviste værdier (ITRC, 2021).

4.2 Metode og antagelser anvendt i projektet

For analyser, hvor indholdet af PFAS er under detektionsgrænsen, er det antaget at indholdet er halvdelen af detektionsgrænsen. Dette skyldes, at der på nuværende tidspunkt ikke er kendskab til den diffuse forurening, men at der er mistanke om at der eksisterer en diffus forurening af PFAS. Desuden er denne antagelse ofte anvendt og nem at implementere. Hvis der ikke er angivet en analyse for en af de 22 PFAS-forbindelser, der indgår i Miljøstyrelsens sumkriterie, er det antaget at indholdet af forbindelsen er halvdelen af medianen af alle detektionsgrænser i datasættet. Der er typisk ikke analyseret for de ti forbindelser, der blev tilføjet Miljøstyrelsens kvalitetskriterier i 2021. I Tabel 3-3 fremgår det hvor ofte disse forbindelser er blevet påvist af alle analyserede stoffer. Otte af de ti forbindelser er påvist <1% af alle analyserne, og det vurderes derfor at antagelsen ikke har væsentlig indflydelse for de otte forbindelser. Af Tabel 3-3 fremgår det også,

at mere end 15% af data er ikke-påvist, hvilket betyder at dette projekt ikke følger anvisningerne fra (ITRC, 2021). Det er alligevel valgt at udføre en PCA, fordi det ikke er alle 22 forbindelser, der anvendes som input. Inputtet er de forbindelser, der er påvist i mere end 30% af analyserne. Dette er gjort for at forhindre at antagelserne ift. ikke-påviste og ikke-analyserede forbindelser får for meget indflydelse på PCA'en. Forbindelserne, der er påvist i mere end 30% af prøverne er PFBA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFBS, PFHxS og PFOS, jf. Tabel 3-3.

For at minimere antallet af brancher er det valgt kun at anvende brancher, hvor mere end 40 lokaliteter er undersøgt, jf. Tabel 3-2. Dette skyldes, at det vurderes at en PCA på brancher med få lokaliteter ikke er retvisende pga. for lille et datagrundlag. (DCE, 2013) vurderer, at der skal være mere end 50 datapunkter for at anvende kvartiler, og (Christensen, 2017) har vurderet at 40 lokaliteter giver et rimeligt datagrundlag. I (VMR, 2016) vurderes det at 38 lokaliteter udgør for lille et datagrundlag. De nævnte undersøgelser er ikke specifik ift. PCA-analyser. Omvendt er der for PCA-analyser ikke krav til en specifik mængde af data, men vil være afhængig af en subjektiv vurdering af hvor godt/robust data er. Formålet med (Christensen, 2017) og (VMR, 2016) er at give nogle retningslinjer i forhold til hvilke brancher, der skal fokuseres på i forhold til kortlægning og efterfølgende undersøgelse. Det vil sige, at man ønskede at udpege brancher, hvor sandsynligheden for en kortlægning i henhold til jordforureningsloven er lille, eller hvor en evt. kortlægning ikke fører til en videre offentlig indsats. Man forholdt sig derfor til hvor stort et datagrundlag i form af undersøgte lokaliteter der var nødvendigt i den sammenhæng.

Ud af de ni brancher med mere end 40 lokaliteter er det elektronikvirksomheder, som har det mindste datagrundlag på 67 lokaliteter, jf. Tabel 3-2.

Data er i dette projekt blevet normaliseret. Analysen baseres derfor på forholdene imellem stofferne eller frekvensen af stofferne. Hvis koncentrationer anvendes, kan det give et skævt billede, da nogle borerer kan være lokaliseret tæt på kilden, og lokaliteter, der har samme branche og anvendelse af samme produkter, kan have anvendt PFAS i forskellige mængder.

Antallet af dimensioner i PCA'en har indflydelse på hvor meget af variansen, der kan forklares. Det er valgt at anvende tre dimensioner, der tilsammen forklarer 75% af variansen, jf. Tabel 4-1. For at kunne forklare 100% af variansen skal der anvendes syv dimensioner. Formålet er dog at forklare mest muligt af variansen med så få mulige dimensioner. En forklaringsgrad på 75% vurderes at være dækkene. Der findes ikke generelle afskæringskriterier for den samlede varians en PCA skal kunne forklare, da det i høj grad afhænger af datatypen og formålet med anvendelsen. Typisk vælges antallet af dimensioner ud fra et fald i forklaringsgraden, således dét at tilføje den næste dimension tilføjer mindst muligt til forklaringsgraden.

Tabel 4-1 Forklaringsgrad af variansen for de tre første dimensioner i PCA'en.

Dimension	Sum dimension 1-3	Dimension 1	Dimension 2	Dimension 3
Forklaringsgrad af variansen	75%	35%	21%	19%

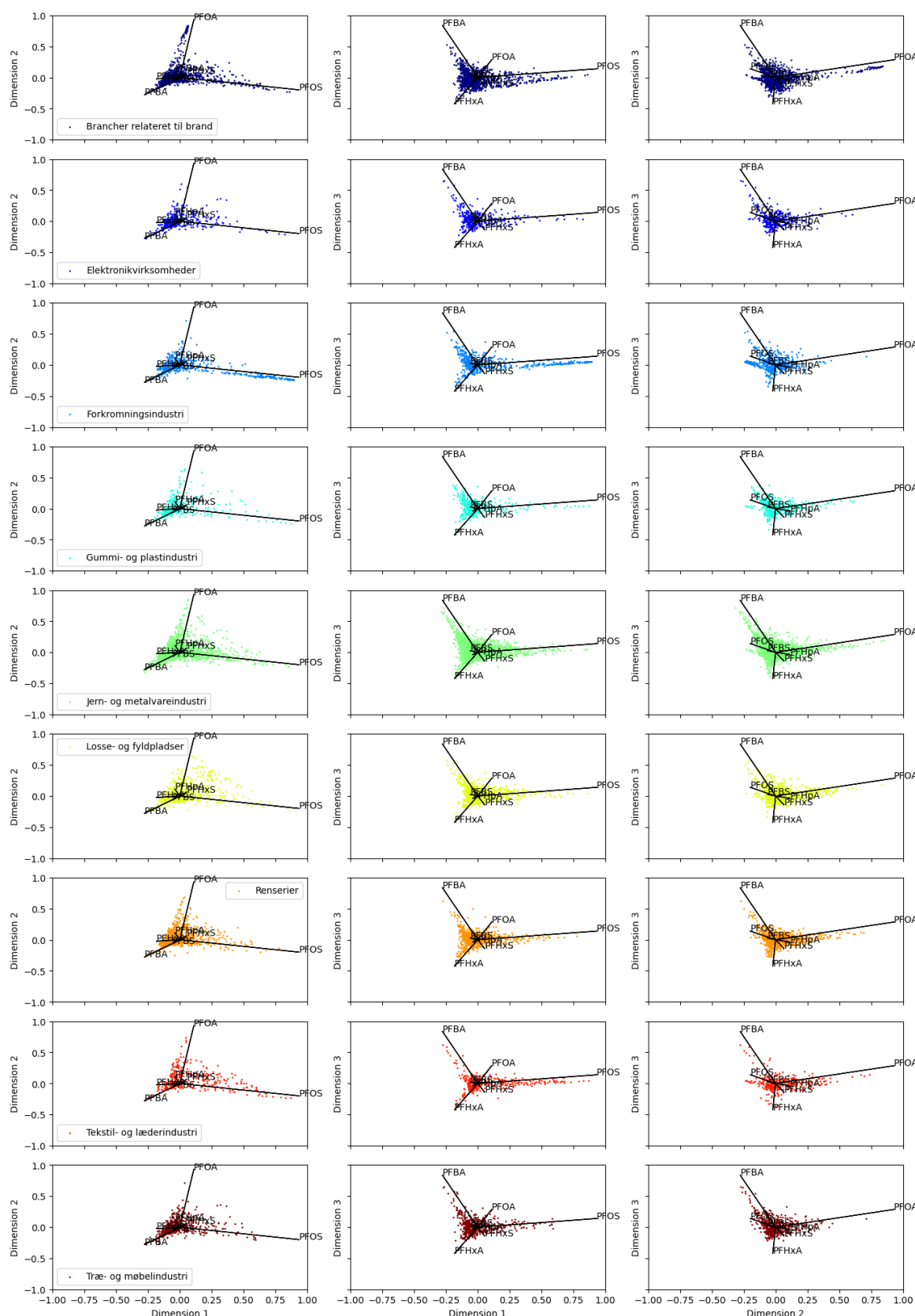
5. Resultater fra PCA-analysen

I bilag 1 fremgår der supplerende viden om hvordan resultater af en PCA kan forklares. Figur 5-1 findes i et større format i bilag 3.

Det ses af Figur 5-1, at variansen i høj grad korrelerer med PFOS i dimension 1, da denne er tæt på 1. Dimension 1 er den dimension, der forklarer mest muligt af den samlede varians i datasættet. Dimension 2 korrelerer med PFOA, og dimension 3 med PFBA og i nogen grad PFHxA. Eftersom en forholdsvis stor andel af data er ikke-påviste analyser, er der størst varians for de stoffer som ofte påvises. Dette kan medvirke til at forklaringsgraden for dimension 1 bliver domineret af det stof der oftest påvises, og dimension 2 er det stof der næstmest påvises osv. Forklaringsgraden af dimensionerne stemmer dog ikke overens med at den udgøres af det stof som er oftest påvist, jf. Tabel 4-1. Stofferne PFOS, PFOA, PFBA og PFHxA er dog blandt de fem stoffer der oftest påvises, men dimension 1 udgøres ikke af PFOA, som er det stof der oftest påvises osv. Forskellene er dog ikke store, og de fleste datapunkter er centreret omkring origo/nulpunktet, hvilket indikerer at der ikke ses en tydelig tendens ift. hvilke brancher, der kan identificeres baseret på fordelingen af PFAS-forbindelser i prøven.

Der ses ingen tydelige tendenser ift. om nogle stoffer er negativt eller positivt korreleret med hinanden. Det ses, at branchen forkromningsindustri har prøver, der i høj grad korrelerer med PFOS. Jern- og metalvareindustri har derimod en del prøver som mere eller mindre korrelerer med PFOS, PFOA, PFBA og i nogen grad PFHxA. Generelt set er placeringen af datapunkter mere spredt for Jern- og metalvareindustrien. Træ- og møbelindustri er muligvis den branche hvor færrest prøver beskrives af de fire forbindelser. Nærmere forklaring af hvordan disse observationer kan ses, kan læses i bilag 1.

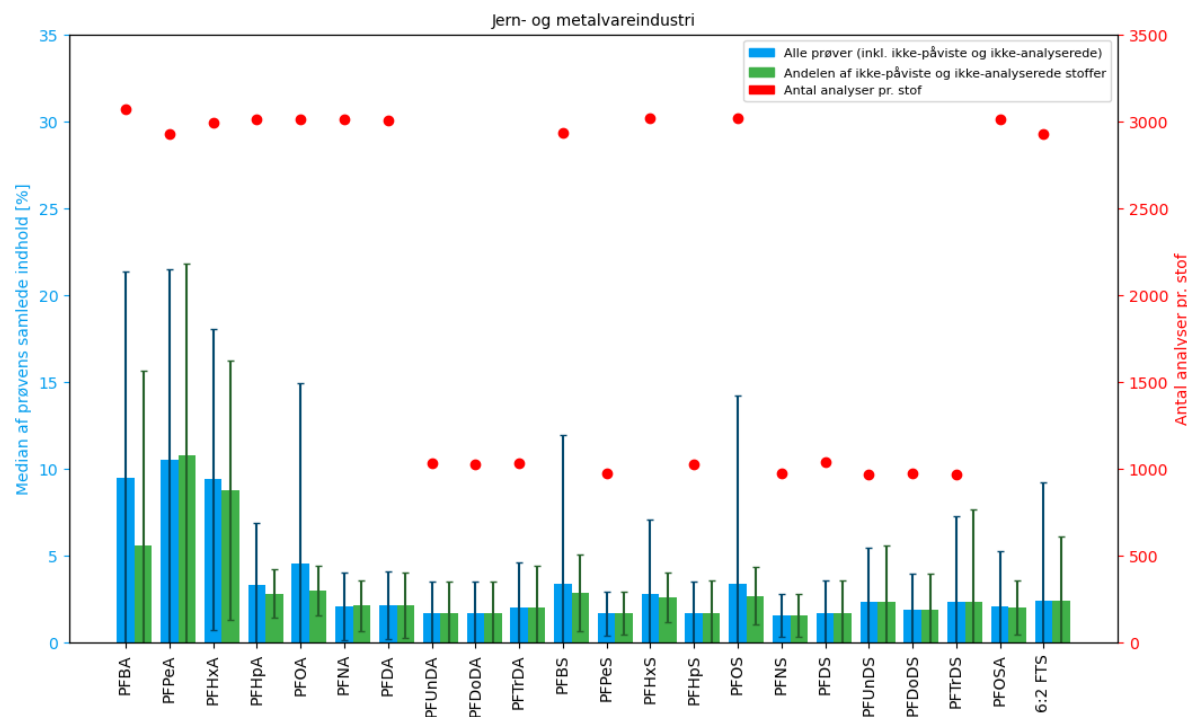
Baseret på resultaterne fra PCA'en er to brancher udvalgt med henblik på at opstille et PFAS-fingerprint. De udvalgte brancher er forkromningsindustri samt jern- og metalindustrien. Dette skyldes, at der for forkromningsindustrien er et relativt stort antal af prøver som korrelerer med PFOS, og at der ses et mere utydeligt billede for Jern- og metalvareindustrien. Jern- og metalvareindustrien er samtidig også den branche, hvor der er flest undersøgte lokaliteter.



Figur 5-1 PCA for ni brancher baseret på de stoffer som er påvist i mere end 30% af analyserne. PCA'en er udført med tre dimensioner. Akserne er en forklaring af variansen for dimensionen. Tallene kan ikke nødvendigvis korreleres med en 'fysisk' betydning.

6. Fingerprint for jern- og metalindustrien

I det følgende præsenteres et PFAS-fingerprint for jern- og metalvareindustrien. Fingerprintet er baseret på hvor stor en andel et stof udgør af prøvens samlede indhold. Der gælder de samme antagelser i fingerprintet mht. ikke-påviste og ikke-analyserede stoffer som i PCA'en, jf. afsnit 4.2.



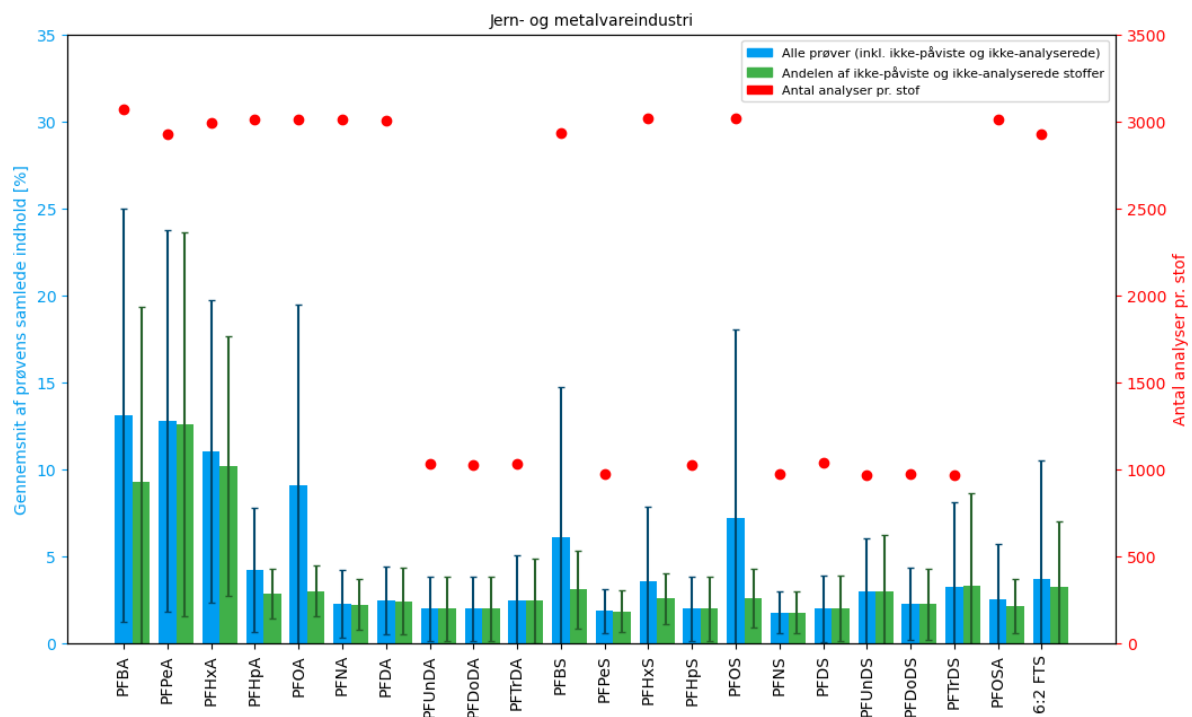
Figur 6-1 Fingerprint for jern- og metalvareindustrien. Fingerprintet viser medianen af et stofs procentmæssige indhold i en prøve samt \pm standardafvigelse. Bemærk at y-aksen går til 35% af prøvens samlede PFAS-indhold. Røde prikker og den anden y-akse er antal analyser pr. stof for branchen.

Fingerprintet for jern- og metalvareindustrien fremgår af de blå søjler på Figur 6-1. Fingerprintet er baseret på medianen af procentindholdet af et stof for det samlede PFAS-indhold i en prøve. Det er særligt kortkædede PFCA'er som PFBA, PFPeA og PFHxA som typisk udgør det meste af en prøves indhold. Det ses dog, at standardafvigelsen for PFBA og PFPeA er høj og går under nul, så det er usikkert om det er en generel tendens for branchen. Den grønne søjle er alle ikke-påviste og ikke-analyserede for hvert stof. Hvis et stof aldrig er blevet påvist i en prøve, vil medianen og standardafvigelsen for den grønne og blå søjle være ens. Den grønne søjle indikerer således, hvor stor en indflydelse ikke-påviste og ikke-analyserede resultater har for hvert stof. Medianen af ikke-påviste og ikke-analyserede for PFPeA (grøn søjle) overstiger medianen for alle analyser af PFPeA (blå søjle). Dette indikerer, at der findes analyser med forhøjede detektionsgrænser i datasættet. Det er særligt langkædede PFCA'er og PFSA'er, hvor søjlerne er ens, hvilket indikerer at langkædede forbindelser typisk ikke påvises i en prøve. Det bemærkes, at medianerne for de grønne søjler for kortkædede PFCA'er (PFBA, PFPeA og PFHxA) er større sammenlignet med de øvrige forbindelser. Dette indikerer at detektionsgrænserne for de tre stoffer oftere er forhøjet. Det er uvist om det kan skyldes analysemetoderne eller baggrundsniveauer på laboratoriet.

PFTiDS er aldrig blevet påvist for en branche, og medianen og standardafvigelsen bør derfor være ens. På Figur 6-1 og i Tabel 6-1 ses der dog en større standardafvigelse for ikke-påviste og ikke-analyserede. I GeoGIS er der indtastningsfejl for 14 prøver, hvor nogle analyser er gentaget, men hvor forskellige detektionsgrænser er angivet. Det er valgt ikke manuelt at slette enkelte analyser i datasættet, da det ikke kan vides hvilken der er korrekt. Det vides heller ikke om der generelt er

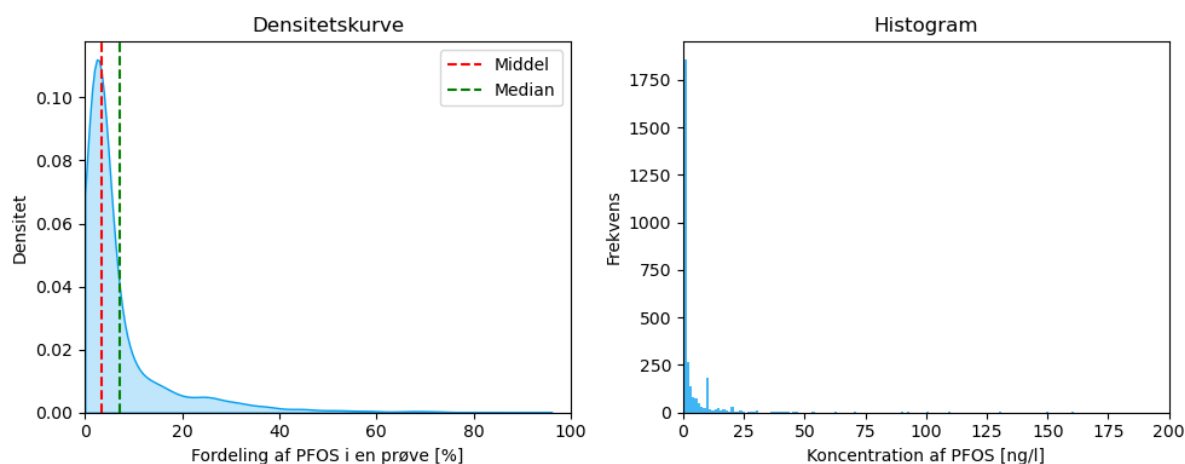
udfordringer med denne type fejl i datasættet. I det konkrete tilfælde betyder det mindre for fingerprintet.

PFOS har en relativ stor standardafvigelse for alle analyser, og lille standardafvigelse for ikke-påviste og ikke-analyserede. Samtidig er medianerne cirka det samme. Dette indikerer, at der er forholdsvis mange analyser hvor PFOS ikke påvises, men at når PFOS påvises, så udgør den en relativ stor procentdel af det samlede PFAS-indhold. En prøve kan være udtaget opstrøms fra forureningskilder eller fra afgrænsende borer, og det vides ikke hvor stor en andel af prøverne som er udtaget ved kilder, og dermed repræsenterer det reelle PFAS-fingerprint for branchen. Det er således uvist om medianen underestimerer branchens fingerprint fordi en større andel af prøverne ikke er udtaget ved relevante kilder. Samme princip ses også ved PFOA og til dels PFBS. Medianen angiver hvilken fordeling der sandsynligvis vil være for alle prøver udtaget for branchen, men ikke nødvendigvis hvordan prøven sandsynligvis ser ud ved kilden. Figur 6-2 viser fingerprintet hvor gennemsnittet anvendes i stedet for medianen.



Figur 6-2 Fingerprint for jern- og metalvareindustrien. Fingerprintet viser gennemsnittet af et stofs procentmæssige indhold i en prøve samt \pm standardafvigelse. Bemærk at y-aksen går til 35% af prøvens samlede PFAS-indhold. Røde prikker og den anden y-akse er antal analyser pr. stof for branchen.

Det ses af Figur 6-2, at procentindholdet stiger for særligt PFOS, PFOA og PFBS, men også for PFBA, PFPeA og PFHxA. Dette skyldes, at data ikke er normalfordelt. Densitetskurven for PFOS kan ses af Figur 6-3 med median og middelværdien. Eftersom gennemsnittet er baseret på ikke-påviste og ikke-analyseret stoffer kan det stadig være at procentindholdet af et stof underestimeres ift. kildens sammensætning, hvilket ses på Figur 6-3, hvor middelværdien er langt mod venstre (venstre figur) og detektionsgrænsen (højre figur).



Figur 6-3 Estimeret densitetskurve af procentfordelingen af PFOS i en prøve samt histogram af koncentrationer for PFOS. Histogrammet er afskåret til intervallet 0-200 ng/l.

Tabel 6-1 Median, middel og standardafvigelser for et stofs procentmæssige indhold i en prøve for jern- og metalvareindustrien for både alle analyser og ikke-påviste + ikke-analyserede.

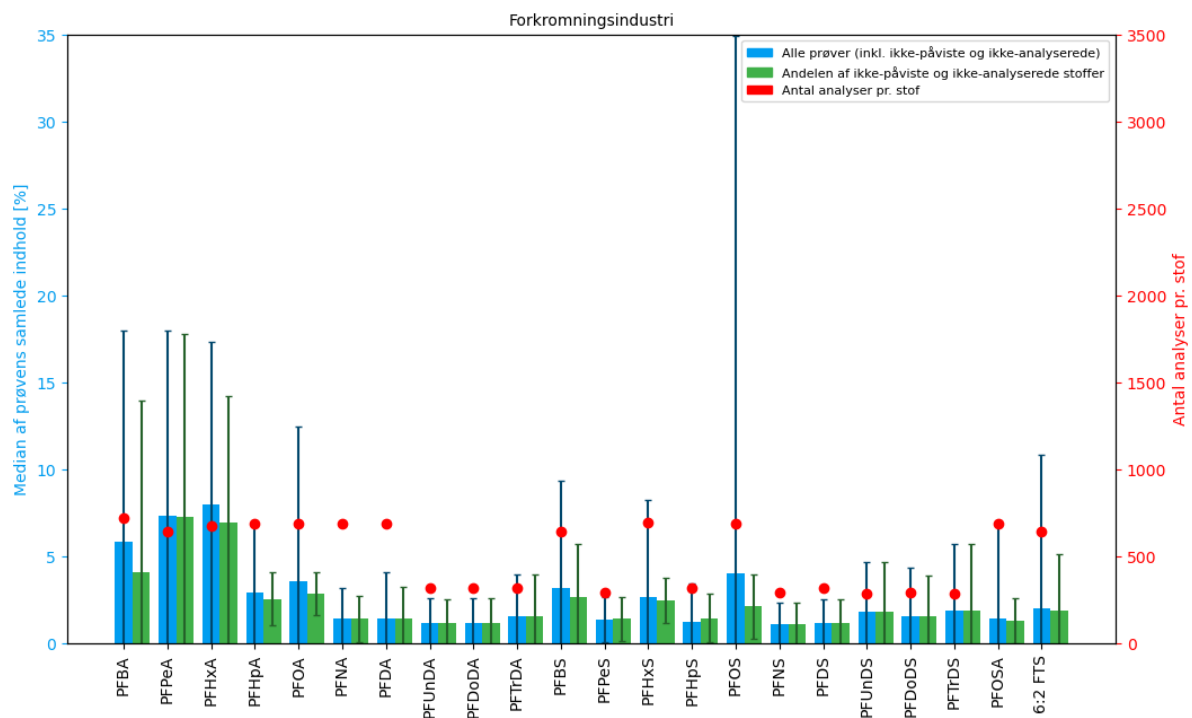
Stof	Procent af prøvens samlede indhold					
	Median [%]		Middel [%]		Standardafvigelse [%]	
	Alle analyser	Ikke-påviste og ikke-analyseret	Alle analyser	Ikke-påviste og ikke-analyseret	Alle analyser	Ikke-påviste og ikke-analyseret
PFBA	9,5	5,6	13	9,3	12	10
PFPeA	11	11	13	13	11	11
PFHxA	9,4	8,7	11	10	8,7	7,5
PFHpA	3,3	2,8	4,2	2,8	3,6	1,4
PFOA	4,5	3,0	9,1	3,0	10	1,4
PFNA	2,1	2,1	2,2	2,2	2,0	1,5
PFDA	2,1	2,1	2,4	2,4	2,0	1,9
PFUnDA	1,6	1,6	2,0	2,0	1,9	1,9
PFDoDA	1,6	1,6	2,0	2,0	1,9	1,9
PFTTrDA	2,0	2,0	2,4	2,4	2,6	2,5
PFBS	3,3	2,8	6,1	3,1	8,6	2,2
PFPeS	1,6	1,7	1,8	1,8	1,3	1,2
PFHxS	2,8	2,6	3,6	2,6	4,3	1,4
PFHpS	1,7	1,7	2,0	2,0	1,8	1,9
PFOS	3,3	2,7	7,2	2,6	11	1,7
PFNS	1,5	1,5	1,8	1,8	1,2	1,2
PFDS	1,6	1,6	2,0	2,0	1,9	1,9
PFUnDS	2,3	2,3	2,9	3,0	3,1	3,2
PFDoDS	1,9	1,9	2,2	2,2	2,1	2,1
PFTTrDS	2,3	2,3	3,2	3,3	4,9	5,3
PFOSA	2,0	2,0	2,5	2,1	3,2	1,5
6:2 FTS	2,4	2,4	3,7	3,2	6,8	3,7

I litteraturstudiet er det fundet, at jern- og metalvareindustrien har anvendt PFOA, PFHxS, PFOS, PFOSA og 6:2 FTS. (Zhang, et al., 2016) fandt, at 'metalindustrien' i New York bidrog til en PFAS-forurening med PFPeA, PFOS og 6:2 FTS. Resultaterne kan dog ikke sammenlignes 1:1, da studierne er for et specifikt område, og f.eks. fra andre lande, hvor der har været regulativer som kan gøre at anvendelsen af PFAS har været forskellig fra Danmark.

De to opstillede fingerprints viser at procentindholdet stiger for særligt PFOS, PFOA og PFBS, men også for PFBA, PFPeA og PFHxA, hvis gennemsnit anvendes fremfor median. De eneste to stoffer som indgår både i litteraturstudiet og fremhæves af fingerprintet er PFOA og PFOS. Der ses således ikke helt en overensstemmelse, hvilket kan skyldes det ovenstående samt en række faktorer som forklares yderligere i kapitel 8.

7. Fingerprint for forkromningsindustri

I det følgende præsenteres et PFAS-fingerprint for forkromningsindustrien. Fingerprintet er baseret på hvor stor en andel et stof udgør af prøvens samlede indhold. Der gælder de samme antagelser i fingerprintet mht. ikke-påviste og ikke-analyserede stoffer som i PCA'en, jf. afsnit 4.2.

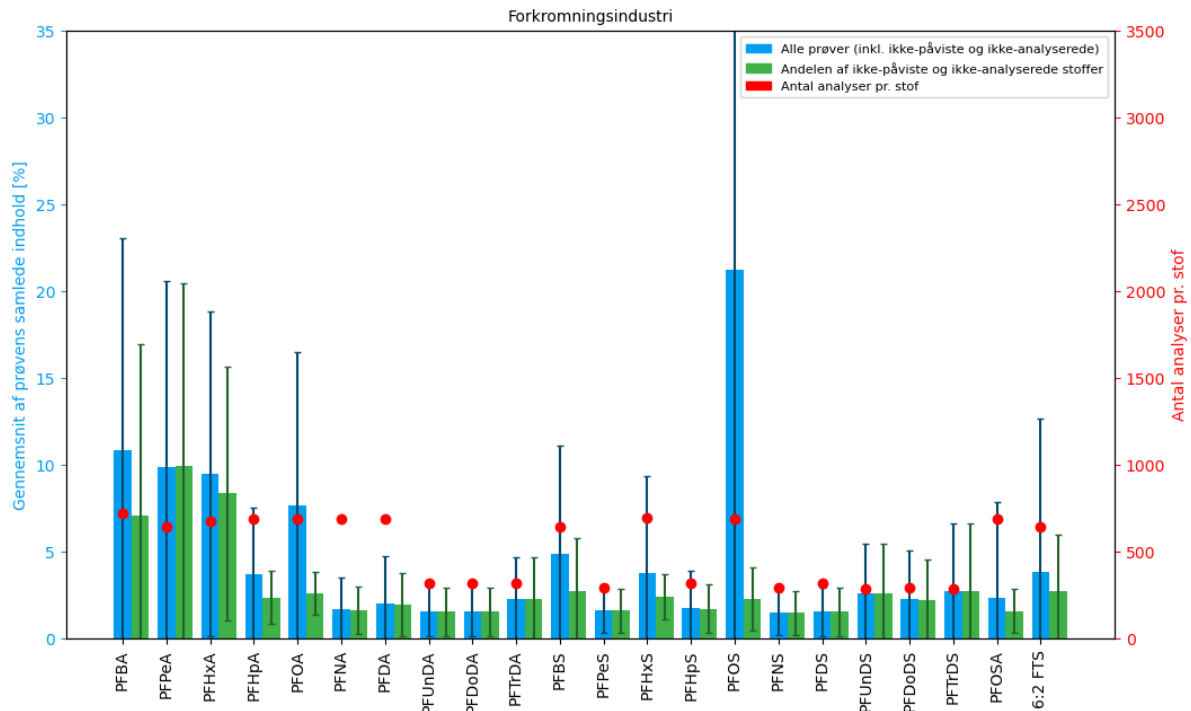


Figur 7-1 Fingerprint for forkromningsindustrien. Fingerprintet viser medianen af et stofs procentmæssige indhold i en prøve samt \pm standardafvigelse. Bemærk at y-aksen går til 35% af prøvens samlede PFAS-indhold. Røde prikker og den anden y-akse er antal analyser pr. stof for branchen.

Fingerprintet for forkromningsindustrien fremgår af de blå søjler på Figur 7-1. Fingerprintet er baseret på medianen af procentindholdet af et stof for det samlede PFAS-indhold i en prøve. Det er særligt kortkædede PFCA'er som PFBA, PFPeA og PFHxA som typisk udgør det meste af en prøves indhold. Det ses af figuren, at for alle 22 forbindelser går standardafvigelsen under nul, hvilket indikerer at der er relativt stor usikkerhed om hvorvidt et stof er påvist i en prøve. En høj standardafvigelse indikerer, at der ikke ses en klar tendens i fingerprintet for forkromningsindustrien. De blå og grønne søjler med standardafvigelser for hhv. alle prøver og ikke-påviste samt ikke-analyserede er ca. lige store for langkædede PFCA'er og PFSA'er. Dette indikerer at langkædede forbindelser typisk ikke detekteres i prøver for forkromningsindustrien.

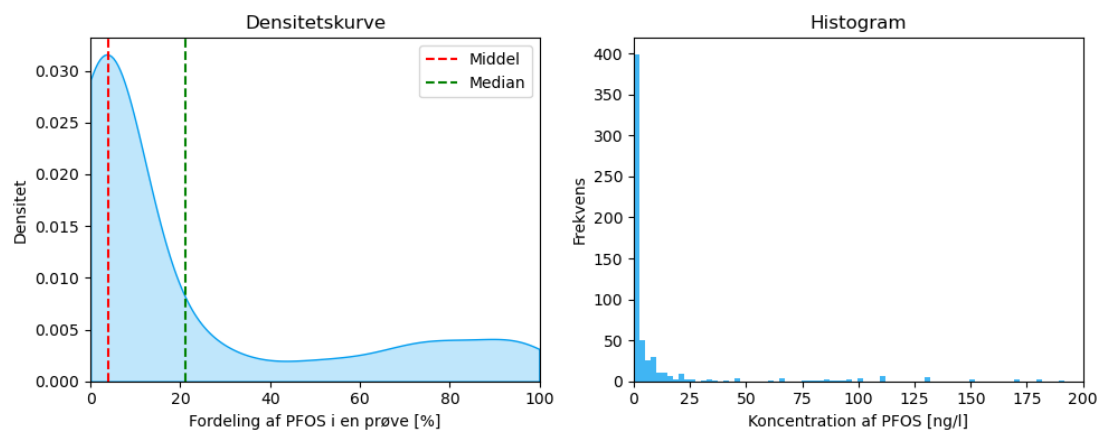
Standardafvigelsen for PFOS på Figur 7-1 er stor, hvilket betyder at der er stor varians af procentfordelingen, og at der er nogle prøver, hvor PFOS udgør en stor andel af en prøves samlede

PFAS-indhold. Hvis gennemsnittet anvendes i stedet for median til fingerprintet, ses det at indholdet af PFOS forøges fra 4% til 21%, jf. Figur 7-2 og Tabel 7-1. Indholdet fordobles for PFBA, 6:2 FTS og PFOA.



Figur 7-2 Fingerprint for forkromningsindustrien. Fingerprintet viser gennemsnittet medianen af et stofs procentmæssige indhold i en prøve samt \pm standardafvigelse. Bemærk at y-aksen går til 35% af prøvens samlede PFAS-indhold, men gennemsnittet + standardafvigelsen for PFOS går til 53%. Røde prikker og den anden y-akse er antal analyser pr. stof for branchen.

Figur 7-3 viser densitetsfordelingen af procentandelen for PFOS i prøverne. Her ses det, at fordelingen følger en binormalfordeling med to peaks. *Major mode* (højeste peak) er omkring detektionsgrænsen, mens *minor mode* er ca. 75%-95%. Middelværdien på 21% og medianværdien på 4% underestimerer fordelingen af PFAS, da de ikke er omkring *minor mode*. Det kan derfor indikere, at 'den sande værdi' for det procentmæssige indhold af PFOS er større end median og gennemsnittet for branchen. Den store varians kan skyldes, at PFOS i realiteten ofte anvendes i forkromningsindustrien, men at det ikke ses af fordelingen, fordi det ikke er alle prøver som er repræsentative for forkromningsindustrien.



Figur 7-3 Estimeret densitetskurve af procentfordelingen af PFOS i en prøve samt histogram af koncentrationer for PFOS. Histogrammet er afskåret til intervallet 0-200 ng/l.

Tabel 7-1 Median, middel og standardafvigelser for et stofs procentmæssige indhold i en prøve for forkromningsindustrien for både alle analyser og ikke-påviste + ikke-analyserede.

Stof	Procent af prøvens samlede indhold					
	Median [%]		Middel [%]		Standardafvigelse [%]	
	Alle analyser	Ikke-påviste og ikke-analyseret	Alle analyser	Ikke-påviste og ikke-analyseret	Alle analyser	Ikke-påviste og ikke-analyseret
PFBA	5,6	4,1	11	7,0	12	9,9
PFPeA	7,3	7,3	9,9	9,9	11	11
PFHxA	8,0	6,9	9,5	8,3	9,4	7,3
PFHpA	2,9	2,5	3,6	2,3	3,9	1,5
PFOA	3,6	2,8	7,7	2,6	8,8	1,2
PFNA	1,4	1,4	1,7	1,6	1,8	1,3
PFDA	1,4	1,4	2,0	1,9	2,7	1,8
PFUnDA	1,1	1,1	1,5	1,5	1,4	1,4
PFDoDA	1,1	1,1	1,5	1,5	1,4	1,4
PFTTrDA	1,5	1,5	2,2	2,2	2,4	2,4
PFBS	3,1	2,6	4,9	2,7	6,2	3,0
PFPeS	1,3	1,4	1,6	1,6	1,3	1,3
PFHxS	2,6	2,4	3,7	2,4	5,6	1,3
PFHpS	1,2	1,4	1,7	1,7	2,2	1,4
PFOS	4,0	2,1	21	2,3	30,9	1,8
PFNS	1,0	1,0	1,4	1,4	1,3	1,3
PFDS	1,1	1,1	1,5	1,5	1,4	1,4
PFUnDS	1,8	1,8	2,6	2,6	2,8	2,8
PFDoDS	1,5	1,5	2,2	2,2	2,8	2,4
PFTTrDS	1,8	1,8	2,7	2,7	3,9	3,9
PFOSA	1,4	1,3	2,3	1,6	5,5	1,3
6:2 FTS	2,0	1,8	3,8	2,7	8,8	3,2

I litteraturstudiet er det fundet, at forkromningsindustrien har anvendt PFOS, PFOSA og 6:2 FTS. I de to opstillet fingerprints er der indikationer på at når PFOS, og til dels PFOA, PFBA og 6:2 FTS påvises, så udgør de en større andel af prøvens samlede PFAS-indhold. Det er uvist om stigningen af PFOA og PFBA kan skyldes, at de to stoffer også er benyttet i forkromningsindustrien, eller om det er fordi der er anvendt precursors, som omdannes til PFOA og PFBA. Det bemærkes, at der er en række faktorer som kan spille ind på hvorfor der ikke ses en overensstemmelse mellem litteraturstudiet og det opstillede fingerprint, som nærmere forklares i kapitel 8.

8. Diskussion af metodevalg og perspektivering

Formålet med projektet er at undersøge om der kan laves fingerprints for PFAS-relevante brancher ved at lave en PCA. Resultaterne for jern- og metalvareindustrien og forkromningsindustrien viser, at der på nuværende tidspunkt er stor usikkerhed forbundet med fingerprints udelukkende lavet med en PCA, hvilket især skyldes mængden af ikke-påviste prøver, som har stor indflydelse på median- og middelværdier og dermed det enkelte fingerprint. En sensitivitetanalyse vil kunne belyse i hvor stort et omfang ikke-påviste analyser har på resultaterne. Dette kunne f.eks. udføres ved at sætte detektionsgrænser til nul, lig med detektionsgrænsen, kvadratroden af detektionsgrænsen samt udføre ROS, jf. afsnit 4.1. Det har også vist sig, at der for stofferne kan være en binormalfordeling f.eks. for PFOS i forkromningsindustrien. Dette betyder, at median og gennemsnit kan underestimere det procentmæssige indhold af et stof i en prøve, i de tilfælde hvor stoffet er påvist. Det kan derfor være relevant at undersøge andre metoder til at beskrive et fingerprint f.eks. kan minor-mode for en fordeling være en mulighed i stedet for median eller gennemsnit.

Det er også muligt at lave en mere 'hård' datavask og udelukke ikke-påviste analyser, så at andelen i datasættet reduceres. Hvis der udføres en hårdere datavask, er det dog på bekostning af antallet af data, hvilket kan øge usikkerheden af resultaterne. Dette kan derfor være en mulighed på sigt. En tredje mulighed er at differentiere mellem boringer udført ved kilder og afgrænsende boringer. Data er dog ikke registreret på en måde, som gør det muligt at dette kan bestemmes. Evt. kan det undersøges ved at opstille kriterier for det samlede PFAS-indhold i prøven. Det kræver dog, at det med sikkerhed vides at branchen har anvendt PFAS i et omfang, der har forårsaget forureningen.

Der eksisterer andre ordination-metoder end PCA bl.a. NMDS og PCoA. Disse metoder kan anvende andre metoder end euclidian distance (nærmere beskrivelse er i bilag 1) til at beskrive variansen, og kan derfor være bud på metoder som muligvis bedre kan beskrive datasættet, da der er mange ikke-påviste analyser.

Der er på nuværende tidspunkt ikke data som er godt nok til at der kan udarbejdes fingerprints som med sikkerhed kan antages at være repræsentative for en branche. Der kan dog være andre muligheder som er relevante at undersøge for at teste om andre metoder kan indikere forureninger fra brancher. Det kan f.eks. være en Kruskal-Wallis test for at teste om der er signifikante forskelle mellem brancher eller udføre tests baseret på hvorvidt stoffet er påvist/ikke-påvist. Hvis det f.eks. er kendt at PFOS er anvendt i forkromningsindustrien, så kan stoffet anvendes som en indikator, og det kan testes om der kan laves fingerprints, hvis der opstilles et kriterie for at indikatorstoffet skal være påvist evt. i et bestemt omfang. Det vil dog betyde, at der er brug for at bestemme et/to stoffer for hver branche som indikatorstof. Denne øvelse kan være vanskelig, da hver branche kan have flere forskellige aktiviteter med PFAS med forskellige sammensætninger i produkterne, og fordi mange lokaliteter har flere brancher tilknyttet.

I gennemsnit har hver lokalitet 1,8 hovedgrupper/brancher registeret pr. lokalitet, jf. Tabel 3-2. Det kan være medvirkende til at skabe uklarhed om en branches fingerprint, da analyser som ikke nødvendigvis er relateret til den ene branche, indgår i datasættet. Det kan være relevant kun at arbejde med lokaliteter, hvor der er én branche, så kilden til forureningen kendes. Dette vil dog kræve at der findes nok data, hvilket på nuværende tidspunkt kan være en udfordring. Hvis projektet gentages om få år, vil det måske også være muligt at undersøge flere brancher. Flere brancher blev frasorteret i dette projekt, da der ikke var udført nok undersøgelser af lokaliteter. Mere data vil også kunne bevirke at tendenser ses tydeligere eller at andre nye tendenser kan identificeres.

9. Konklusion

Resultaterne af dette projekt har vist, at det ikke har været muligt at opstille definitive fingerprints for jern- og metalvareindustrien samt forkromningsindustrien ved at bruge det anvendte datasæt og de anvendte statistiske metoder bl.a. PCA. Det er dog muligt at anvende yderligere metoder, som også vil kunne belyse tendenser i PFAS-sammensætningen i en prøve, og således vil andre metoder kunne være med til at beskrive tendenser mere detaljeret. En af årsagerne til at det ikke har været muligt, skyldes at en stor andel af analyserne ikke er påviste, og er medvirkende til øge usikkerheden omkring det enkelte fingerprint. En nærmere granskning af data vil evt. kunne forbedre kvaliteten. Der er dog fundet nogle indikationer, som kan anvendes til at udpege en branches PFAS-sammensætning. Eksempelvis er der tegn på at PFOS udgør en stor andel af en prøve for forkromningsindustrier, og at når PFOS, PFOA og PFBA påvises ved jern- og metalvareindustrien udgør disse tre også en relativ stor mængde af en prøves indhold. Det er dog ikke muligt at konkludere dette med en bestemt statistisk sandsynlighed.

10. Referencer

Balگوoyen, S. & Remucal, C. K., 2023. Impacts of Environmental and Engineered Processes on the PFAS Fingerprint of Fluorotelomer-Based AFFF. *Environmental Science & Technology*, Årgang 57(1), pp. 244-254.

Bonelli, M. G., Brambilla, G. F. & Manni, A., 2020. Spatial Distribution and Sources of Total Chromium and Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Northern Italy Rivers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Årgang 563(1), p. 12019.

Charbonnet, J. A. et al., 2021. Environmental Source Tracking of Per- and Polyfluoroalkyl Substances within a Forensic Context: Current and Future. *Environmental Science & Technology*, Årgang 10, pp. 7237-7245.

Christensen, A., 2017. *Fund af polære oplæsningsmidler i regionernes forureningsundersøgelser*, s.l.: Miljø og Ressourcer 4.

Danske regioner, u.d. *Fakta om PFAS-stoffer*. [Online]
Available at: <https://www.regioner.dk/regional-udvikling/regionernes-arbejde-med-pfas/fakta-om-pfas-stoffer/>
[Senest hentet eller vist den 12 03 2024].

DCE, 2013. *Notat om "Udredning af metode til databehandling og datavurdering af miljøfarlige stoffer i vand, sediment og biota fra vandløb, søer og kystvande"*, Århus Universitet. DCE - Nationalt center for miljø og energi.

Denis, D. J., 2020. Principal Component Analysis. I: *Univariate, Bivariate and Multivariate Statistics Using R: Quantitative Tools for Data Analysis and Data Science*. 1. red. John Wiley & Sons, Inc.

Guelfo, J. L. & Adamson, D. T., 2018. Evaluation of a national data set for insights into sources, composition, and concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in U.S. drinking water. *Environmental Pollution*, Årgang 236, p. 505-513.

He, Y. Q. Z. et al., 2017. Source apportionment of perfluoroalkyl substances in surface sediments from lakes in Jiangsu Province, China: Comparison of three receptor models. *Journal of Environmental Sciences*, Årgang 57, pp. 321-328.

Hu, X. C. et al., 2018. Can profiles of poly- and Perfluoroalkyl substances (PFASs) in human serum provide information on major exposure sources?. Årgang 17, p. 11.

ITRC, 2021. *Soil Background and Risk Assessment - Statistics*. https://sbr-1.itrcweb.org/statistics/#11_3 [Senest hentet eller vist den 30 01 2023].

ITRC, 2023. *2.2 Chemistry, Terminology, and Acronyms*. <https://pfas-1.itrcweb.org/2-2-chemistry-terminology-and-acronyms/> [Senest hentet eller vist den 21 01 2024].

Kassambara, A., 2017. *Principal Component Methods in R: Practical Guide*. <http://www.sthda.com/english/articles/31-principal-component-methods-in-r-practical-guide/112-pca-principal-component-analysis-essentials/#comments-list> [Senest hentet eller vist den 16 02 2023].

Li, J. et al., 2022. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in groundwater from a contaminated site in the North China Plain: Occurrence, source apportionment, and health risk assesment. *Chrmosphere*, Årgang 302, p. 134873.

Mathiesen, K., 2023. *Udvikling af statistiske strategier til analyse af brancher og PFAS-stoffer i grundvand vha. regionernes eksisterende data*, Aarhus Universitet.

Miljøstyrelsen, 2016. *Kortlægning af brancher der anvender PFAS*

Niras & Rambøll, 2022. *Håndbog om undersøgelse og afværgelse af forurening med PFAS-forbindelser*, s.l.: Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer.

Niras, u.d. *Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer - Udgivelser*.
<https://www.miljoeogressourcer.dk/udgivelser.php?lixId=5202>

Qi, Y. et al., 2016. Spatial Distribution and Source Apportionment of PFASs in Surface Sediments from Five Lake Regions, China. *Sci. Rep.*, Årgang 6(1), p. 22674.

Sörengård, M. et al., 2022. Long-distance transport of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in a Swedish drinking water aquifer. *Environmental Pollution*, Årgang 311, p. 119981.

VMR, 2016. *Erfaringsopsamling på V2-undersøgelser. Kortlægningshyppigheder og -årsager og branchegennemgang*, Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer.

Xiao, F., Halbach, T. R., Simcik, M. F. & Gulliver, J. S., 2012. Input characterization of perfluoroalkyl substances in wastewater treatment plants: Source discrimination by exploratory data analysis. *Water Research*, Årgang 46(9), pp. 3101-3109.

Zhang, X. et al., 2016. Source Attribution of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in Surface Waters from Rhode Island and the New York Metropolitan Area. *Environmental Science & Technology*, Årgang 3, pp. 316-321.

Bilag 1 Beskrivelser af statistiske metoder

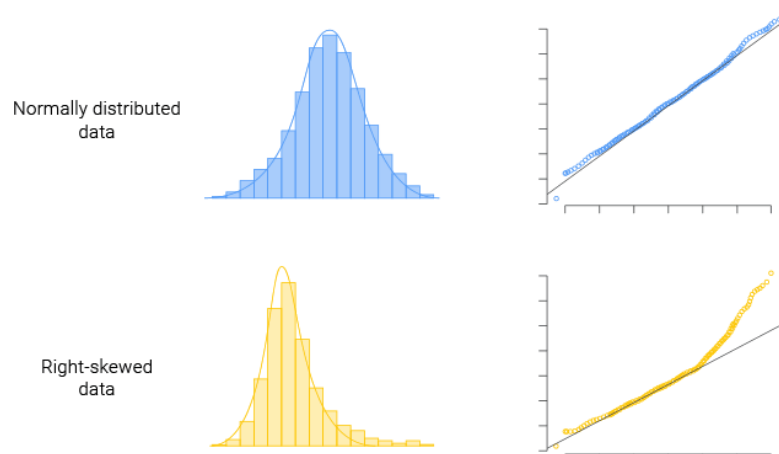
Når der skal udføres statistiske metoder til at undersøge data, findes der et hav af muligheder. Metoden der vælges afhænger af typen af ens data og hvilke antagelser man ønsker at lave. Der findes overordnet to typer af data som inddeles i grupper. Figur 0-1 viser hvilke typer der findes, men i det efterfølgende vil der kun fokuseres på ratio, da det er typen som anvendes i dette projekt.

	Overordnet datatype	Datatyper	Matematiske operationer	Eksempel
Stigende styrke/ power af tests ↓	Kvantitativ	Nominal	=, ≠	Kategorier/køn/farve
	Kvantitativ	Ordinal	=, ≠, >, <	Tilfredshedsundersøgelse f.eks. fra 1-5
	Kvalitativ	Interval	=, ≠, >, <, +, -	År/temperatur (hvor 0 ikke har en reel betydning)
	Kvalitativ	Ratio	=, ≠, >, <, +, -, *, /	Koncentration/vægt/højde

Figur 0-1 Skema og diagram over hvilke typer af data der eksisterer.

Baseret på kvaliteten og hvilken datatype man har kan man vælge mellem parametriske eller ikke-parametriske metoder. Hvis der kun eksisterer meget lidt data og kvaliteten er lav bør der udføres non-parametric metoder, som anvendes til at udføre beskrivende statistik, hvor data ikke antages at komme fra en bestemt fordeling.

For parametriske metoder antages det at ens data følger en bestemt fordeling. Dette er ofte en normalfordeling også kaldet en gaussisk fordeling. Her antages det at der eksisterer en bestemt sandsynlighed for at data kan variere fra middelværdien (eller "den sande værdi" af en population). Det kan tjekkes hvorvidt data har en normalfordeling med f.eks. en Shapiro-Wilk test. Det vil ofte dog være en god idé at lave en visuel undersøgelse med f.eks. histogrammer eller QQ-plots i stedet for udelukkende at følge resultatet af statistiske tests. Eksempler på histogrammer og QQ-plots ses på Figur 0-2.

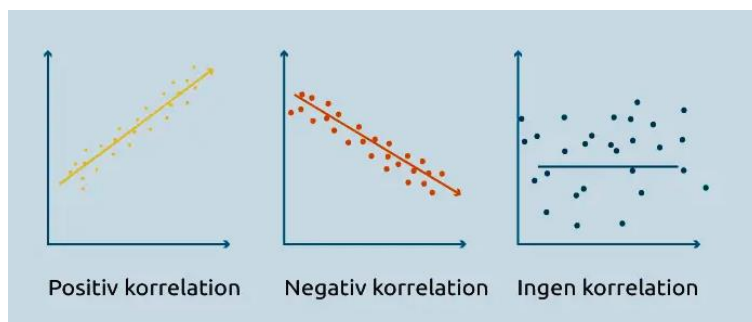


Figur 0-2 Eksempler på normalfordelt og ikke-normalfordelt data med både histogram og QQ-plots.

10.1 Parametric metoder til at sammenligne prøver der er relevant til PFAS fingerprints

For at undersøge hvorvidt prøver er statistisk forskellig fra hinanden kan metoden ANOVA (Analysis of Variance) anvendes. De to prøver er forskellige fra hinanden, hvis resultatet af denne er under et givet signifikansniveau. Ofte anvendes et signifikansniveau på 5%, hvilket vil sige at der er en 95% sandsynlighed for at ens data kan se ud som det gør, hvis de to prøver er forskellige fra hinanden. Det vil sige at der er en 5% risiko for at udfaldet af testen er baseret på ren tilfældighed. Hvis der er mere end to prøver som skal sammenlignes, anvendes en post-hoc test, som kan angive hvilke prøver der er statistisk set forskellige. For ANOVA tests anvendes der ofte en Tukey test som dens post-hoc test, men der eksisterer flere forskellige.

I dette projekt kan det også være relevant at undersøge hvorvidt to variable såsom to PFAS-forbindelser korrelerer med hinanden. Korrelation er et dimensionsløst tal som beskriver covariansen af to parametre. Varians beskriver om data er spredt ift. dets center, mens covarians beskriver om data varierer på samme måde. Covariansen er et tal som kan være svært at tolke, og derfor anvendes korrelation, da det er nemmere at tolke. Dette kan f.eks. være hvis koncentrationen af PFOSA falder vil koncentrationen af PFOS stige. Dette kaldes at de to variable er negativt korreleret. "Styrken" af sammenhængen beskrives ved en værdi mellem -1 til +1. Hvis korrelationen er -1 er de stærkt negativt korreleret, ved nul er der ingen korrelation, og hvis den er +1 er de stærkt positivt korreleret. Hvis man har parametric data og flere variable, anvendes ofte Pearson korrelationstests. Eksempler på korrelation kan ses på Figur 0-3. **Error! Reference source not found.** viser eksempler på tests der ofte anvendes for at sammenligne prøver og variable for non-parametric og parametric metoder.



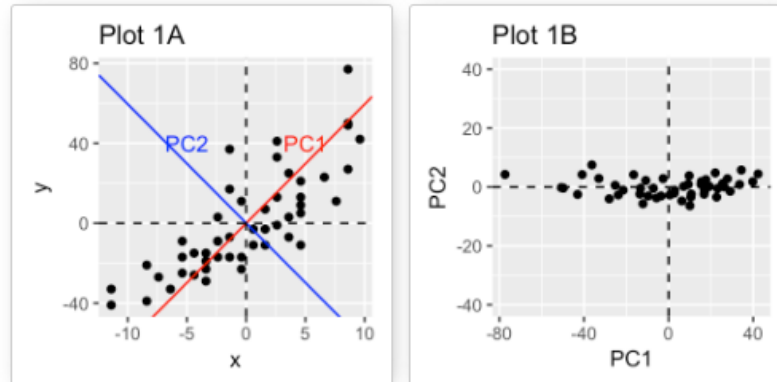
Figur 0-3 Eksempler på positiv, negativ og ingen korrelation mellem to variable.

10.2 Principal component analysis (PCA)

Multivariable metoder benyttes når der skal udføres statistik på data med mange variable såsom 22 PFAS-forbindelser og ti brancher. Der eksisterer overordnet set to typer af metoder: supervised og unsupervised læring. Supervised læring/metoder er maskinlæring (machine learning) hvor en andel af datamængden i forvejen er kendt og grupperet. Unsupervised metoder kan finde mønstre og tendenser i data som ikke kendes i forvejen.

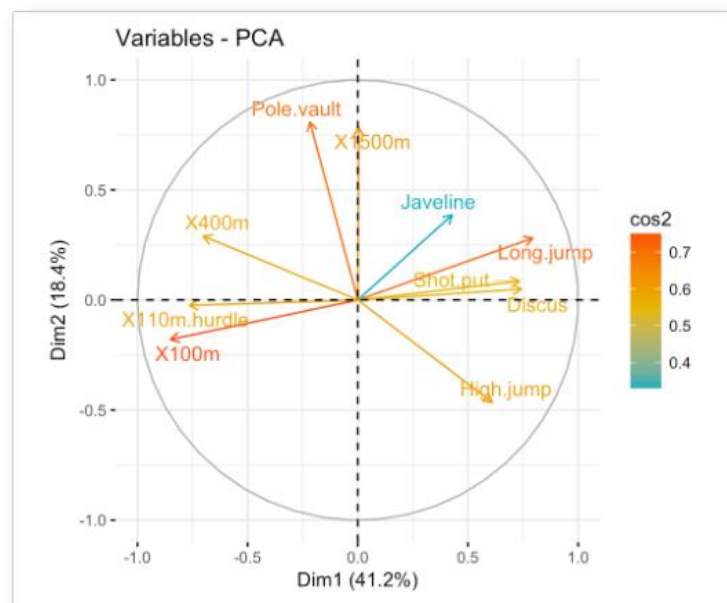
En unsupervised metode der ofte benyttes, er principal component analysis (PCA). Hvis der eksisterer mønstre i datasættet, vil en PCA kunne belyse hvilke parametre der er medvirkende til at beskrive disse mønstre. Dette kan f.eks. være PFAS-prøver hvor den relative mængde af PFOS og PFHxS er høj sammenlignet med andre prøver. I PCA er formålet at reducere antallet af dimensioner, eller parametre, til de vigtigste. Det kaldes en ordination. Dette gør PCA ved at vise hvilke parametre der i størst grad beskriver de forskelle, dvs. variansen, som eksisterer i datasættet. Det gøres ved at en vektor laves i den retning hvor mest muligt af variansen beskrives. Denne kaldes principal component 1 (PC1). Herefter genereres en ny ortogonal vektor der næstbedst beskriver variansen (PC2) (Denis, 2020). En ortogonal vektor er en vinkelret vektor. Det vil sige, at når der dannes components så svarer det til at man "flytter akserne og giver punkterne

nye tal”. Det er en subjektiv holdning når der vælges antallet af dimensioner, og afhænger af hvor godt ens components kan beskrive den samlede varians. Ofte vil to eller tre dimensioner vælges, da disse er nemmere at visualisere.

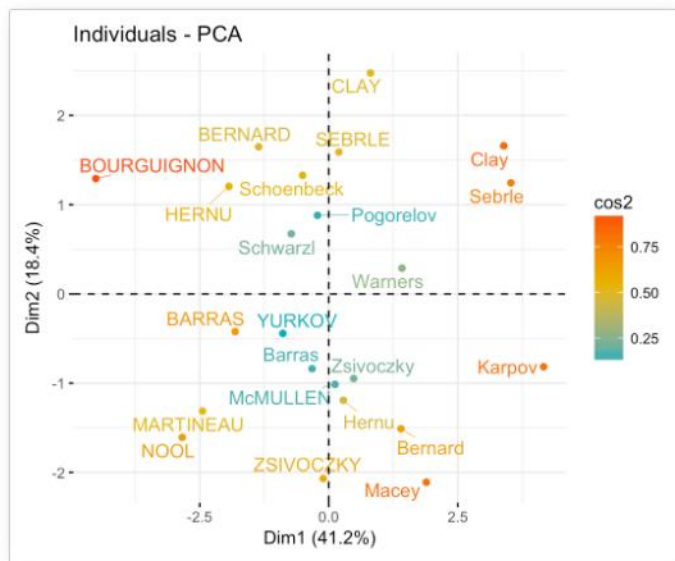


Figur 0-4 Data før og efter en PCA der er reduceret til to komponenter (PC1 og PC2). Billedet til venstre er data på en almindelig x- og y-akse. På billedet til venstre ses det, at PC1 er den vektor som bedst beskriver variansen mellem x og y (Kassambara, 2017).

En PCA laves på baggrund af en covarians matrix og fra dette kan analysen vise hvilke stoffer der dominerer for forskellige brancher. Teknisk set består covarians matricen af eigenværdier og vektorerne der dannes som principal components beskrives af egenvektorer, baseret på eigenværdierne, som ikke vil blive nærmere uddybet i denne rapport. I en PCA anvendes Euclidian distance som udtrykker den korteste afstand mellem to punkter (Denis, 2020).



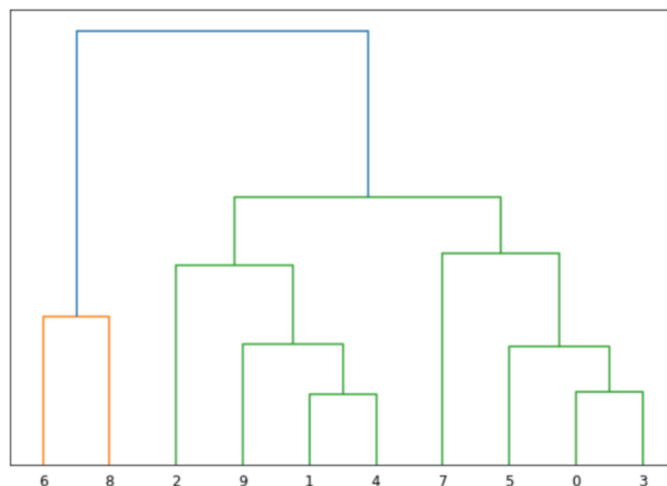
Figur 0-5 Korrelations biplot, som beskriver korrelationen af variableerne. Den ydre cirkel er en korrelationscirkel. Hvis vektorer (pilen) er tæt på cirkel betyder det at variableerne er godt beskrevet af dimensionerne (PC1 og PC2). I dette eksempel er de farvet rød. Variable som er positivt korreleret er grupperet sammen f.eks. Long.jump/Discuss og x100m.hurdle/x100m. De har en lille vinkel mellem sig. Hvis de er negativt korreleret er de modsat hinanden f.eks. Long.jump/x100m. De har en stor vinkel mellem sig (Kassambara, 2017).



Figur 0-6 Datapunkter beskrevet af korrelationen og dimensionerne. Afstanden fra akserne beskriver i hvor stor grad gruppen beskriver variansen af principal components. Er de tæt på akserne har de lille indflydelse (Kassambara, 2017).

10.3 Hierarchical cluster analysis (HCA)

Clustering har tidligere været anvendt til at allokere forureninger for andre organiske stoffer, og kan ligeledes anvendes på PFAS. Clustering er en teknik indenfor unsupervised metoder, hvor clusters/grupper findes i datasættet baseret på hvor meget de ligner hinanden. Der anvendes ofte en kombination af PCA og clustering sammen for at reducere datadimensionen og identificere data clusters eller grupper som statistisk set er forskellig fra hinanden. En ofte anvendt metode til clustering er hierarchical cluster analysis (HCA).



Figur 0-7 Eksempel på et dendrogram som viser clusters fra en HCA. De grønne udgør et cluster mens den orange er en anden. Det ses også at 1 og 4 ligner hinanden mere end f.eks. 1 og 2.

Bilag 2 Inddeling af brancher i hovedgrupper

Branchekoder

90.02 Indsamling og behandling af andet affald
90.02.10 Indsamling af affald
90.02.20 Drift af affaldsbehandlingsanlæg
28.5 Behandling og coating af metal; almindelige
28.51 Overfladebehandling af metal
75.25 Brandvæsen og redningskorps
80.30.85 Politi- og forsvarsskoler
63.23 Lufthavne mv.
75.22 Forsvar
20 Træindustri
20.1 Udsavning og høvling af træ, imprægnering af træ
20.10.20 Træimprægneringsvirksomheder mv.
20.30.20 Fremstilling af dele af træ til bygninger
20.30.30 Fremstilling af præfabrikerede bygninger eller bygningselementer af træ
20.4 Træemballagefabrikker
20.51 Fremstilling af andre træprodukter
20.51.90 Fremstilling af andre træprodukter i øvrigt
36 Møbelindustri og anden industri
36.1 Fremstilling af møbler
36.14 Fremstilling af andre møbler til boliger; møbellakerier
36.14.90 Møbellakerier, afsyning af møbler mv.
24 Kemisk Industri
24.5 Fremstilling af sæbe, rengørings- og rensesmidler, poleremidler samt parfume
24.51 Fremstilling af sæbe, rengørings- og rensesmidler samt poleremidler
24.51.10 Sæbe- og vaskemiddelfabrikker
24.51.20 Fremstilling af voks samt pudse- og rensesmidler
24.6 Fremstilling af andre kemiske produkter
24.62 Limfabrikker
24.64 Fremstilling af fotokemiske produkter
24.66 Fremstilling af andre kemiske produkter i øvrigt
51.12 Agenturhandel med brændstoffer, malm, metaller og kemiske produkter til industrien
74.81.10 Fotografer
74.81.20 Fotolaboratorier
90.01 Opsamling og behandling af spildevand
27.5 Støbning af metalprodukter
28 Jern- og metalvareindustri
28.1 Fremstilling af metalkonstruktioner
28.11 Fremstilling af metalkonstruktioner og dele heraf
28.52 Almindelige maskinforarbejdningsprocesser
29 Maskinindustri
50.20.40 Undervognsbehandling
50.20.50 Autolakerier
17.51 Tæppefabrikker
24.12 Fremstilling af farvestoffer og pigmenter
24.3 Fremstilling af maling, lak, trykfarver mv. samt tætningsmaterialer
24.16 Fremstilling af basisplast
24.17 Fremstilling af syntetisk gummi
25 Gummi- og plastindustri
25.1 Fremstilling af gummiprodukter
25.11 Fremstilling af gummidæk og gummislanget
25.13 Fremstilling af andre gummiprodukter
25.17 Fremstilling af syntetisk gummi
25.2 Fremstilling af plastprodukter
25.21.10 Fremstilling af plader, ark, film og andre flade former af plast
25.22 Fremstilling af plastemballage
25.23 Fremstilling af bygningsartikler af plast
25.24 Fremstilling af andre plastprodukter
25.24.90 Fremstilling af andre plastprodukter i øvrigt
17 Tekstilindustri
17.3 Færdigbehandling af tekstiler
17.40.20 Fremstilling af boligtekstiler
17.40.90 Fremstilling af andre færdige tekstilvarer i øvrigt
17.5 Fremstilling af andre tekstiler
18.1 Fremstilling af læderbeklædning
18.22 Fremstilling af overtøj kjoler, bukser mv.
19 Læderindustri
19.1 Garverier
21 Papirindustri
21.1 Fremstilling af papirmasse, papir og pap
21.12 Fremstilling af papir og pap
21.2 Fremstilling af papir- og papvarer
21.21 Fremstilling af bølgepap og emballage af papir og pap
21.23 Fremstilling af kontorartikler af papir og pap
93.01 Vaskerier og renserier
93.01.30 Renserier
31.62.20 Elektromekaniske værksteder
31.62.90 Fremstilling af andet elektrisk og elektronisk udstyr i øvrigt
22 Grafisk industri
22.21 Avistrykkerier
22.22.10 Bogtrykkerier og Offsettrykkerier
22.22.30 Serigrafiske trykkerier
22.25 Anden virksomhed i forbindelse med trykning
26.51 Cementfabrikker
26.61.10 Betonvarefabrikker
26.61.20 Betonelementfabrikker
26.63 Fremstilling af færdigblandet beton
Øvrige
Ikke specificeret

Branchegruppe

Losse- og fyldpladser
Losse- og fyldpladser
Losse- og fyldpladser
Forkromningsindustri
Forkromningsindustri
Brancher relateret til brand
Brancher relateret til brand
Brancher relateret til brand
Brancher relateret til brand
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Træ- og møbelindustri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Kemisk industri
Jern- og metalvareindustri
Jern- og metalvareindustri
Jern- og metalvareindustri
Jern- og metalvareindustri
Jern- og metalvareindustri
Jern- og metalvareindustri
Jern- og metalvareindustri
Jern- og metalvareindustri
Tæppeindustri
Malingsindustri
Malingsindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Gummi- og plastindustri
Tekstil- og læderindustri
Tekstil- og læderindustri
Tekstil- og læderindustri
Tekstil- og læderindustri
Tekstil- og læderindustri
Tekstil- og læderindustri
Tekstil- og læderindustri
Tekstil- og læderindustri
Pap- og papirindustri
Pap- og papirindustri
Pap- og papirindustri
Pap- og papirindustri
Pap- og papirindustri
Pap- og papirindustri
Pap- og papirindustri
Pap- og papirindustri
Rensierier
Rensierier
Elektronikvirksomheder
Elektronikvirksomheder
Trykkerier
Trykkerier
Trykkerier
Trykkerier
Trykkerier
Trykkerier
Betonvarefabrikker
Betonvarefabrikker
Betonvarefabrikker
Betonvarefabrikker
Ikke-PFAS relevant
Ikke specificeret

Bilag 3 Principal Component Analysis (PCA)

