



FAGLIG AFKLARING AF OVERVÅGNING AF PAH I SEDIMENT OG BIOTA

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 130

2018



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

FAGLIG AFKLARING AF OVERVÅGNING AF PAH I SEDIMENT OG BIOTA

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 130

2018

Pia Lassen

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer: Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 130

Titel: Faglig afklaring af overvågning af PAH i sediment og biota

Forfatter: Pia Lassen

Institution: Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

Udgiver: Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©

URL: <http://dce.au.dk>

Udgivelsesår: Oktober 2018

Redaktion afsluttet: September 2018

Faglig kommentering: Hans Sanderson

Kvalitetssikring, DCE: Susanne Boutrup

Finansiel støtte: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Lassen, P. 2018. Faglig afklaring af overvågning af PAH i sediment og biota. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 62 s. - Teknisk rapport nr. 130
<http://dce2.au.dk/pub/TR130.pdf>

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: Denne rapport omhandler en vurdering af, om antallet af polycykliske aromatiske hydrocarboner (PAH'er), som indgår i NOVANA i ferskvands- og marint sediment samt i muslinger, kan justeres. I vurderingen indgår, om visse PAH'er kan fungere som indikatorer for andre på basis af forekomst og risiko uden tab af information. Konklusionen er, på baggrund af NOVANA data, at det ikke er muligt at anvende enkelte PAH'er som indikator for de øvrige PAH'er. Dette skyldes blandt andet at der er meget stor variation i koncentrationsniveauer og fordelingen mellem de enkelte PAH'er. PAH'er stammer fra primært to meget forskellige kilder (pyrogene og petrogene), og sammensætningen af PAH'er varierer afhængig hvilken kilde, der dominerer i det pågældende område, samt hvor belastet området er. Endvidere er PAH'er bionedbrydelige i varierende grad.

Emneord: NOVANA, polycykliske aromatiske hydrocarboner, PAH'er, ferskvandssediment, marint sediment, muslinger

Layout: Grafisk Værksted, AU Silkeborg

Foto forside: Martin M. Larsen

ISBN: 978-87-7156-366-5

ISSN (elektronisk): 2244-999X

Sideantal: 62

Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som
<http://dce2.au.dk/pub/TR130.pdf>

Indhold

1. Baggrund	5
2. Forekomst og koncentrationer af PAH'er i sediment og muslinger fra marine områder	7
2.1 Vurdering af data med henblik på om visse PAH'er kan være indikatorer for øvrige PAH'er ud fra NOVANA data	8
2.2 Konklusion	21
3. Forekomst og koncentrationer af PAH'er i sediment fra ferskvand	22
3.2 Konklusion	30
4. Toksicitet	31
5. PAH'er i internationale direktiver og konventioner	34
6. Analysepris	36
7. Samlet konklusion	37
8. Referencer	38
Appendiks 1	40
Appendiks 2	43
Appendiks 3	49
Appendiks 4	57
Appendiks 5	59
Appendiks 6	61

[Tom side]

1. Baggrund

Formålet med denne redegørelse er at tilvejebringe en vurdering af, om antallet af polycykliske aromatiske hydrocarboner (PAH'er), som indgår i NOVANA monitoringen i sediment og muslinger, kan justeres uden tab af information. I vurderingen indgår, om visse PAH'er kan fungere som indikatorer for andre på basis af forekomst og risiko.

Der er to typer af forureningskilder til PAH'er, petrogene dvs. fra oliespild og pyrogene, som stammer fra afbrænding. Den petrogene forurening kan både stamme fra punktkilder eller mere diffuse kilder, mens den pyrogene forurening stammer fra diffuse kilder. De lavmolekylære PAH'er, som består af 2-3 aromatiske ringe, inklusiv de alkylerede PAH, menes primært at stamme fra petrogene kilder, mens de højmolekylære PAH'er, som består af 4-6 aromatiske ringe, dvs. tungere PAH'er uden alkylgrupper, menes primært at stamme fra pyrogene kilder (se bl.a. Hansen, 2007). Endvidere kan en enkelt PAH, perylen, dannes biogent, og stoffet detekteres derfor ind imellem i højere koncentrationer end normalt, når der ses på den relative fordeling mellem de enkelte PAH'er i sediment. Perylen ligger typisk på 2-5% af den relative fordeling men kan, når det er dannet biogent, udgøre op til 20%.

I NOVANA 2017-2021 indgår PAH'er i overvågning af overfladevand med målinger i sediment fra vandløb, søer samt for de marine områder i sediment og muslinger (Miljøstyrelsen, 2017). PAH'er der indgår i NOVANA kan ses i tabel 1, og de kemiske strukturer af de samme PAH'er er angivet i Appendiks 1.

Methylnaphthalenerne og methylphenanthrenerne (sum) er ikke inddraget i vurderingerne i det følgende for marine prøver, og for de ferske prøver er naphthalen og methylerede naphthalener ikke inddraget, da der kun foreligger få data for disse PAH'er.

Databehandling og konklusioner i kapitel 2 er baseret på data fra overvågning af sediment og muslinger i det marine NOVANA program, og i kapitel 3 på data fra overvågning af sediment i vandløb og søer. Da datamængden fra det marine delprogram er større end fra programmet for vandløb og søer, er gennemgangen i kapitel 2 mere detaljeret end i kapitel 3.

Data for marine muslinger findes i Appendiks 2, marint sediment i Appendiks 3, vandløbssediment i Appendiks 4 og søsediment i Appendiks 5.

Tabel 1. PAH'er, som indgår i NOVANA 2017-21 i overvågning af sediment i vandløb, søer og marine områder samt muslinger fra marine områder.

PAH	Cas nr
Naphthalen	91-20-3
2-Methylnaphthalen	91-57-6
1-Methylnaphthalen	90-12-0
Dimethylnaphthalener	-
Trimethylnaphthalener*	-
Acenaphthylen	208-96-8
Acenaphthen	83-32-9
Fluoren	86-73-7
Dibenzothiophen	132-65-0
Phenanthren	85-01-8
2-methylphenanthren	2531-84-2
3.6-dimethylphenanthren	1576-67-6
Dimethylphenanthrener*	-
Antracen	120-12-7
Benz(a)fluoren	238-84-6
Fluoranthren	206-44-0
Pyren	129-00-0
1-methylpyren	2381-21-7
2-methylpyren*	3442-78-2
Benz(a)antracen	56-55-3
Chrysen/Triphenylen	218-01-9/217-59-4
Benz(b+j+k)fluoranthener	205-99-2/205-82-3/207-08-9
Benz(e)pyren	192-97-2
Benz(a)pyren	50-32-8
Perylen	198-55-0
Indeno(1.2.3-cd)pyren	193-39-5
Benzo(ghi)perylene	191-24-2
Dibenzo(ah)antracen	53-70-3

*er ikke med i den marine del af NOVANA.

2. Forekomst og koncentrationer af PAH'er i sediment og muslinger fra marine områder

Til illustration af variationen i forekomst og indhold i PAH i sediment og muslinger fra marine områder er der i tabel 2 vist data for sum PAH i hhv. fire år (muslinger) og tre år (sediment) fra marine områder i udvalgte år. Methyle-rede naphthalener og methylerede phenanthrener indgår ikke i sum PAH i tabel 2, da der kun foreligger data fra det marine NOVANA program fra 2011. Data stammer fra ODA databasen.

I muslinger varierer forholdet mellem laveste og højeste sum PAH-koncentration inden for samme år mellem 7 og 23 i perioden 2011-2015 (tabel 2).

Tabel 2. Oversigt over middel- og mediankoncentration af sum PAH i muslinger samt minimum og maksimum koncentration i perioden 2011-2015.

Værdi	Middel	Median	Min	Maks
År: 2011				
sum PAH ng/g VV	29	26	10	233
% lipid	1,2	1,1	0,6	2,8
År: 2013				
sum PAH ng/g VV	18	15	9	80
% lipid	1,1	1,0	0,6	2,1
År: 2014				
sum PAH ng/g VV	24	21	9	105
% lipid	1,3	1,2	0,3	4,0
År: 2015				
sum PAH ng/g VV	24	21	10	70
% lipid	1,2	1,2	0,9	1,8

Forklaring til tabel: Værdier er angivet som sum PAH i ng/g vådvægt. Antallet af prøver pr år er 60-65. I summen indgår PAH'er oplistet i tabel 1 bortset fra methylerede naphthalener og methylerede phenanthrener.

I marint sediment er der stor variation i både koncentrationer og sedimentets sammensætning. For koncentrationer er der op til en faktor 2000 i forskel mellem laveste og højeste sum PAH-koncentration inden for samme år (tabel 3).

Normalt ses der en større andel af tungere PAH'er ved høje sum PAH-koncentrationer. Derfor vil fordelingen mellem de enkelte PAH'er være forskellig, når man sammenligner de laveste og højeste sum PAH-koncentrationer i henholdsvis sediment og muslinger.

Tabel 3. Oversigt over middel- og mediankoncentration af sum PAH i sediment samt minimum og maksimum koncentration i perioden 2011-2015.

	Middel	Median	Min	Maks
År: 2011				
Sum PAH ng/g TS	857	647	18	2610
Tørstof %	38	30	16	78
Glødetab %	8,5	8,6	0,6	18,7
TOC %	2,5	2,1	0,2	6,7
År: 2013				
Sum PAH ng/g TS	843	866	4	2712
Tørstof %	47	47	14	83
Glødetab %	8,0	5,5	0,4	20,9
TOC %	3,24	2,20	0,03	8,99
År: 2015				
Sum PAH ng/g TS	1058	956	2	4142
Tørstof %	48	45	14	83
Glødetab %	8,6	8,2	0,4	25,9
TOC %	3,8	3,4	0,04	11,0

Forklaring til tabel: Værdier er angivet som sum PAH i ng/g tørstof. Antallet af prøver pr år er 30-35. I summen indgår PAH'er oplistet i tabel 1 bortset fra methylerede naphthalener og methylerede phenanthrener.

2.1 Vurdering af data med henblik på om visse PAH'er kan være indikatorer for øvrige PAH'er ud fra NOVANA data

NOVANA data er gennemgået med henblik på at vurdere, om der kan foretages en gruppering, således at visse PAH'er kan bruges som indikator for nogle af de øvrige ved overvågning af sediment og muslinger i marine områder.

Der er med udgangspunkt i tre års NOVANA målinger (2011, 2013 og 2015) foretaget en sammenligning mellem prøver og mellem år.

2.1.1 Metode

For at kompensere for de store forskelle i koncentrationerne er der foretaget en normalisering i forhold til sum PAH, således at vurderingen af forekomsten af de enkelte PAH sker på baggrund af det relative indhold i prøverne. Normaliseringen muliggør direkte sammenligning mellem data fra prøver med høje og lave koncentrationer.

Data er vurderet i forhold til, om der er forskel i PAH sammensætningen i prøver med høje koncentrationer af sum PAH og prøver med lave koncentrationer. Endvidere er det vurderet, om der kan ses et mønster inden for ringstørrelsen, dvs. om PAH'er med samme antal ringe har samme mønster. Disse vil have rimelig ens fysisk kemiske egenskaber, og der er også større sandsynlighed for, at de stammer fra samme type forureningskilde.

For muslinger er det også undersøgt om lipid indholdet har indflydelse på sammensætningen, og for sediment om tørstofindholdet (TS) og indholdet af organisk stof (TOC) har indflydelse på sammensætningen af PAH.

2.1.2 Fundhyppighed af de enkelte PAH'er

En gennemgang af antallet af fund, dvs. koncentrationer over detektionsgrænsen for de enkelte PAH'er viser, at der er meget stor forskel på muslinger og sediment, se nedenstående tabeller.

Koncentrationer af PAH'er i muslinger er generelt lavere end i sediment, hvilket ses ud fra tabel 2 og 3, hvor de absolutte PAH sumværdier er angivet. Samtidig er der i muslinger stor variation på fundhyppigheden for de forskellige PAH'er. Dette er vist i tabel 4 samt illustreret grafisk i figur 1. Det tilsvarende er ikke gældende for sediment, hvor alle PAH'er bortset fra 3 (acenaphthylen, acenaphthen og fluoren) forekommer med fundhyppigheder på over 80% (tabel 4 og figur 2). Den større fundhyppighed i sediment hænger sandsynligvis sammen, at der er generelt er højere koncentrationer i sediment end i muslinger, se fx Boutrup et al. (2015).

Fundhyppigheden er rimelig stabil fra år til år for visse PAH'er og varierer meget for andre. Dette hænger blandt andet sammen med i hvor stor en andel af de analyserede prøver, der er fundet meget høje eller lave koncentrationer det pågældende år, hvilket igen afhænger af hvilke stationer, prøverne er udtaget fra. Eksempelvis vil det påvirke PAH-indholdet, hvis der har været et mindre oliestpild på stedet. Variationen mellem år i antallet af prøver inden for de givne koncentrationsintervaller fremgår af tabel 8 og 9 (afsnit 2.1.4).

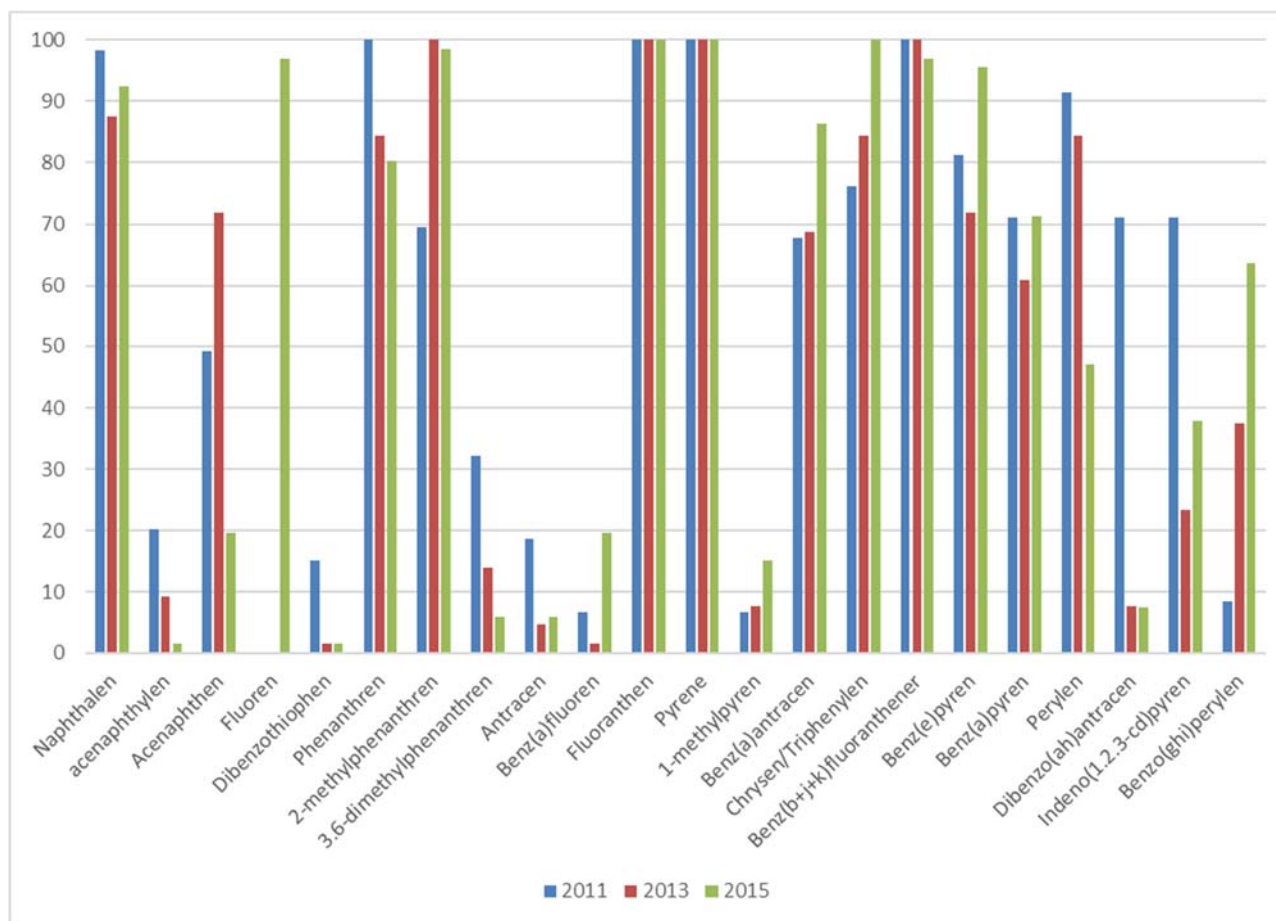
I muslinger er specielt fluoranthen, benz(b+j+k)fluoranthener og pyren meget stabile, idet de alle har fundhyppigheder på eller tæt på 100 % i de tre år, der indgår i vurderingen (tabel 4 og figur 1). Fundhyppigheden af andre PAH'er varierer med op til en faktor 10 inden for de tre år, specielt de tungere PAH'er (ringstørrelse >5). For de fleste er der dog en variation på op til ca. 20%.

I sediment er variationen på fundhyppigheden af de enkelte PAH'er væsentlig mindre (tabel 4 og figur 2). Dette antages at hænge sammen med de højere koncentrationer i sediment, og dermed mindre sandsynlighed for at enkelte af PAH'erne forekommer i koncentrationer lavere end detektionsgrænsen.

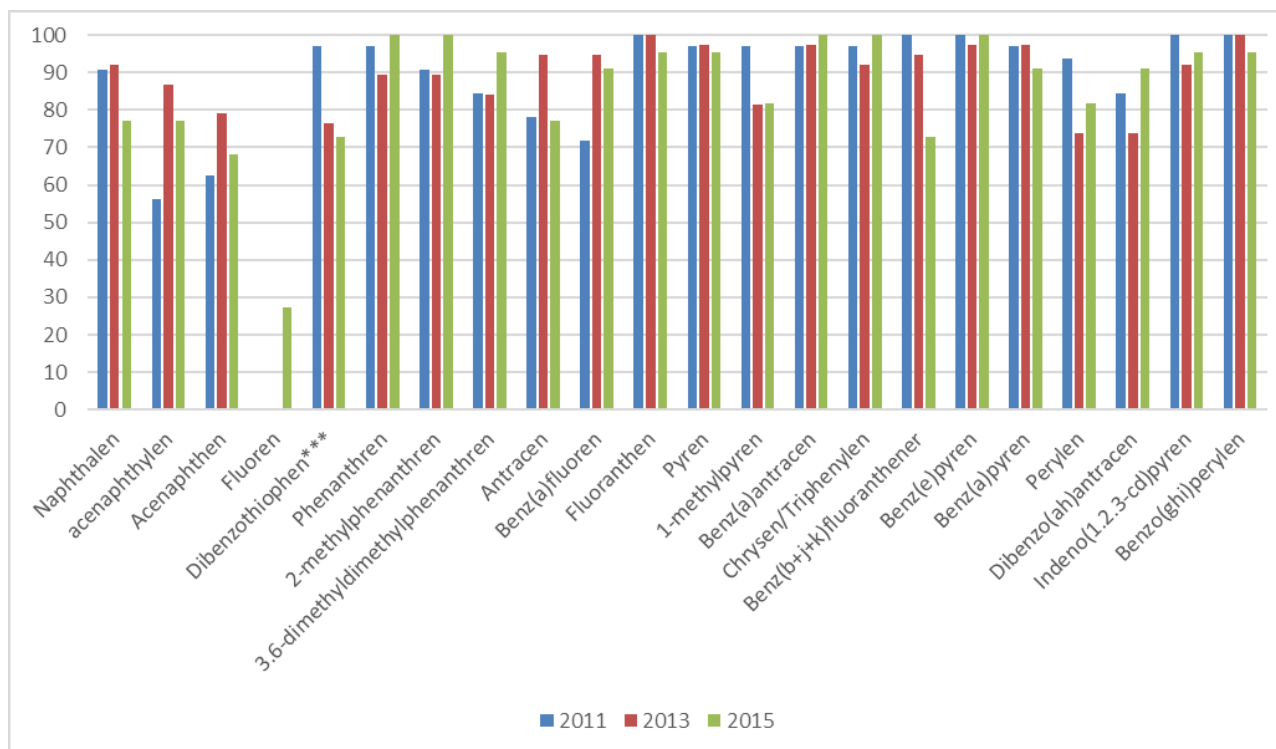
Tabel 4. Oversigt over fundhyppighed i muslinger og sediment for de enkelte PAH'er baseret på tre års data.

Ringstørrelse	PAH	Muslinger fundhyppighed i %			Sediment fundhyppighed i %		
		2011	2013	2015	2011	2013	2015
2	Naphthalen	98	88	92	91	92	77
2+	Acenaphthylen	20	9	2	56	87	77
2+	Acenaphthen	49	72	20	63	79	68
2+	Fluoren	*	*	97	*	*	27
2+	Dibenzothiophen	15	2	2	97	76	73
3	Phenanthren	100	84	80	97	89	100
3	2-methylphenanthren	69	100	98	91	89	100
3	3.6-dimethylphenanthren	32	14	6	84	84	95
3	Antracen	19	5	6	78	95	77
3+	Benz(a)fluoren	7	2	20	72	95	91
3+	Fluoranthren	100	100	100	100	100	95
4	Pyren	100	100	100	97	97	95
4	1-methylpyren	7	8	15	97	82	82
4	Benz(a)antracen	68	69	86	97	97	100
4	Chrysen/Triphenylen	76	84	100	97	92	100
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	100	100	97	100	95	73
5	Benz(e)pyren	81	72	95	100	97	100
5	Benz(a)pyren	71	61	71	97	97	91
5	Perylen	92	84	47	94	74	82
5	Dibenzo(ah)antracen	71	8	8	84	74	91
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	71	23	38	100	92	95
6	Benzo(ghi)perylene	8	38	64	100	100	95

Forklaring til tabel: Fundhyppighed er beregnet som antal gange den pågældende PAH er påvist over detektionsgrænsen divideret med det samlede antal prøver for det pågældende år. Ringstørrelse: Tallet angiver antallet af aromatiske ringe, et + angiver, at der yderligere indgår en 5 leddet ring (cyclopentan) i PAH molekylet. Se Appendiks 1 for strukturer. * Grundet analysetekniske problemer blev fluoren målt i meget få prøver, fundhyppigheden er derfor misvisende for 2011 og 2013 og er ikke medtaget.



Figur 1. Fundhyppighed angivet i % af enkelt PAH'er i muslinger indenfor tre NOVANA år.



Figur 2. Fundhyppighed angivet i % af enkelt PAH'er i sediment inden for tre NOVANA år.

2.1.3 Relativ fordeling af de enkelte PAH'er

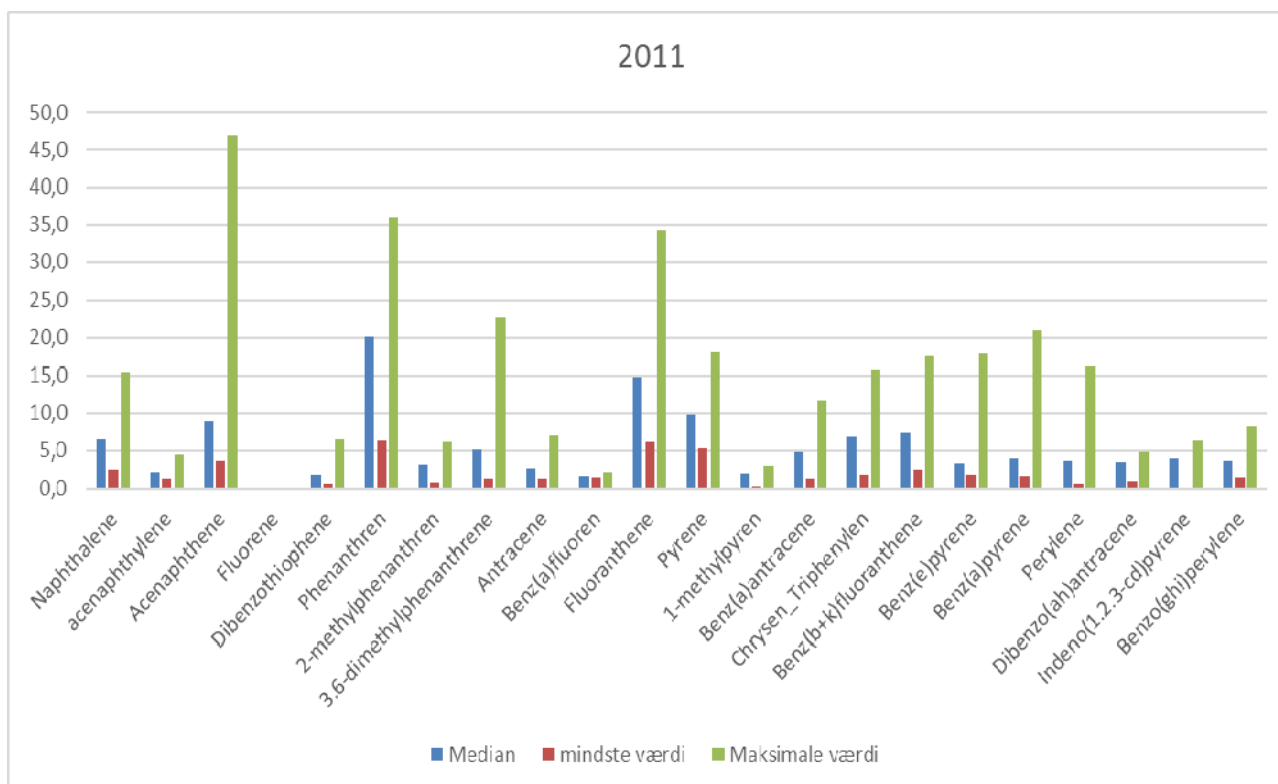
Ved vurdering af variationen i koncentrationer (middel, median samt den mindste og den maksimale relative koncentrationer af enkelte PAH (relative i forhold til sum PAH)) inden for et år ses der større variation end i fundhyppighederne. Som eksempel er vist data for koncentrationer i 2011 i muslinger, tabel 5 og sediment tabel 6.

Variation i en relative sammensætning af PAH'er for de tre år kan ses i figur 3-5 for muslinger og figur 6-8. for sediment.

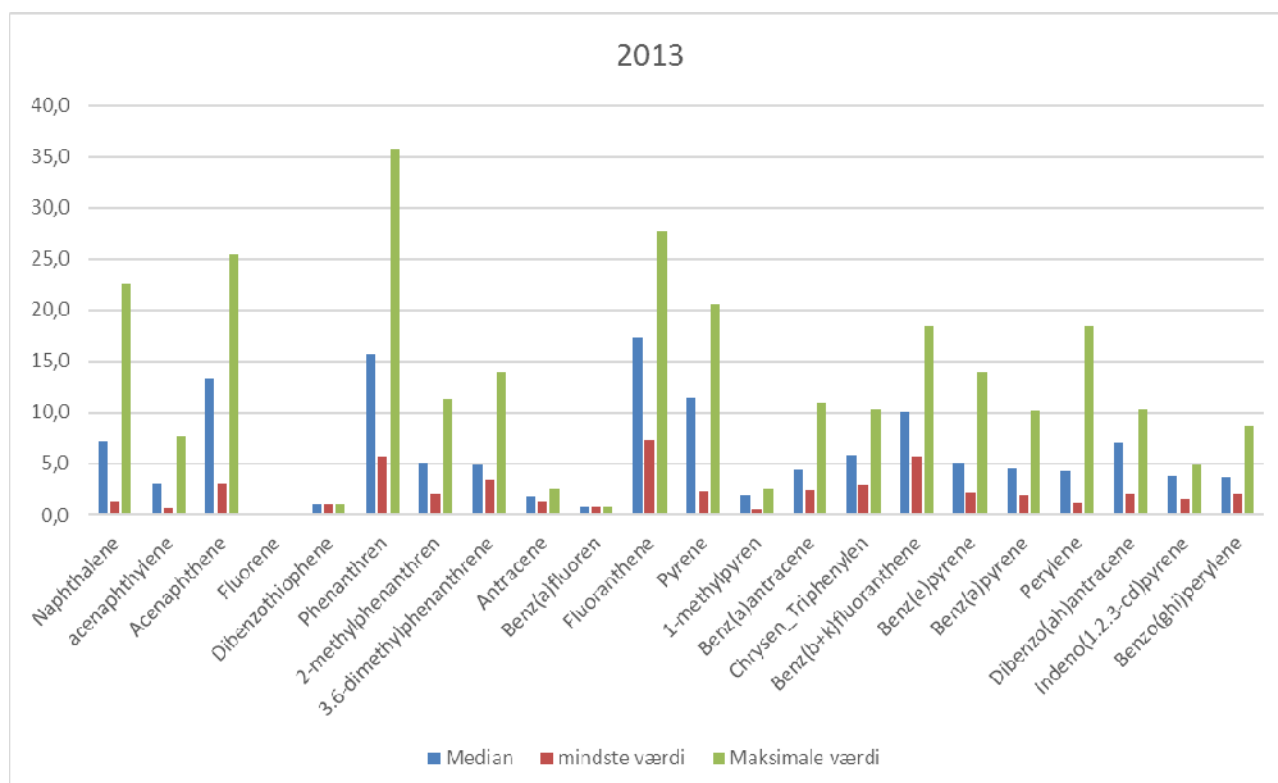
Ud fra tabel 5 og figur 3-5 kan det ses, at det er forskelligt, hvor meget det relative indhold af de enkelte PAH'er i marine muslinger varierer. Eksempelvis 3,6-dimethylphenanthren havde et relativt indhold på 1,3% i en prøve (minimum værdi) og 22,8% i en anden prøve (maksimum værdi). Det relative indhold af benz(a)fluoren er mere stabilt og varierede 1-2% som relativ andel af sum PAH koncentration. De fleste af PAH'erne varierer med en faktor 5-10 mellem højeste og laveste relative koncentration.

Tabel 5. Middel, median, minimum og maksimum af relative PAH-koncentrationer i marine muslinger i 2011 (relativt til sum PAH).

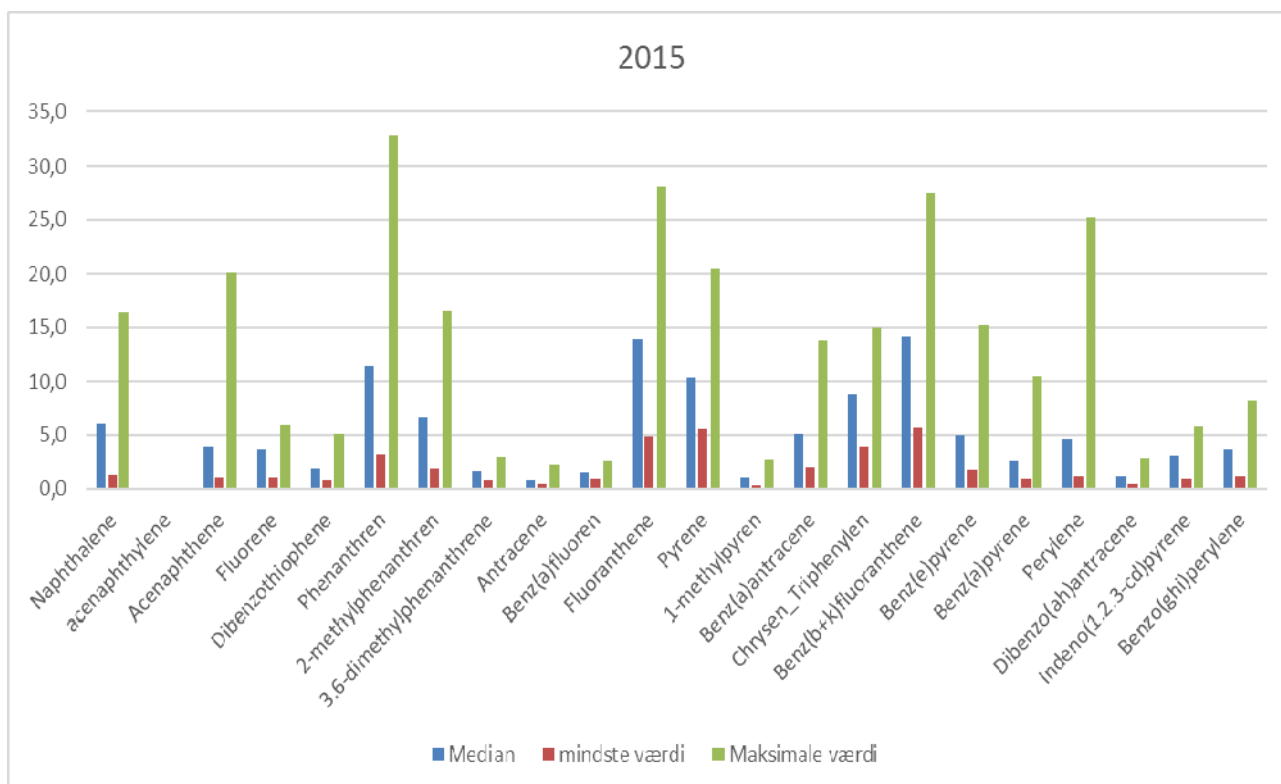
Ring størrelse	PAH	2011				
		Middel	Median	Mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	7,2	6,5	2,5	15,5	13,0
2+	Acenaphthylen	2,4	2,2	1,2	4,4	3,2
2+	Acenaphthen	12,8	8,8	3,8	46,8	43,1
2+	Fluoren					0,0
2+	Dibenzothiophen	2,2	1,8	0,7	6,5	5,8
3	Phenanthren	19,8	20,1	6,3	36,0	29,7
3	2-methylphenanthren	3,3	3,2	0,8	6,2	5,4
3	3.6-dimethylphenanthren	7,6	5,0	1,3	22,8	21,5
3	Antracen	3,0	2,7	1,3	7,0	5,7
3+	Benz(a)fluoren	1,8	1,7	1,5	2,2	0,7
3+	Fluoranthren	15,7	14,7	6,1	34,3	28,2
4	Pyren	10,4	9,7	5,3	18,0	12,7
4	1-methylpyren	1,8	2,0	0,2	3,0	2,8
4	Benz(a)antracen	5,0	4,7	1,3	11,6	10,3
4	Chrysen/Triphenylen	7,4	6,8	1,7	15,9	14,1
4+	Benz(b+k)fluoranthener	8,0	7,3	2,4	17,4	15,0
5	Benz(e)pyren	4,7	3,5	1,9	17,8	16,0
5	Benz(a)pyren	4,3	3,8	1,6	21,1	19,5
5	Perylen	5,0	3,7	0,6	16,2	15,6
5	Dibenzo(ah)antracen	3,3	3,6	1,0	4,8	3,8
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	3,6	3,9	0,0	6,2	6,2
6	Benzo(ghi)perylene	4,0	3,7	1,5	8,2	6,7



Figur 3. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i marine muslinger for 2011.



Figur 4. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i marine muslinger for 2013.

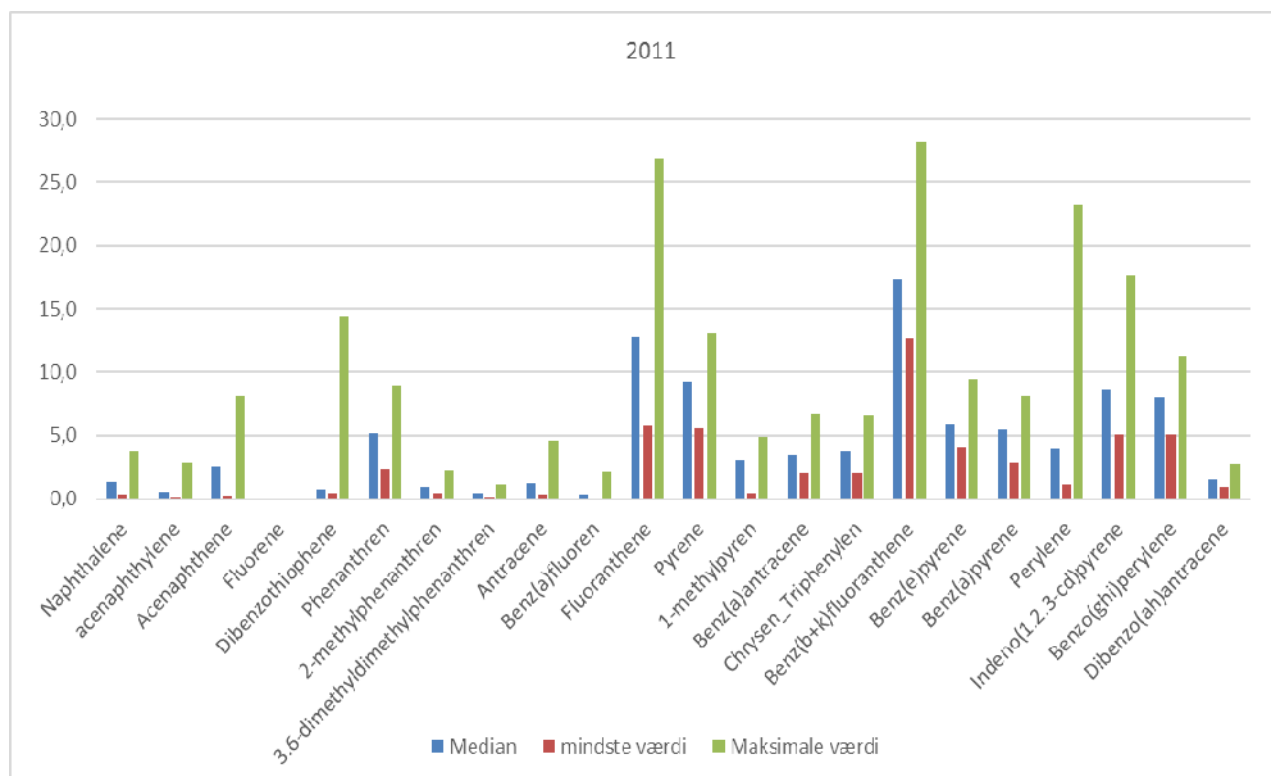


Figur 5. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i marine muslinger for 2015.

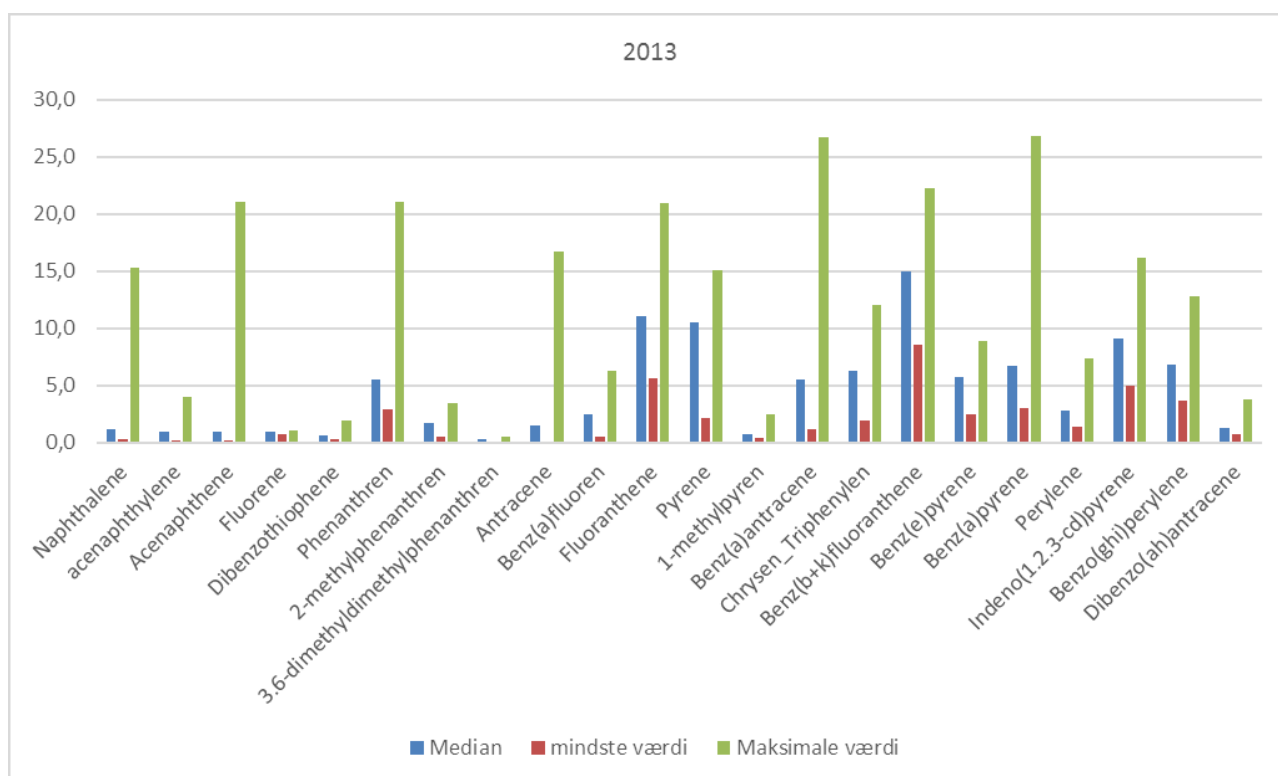
I marint sediment ses der ligesom i muslingerne forskelle på hvor meget den relative sammensætning af de enkelte PAH'er varierer (tabel 6 og figur 6-8). Eksempelvis fluoranthene havde et relativt indhold på 5,9% i en prøve (minimum værdi) og 26,8% i en anden prøve (maksimum værdi). Dibenzo(ah)antracen er mere stabil og varierede 1-3% som relativ andel af sum PAH koncentration. Samlet set varierer 2/3 dele af PAH'erne med en faktor 2-5 mellem højeste og laveste relative koncentration, mens ca. en 1/3 af PAH'erne varierer med en faktor 10-25.

Tabel 6. Middel, median, minimum og maksimum af relative PAH-koncentrationer i marint sediment i 2011 (relativt til sum PAH).

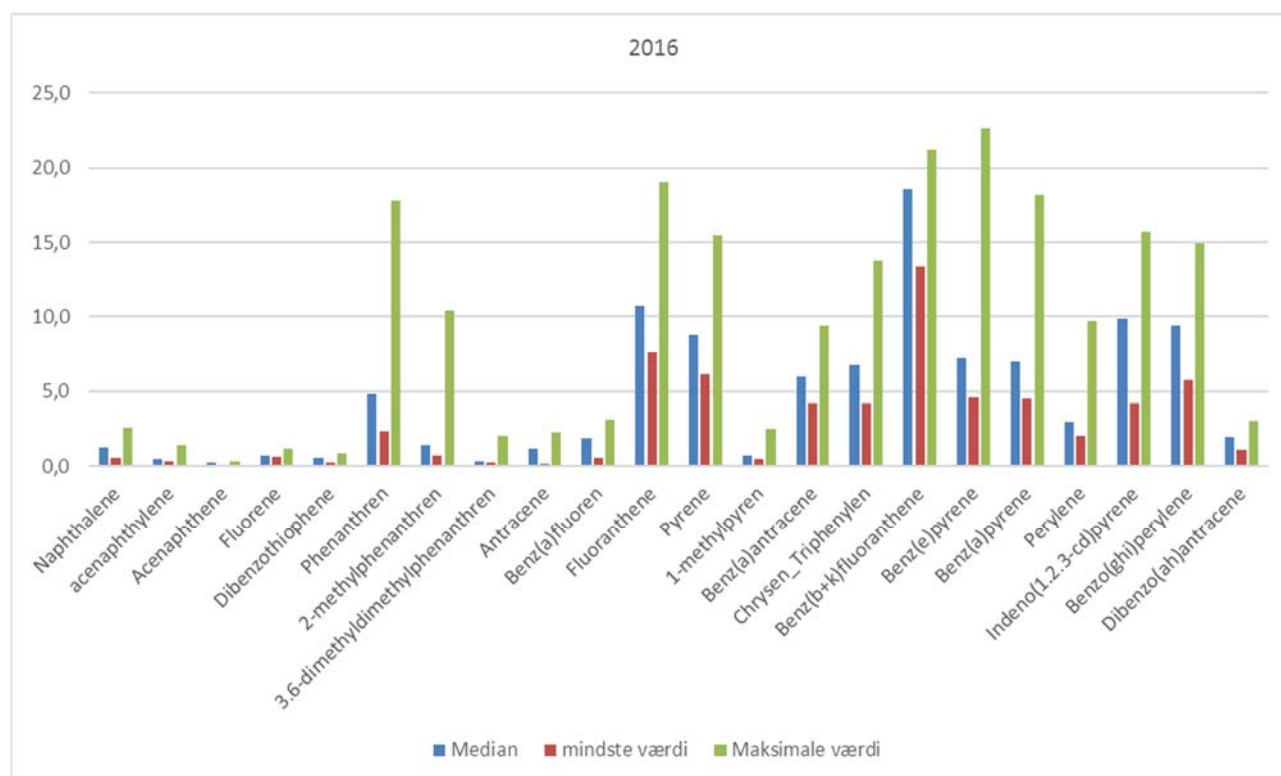
Ring størrelse	PAH	2011				
		Middel	Median	Mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	1,7	1,4	0,4	3,8	3,4
2+	Acenaphthylen	0,7	0,6	0,2	2,9	2,7
2+	Acenaphthen	3,0	2,6	0,2	8,2	7,9
2+	Fluoren					
2+	Dibenzothiophen	2,0	0,8	0,5	14,4	13,9
3	Phenanthren	5,1	5,1	2,4	8,9	6,6
	2-methylphenanthren	1,2	1,0	0,5	2,3	1,8
3	3.6-dimethyldimethylphenanthren	0,5	0,4	0,2	1,2	1,0
3	Antracen	1,5	1,2	0,4	4,5	4,1
3+	Benz(a)fluoren	0,9	0,4	0,1	2,2	2,2
3+	Fluoranthen	13,6	12,8	5,9	26,8	20,9
4	Pyren	9,2	9,2	5,6	13,1	7,5
4	1-methylpyren	2,7	3,1	0,4	4,9	4,4
4	Benz(a)antracen	3,6	3,4	2,1	6,7	4,6
4	Chrysen/Triphenylen	4,0	3,7	2,1	6,7	4,6
4+	Benz(b+k)fluoranthener	17,5	17,3	12,7	28,1	15,4
5	Benz(e)pyren	6,1	6,0	4,0	9,5	5,4
5	Benz(a)pyren	5,6	5,5	2,9	8,2	5,3
5	Perylen	6,0	3,9	1,2	23,3	22,1
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	9,4	8,6	5,1	17,7	12,6
6	Benzo(ghi)perylen	8,1	8,1	5,0	11,2	6,2
5	Dibenzo(ah)antracen	1,6	1,6	1,0	2,7	1,8



Figur 6. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i marin sediment for 2011



Figur 7. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i marin sediment for 2013.



Figur 8. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i marin sediment for 2015.

2.1.4 Fordeling efter ringstørrelse af de enkelte PAH'er

På baggrund af en teori om at PAH-forbindelser med samme ringstørrelse opfører sig kemisk relativt ens er der foretaget en vurdering af variation i muslinger fra marine områder i forhold til ringstørrelse (Hansen, 2007). Vurderingen er foretaget på baggrund af medianværdierne af de relative sum-koncentrationer inden for de enkelte grupper af ringstørrelse. Der ses en vis ensartethed mellem de undersøgte år for forbindelser med 3+ og 4 ringe samt 5+ og 6 ringe, mens der er større variation ved mindre ringstørrelse (2, 2+ og 3) (tabel 7).

Tabel 7. Median af sum af relative PAH-koncentrationer summeret i forhold til ringstørrelser i muslinger fra marine områder.

Ringstørrelse	2011	2013	2015
2 og 2+	19,6	24,6	15,6
3	31,3	27,6	20,5
3+ og 4	38,2	41,6	40,7
4+ 5	22,5	27,7	30,0
5+ og 6	7,4	10,9	4,2

Der er ikke indikation på, at fordelingen mellem ringstørrelser ved PAH-indhold i forhold til intervallerne for koncentrationerne målt i marin muslinger varierer mellem årene (tabel 8). En forklaring kan dog være, at der indgår få data (dvs. antal prøver) i hver beregning. Data er opdelt efter PAH sum koncentration (ng/g VV) for de enkelte prøver, hvorefter medianværdier af de relative koncentrationer er beregnet inden for de opdelt koncentrationsniveauer. Alle data ses i Appendiks 2.

Tabel 8. Median af sum af relative PAH-koncentrationer summeret i forhold til ringstørrelse og i forhold til målte koncentrationer i marine muslinger (ng/g vådvægt).

Ringstørrelse	2011				2013		2015		
	10-20 ng/g VV	20-30 ng/g VV	30-50 ng/g VV	7-20 ng/g VV	21-30 ng/g VV	31-74 ng/g	10-20 ng/g VV	20-30 ng/g VV	30-70 ng/g
antal prøver	16	32	14	46	14	4	19	30	13
2 og 2+	22,2	18,3	17,9	32,2	17,7	12,6	17,6	14,7	6,7
3	30,9	33,1	38,3	29,3	25,3	23,1	20,3	20,8	18,8
3+ og 4	31,6	39,8	37,9	41,1	36,7	41,0	43,0	39,1	38,4
4+ 5	30,2	19,8	17,5	34,1	25,0	19,5	33,8	28,3	23,9
5+ og 6	10,1	6,3	6,3	8,6	5,8	4,6	7,2	8,0	5,2

Forklaring til tabel: Opdelingen i koncentrationsintervaller tager udgangspunkt i de målte koncentrationer de enkelte år. Antal prøver er det antal, der indgår i beregningen for det pågældende koncentrationsinterval. Antallet af prøver inden for et fastlagt koncentrationsinterval varierer mellem årene, så for at sikre at beregningen sker på et tilstrækkeligt antal prøver, har det været nødvendigt at anvende lidt forskellige intervaller.

For sediment er tabellen svarende til tabel 7 for muslinger ikke vist, da koncentrationsniveauet er meget bredt inden for det samme år (fra ca. 0 til 4000 ng/g TS for sum PAH). Det betyder, at der er meget stor variation i den relative sammensætning af de enkelte PAH'er.

Ved en opdeling af de relative PAH-koncentrationer med forskellige ringstørrelse i forhold til de målte koncentrationsniveauer af sum PAH i marint sediment finder man stor variation for de enkelte PAH'er. Fordelingen i forhold til ringstørrelse varierer mere ved lave målte PAH-sum koncentrationer end ved højere koncentrationer, dog var der også her noget forskel på de enkelte år (tabel 9).

Tabel 9. Median værdier af de relative PAH-koncentrationer opdelt på ringstørrelse i forhold til målt PAH-sum koncentration (ng/g TS) i marint sediment.

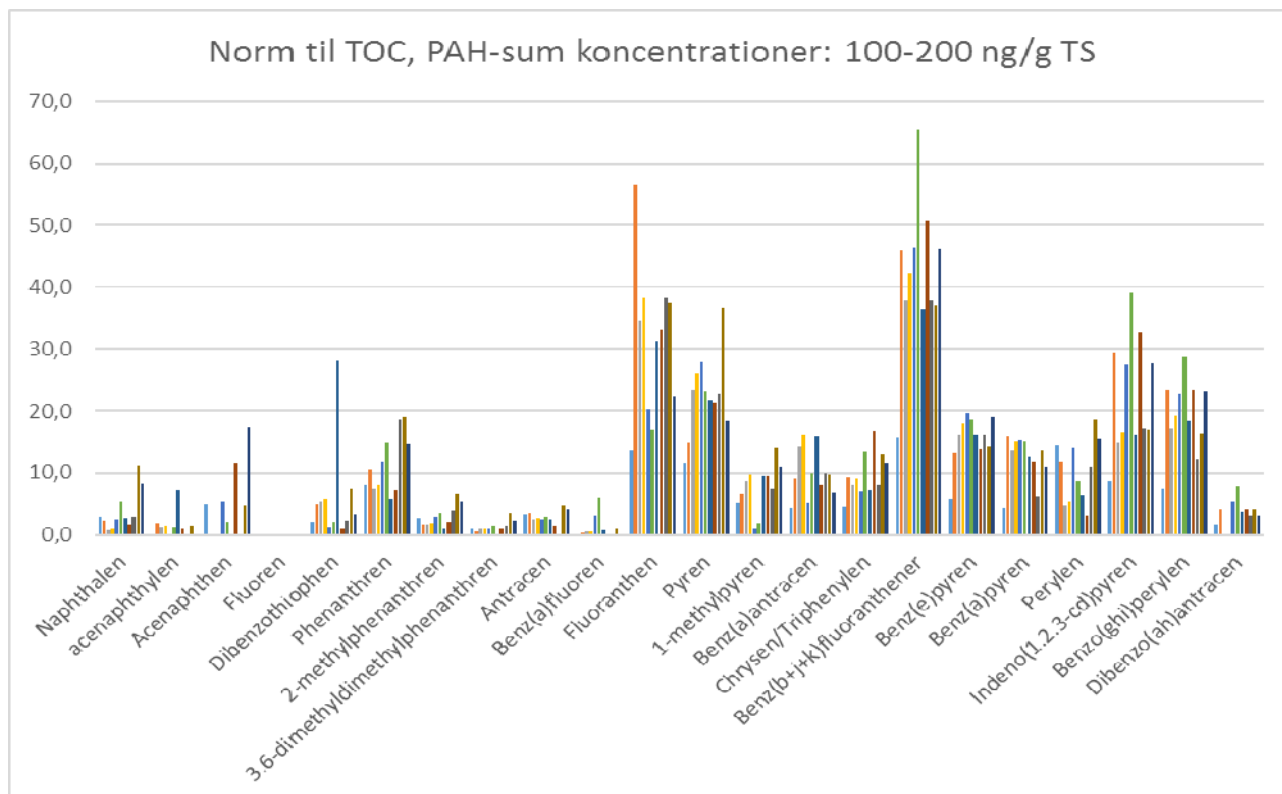
Ring størrelse	2011				2013			2015	
	18-500 ng/g TS	500-1000 ng/g TS	1000-2610 ng/g TS	4-500 ng/g TS	500-1000 ng/g TS	1000-2710 ng/g TS	2-500 ng/g TS	500-1000 ng/g TS	1000-4142 ng/g TS
Antal prøver	13	7	12	16	4	20	8	3	11
2 og 2+	9,8	3,6	4,1	3,2	3,1	4,4	4,4	3,8	2,9
3	9,1	8,2	7,5	8,1	8,1	8,6	9,2	9,6	6,7
3+ og 4	33,0	32,1	36,0	36,5	36,5	37,7	42,7	34,8	36,5
4+ 5	33,8	35,1	32,7	34,4	33,0	31,4	37,7	38,0	40,7
5+ og 6	14,5	19,9	16,0	17,9	19,3	15,6	17,4	16,9	18,5

Forklaring til tabel: Antal prøver er det antal, der indgår i beregningen for det pågældende koncentrationsinterval. Antallet af prøver inden for et fastlagt koncentrationsinterval varierer mellem årene, så for at sikre at beregningen sker på et tilstrækkeligt antal prøver, har det været nødvendigt at anvende lidt forskellige intervaller.

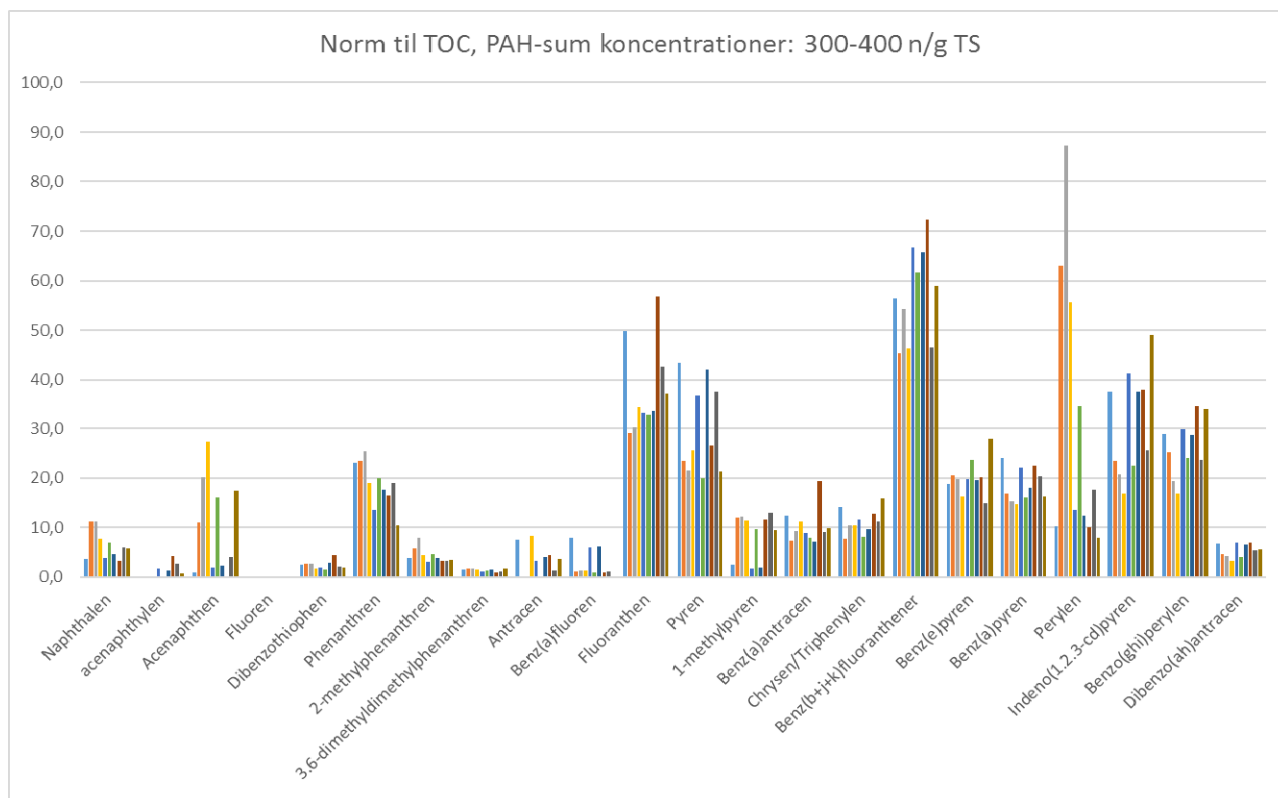
2.1.5 Normaliseringens betydning

PAH'er i sediment har tendens til at blive bundet til organisk stof, og derfor er betydningen af normalisering i forhold til TOC undersøgt. Ved normaliseringen er anvendt absolutte PAH-koncentrationer (ng/g TS) divideret med TOC (%TS).

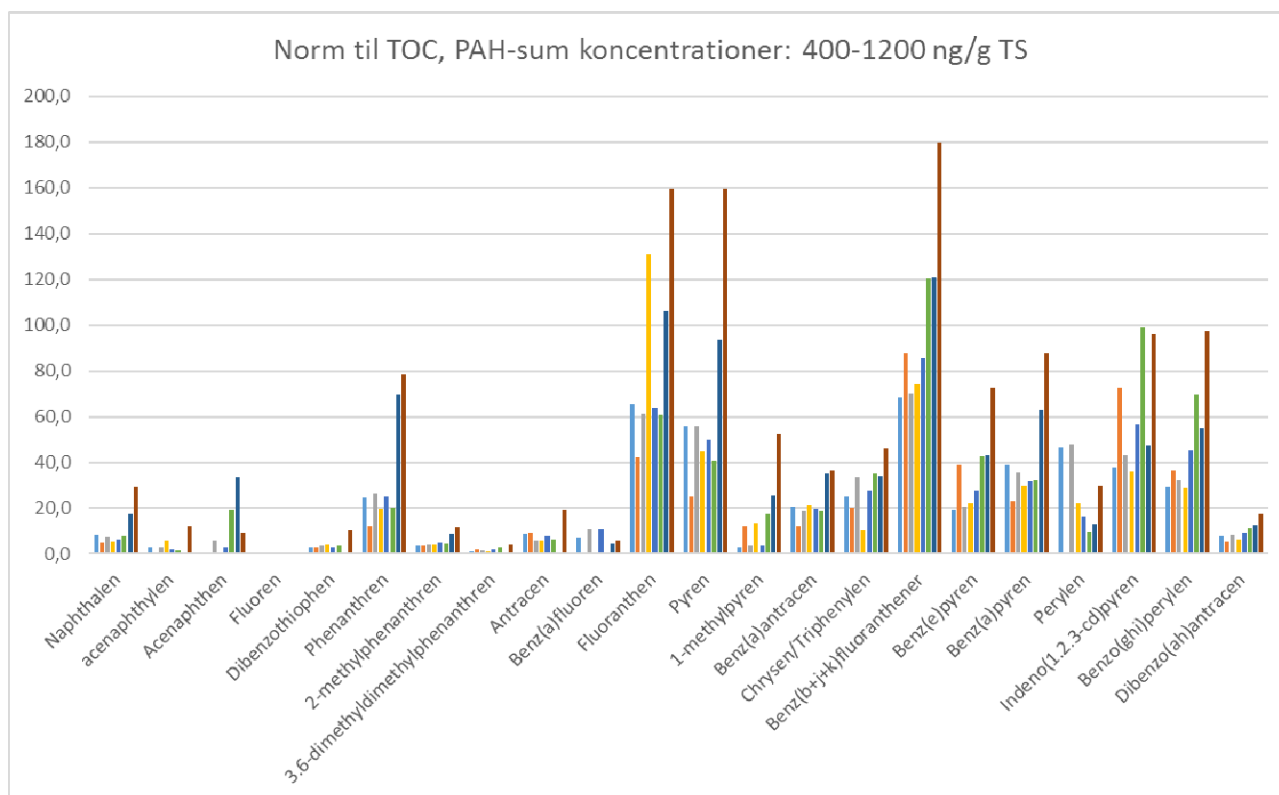
Det fremgår af figur 9-11, at der er stor variation på fordelingen af TOC-normaliserede PAH-indhold, selv når det bliver opdelt efter PAH sum koncentration.



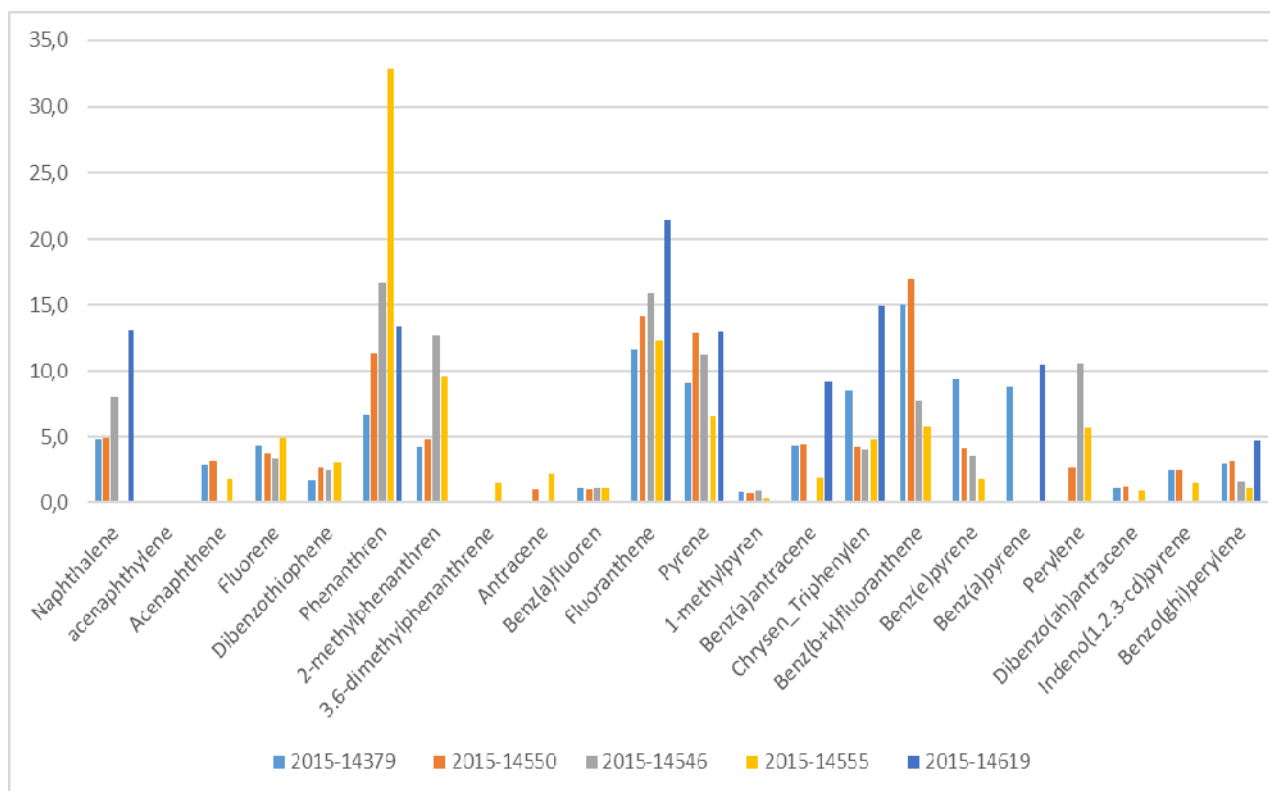
Figur 9. Absolutte PAH koncentrationer i marint sediment normaliseret til TOC (ng/g) for 2011, inddelt i koncentrationsintervaller for sum PAH.



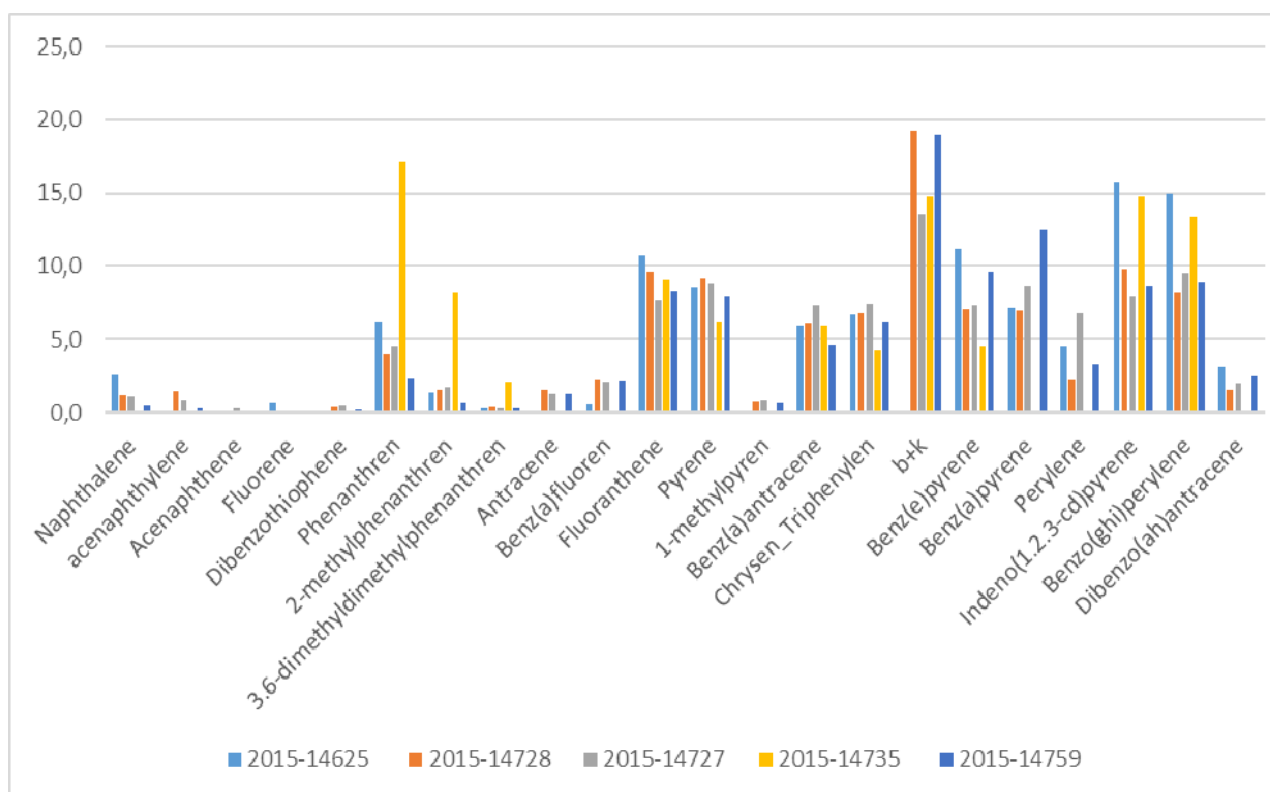
Figur 10. Absolutte PAH koncentrationer i marint sediment normaliseret til TOC (ng/g) for 2011, inddelt i koncentrationsintervaller for sum PAH.



Figur 11. Absolutte PAH koncentrationer i marint sediment normaliseret til TOC (ng/g) for 2011, inddelt i koncentrationsintervaller for sum PAH.



Figur 12. Relative PAH koncentrationer for fem udvalgte prøver i muslinger, 2015.



Figur 13. Relative PAH koncentrationer for fem udvalgte prøver i marint sediment, 2015.

Data er normalt normaliseret til tørstofindhold ved afrapportering. En opdeling af data efter tørstofniveauer viste ingen sammenhæng mellem tørstofindhold og indhold af PAH'er. Data ikke vist.

Figur 12 og 13 viser indholdet af PAH illustreret som relativt indhold i forhold til summen af PAH i fem udvalgte prøver inden for et år for henholdsvis marine muslinger og sediment. Der er udvalgt fem forskellige prøver med PAH-indhold på forskellige koncentrationsniveauer for overskuelighedens skyld.

2.2 Konklusion

På baggrund af marine NOVANA data vurderes det, at det ikke er muligt at anvende enkelte PAH'er som indikator for de øvrige PAH'er uden, at der tabes information. Denne vurdering er begrundet i:

- Fundhyppigheden af de enkelte PAH'er varierer i forhold til PAH sum-koncentrationer. Dette gør sig i højere grad gældende i marine muslinger end i marint sediment
- Den relative fordeling i marint sediment af de enkelte PAH'er i forhold til PAH sum-koncentrationen i de enkelte prøver varierer afhængig af om der er målt høje eller lave PAH-koncentrationer. Der findes størst variation mellem flere års målinger i prøver med lave PAH-koncentrationer.
- Der er ikke ved den gennemførte analyse af betydningen af normalisering i forhold til TOC og tørstof fundet entydig variation af fordelingen af PAH'er i forhold til koncentrationsniveauer.

En af årsagerne til de variationer, der ses mellem forekomsten af de enkelte PAH'er, er sandsynligvis, at PAH'erne stammer fra forskellige typer af kilder, primært fra to meget forskellige kilder: petrogene fra eksempelvis oliespild og pyrogene, eksempelvis luftforurening fra skibstrafik. Der er tidligere foretaget vurderinger af kilderne til PAH forurening i Danmark på basis af analyserede data, både for sediment (eks. Jacobsen et. al 2000) og muslinger (Hansen, 2007). For nogle prøver dominerer petrogene kilder, mens for andre dominerer pyrogene kilder. Imidlertid viser det generelle billede af danske prøver, for både sediment og muslinger, at der for langt de fleste områder er tale om blandingsforureninger, hvor der forekommer både pyrogen og petrogen påvirkning. Da PAH'er samtidig er bionedbrydelige i varierende grad, giver "alderen" en ekstra variationsparameter og i sediment spiller sammensætning, ilt, salinitet og den mikrobiologiske variation også ind.

3. Forekomst og koncentrationer af PAH'er i sediment fra ferskvand

Data fra måling af PAH'er i sediment fra vandløb og søer er behandlet i dette kapitel. Der foreligger ikke data fra målinger i biota fra ferskvand.

Vurderingerne er baseret på data fra årene 2012, 2014 og 2016. Begrundelsen for ikke at vælge samme år som ved vurdering af marine data er, at der stort set ikke forekom data fra 2011 for ferskvand. I modsætning til marine prøver indgår alle PAH'er ikke i samtlige analyser, og antallet af prøver mellem årene varierer også. Der er færrest analyser af naphthalen og de methylerede naphthalener, hvorfor de ikke er medtaget i beregningerne til vurdering af koncentrationer, men alene ved vurdering af fundhyppighed. I tabel 10 er antallet af målte enkelt PAH'er angivet som interval. Tabellen er inklusiv naphthalen og de methylerede naphthalener. Det skal bemærkes at for søsediment er det kun naphthalen og de methylerede naphthalener, der er analyseret i et mindre antal prøver. Resten af PAH'erne er analyseret i alle prøver.

Der er ved vurdering af data fra ferskvand anvendt samme metoder som ved vurdering af data fra marine områder. Metoderne er beskrevet i kapitel 2.1.1. For søer var der dog ikke tilgængelige data for tørstof og TOC fra alle årene.

Tabel 10. Antal analyser af enkelt PAH'er angivet som interval.

	2012	2014	2016
Vandløb	7-17	5-18	9-14
Søer	18-21	20-62	44

Til illustration af variationen af forekomst og indhold af PAH'er i fersk sediment er vist data for sum PAH i tre år for søer og vandløb, tabel 11 og 12. Data stammer fra ODA databasen.

Tabel 11. Oversigt over middel- og mediankoncentration af sum PAH (ng/g TS) i sediment fra vandløb samt minimum og maksimum koncentration i perioden 2012-2016.

Vandløb	Middel	Median	Min	Max
År: 2012 Baseret på 17 prøver				
Sum PAH ng/g TS	717	525	44	3.415
Tørstof %	20	18	7	42
TOC %	10	8	4	34
År: 2014 Baseret på 18 prøver				
sum PAH ng/g TS	626	163	17	2.912
Tørstof %	40	38	4	86
TOC %	5	4	0,2	15
År: 2016 Baseret på 14 prøver				
Sum PAH ng/g TS	1.642	1.646	334	4.265
Tørstof %	20	20	8	31
TOC %	12	10	1	41

Forklaring til tabel: Værdier er angivet som sum PAH i ng/g TS. Antallet af prøver pr år er variabel. I summen indgår PAH'er opført i tabel 1 bortset fra naphthalen og methylerede naphthalener.

Tabel 12. Oversigt over middel- og mediankoncentration af sum PAH i sediment fra søer samt minimum og maksimum koncentration i perioden 2012-2016.

Søer	middel	median	min	maks
År: 2012 Baseret på 62 prøver				
Sum PAH ng/g TS	665	436	45	3.023 (2.066)
Tørstof %	12	8	2	55
TOC %	12	10	1	41
År: 2014 Baseret på 62 prøver				
Sum PAH ng/g TS	2.267	547	16	66.980 (22.741)
Tørstof %	13	10	2	57
TOC %	-	-	-	-
År: 2016 Baseret på 44 prøver				
Sum PAH ng/g TS	5.974	1.658	44	138.200 (14.444)
Tørstof %	-	-	-	-
TOC %	-	-	-	-

Forklaring til tabel: Værdier er angivet som sum PAH i ng/g TS. Antallet af prøver pr år er variabel. I summen indgår PAH'er oplistet i tabel 1 bortset fra naphthalen og methylerede naphthalener. Tallet i parentes i kolonnen "maks" er den næsthøjeste sum PAH koncentration fundet det pågældende år.

Der er stor variation både i sedimentets sammensætning af PAH'er (fundhyppighed af enkelte PAH'er) og i PAH-koncentrationerne. Det er prøver fra forskellige vandløb, der indgår i vurderingerne for de enkelte år, og indholdet vil derfor variere afhængig af, hvor belastet de enkelte området er. Der er dog en tendens til, at søerne er mere forurenet end vandløbene, og bortset fra 2012 har søerne en betydeligt større koncentrationsspan. Det skal dog bemærkes maksimum koncentrationerne fra 2014 og 2016 stammer fra den samme sø. Der blev ikke analyseret sediment fra denne sø i 2012.

3.1 Fundhyppighed af de enkelte PAH'er

Fundhyppigheden er beregnet for alle PAH'er, som indgår i NOVANA ferskvand.

Fundhyppighederne er høje og ret ensartede for de fleste PAH'er. Enkelte PAH'er afviger fra dette, specielt dimethylphenanthrener og 2-methylpyren. Der ses en svag tendens til, at fundhyppigheden er lidt højere i søer end i vandløb.

Tabel 13. Oversigt over fundhyppighed i sediment i vandløb og søer for de enkelte PAH'er baseret på tre års data.

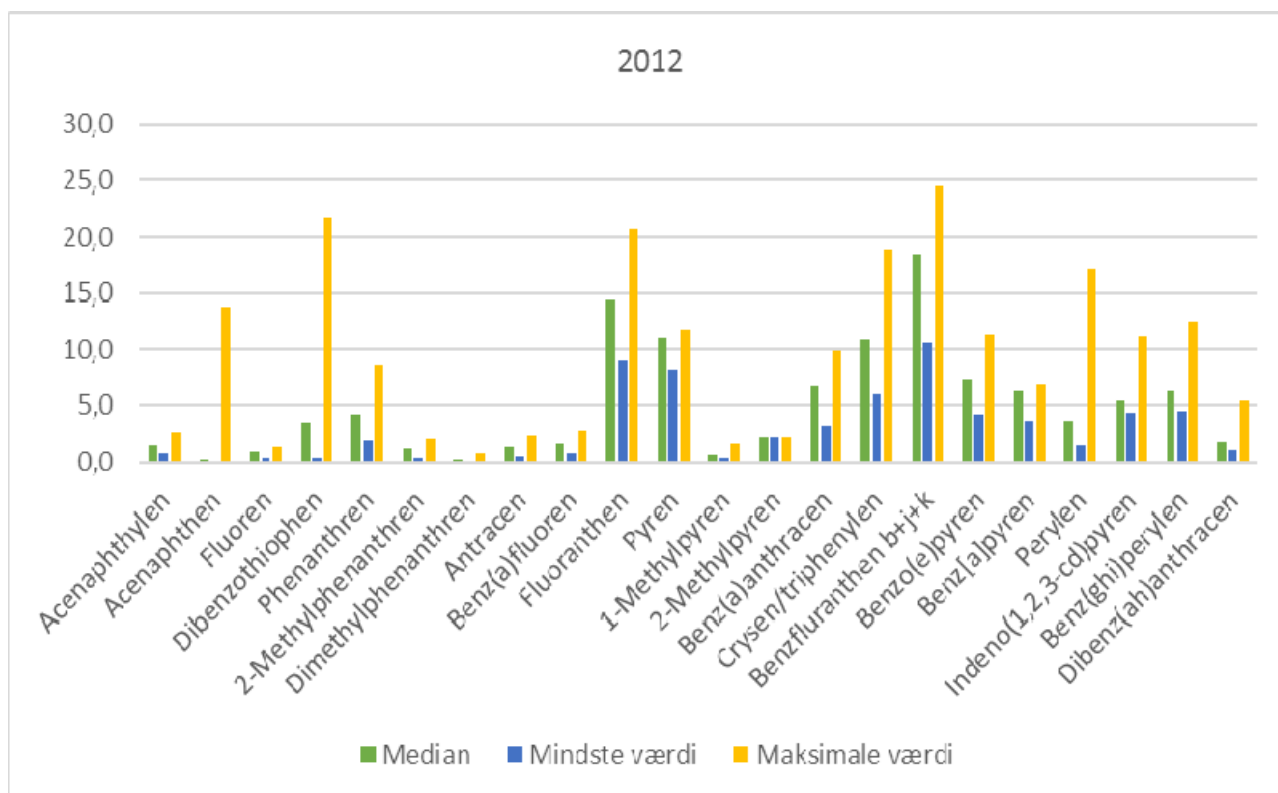
Ringstørrelse	Ferskvand	Sediment vandløb			Sediment søer		
		Fundhyppighed %			Fundhyppighed %		
		2012	2014	2016	2012	2014	2016
2	Naphthalen	43	100	100	94	100	100
2	1-Methyl-naphthalen	-	-	92	83	80	75
2	2-Methylnaphtalen	-	-	86	89	80	77
2	Dimethylnaphthalener	-	-	100	94	100	100
2	Trimethylnaphthalener	-	40	93	100	100	100
2+	Acenaphthylen	100	61	93	95	92	98
2+	Acenaphthen	80	31	67	76	50	59
2+	Fluoren	71	72	100	100	100	100
2+	Dibenzothiophen	94	33	100	24	76	91
3	Phenanthren	100	100	100	100	100	100
3	2-Methylphenanthren	100	72	86	29	87	59
3	Dimethylphenanthrener	29	22	14	29	55	18
3	Antracen	100	94	100	90	100	100
3+	Benz(a)fluoren	94	94	93	81	97	98
3+	Fluoranthren	100	100	100	95	98	100
4	Pyren	100	100	100	90	97	100
4	1-Methylpyren	80	85	89	76	85	93
4	2-Methylpyren	10	23	0	5	19	23
4	Benz(a)anthracen	100	94	100	95	95	100
4	Chrysen/Triphenylen	100	100	100	100	98	100
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	100	100	100	95	98	100
5	Benzo(e)pyren	100	94	100	95	98	100
5	Benz[a]pyren	100	100	100	95	98	100
5	Perylen	100	100	100	100	94	100
5+	Indeno(1,2,3-cd)pyren	100	89	100	95	90	100
6	Benz(ghi)perylen	100	100	100	95	98	100
5	Dibenzo(ah)anthracen	94	78	100	86	90	95

Forklaring til tabel: Fundhyppighed er beregnet som antal gange den pågældende PAH er påvist over detektionsgrænsen divideret med det samlede antal prøver for det pågældende år. Ringstørrelse: Tallet angiver antallet af aromatiske ringe, et + angiver at der yderligere indgår en 5 leddet ring (cyclopentan) i PAH molekylet. Se Appendiks 1 for strukturer.

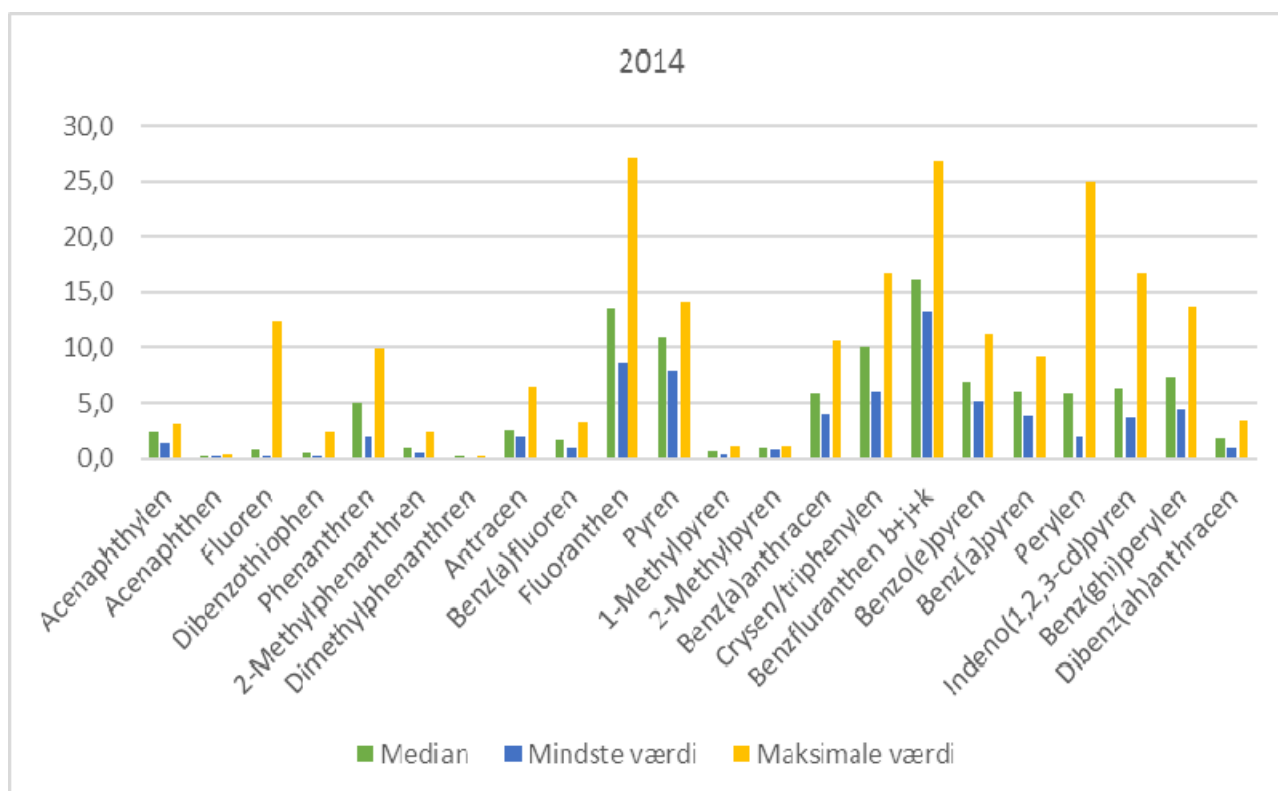
3.1.1 Relativ fordeling af de enkelte PAH'er

Ved vurdering på baggrund af middel, median samt mindste og maksimale værdi af relative koncentrationer af enkelte PAH'er (relativ i forhold til sum PAH) inden for et år, ses der større variation end ved vurdering på baggrund af fundhyppigheder.

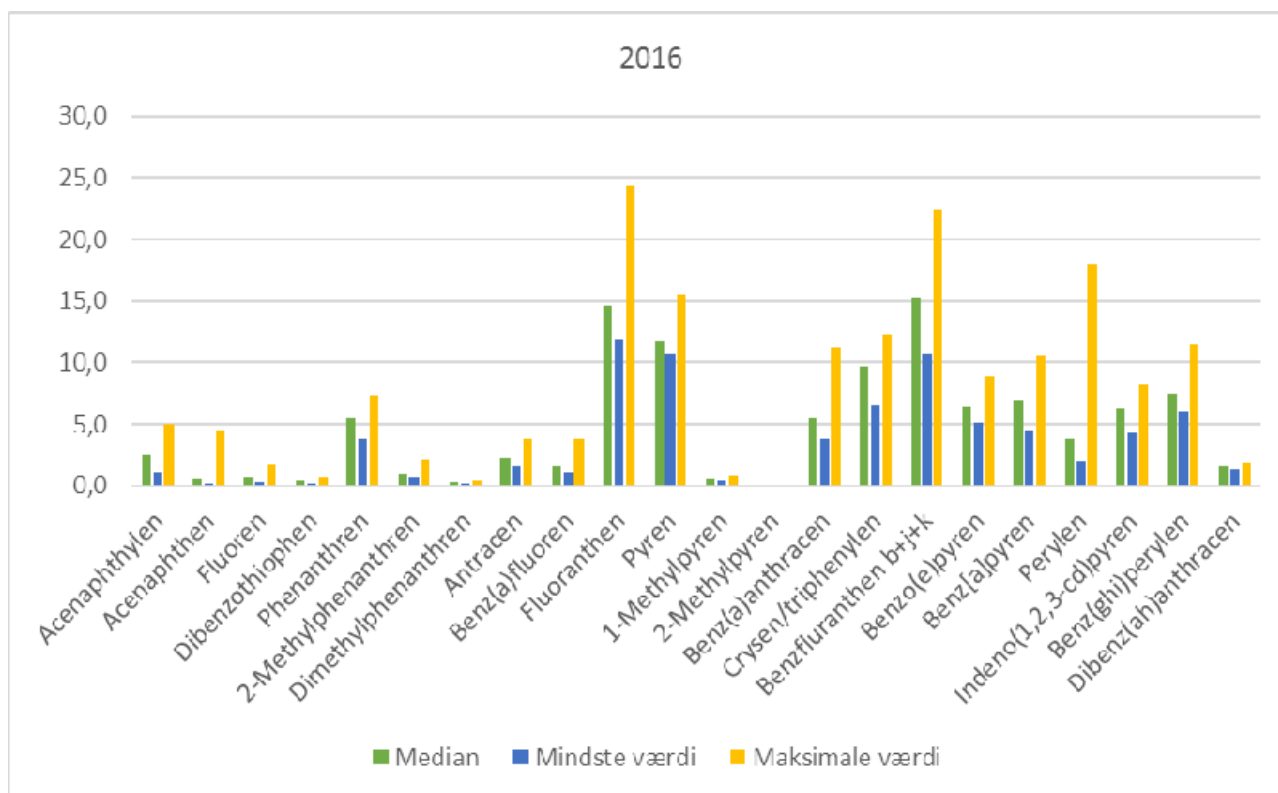
Variation i den relative sammensætning af PAH'er for de tre år kan ses i figur 14-16 for vandløbs sediment og figur 17-19 for søsediment.



Figur 14. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i vandløbs sediment for 2012.

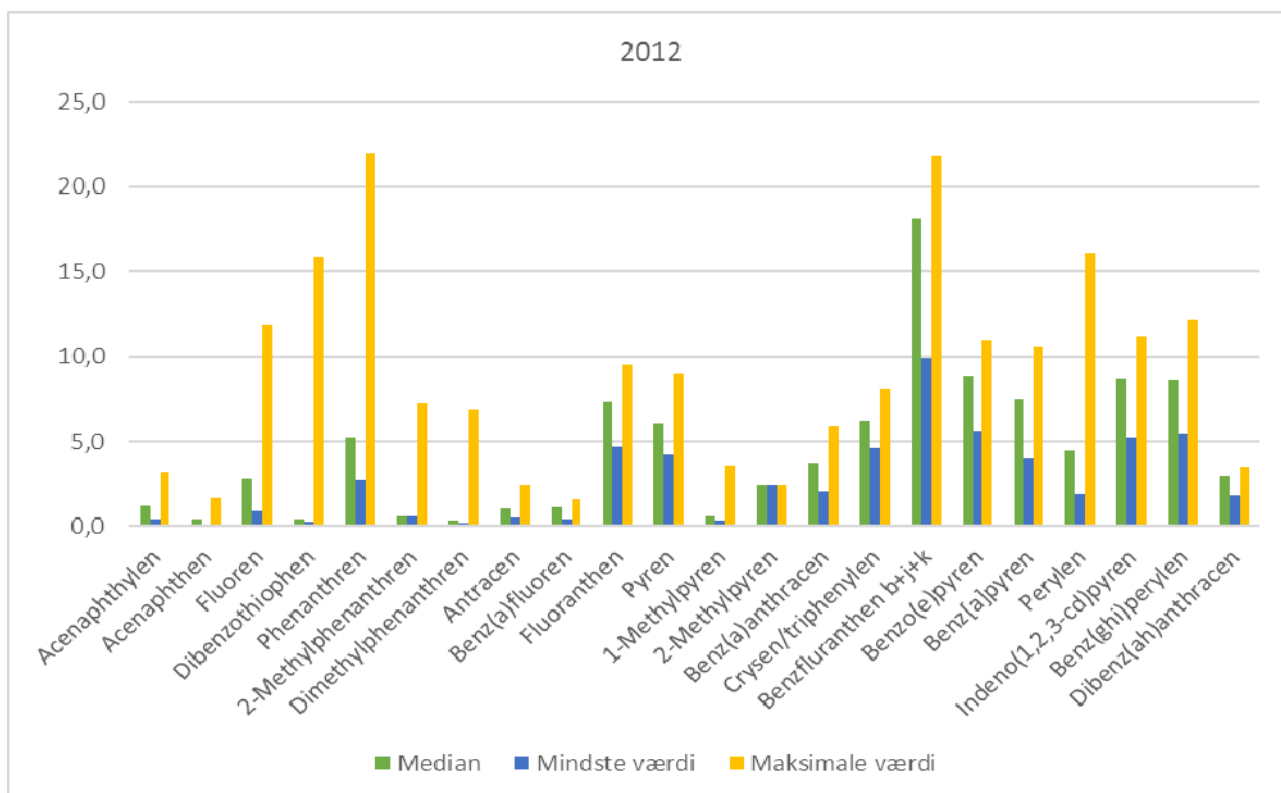


Figur 15. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i vandløbs sediment for 2014

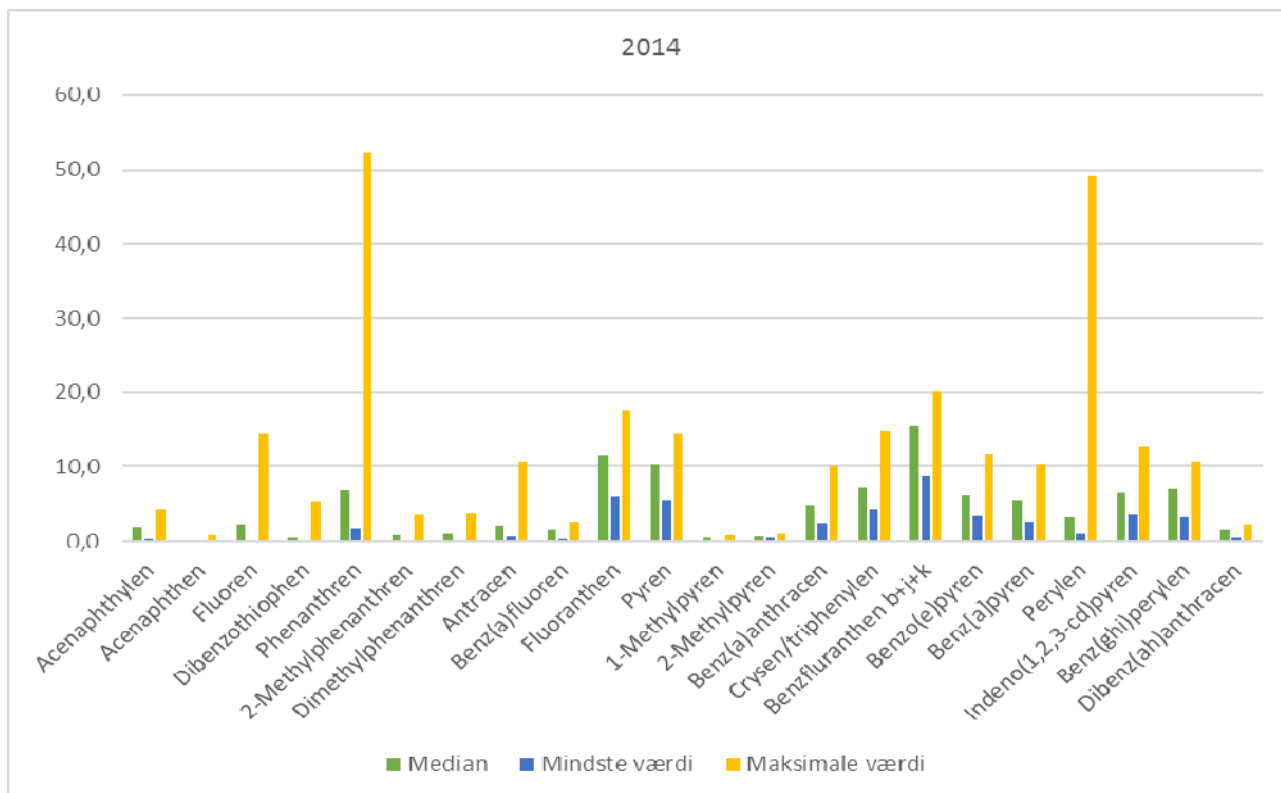


Figur 16. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i vandløbs sediment for 2016

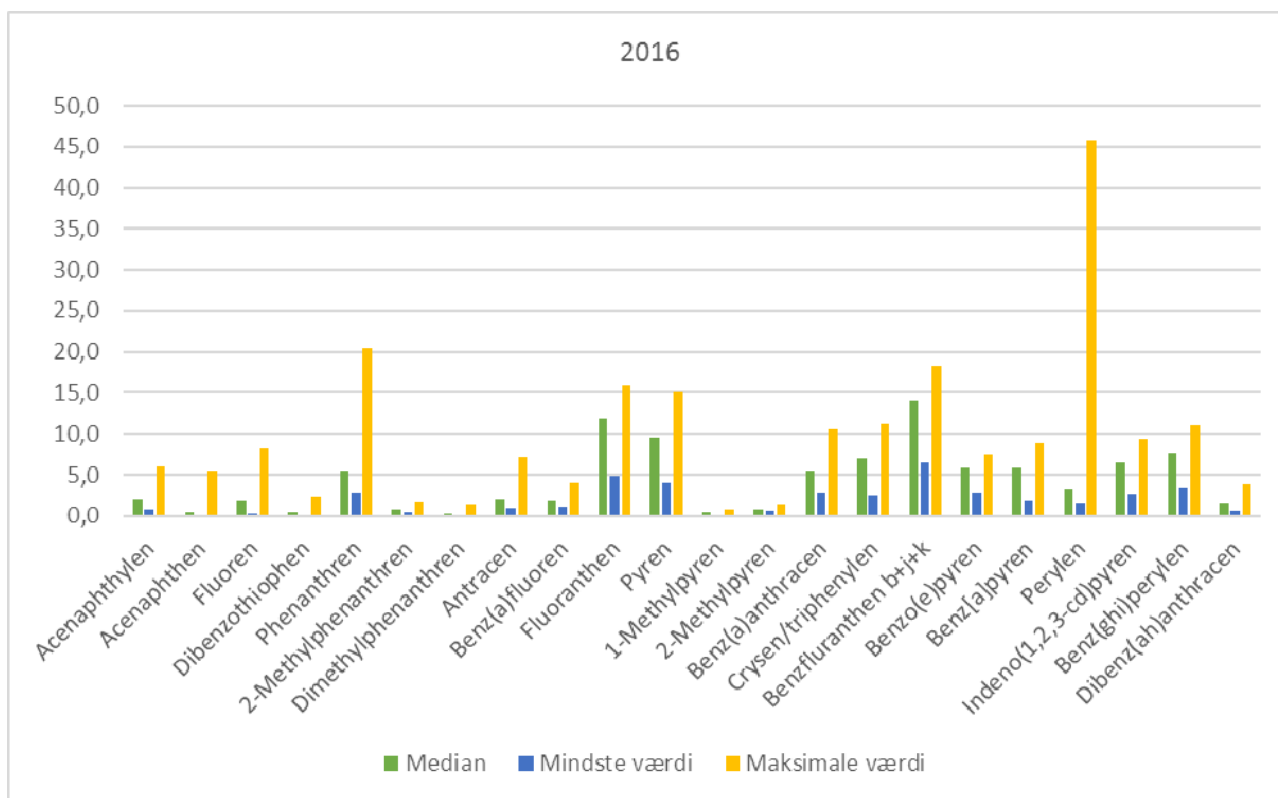
Det relative indhold af PAH'er i vandløbssediment varierer mindre end det relative indhold i marint sediment, hvilket indikerer mindre variation i sammensætningen af PAH'er i sediment i vandløb end i marine områder. Typisk er der en faktor 1 til 6 mellem højeste og laveste relative koncentrationer i vandløbssediment. Ved enkelte PAH'er ses dog større variation: acenaphthen, fluoren, dibenzothiophen og perylen. Den sidstnævnte dannes biogent, hvorfor den i enkelte ferskvandssedimenter optræder i relativt høje koncentrationer.



Figur 17. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i søsediment for 2012



Figur 18. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i søsediment for 2014.



Figur 19. Median, min og maks-koncentrationer vist som relative PAH-koncentrationer i søsediment for 2016

I søsediment (figur 17-19) er det især ved de lette PAH'er samt perylen, (fra acenaphthylen til phenanthrene), der ses stor variation i den relative sammensætning. Det relative indhold af de øvrige PAH'er varierer med en faktor 2-10 mellem den højeste og laveste relative koncentration.

3.1.2 Fordeling efter ringstørrelse af de enkelte PAH'er

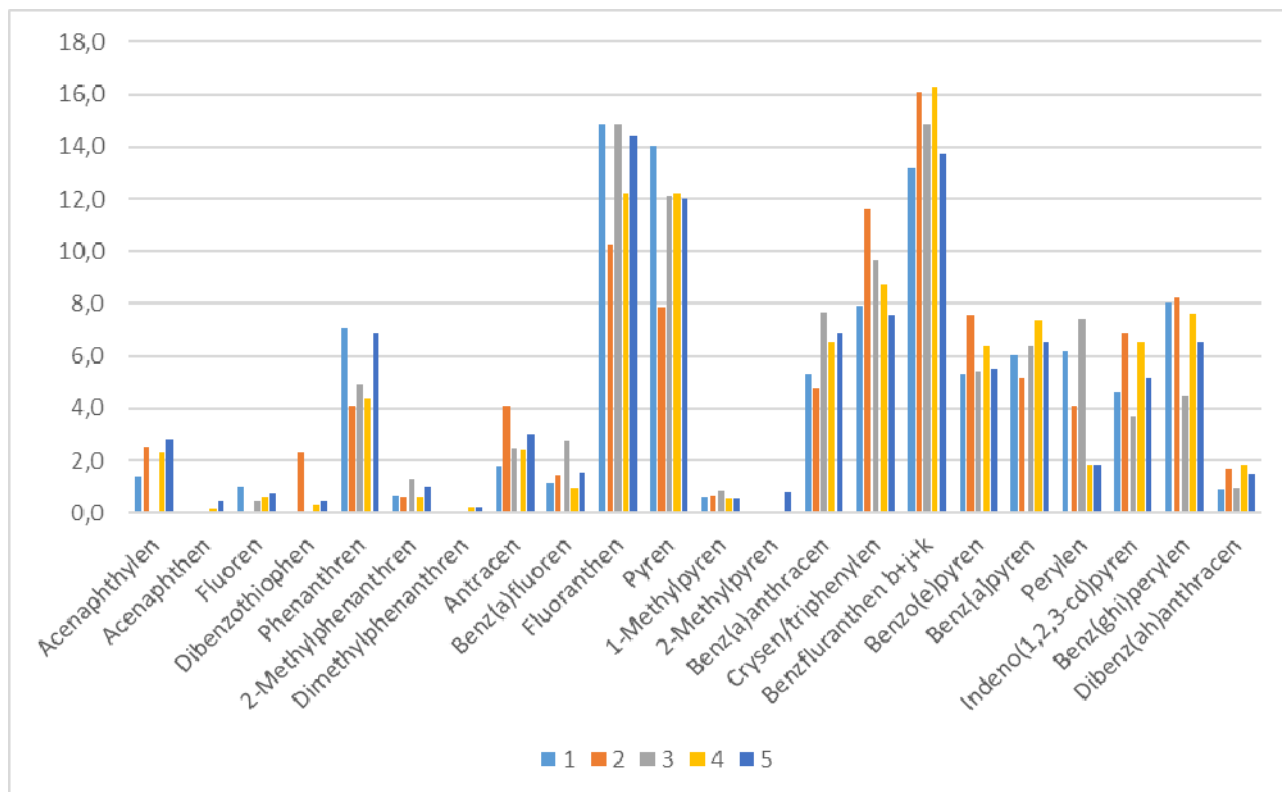
På baggrund af den i kap. 2.1.4 beskrevne teori om, at PAH-forbindelser med samme ringstørrelse opfører sig kemisk relativt ens, er der foretaget en vurdering af variationen i forhold til ringstørrelse af sediment fra vandløb og søer. Generelt er der fundet en vis ensartethed mellem de undersøgte år for både vandløbssediment og søsediment (tabel 14). For begge typer dominerer PAH'er med ringstørrelse 3+ og 4 samt 4+ og 5.

Tabel 14. Median af sum af relative PAH-koncentrationer summeret i forhold til ringstørrelser i ferskvandssediment.

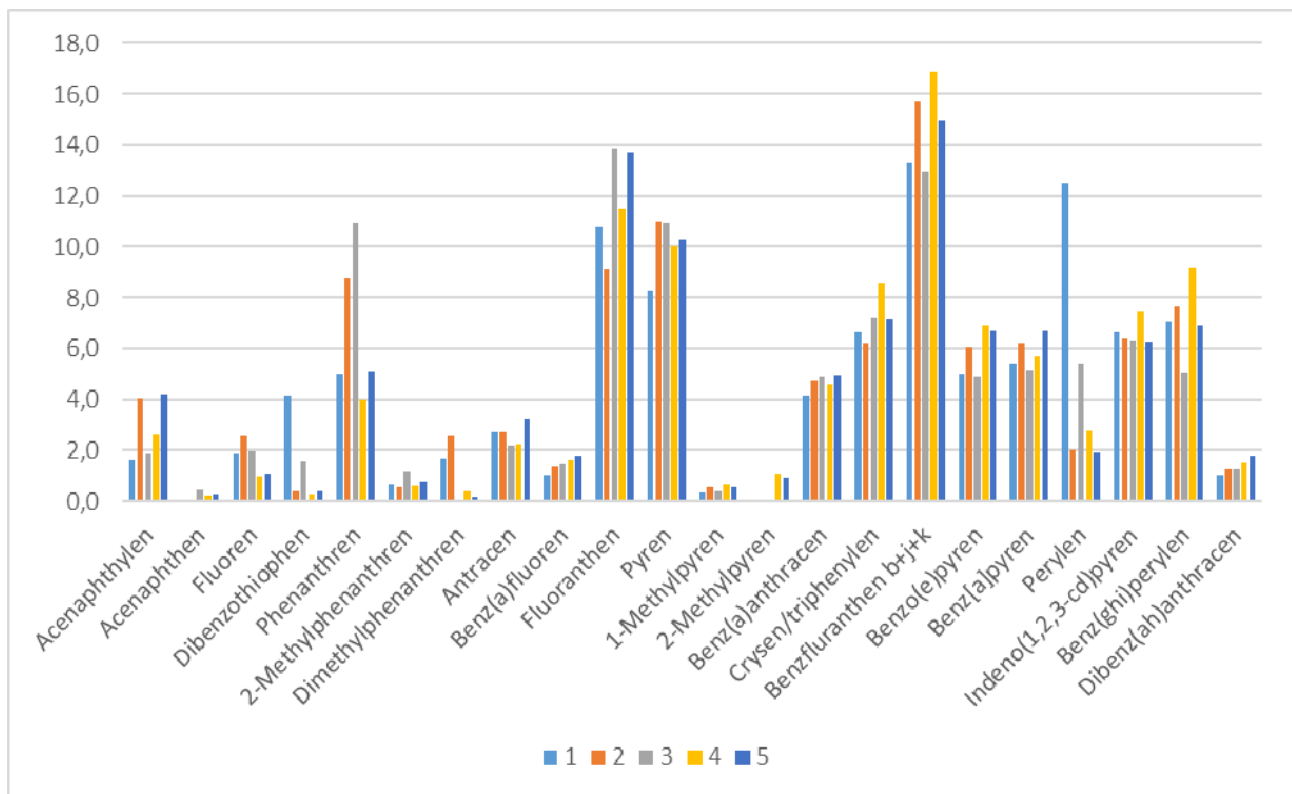
Ringstørrelse	Ferskvandssediment			Søsediment		
	2012	2014	2016	2012	2014	2016
2 og 2+	6,2	4,0	4,3	4,8	4,7	4,8
3	7,1	8,7	9,2	7,3	10,6	8,7
3+ og 4	47,5	43,6	43,6	27,3	36,7	37,2
4+ 5	37,4	36,5	33,8	41,8	31,9	30,8
5+ og 6	11,7	13,5	13,7	17,4	13,5	14,3

På grund af det lave antal prøver / data for hvert år i ferskvandssediment (14-18 prøver) giver det ikke mening, at vurdere, om koncentration og TOC har betydning for den relative sammensætning af PAH'er. For søsediment eksisterer der kun TOC data for 2012.

Figur 20 og 21 viser indholdet af PAH'er illustreret som relativt indhold i forhold til summen af PAH'er i fem udvalgte prøver inden for et år for henholdsvis vandløbssediment og søsediment. Prøverne er udvalgt, så de repræsenterer fem forskellige koncentrationsniveauer. I vandløbssediment dominerer de tungere PAH'er, mens det er mere blandet i søsediment, hvor der også ses større variation i den relative forekomst af PAH'erne. Endvidere ses det, at den relative forekomst af PAH'er med samme ringstørrelse er forskellig.



Figur 20. Relative koncentrationer af fem udvalgte prøver i vandløbssediment, 2014



Figur 21. Relative koncentrationer for 5 udvalgte prøver i sødsediment, 2014

3.2 Konklusion

På baggrund af NOVANA data fra undersøgelse af PAH'er i sediment fra vandløb og søer vurderes det, at det ikke er muligt at anvende enkelte PAH'er som indikator for de øvrige PAH'er uden, at der tabes information. Denne vurdering er begrundet i:

- For specielt søsediment er der fundet meget store koncentrationsforskelle mellem de forskellige søer, hvor de mindst belastede ligger under 50 ng / g TS i sum af PAH'er, mens indholdet i de mest belastede ligger på over 100 mg / g TS, altså mere end en faktor 2.000.
- Den relative fordeling i fersk sediment af de enkelte PAH'er i forhold til PAH sum-koncentrationen i de enkelte prøver varierer afhængig af, om der er målt høje eller lave PAH-koncentrationer. Det er dog mest udtalt for søsediment.
- Den relative forekomst af PAH'er med samme ringstørrelse er forskellig.

En af årsagerne til de variationer, der ses mellem forekomsten af de enkelte PAH'er, er sandsynligvis, at PAH'erne stammer fra forskellige typer af kilder, primært fra to meget forskellige kilder: petrogene fra eksempelvis oliespild og pyrogene, eksempelvis luftforurening fra skibstrafik. I fersk sediment dominerer de pyrogene kilder, det gælder specielt i vandløbssediment.

4. Toksicitet

I modsætning til de fleste andre POP'er (persistente organiske stoffer) er PAH'er i mindre grad bioakkumulerbare, og de kan nedbrydes i levende organismer. Nedbrydeligheden i miljøet af de enkelte PAH'er falder med stigende antal ringe (Hylland 2006).

De fleste PAH'er er karcinogener og de fleste toksikologiske undersøgelser har fokuseret på højmolekylære, kræftfremkaldende PAH'er såsom benzo[a]pyren (Hylland 2006).

Et hollandsk rapport (Verbruggen 2012) samlede økotoksikologiske data for bla. vand og sediment på en række udvalgte PAH'er. Rapporten viste, at der var relativt mange studier på fire PAH'er: Naphthalen, phenanthren, antracen og fluoranthen. For resten af de udvalgte PAH'er var datamaterialet mere begrænset, typisk 2-10 studier. Det har ikke været muligt inden for rammerne af dette notat at finde økotoksikologiske data på de stoffer, der ikke allerede er beskrevet indenfor enten OSPAR eller Vandrammedirektivet, samt de studier, der er angivet i tabel 16. Overordnet set kan det konkluderes ud fra de økotoksiske studier, at marine organismer er mere følsomme overfor PAH'er sammenlignet med ferskvandsorganismer.

Som nævnt er der fastsat miljøkvalitetskrav under Vandrammedirektivet, både europæiske og danske. Se tabel 15.

Tabel 15. Miljøkvalitetskrav (MKK) for PAH'er i biota og sediment

PAH	MKK, nationale	MKK, nationale	MKK, EU
	Sediment mg/kg	Biota µg/kg	Biota µg/kg
Naphthalen	0,138	2400	
2-Methylnaphthalen*			
1-Methylnaphthalen*			
Dimethylnaphthalener*			
Trimethylnaphthalener*	0,078*foc	2400	
Antracen	0,0048	2400	
Fluoranthen			30
Benz(b+j+k)fluoranthener			fodnote
Benz(a)pyren			5
Indeno(1.2.3-cd)pyren			fodnote
Benzo(ghi)perylene			fodnote

*for methylnaphthalenerne gælder sum. Foc er fraktion af organisk stof

Fodnote: For denne gruppe prioriterede stoffer, polyaromatiske hydrocarboner (PAH'er), gælder kvalitetskravene for biota og tilsvarende de generelle kvalitetskrav i vand for koncentrationen af benz(a)pyren, hvis toksicitet de er baseret på. Benz(a)pyren kan betragtes som markør for de øvrige PAH'er, og derfor behøver kun benz(a)pyren at blive overvåget.

De vurderingskriterier, der er angivet under OSPAR, ses i kapitel 5 (tabel 17 og 18).

For at komme med yderligere vurderinger af, om visse PAH'er ud fra et økotoxikologisk synspunkt kan være indikator for andre, er der taget udgangspunkt i forskellige studiers fastsættelse af kvalitetskrav og tox ækvivalenter for derved at vurdere PAH'erne i forhold til hinanden, ud over det arbejde der er foretaget i forbindelse med Vandrammedirektivet og OSPAR.

PAH'er varierer i toksicitet, og der er forskel på, om man alene medtager økotoxikologiske effekter eller human / mamale toksiske effekter også inddrages. Dette er illustreret i tabel 16.

Et hollandsk studie har angivet en række kvalitetskriterier for vand og sediment (Verbruggen 2012). Dette studie har primært lagt vægt på økotoxikologiske effekter. Et tilsvarende, rimelig omfattende studie af ældre dato viser det samme (Long et. 1995, Jacobsen et al 2000), Se tabel 16.

Tabel 16. Forskellige vurderingsstudier baseret på dels økotoxikologiske data i sediment dels generelle tox ækvivalenter.

Ring- størrelse	PAH	US EPA	Nisbet & LaGoy 1992	Verbruggen 2012	Verbruggen 2012	Long et al 1995	Long et al 1995
		TEF	TEF	MPC, Marin sediment mg/kg	MPC sedi- ment mg/kg	ERL sedi- ment mg/kg	ERM sedi- ment mg/kg
2	Naphthalen		0,001	0,16	0,16	0,16	2,1
2	2-Methylnaphthalen*					0,07	0,67
2	1-Methylnaphthalen*					0,085	0,8
2	Dimethylnaphthalener*						
2	Trimethylnaphthalener*						
2	Acenaphthylen	0,001	0,001	0,017	0,17	0,044	0,64
2+	Acenaphthen	0,001	0,001	0,1	0,97	0,016	0,5
2+	fluoren	0,001	0,001	0,17	0,83	0,019	0,54
2+	Dibenzothiophen		0,001			0,19	1,2
3	Phenanthren	0,001	0,001	0,78	0,78	0,24	1,5
3	2-methylphenanthren						
3	3.6-dimethylphenanthren						
3	Antracen	0,01	0,01	0,0047	0,047	0,085	1,1
3+	Benz(a)fluoren						
3+	Fluoranthen	0,001	0,001	4,11	4,11	0,6	5,1
4	Pyren	0,001	0,001	0,84	1,67	0,665	2,6
4	1-methylpyren						
4	Benz(a)antracen	0,1	0,01	0,04	0,35	0,26	1,6
4	Chrysen/Triphenylen	0,01	0,01	0,16	1,64	0,38	2,8
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	0,1	0,1	0,79	0,79		
5	Benz(e)pyren						
5	Benz(a)pyren	1	1	0,49	0,49	0,43	1,6
5	Perylen						
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	0,1	0,1	0,038	0,38	0,24	0,95
6	Benzo(ghi)perylen	0,01	0,01	0,049	0,49	0,085	0,33
5	Dibenzo(ah)antracen	5	0,1	0,018	0,18	0,065	0,26

Forklaring til tabellen: Ringstørrelse: Tallet angiver antallet af aromatiske ringe, et + angiver, at der yderligere indgår en 5 leddet ring (cyclopentan) i PAH molekylet. Se Appendiks 1 for strukturer. MPC: Max permissible concentration. ERL: Akut tox, Effects range-low. ERM: effects range-median. TEF: toksicitets ækvivalenter ranket ved at sætte Benz(a)pyren til 1 og vægte resten af PAH'erne i forhold til benz(a)pyren.

Resultaterne viser, at PAH'er med rimelig ens struktur kan have meget forskellig toksicitet. Specielt tydeligt er dette for phenanthren og antracen, men forskellen ses også for acenaphthen og acenaphthylen. Dette samme går igen i andre studier (eks. Boese et al. 1998, Gier et al. 2018, Loibner et al. 2004)

En anden mulighed er at vurdere toksiciteten ud fra tox ækvivalenter (TEF), hvor toksiciteten af de enkelte PAH'er er fastsat i forhold til benz(a)pyren, som er sat til 1, se tabel 16. Disse værdier er fastsat ud fra human toksikologiske kriterier og ikke ud fra økotoksikologiske. I tabellen er medtaget to studier dels kriterier fra US EPA og dels et ældre studie (Nisbet & LaGoy 1992) samt udbygget i Hansen et al. 2007.

Det betyder, at det primært er de tungere PAH'er (størst antal ringe), som har høj toksicitet i TEF vurderingerne. Det er de tunge PAH'er, der umiddelbart betragtes som mest skadende over for mamaler. Derfor er TEF vurdering også mere ensartede i forhold til ringstørrelse. Det samme er ikke tilfældet, når PAH'erne er vurderet mere økotoksikologisk, her er sammenhængen mellem ringstørrelse og toksicitet mindre udtalt.

5. PAH'er i internationale direktiver og konventioner

PAH'er er blandt de miljøfarlige stoffer, der normalt indgår i internationale direktiver og konventioner, når de omfatter miljøfarlige stoffer. I det følgende omtales de direktiver og konventioner, som omfatter forpligtelser eller aftaler om overvågning af PAH'er i vandmiljøet, og hvor overvågningsforpligtelsen imødekommes i NOVANA, jf. kapitel 1.

PAH'er er på vandrammedirektivets liste over prioriterede stoffer. Benz(a)pyren, benz(b)fluoranthren, benz(ghi)perylene, benz(k)fluoranthren og indeno(1,2,3-cd)pyren er anført som specifikke stoffer inden for gruppen af PAH'er, og i fodnote er det anført at, "benz(a)pyren kan betragtes som markør for de øvrige PAH'er, og derfor behøver kun benz(a)pyren at blive overvåget med henblik på sammenligning med EQS for biota eller tilsvarende AA-EQS i vand.". Antracen, fluoranthren og naftalen er på listen som enkeltstoffer. Alle, undtagen acenaphthen og naftalen, er klassificerede "prioriterede farlige" stoffer. Vandrammedirektivets kvalitetskrav til prioriterede stoffer er implementeret i dansk lovgivning i Bekendtgørelse nr. 1625 (2017) (se tabel 15, kapitel 4).

Havstrategidirektivet, som supplerer vandrammedirektivet ved at omfatte åbne marine områder, omfatter vandrammedirektivets liste over prioriterede stoffer.

I OSPAR-medlemslandene overvåges PAH i muslinger og sediment fra marine områder. I nedenstående tabel 17 og 18 er angivet vurderingskriterier (BAC og EAC) for de PAH'er, der indgår i aftalen om overvågning i OSPAR. (Se Appendiks 6).

Herudover indgår C1-C3 naphthalener, phenanthrener og dibenzothiophener i OSPAR-overvågningen. Der har vist sig at være behov for revurdering af vurderingskriterierne for disse stoffer og de indgår derfor pt. ikke i vurderingerne i regi af OSPAR.

Tabel 17. PAH'er i den årlige OSPAR-assessment for muslinger.

Muslinger	BAC	EAC
Naphthalen		340
Phenanthren	11,0	1700
Antracen		290
Fluoranthren	12,2	110
Pyren	9,0	100
Benz[a]antracen	2,5	80
Chrysen (Triphenylen)	8,1	
Benzo[a]pyren	1,4	600
Benzo[ghi]perylene	2,5	110
Indeno[123-cd]pyren	2,4	

Forklaring til tabellen: BAC: Background assessment criteria, EAC: Environmental assessment criteria.

Tabel 18. PAH'er i den årlige OSPAR-assessment for sediment.

Sediment	BAC	ERL
	All subregions except Iberian Sea and Gulf of Cadiz	All subregions
Naphthalen	8	160
Phenanthren	32	240
Antracen	5	85
Dibenzothiophen		190
Fluoranthen	39	600
Pyren	24	665
Benz[a]antracen	16	261
Chrysen (Triphenylen)	20	384
Benzo[a]pyren	30	430
Benzo[ghi]perylen	80	85
Indeno[123-cd]pyren	103	240

Forklaring til tabellen: BAC: Background assessment criteria, ERL: Effect range low.

I henhold til møde i Hazardous Substances and Eutrophication Committee, OSPAR, den 19-23 marts 2018 i Berlin har Danmark angivet, at man vil indbette data for følgende PAH'er i sediment og muslinger:

Phenanthren, Antracen; fluoranthen, pyren, benz[a]antracen; chrysen, benzo[a]pyren, benzo[ghi]perylen, indeno[1,2,3-cd]pyren, evt. udvidet med andre PAH'er og alkylerede PAH'er.

HELCOM har PAH inkluderet i aftalen om overvågningen i Østersølandene. HELCOM guideline for bestemmelse af PAH i sediment indeholder en opstilling af PAH'er "of interest for environmental monitoring". Opstillingen i HELCOM guideline omfatter de samme PAH'er som tabel 1, bortset fra benz(a)fluoren, som ikke er med på HELCOM's liste.

6. Analysepris

Analyse af PAH'er foregår i én analysegang, hvor de enkelte stoffer måles ved GC-MS (gaskromatografisk massespektrometri). Der er to undtagelser: Chrysen/triphenylen (2 PAH'er) samt benz(b+j+k)fluoranthener (3 PAH'er), som i begge tilfælde afrapporteres som sum. Årsagen til dette er analyseteknisk, da disse PAH'er er meget svære at adskille kromatografisk, dvs. de fremstår som en top.

Prisen for den kemiske analyse af PAH omfatter fire delelementer:

1. ekstraktion og oprensning,
2. klargøring til analyse på apparatur samt apparattid,
3. kvantificering af data
4. beregninger og kvalitetssikring.

Ved en reduktion af antallet af PAH'er vil det tidsmæssige forbrug pr analyse for pkt. 1) og 2) være uændret. Afhængig af i hvor stort omfang antallet reduceres, vil der være et reduceret tidsforbrug til pkt. 3) og 4). Som tommelfingerregel går halvdelen af analyseprisen til pkt. 1) og 2) og den anden halvdel til pkt. 3) og 4). Hvis antallet af målte PAH'er reduceres med eksempelvis 30 % i forhold til det nuværende måleprogram, forventes det at kunne give en reduktion på ca. 10-15 % i analyseprisen.

7. Samlet konklusion

Ud fra NOVANA data fra overvågning af muslinger og sediment fra marine områder vurderes det, at enkelte PAH'er ikke kan anvendes som indikator for de øvrige PAH'er uden at det vil betyde tab af information pga. den store variation i fundhyppighed og fordelingen mellem de enkelte PAH'er afhængig af, om der er tale om lave eller høje koncentrationsniveauer. For marint sediment var der mindre variation i fundhyppigheden sammenlignet med muslinger, men koncentrationsspandet og fordelingen mellem de enkelte PAH'er var højere. Det samme gør sig gældende for fersk sediment, hvor der er fundet store koncentrationsforskelle og fordelingen mellem de enkelte PAH'er varierede afhængig af om der blev målt høje eller lave PAH-koncentrationer. Det er dog mest udtalt for søsediment.

En af årsagerne til variationerne i koncentrationsniveauer og fordelingen mellem de enkelte PAH'er er sandsynligvis, at PAH'er stammer fra primært to meget forskellige kilder (pyrogene og petrogene), og det varierer hvilken kilde, der dominerer i det pågældende område, samt hvor belastet området er. Endvidere er PAH'er bionedbrydelige i varierende grad. I nogle af prøverne fra ferskvand er der fundet meget høje koncentrationer af perylen, som dannes biogent.

Inden for sum af ringstørrelser er der en vis ensartethed. Men også her forekommer der stor variation mellem de enkelte PAH'er med samme ringstørrelse i prøver fra både marine og ferske områder.

Der er en vis sammenhæng mellem ringstørrelse og toksicitet for TEF værdierne eftersom, at disse er vurderet overfor maksimal toksicitet, hvor stigende ringstørrelse til en vis grad hænger sammen med stigende toksicitet. Det samme er ikke tilfældet, når PAH'erne er vurderet i forhold til den økotoksikologiske effekt, her er sammenhængen mellem ringstørrelse og toksicitet mindre udtalt.

Nogle PAH'er i marine muslinger bliver detekteret sjældnere og i lave koncentrationer. Det drejer sig om dibenzothiophen, benz(a)fluoren, 1-methylpyren og benzo(ghi)perylen. For vandløbssediment og søsediment gælder det dimethylphenanthrener og 2-methylpyren. Udeladelse af disse fra PAH-analyserne vil derfor kun betyde et mindre tab af information. I marint sediment er der høj fundhyppighed af alle PAH'er.

Hvis antallet af PAH'er i PAH-analysen reduceres med eksempelvis 30 % i forhold til det nuværende måleprogram, forventes det at kunne give en reduktion på ca. 10-15 % i analyseprisen. En reduktion på 30 % svarer til ca. 9 PAH'er. Hvis der reduceres med de fire PAH'er angivet ovenfor, anslås reduktionen i prisen til at være på maks. 5 %.

8. Referencer

Boese, B. L., Lamberson, J. O., Swartz, R. C., Ozretich, R. and Cole, F. (1998). Photoinduced Toxicity of PAHs and Alkylated PAHs to a Marine Infaunal Amphipod (*Rhepoxynius abronius*). *Archives Environ. Cont. Toxicol.*, vol. 34, 235-240.

Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, J., Thorling, L., Brüsch, W., Ernstsén, V., Ellermann, T. and Bossi, R. 2015. Miljøfremmede stoffer og metaller i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2004-2012. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 242 s. - Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, nr. 142 <http://dce2.au.dk/pub/SR142.pdf>

Canadian Environmental Quality Guidelines. (1999). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Canadian Council of Ministers of the Environment. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/243>

Geier, M.C., Chlebowski, A.C., Truong, L., Simonich, S.L. M., Anderson, K.A. and Tanguay, R.L. (2018). Comparative developmental toxicity of a comprehensive suite of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Archives Toxicol.*, vol. 92, 571–586.

Hansen, A.B. (2007). PAH i muslinger fra indre danske farvande, 1998-2005. Niveauer, udvikling over tid og vurdering af mulige kilder. Faglig rapport fra DMU nr. 613.

HASEC 2018 meeting:
<https://www.ospar.org/meetings/archive?q=HASEC&a=&y=1997&s>

HELCOM: Guidelines for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in sediment.
<http://www.helcom.fi/Documents/Action%20areas/Monitoring%20and%20assessment/Manuals%20and%20Guidelines/Guidelines%20for%20determination%20of%20PAH%20in%20sediment.pdf>

Hylland, K. (2006). Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH). *Ecotoxicology in marine ecosystems. J. Toxicol. Environ. Health, Part A*, vol. 69, 109–123.

Jacobsen, J.A., Strand, J., Foverskov, S., Pritzl, G., Lassen, P., Thomsen, M., Toudal, K. og Larsen, H. (2000), Antibegroningsmidler og PAH i havbunden i Vadehavet samt i Esbjerg og Rømø havne. Amternes Vadehavssamarbejde.

Loibner, A.P., Szolar, O.H.J., Braun, R. and Hirmann, D. (2004). Toxicity testing of 16 priority polycyclic aromatic hydrocarbons using Lumistox. *Environ. Tox. Chem.*, vol. 23, 557-564.

Long, E.R., MacDonald, D.D, Smith, S.L. and Calder, F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Env. Manag.*, vol. 19, 81-97.

Miljø- og Fødevareministeriet (2017) Bekendtgørelse nr. 1625 af 16. december 2017 om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand.

Miljøstyrelsen (2017). NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2017-21. <http://mst.dk/media/141463/novana-2017-21-programbeskrivelse.pdf>

Nisbet, I.C.T. and LaGoy, P.K. (1992). Toxic Equivalence Factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Regulatory Toxicol. Pharmacol., vol. 16, 290-300.

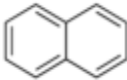
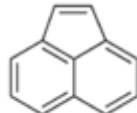
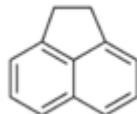
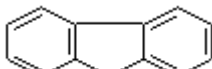
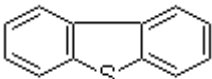
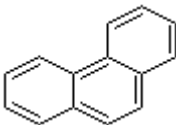
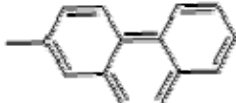
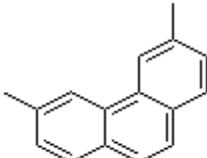
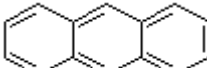
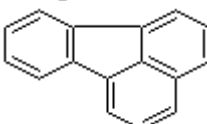
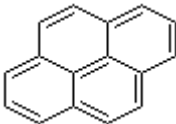
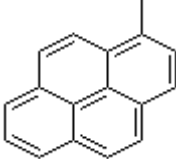
US EPA (2010). Development of a relative potency factor (RPF) approach for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) mixtures. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=194584>

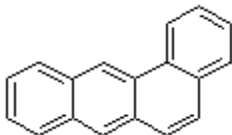
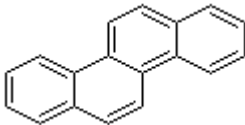
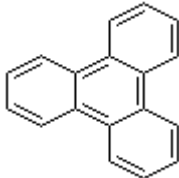
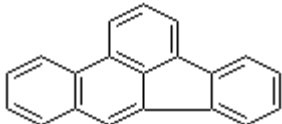
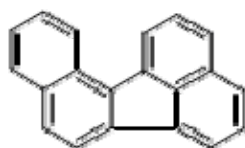
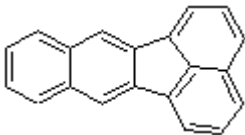
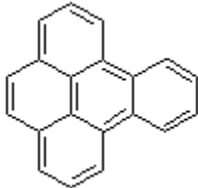
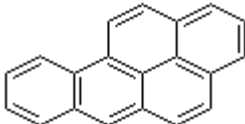
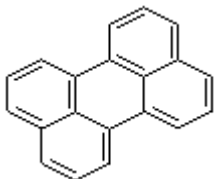
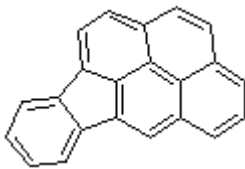
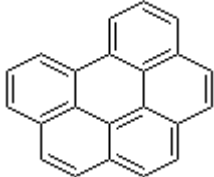
Verbruggen, E.M.J. (2012) Environmental risk limits for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). For direct aquatic, benthic, and terrestrial toxicity. RIVM report 607711007/2012. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/607711007.pdf>

Wisconsin Department of Natural Resources (2015). PAH Group of 10 calculation of concentration using TEF's.

Appendiks 1

Strukturer af PAH'er

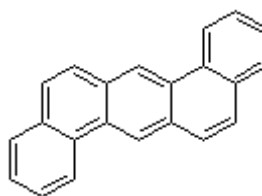
Ringstørrelse	PAH	Cas nr.	Struktur
2	Naphthalen	91-20-3	
2+	Acenaphthylen	208-96-8	
2+	Acenaphthen	83-32-9	
2+	Fluoren	86-73-7	
2+	Dibenzothiophen	132-65-0	
3	Phenanthren	85-01-8	
3	2-methylphenanthren	2531-84-2	
3	3,6-dimethylphenanthren	1576-67-6	
3	Antracen	120-12-7	
3+	Benz(a)fluoren	238-84-6	
3+	Fluoranthen	206-44-0	
4	Pyren	129-00-0	
4	1-methylpyren	2381-21-7	

4	Benz(a)antracen	56-55-3	
4	Chrysen	218-01-9/	
4	Triphenylen	217-59-4	
4+	Benz(b)fluoranthen	205-99-2	
4+	Benz(j)fluoranthen	205-82-3	
4+	Benz(k)fluoranthen	207-08-9	
5	Benz(e)pyren	192-97-2	
5	Benz(a)pyren	50-32-8	
5	Perylen	198-55-0	
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	193-39-5	
6	Benzo(ghi)perylen	191-24-2	

5

Dibenzo(ah)antracen

53-70-3



Appendiks 2

Data for marine muslinger.

Relative variation over alle data for 2011

Ring størrelse	PAH	2011			
		Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	6,7	2,7	15,5	12,8
2+	Acenaphthylen	2,2	1,2	4,4	3,2
2+	Acenaphthen	8,8	3,8	46,8	43,1
2+	Fluoren				
2+	Dibenzothiophen	1,8	1,4	6,5	5,1
3	Phenanthren	20,1	6,3	36,0	29,7
3	2-methylphenanthren	3,3	1,5	6,2	4,7
3	3.6-dimethylphenanthren	5,0	1,3	22,8	21,5
3	Antracen	2,8	1,3	7,0	5,7
3+	Benz(a)fluoren	1,9	1,5	2,2	0,7
3+	Fluoranthen	14,7	6,1	34,3	28,2
4	Pyren	9,6	5,3	18,0	12,7
4	1-methylpyren	2,2	1,3	3,0	1,7
4	Benz(a)antracen	4,5	1,3	11,6	10,3
4	Chrysen/Triphenylen	5,3	1,7	15,9	14,1
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	7,2	2,4	17,4	15,0
5	Benz(e)pyren	3,4	2,3	17,8	15,5
5	Benz(a)pyren	3,6	1,6	21,1	19,5
5	Perylen	3,7	0,6	16,2	15,6
5	Dibenzo(ah)antracen	3,7	0,0	5,9	5,9
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	3,6	1,5	8,2	6,7
6	Benzo(ghi)perylen	4,6	1,8	4,8	3,0

Relative variation over alle data for 2013

Ring stør- relse	PAH	2013			
		Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	7,2	1,3	22,6	21,3
2+	Acenaphthylen	3,0	0,7	7,6	6,9
2+	Acenaphthen	13,4	3,0	25,5	22,4
2+	Fluoren				
2+	Dibenzothiophen	1,0	1,0	1,0	0,0
3	Phenanthren	15,7	5,6	35,7	30,1
3	2-methylphenanthren	5,1	2,1	11,2	9,1
3	3.6-dimethylphenanthren	4,9	3,4	13,9	10,5
3	Antracen	1,9	1,3	2,5	1,2
3+	Benz(a)fluoren	0,8	0,8	0,8	0,0
3+	Fluoranthren	17,3	7,3	27,7	20,4
4	Pyren	11,3	2,3	20,5	18,2
4	1-methylpyren	2,0	0,6	2,6	2,0
4	Benz(a)antracen	4,4	2,4	10,9	8,5
4	Chrysen/Triphenylen	5,7	2,9	10,3	7,4
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	10,1	5,7	18,5	12,8
5	Benz(e)pyren	5,1	2,2	13,9	11,7
5	Benz(a)pyren	4,5	2,0	10,2	8,2
5	Perylen	4,3	1,1	18,5	17,4
5	Dibenzo(ah)antracen	7,0	2,0	10,4	8,3
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	3,9	1,5	4,9	3,4
6	Benzo(ghi)perylen	3,7	2,0	8,7	6,7

Relative variation over alle data for 2015

Ring størrelse	PAH	2015			
		Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	6,1	1,2	16,4	15,2
2+	Acenaphthylen				
2+	Acenaphthen	3,9	1,0	20,2	19,2
2+	Fluoren	3,7	1,1	6,0	4,9
2+	Dibenzothiophen	1,9	0,8	5,1	4,3
3	Phenanthren	11,3	3,2	32,9	29,7
3	2-methylphenanthren	6,7	1,9	16,5	14,6
3	3.6-dimethylphenanthren	1,6	0,8	2,9	2,1
3	Antracen	0,8	0,4	2,2	1,8
3+	Benz(a)fluoren	1,4	0,9	2,6	1,7
3+	Fluoranthen	13,9	4,9	28,1	23,2
4	Pyren	10,4	5,6	20,5	14,9
4	1-methylpyren	1,0	0,3	2,7	2,4
4	Benz(a)antracen	5,1	1,9	13,7	11,8
4	Chrysen/Triphenylen	8,8	3,9	14,9	11,0
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	14,1	5,8	27,4	21,7
5	Benz(e)pyren	5,0	1,8	15,2	13,4
5	Benz(a)pyren	2,6	0,9	10,5	9,7
5	Perylen	4,7	1,1	25,2	24,2
5	Dibenzo(ah)antracen	1,2	0,5	2,8	2,3
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	3,0	1,0	5,9	4,9
6	Benzo(ghi)perylen	3,6	1,2	8,2	7,1

Relative variation fordelt på koncentrationsniveauer for 2011, 2013 og 2015

		konc 10-20 ng/g 2011				konc 20-30 ng/g 2011				konc 30-50ng/g 2011			
		Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	10,9	3,1	15,5	12,5	6,1	2,7	10,7	8,0	5,2	3,4	13,4	10,0
2+	Acenaphthylen	2,7	1,8	3,6	1,9	2,5	2,2	4,4	2,2	1,8	1,2	2,1	0,8
2+	Acenaphthen	8,6	4,0	18,2	14,2	7,3	3,8	26,6	22,8	9,2	7,1	46,8	39,7
2+	Fluoren												
2+	Dibenzothiophen					2,4	2,2	2,5	0,3	1,7	1,4	6,5	5,1
3	Phenanthren	20,1	6,3	33,9	27,6	21,5	6,7	36,0	29,3	15,5	10,1	28,0	17,9
3	2-methylphenanthren	3,3	2,1	5,3	3,2	3,5	1,9	6,2	4,3	3,1	1,5	5,8	4,3
3	3.6-dimethylphenanthren	4,2	2,9	7,4	4,5	5,4	1,3	22,8	21,5	15,9	15,8	15,9	0,1
3	Antracen	3,4	3,4	3,4	0,0	2,7	2,0	3,1	1,1	3,8	1,3	7,0	5,7
3+	Benz(a)fluoren									1,9	1,5	2,2	0,7
3+	Fluoranthren	12,6	8,5	30,8	22,2	15,2	9,5	34,3	24,8	13,4	6,1	27,7	21,6
4	Pyren	10,8	6,4	18,0	11,6	10,2	6,1	15,4	9,3	8,3	5,3	14,1	8,8
4	1-methylpyren	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	1,3	3,0	1,7				
4	Benz(a)antracen	4,3	3,1	9,1	5,9	4,3	1,9	8,3	6,4	5,2	1,3	11,6	10,3
4	Chrysen/Triphenylen	4,0	2,7	15,9	13,2	7,9	2,0	15,3	13,3	9,0	1,7	13,8	12,0
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	9,3	3,6	17,4	13,9	6,3	2,4	14,5	12,1	7,1	2,8	14,6	11,8
5	Benz(e)pyren	6,0	2,9	17,8	14,9	3,2	2,3	10,2	7,9	3,6	1,9	8,1	6,3
5	Benz(a)pyren	4,8	3,4	6,4	3,0	3,0	1,9	8,6	6,7	2,3	1,6	21,1	19,5
5	Perylen	5,2	1,7	16,2	14,5	3,7	0,6	16,1	15,5	2,7	0,8	9,1	8,4
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	4,6	2,2	6,2	4,1	3,1	0,0	5,9	5,9	3,7	1,3	5,1	3,9
6	Benzo(ghi)perylen	5,5	2,7	8,2	5,5	3,3	2,0	5,3	3,3	2,6	1,5	8,1	6,6
5	Dibenzo(ah)antracen	4,8	4,7	4,8	0,1	3,6	2,7	4,6	1,9	1,8	1,8	1,8	0,0

	konc 7-20 ng/g				konc 21-34 ng/g			
	2013				2013			
	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
Naphthalen	9,2	3,8	22,6	18,7	6,0	3,8	13,1	9,3
Acenaphthylen	6,9	6,2	7,6	1,4	2,9	2,8	3,0	0,2
Acenaphthen	16,1	8,2	25,5	17,3	8,8	4,1	18,2	14,1
Fluoren								
Dibenzothiophen								
Phenanthren	16,0	8,8	35,7	27,0	14,4	5,6	29,2	23,6
2-methylphenanthren	5,1	2,1	11,2	9,1	4,6	2,9	6,1	3,2
3.6-dimethylphenanthren	8,1	3,4	13,9	10,5	4,0	3,5	4,6	1,1
Antracen					2,2	1,9	2,5	0,6
Benz(a)fluoren								
Fluoranthren	16,7	7,3	27,7	20,4	17,6	12,2	23,4	11,2
Pyren	11,6	2,3	20,5	18,2	10,0	6,8	14,5	7,8
1-methylpyren	2,1	1,9	2,6	0,7				0,0
Benz(a)antracen	4,7	2,4	10,9	8,5	3,4	2,7	8,9	6,2
Chrysen/Triphenylen	6,1	2,9	10,3	7,4	5,7	3,8	8,7	4,9
Benz(b+j+k)fluoranthener	9,6	5,7	18,5	12,8	11,3	6,1	17,0	10,9
Benz(e)pyren	5,5	3,7	13,9	10,2	4,7	2,2	8,3	6,1
Benz(a)pyren	4,9	3,0	10,2	7,1	3,5	2,0	7,2	5,2
Perylen	4,7	2,4	18,5	16,1	2,1	1,1	12,2	11,0
Indeno(1.2.3-cd)pyren	4,3	3,3	4,9	1,7	2,7	2,1	4,6	2,5
Benzo(ghi)perylen	4,4	3,1	8,7	5,6	3,1	2,6	3,8	1,2
Dibenzo(ah)antracen	9,3	7,0	10,4	3,3	3,4	2,0	4,7	2,7

		konc 10-20 ng/g				konc 20-30 ng/g				konc 30-70 ng/g			
		2015				2015				2015			
		Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	6,8	4,3	13,1	8,8	5,2	2,7	11,7	9,0	1,8	1,2	16,4	15,2
2+	Acenaphthylen				0,0				0,0				0,0
2+	Acenaphthen	3,9	1,8	10,4	8,6	4,4	2,0	9,7	7,7	1,6	1,0	20,2	19,2
2+	Fluoren	4,5	3,4	6,0	2,6	3,4	2,7	4,1	1,4	2,2	1,1	4,9	3,9
2+	Dibenzothiophen	2,5	1,7	5,1	3,4	1,7	1,2	2,1	0,9	1,1	0,8	3,1	2,3
3	Phenanthren	12,4	6,0	29,2	23,1	11,2	5,5	22,2	16,7	9,0	3,2	32,9	29,7
3	2-methylphenanthren	6,8	1,9	16,5	14,6	6,6	4,3	10,2	5,9	7,7	2,7	13,0	10,3
3	3.6-dimethylphenanthren					2,2	2,0	2,9	1,0	1,4	0,8	2,3	1,6
3	Antracen	1,0	0,7	1,3	0,6	0,7	0,4	1,3	0,9	0,7	0,4	2,2	1,8
3+	Benz(a)fluoren	1,3	1,1	1,8	0,7	1,3	0,9	2,6	1,7	1,6	0,9	2,0	1,0
3+	Fluoranthren	14,8	11,6	28,1	16,5	11,0	4,9	21,9	17,0	14,3	8,2	18,5	10,2
4	Pyren	11,6	6,5	20,5	14,0	10,0	5,6	18,7	13,1	10,0	6,5	18,6	12,0
4	1-methylpyren	1,0	0,6	2,2	1,5	0,9	0,5	2,7	2,2	1,1	0,3	1,7	1,4
4	Benz(a)antracen	5,3	3,5	13,4	9,9	6,2	3,4	13,7	10,3	4,2	1,9	10,4	8,5
4	Chrysen/Triphenylen	9,2	3,9	14,9	11,0	9,7	4,7	13,8	9,1	7,2	4,9	12,4	7,5
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	13,7	6,0	22,9	16,8	14,6	5,8	27,4	21,7	13,4	5,8	22,1	16,4
5	Benz(e)pyren	5,3	2,8	12,5	9,8	4,1	2,0	8,4	6,3	4,6	1,8	15,2	13,4
5	Benz(a)pyren	4,0	2,1	10,5	8,5	3,2	1,4	4,1	2,6	1,5	0,9	2,7	1,8
5	Perylen	8,7	2,7	25,2	22,6	5,1	1,4	19,4	18,0	3,5	1,1	7,0	5,9
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	3,2	2,5	5,9	3,4	3,8	1,5	5,1	3,5	2,2	1,0	5,1	4,2
6	Benzo(ghi)perylen	4,0	1,6	8,2	6,6	4,3	1,9	6,3	4,4	2,9	1,2	6,3	5,2
5	Dibenzo(ah)antracen	2,0	1,2	2,8	1,6	1,3	1,0	1,5	0,5	0,9	0,5	1,2	0,7

Appendiks 3

Data for marint sediment.

Relative variation over alle data for 2011, 2013 og 2015

Ring stør- relse	PAH	Median	2011		
			mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	1,4	0,4	3,8	3,4
2+	Acenaphthylen	0,6	0,2	2,9	2,7
2+	Acenaphthen	2,6	0,2	8,2	7,9
2+	Fluoren		0,0	0,0	0,0
2+	Dibenzothiophen	0,8	0,5	14,4	13,9
3	Phenanthren	5,1	2,4	8,9	6,6
3	2-methylphenanthren	1,0	0,5	2,3	1,8
3	3.6-dimethylphenanthren	0,4	0,2	1,2	1,0
3	Antracen	1,2	0,4	4,5	4,1
3+	Benz(a)fluoren	0,4	0,1	2,2	2,2
3+	Fluoranthren	12,8	5,9	26,8	20,9
4	Pyren	9,2	5,6	13,1	7,5
4	1-methylpyren	3,1	0,4	4,9	4,4
4	Benz(a)antracen	3,4	2,1	6,7	4,6
4	Chrysen/Triphenylen	3,7	2,1	6,7	4,6
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	17,3	12,7	28,1	15,4
5	Benz(e)pyren	6,0	4,0	9,5	5,4
5	Benz(a)pyren	5,5	2,9	8,2	5,3
5	Perylen	3,9	1,2	23,3	22,1
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	8,6	5,1	17,7	12,6
6	Benzo(ghi)perylen	8,1	5,0	11,2	6,2
5	Dibenzo(ah)antracen	1,6	1,0	2,7	1,8

2013					
Ring stør- relse	PAH	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	1,2	0,3	15,2	14,9
2+	Acenaphthylen	1,0	0,2	9,3	9,1
2+	Acenaphthen	1,0	0,0	57,5	57,5
2+	Fluoren	0,9	0,7	1,1	0,3
2+	Dibenzothiophen	0,6	0,3	1,9	1,6
3	Phenanthren	5,5	2,9	21,1	18,2
3	2-methylphenanthren	1,7	0,5	3,4	2,9
3	3.6-dimethylphenanthren	0,3	0,1	0,5	0,4
3	Antracen	1,7	0,1	24,7	24,6
3+	Benz(a)fluoren	2,3	0,6	6,3	5,7
3+	Fluoranthren	11,3	5,7	45,4	39,7
4	Pyren	10,4	2,1	15,1	13,0
4	1-methylpyren	0,7	0,4	2,5	2,1
4	Benz(a)antracen	5,0	1,1	26,7	25,6
4	Chrysen/Triphenylen	6,2	2,0	12,0	10,0
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	15,0	8,5	22,2	13,7
5	Benz(e)pyren	5,7	2,4	8,9	6,4
5	Benz(a)pyren	6,8	3,0	26,8	23,9
5	Perylen	3,0	1,4	8,7	7,3
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	9,1	4,9	27,1	22,1
6	Benzo(ghi)perylene	6,8	3,7	12,8	9,1
5	Dibenzo(ah)antracen	1,3	0,7	3,7	3,1

2015					
Ring stør- relse	PAH	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	1,3	0,5	2,6	2,1
2+	Acenaphthylen	0,5	0,3	1,4	1,1
2+	Acenaphthen	0,2	0,1	0,3	0,2
2+	Fluoren	0,7	0,6	1,1	0,5
2+	Dibenzothiophen	0,5	0,2	0,9	0,7
3	Phenanthren	4,8	2,3	17,8	15,5
3	2-methylphenanthren	1,4	0,7	10,4	9,7
3	3.6-dimethylphenanthren	0,3	0,3	2,0	1,7
3	Antracen	1,2	0,2	2,2	2,1
3+	Benz(a)fluoren	1,9	0,6	3,1	2,5
3+	Fluoranthren	10,7	7,6	19,0	11,4
4	Pyren	8,8	6,2	15,5	9,3
4	1-methylpyren	0,7	0,5	2,5	2,1
4	Benz(a)antracen	6,0	4,2	71,5	67,3
4	Chrysen/Triphenylen	6,8	4,2	13,8	9,6
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	18,6	13,4	21,2	7,8
5	Benz(e)pyren	7,2	4,5	22,6	18,1
5	Benz(a)pyren	7,0	4,5	18,2	13,7
5	Perylen	2,9	2,0	9,7	7,7
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	9,9	4,2	61,0	56,8
6	Benzo(ghi)perylen	9,5	5,7	39,0	33,3
5	Dibenzo(ah)antracen	2,0	1,1	3,1	2,0

Relative variation fordelt på koncentrationsniveauer for 2011, 2013 og 2015

Ringstørrelse		konc <500 2011				konc 500-1000 2011				konc >1000 2011			
		2011				2011				2011			
		Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	2,2	0,4	3,3	2,9	1,3	0,8	3,8	3,0	1,5	0,7	2,4	1,7
2+	Acenaphthylen	0,6	0,6	2,9	2,3	0,5	0,4	0,7	0,2	0,6	0,3	1,2	0,9
2+	Acenaphthen	4,8	3,3	8,2	4,9	1,2	0,2	5,1	4,8	1,3	0,8	4,5	3,7
2+	Fluoren												
2+	Dibenzothiophen	2,1	0,5	14,4	13,9	0,7	0,5	2,6	2,1	0,7	0,5	0,9	0,4
3	Phenanthren	5,6	2,4	8,9	6,6	5,2	4,0	6,5	2,5	5,1	2,8	6,4	3,7
3	2-methylphenanthren	1,5	0,5	2,2	1,7	1,1	0,6	2,3	1,6	0,8	0,8	1,0	0,3
3	3.6-dimethyldimethylphenanthren	0,5	0,4	0,9	0,5	0,4	0,2	1,2	1,0	0,3	0,3	0,5	0,2
3	Antracen	1,5	1,0	4,5	3,5	1,4	0,9	2,1	1,2	1,2	0,4	1,8	1,4
3+	Benz(a)fluoren	0,3	0,2	0,6	0,4	1,3	0,1	2,2	2,1	0,4	0,1	2,1	2,1
3+	Fluoranthren	13,5	8,1	26,6	18,5	12,7	5,9	21,3	15,4	13,1	9,8	26,8	17,1
4	Pyren	8,3	5,7	12,0	6,2	9,9	5,6	12,6	7,0	11,2	6,5	13,1	6,6
4	1-methylpyren	3,5	1,8	4,1	2,3	0,8	0,4	4,9	4,4	2,8	0,6	4,4	3,7
4	Benz(a)antracen	3,6	2,2	6,7	4,5	3,4	2,1	3,9	1,8	3,2	3,0	4,3	1,4
4	Chrysen/Triphenylen	3,7	2,3	4,3	2,0	4,0	2,6	5,6	3,0	5,2	2,1	6,7	4,6
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	17,0	12,9	28,1	15,2	17,3	12,7	22,6	9,9	15,1	14,1	19,8	5,8
5	Benz(e)pyren	6,4	4,7	7,5	2,8	5,6	4,9	8,1	3,2	4,8	4,0	6,8	2,8
5	Benz(a)pyren	5,1	2,9	8,1	5,2	6,0	4,6	6,8	2,2	6,6	4,6	8,2	3,6
5	Perylen	3,9	1,7	23,3	21,6	4,5	2,9	11,0	8,1	4,5	1,2	9,7	8,5
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	7,0	5,1	10,3	5,2	11,1	5,8	13,5	7,7	8,3	7,4	15,8	8,5
6	Benzo(ghi)perylen	7,5	5,0	11,2	6,2	8,8	5,6	10,0	4,4	7,7	5,9	11,2	5,3
5	Dibenzo(ah)antracen	1,3	1,0	1,6	0,6	1,8	1,3	2,7	1,5	1,7	1,3	1,8	0,5

	konc >1000				konc 100-1000			
	2013				2013			
	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
Naphthalen	1,1	0,3	2,3	1,9	1,1	0,3	2,0	1,6
Acenaphthylen	1,0	0,2	1,8	1,5	0,5	0,3	1,8	1,5
Acenaphthen	0,7	0,0	2,3	2,3	1,0	0,2	7,9	7,7
Fluoren	0,9	0,7	1,1	0,3				0,0
Dibenzothiophen	0,7	0,4	1,2	0,7	0,6	0,3	0,9	0,6
Phenanthren	5,3	2,9	11,7	8,8	4,7	3,4	8,9	5,4
2-methylphenanthren	1,6	1,1	2,6	1,5	1,7	0,5	3,4	2,9
3.6-dimethylphenanthren	0,3	0,2	0,5	0,3	0,4	0,1	0,5	0,4
Antracen	1,3	0,1	4,5	4,4	1,3	0,6	6,4	5,8
Benz(a)fluoren	2,6	1,5	6,3	4,8	2,3	1,6	2,8	1,3
Fluoranthren	11,5	7,6	20,9	13,4	11,6	5,7	14,9	9,2
Pyren	10,8	6,5	15,1	8,6	10,9	4,4	12,5	8,1
1-methylpyren	0,7	0,4	1,4	0,9	0,7	0,4	1,1	0,7
Benz(a)antracen	5,6	2,9	14,2	11,3	4,8	2,7	8,3	5,6
Chrysen/Triphenylen	6,4	2,7	12,0	9,3	6,3	3,2	9,7	6,4
Benz(b+j+k)fluoranthener	15,4	8,5	19,3	10,8	16,2	13,7	20,0	6,3
Benz(e)pyren	5,6	2,6	8,3	5,7	6,2	5,6	8,9	3,2
Benz(a)pyren	6,5	3,0	9,5	6,6	7,2	4,1	11,8	7,7
Perylen	2,7	1,8	4,9	3,1	3,4	1,4	5,3	4,0
Indeno(1.2.3-cd)pyren	9,1	5,3	16,2	10,9	10,4	7,3	12,3	5,0
Benzo(ghi)perylen	6,5	3,7	10,3	6,6	7,5	6,7	8,5	1,8
Dibenzo(ah)antracen	1,3	0,7	2,2	1,5	1,3	0,8	2,8	2,0

	2015				2015				2015			
	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
Naphthalen	2,4	2,2	2,6	0,3	1,4	0,7	1,8	1,1	1,3	0,5	2,3	1,8
Acenaphthylen	0,4	0,4	0,5	0,1	0,5	0,4	1,2	0,9	0,3	0,3	1,3	1,0
Acenaphthen				0,0	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Fluoren	0,7	0,7	0,7	0,0	0,6	0,6	0,6	0,0	0,6	0,6	0,6	0,0
Dibenzothiophen	0,9	0,9	0,9	0,0	0,6	0,4	0,7	0,2	0,5	0,2	0,6	0,4
Phenanthren	6,8	3,7	17,8	14,1	4,8	4,2	9,9	5,7	4,1	2,3	6,2	3,9
2-methylphenanthren	1,3	1,0	10,4	9,4	1,8	1,7	2,6	0,9	1,1	0,7	1,4	0,7
3,6-dimethylphenanthren	0,4	0,3	2,0	1,7	0,4	0,4	0,5	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1
Antracen	0,8	0,7	0,8	0,1	0,9	0,2	1,3	1,1	1,2	1,0	2,2	1,2
Benz(a)fluoren	2,0	0,6	2,7	2,2	1,6	1,2	2,8	1,6	2,2	1,4	2,4	0,9
Fluoranthren	14,9	9,1	15,8	6,7	11,9	8,7	19,0	10,3	11,3	8,3	15,4	7,1
Pyren	11,8	6,2	12,8	6,7	8,5	7,8	15,5	7,7	10,0	7,4	14,5	7,0
1-methylpyren	0,9	0,6	2,5	1,9	0,5	0,5	0,6	0,1	0,7	0,5	0,8	0,3
Benz(a)antracen	6,9	4,9	8,1	3,2	4,6	4,2	8,5	4,3	5,7	4,6	7,7	3,1
Chrysen/Triphenylen	8,0	4,2	13,8	9,6	6,4	6,1	7,2	1,1	6,7	5,7	7,5	1,7
Benz(b+j+k)fluoranthener	17,1	14,7	19,4	4,6	17,9	17,7	19,1	1,4	18,9	13,4	21,2	7,8
Benz(e)pyren	5,9	4,5	22,6	18,1	6,2	5,0	7,3	2,3	8,5	5,9	9,6	3,7
Benz(a)pyren	7,1	6,8	18,2	11,4	5,4	4,5	7,3	2,8	8,4	6,0	12,5	6,4
Perylen	4,5	2,1	6,7	4,5	6,7	2,0	9,7	7,7	2,4	2,1	3,3	1,2
Indeno(1.2.3-cd)pyren	10,8	8,2	15,7	7,5	9,8	4,2	14,3	10,1	8,8	5,2	13,0	7,8
Benzo(ghi)perylen	9,9	6,5	14,9	8,4	6,9	6,5	10,2	3,7	9,7	5,7	11,4	5,7
Dibenzo(ah)antracen	1,7	1,4	3,1	1,7	1,3	1,1	2,6	1,5	2,5	1,5	2,7	1,2

Relative variation normaliseret til TOC og fordelt på koncentrationsniveauer for 2011 og 2013

Ringstørrelse		konc <500 Norm TOC				konc 500-1000 Norm TOC				konc >1000 Norm TOC			
		2011				2011				2011			
		Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
2	Naphthalen	2,2	0,3	7,8	7,5	0,6	0,3	2,2	1,9	0,4	0,1	1,1	1,0
2+	Acenaphthylen	0,6	0,5	2,0	1,5	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,5	0,4
2+	Acenaphthen	7,5	2,3	15,1	12,8	0,6	0,1	2,5	2,3	0,4	0,1	1,7	1,6
2+	Fluoren		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0
2+	Dibenzothiophen	1,5	0,7	80,6	80,0	0,4	0,2	1,5	1,2	0,2	0,1	0,4	0,3
3	Phenanthren	6,1	0,7	31,6	30,9	2,9	1,3	3,9	2,6	1,1	0,4	3,0	2,6
3	2-methylphenanthren	1,7	0,3	3,9	3,6	0,6	0,2	1,3	1,1	0,2	0,1	0,4	0,3
3	3.6-dimethyldimethylphenanthren	0,5	0,3	1,2	0,9	0,2	0,1	0,7	0,6	0,1	0,1	0,2	0,1
3	Antracen	1,6	0,7	25,3	24,6	0,7	0,3	1,3	1,0	0,3	0,1	0,8	0,7
3+	Benz(a)fluoren	0,3	0,2	2,0	1,9	0,5	0,0	1,3	1,3	0,2	0,0	0,6	0,6
3+	Fluoranthren	12,9	3,4	148,7	145,3	7,2	1,8	8,5	6,7	3,3	1,9	7,3	5,3
4	Pyren	9,2	1,2	42,3	41,1	4,4	1,9	7,4	5,5	2,4	1,2	6,1	4,9
4	1-methylpyren	3,4	0,3	11,6	11,3	0,4	0,2	2,8	2,6	0,8	0,1	2,0	1,9
4	Benz(a)antracen	4,8	0,6	15,7	15,1	1,2	0,8	2,3	1,5	1,0	0,5	1,5	1,0
4	Chrysen/Triphenylen	3,2	0,6	15,3	14,7	1,4	1,1	3,3	2,2	1,1	0,6	2,0	1,4
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	16,1	3,4	157,3	153,9	7,2	5,9	10,0	4,1	5,1	2,9	7,4	4,5
5	Benz(e)pyren	6,7	1,0	31,6	30,5	3,1	1,7	3,6	1,9	1,5	0,8	3,2	2,4
5	Benz(a)pyren	4,8	0,8	28,6	27,8	2,4	1,6	4,1	2,5	1,7	0,7	3,4	2,7
5	Perylen	6,1	0,5	25,8	25,4	1,9	0,9	5,3	4,4	1,0	0,2	2,9	2,7
5+	Indeno(1.2.3-cd)pyren	6,2	1,4	53,4	52,0	4,2	3,3	6,6	3,3	2,9	1,6	6,1	4,5
6	Benzo(ghi)perylen	7,1	1,6	62,7	61,1	3,5	3,0	5,3	2,3	2,3	1,4	3,7	2,4
5	Dibenzo(ah)antracen	1,4	0,8	5,7	4,9	0,8	0,5	1,2	0,6	0,5	0,2	0,7	0,4

	konc 0-100, norm TOC				konc 100-1000, norm TOC			
	2013				2013			
	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks	Median	mindste værdi	Maksimale værdi	Diff. min og maks
Naphthalen	2,6	1,2	15,2	14,1	0,8	0,3	2,0	1,6
Acenaphthylen	3,0	2,2	9,3	7,0	0,6	0,3	1,8	1,5
Acenaphthen	27,8	1,6	57,5	55,9	1,2	0,2	7,9	7,7
Fluoren		0,0	0,0			0,0	0,0	0,0
Dibenzothiophen	1,8	1,7	1,9	0,1	0,6	0,3	0,9	0,6
Phenanthren	13,3	4,4	21,1	16,6	4,9	3,4	8,9	5,4
2-methylphenanthren	2,5	1,6	3,1	1,5	1,7	0,5	3,4	2,9
3.6-dimethylphenanthren	0,4	0,3	0,4	0,1	0,4	0,1	0,5	0,4
Antracen	8,7	3,7	24,7	21,0	1,4	0,6	6,4	5,8
Benz(a)fluoren	1,7	0,6	1,8	1,3	2,5	1,6	2,8	1,3
Fluoranthren	10,5	5,7	45,4	39,6	12,8	5,7	15,2	9,5
Pyren	6,6	2,1	11,0	8,8	11,0	4,4	13,4	9,1
1-methylpyren	2,3	2,1	2,5	0,4	0,7	0,4	1,1	0,7
Benz(a)antracen	2,5	1,1	26,7	25,6	4,8	2,7	8,6	5,9
Chrysen/Triphenylen	3,9	2,0	5,2	3,3	6,2	3,2	9,7	6,4
Benz(b+j+k)fluoranthener	13,6	11,3	22,2	11,0	15,6	10,2	20,0	9,8
Benz(e)pyren	4,8	2,4	8,5	6,1	6,1	5,5	8,9	3,3
Benz(a)pyren	11,9	5,1	26,8	21,7	7,5	4,1	11,8	7,7
Perylen	6,7	4,8	8,7	3,9	3,7	1,4	7,3	6,0
Indeno(1.2.3-cd)pyren	8,8	8,2	27,1	18,8	10,4	4,9	12,3	7,4
Benzo(ghi)perylen	6,2	5,2	12,8	7,6	7,4	3,9	8,5	4,6
Dibenzo(ah)antracen	3,7				1,3	0,8	2,8	2,0

Appendiks 4

Data for vandløbssediment

Relative variation over alle data for 2012, 2014, 2016

	2012	Middel	Median	Mindste værdi	Maksimale værdi
2+	Acenaphthylen	1,7	1,6	0,8	2,6
2+	Acenaphthen	2,3	0,3	0,1	13,8
2+	Fluoren	0,9	0,9	0,4	1,4
2+	Dibenzothiophen	4,9	3,5	0,4	21,7
3	Phenanthren	4,4	4,3	2,0	8,5
3	2-Methylphenanthren	1,3	1,3	0,4	2,1
3	Dimethylphenanthrener	0,4	0,2	0,1	0,8
3	Antracen	1,4	1,3	0,5	2,4
3+	Benz(a)fluoren	1,7	1,7	0,8	2,9
3+	Fluoranthen	14,4	14,4	9,1	20,8
4	Pyren	10,4	11,0	8,2	11,7
4	1-Methylpyren	0,8	0,6	0,4	1,7
4	2-Methylpyren	2,3	2,3	2,3	2,3
4	Benz(a)anthracen	6,4	6,7	3,2	9,9
4	Chrysen/Triphenylen	10,3	10,8	6,0	18,8
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	18,0	18,3	10,7	24,5
5	Benzo(e)pyren	7,3	7,3	4,3	11,4
5	Benz[a]pyren	5,8	6,3	3,6	6,9
5	Perylen	5,2	3,6	1,5	17,2
5+	Indeno(1,2,3-cd)pyren	6,2	5,4	4,4	11,2
6	Benz(ghi)perylen	7,3	6,3	4,6	12,5
5	Dibenzo(ah)anthracen	2,0	1,8	1,1	5,4

	2014	Middel	Median	Mindste værdi	Maksimale værdi
2+	Acenaphthylen	2,3	2,4	1,4	3,1
2+	Acenaphthen	0,3	0,3	0,2	0,4
2+	Fluoren	2,2	0,8	0,2	12,2
2+	Dibenzothiophen	0,8	0,5	0,3	2,3
3	Phenanthren	5,5	5,0	1,9	9,9
3	2-Methylphenanthren	1,1	1,0	0,6	2,3
3	Dimethylphenanthrener	0,2	0,2	0,1	0,3
3	Antracen	2,9	2,5	1,8	6,5
3+	Benz(a)fluoren	1,8	1,5	1,0	3,3
3+	Fluoranthen	14,5	13,5	8,6	27,0
4	Pyren	10,8	11,0	7,9	14,0
4	1-Methylpyren	0,7	0,7	0,4	1,1
4	2-Methylpyren	0,9	1,0	0,8	1,1
4	Benz(a)anthracen	6,5	5,9	4,0	10,6
4	Chrysen/Triphenylen	10,1	10,1	6,0	16,7
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	16,6	16,2	13,2	26,8
5	Benzo(e)pyren	7,0	6,8	5,2	11,3
5	Benz[a]pyren	6,2	6,0	3,8	9,2
5	Perylen	8,2	5,8	1,8	24,9
5+	Indeno(1,2,3-cd)pyren	6,8	6,3	3,7	16,6
6	Benz(ghi)perylene	7,4	7,2	4,4	13,7
5	Dibenzo(ah)anthracen	1,7	1,7	0,9	3,4

	2016	Middel	Median	Mindste værdi	Maksimale værdi
2+	Acenaphthylen	2,6	2,5	1,1	5,0
2+	Acenaphthen	1,2	0,6	0,2	4,5
2+	Fluoren	0,8	0,7	0,3	1,7
2+	Dibenzothiophen	0,4	0,4	0,2	0,7
3	Phenanthren	5,5	5,5	3,8	7,3
3	2-Methylphenanthren	1,1	1,0	0,7	2,1
3	Dimethylphenanthrener	0,3	0,3	0,2	0,4
3	Antracen	2,4	2,3	1,5	3,8
3+	Benz(a)fluoren	1,7	1,6	1,0	3,8
3+	Fluoranthen	16,2	14,6	11,8	24,4
4	Pyren	12,6	11,8	10,6	15,6
4	1-Methylpyren	0,6	0,6	0,5	0,8
4	2-Methylpyren			0,0	0,0
4	Benz(a)anthracen	5,8	5,4	3,8	11,3
4	Chrysen/Triphenylen	9,4	9,6	6,6	12,2
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	15,1	15,2	10,7	22,4
5	Benzo(e)pyren	6,6	6,4	5,1	8,9
5	Benz[a]pyren	6,9	6,9	4,5	10,6
5	Perylen	5,3	3,8	1,9	18,0
5+	Indeno(1,2,3-cd)pyren	6,1	6,2	4,3	8,1
6	Benz(ghi)perylene	7,7	7,4	6,0	11,5
5	Dibenzo(ah)anthracen	1,5	1,5	1,3	1,9

Appendiks 5

Data for søsediment

Relative variation over alle data for 2012, 2014, 2016

	2012	Middel	Median	Mindste værdi	Maksimale værdi
2+	Acenaphthylen	1,3	1,2	0,4	3,2
2+	Acenaphthen	0,5	0,4	0,1	1,7
2+	Fluoren	4,1	2,8	0,9	11,8
2+	Dibenzothiophen	3,4	0,4	0,2	15,9
3	Phenanthren	6,8	5,3	2,7	22,0
3	2-Methylphenanthren	1,7	0,6	0,6	7,3
3	Dimethylphenanthrener	1,5	0,4	0,2	6,8
3	Antracen	1,1	1,0	0,5	2,4
3+	Benz(a)fluoren	1,0	1,1	0,4	1,6
3+	Fluoranthen	7,5	7,3	4,7	9,5
4	Pyren	6,3	6,0	4,2	9,0
4	1-Methylpyren	0,9	0,6	0,3	3,5
4	2-Methylpyren	2,4	2,4	2,4	2,4
4	Benz(a)anthracen	3,8	3,7	2,0	5,9
4	Chrysen/Triphenylen	6,3	6,2	4,6	8,1
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	17,2	18,1	9,9	21,8
5	Benzo(e)pyren	8,6	8,8	5,6	11,0
5	Benz[a]pyren	7,6	7,5	4,0	10,6
5	Perylen	6,6	4,5	1,9	16,1
5+	Indeno(1,2,3-cd)pyren	8,4	8,7	5,2	11,2
6	Benz(ghi)perylen	8,5	8,7	5,5	12,1
5	Dibenzo(ah)anthracen	2,9	2,9	1,8	3,4

	2014	Middel	Median	Mindste værdi	Maksimale værdi
2+	Acenaphthylen	2,1	1,9	0,3	4,2
2+	Acenaphthen	0,3	0,3	0,1	0,9
2+	Fluoren	2,6	2,1	0,2	14,5
2+	Dibenzothiophen	0,8	0,5	0,1	5,3
3	Phenanthren	8,9	6,8	1,6	52,3
3	2-Methylphenanthren	0,9	0,8	0,2	3,5
3	Dimethylphenanthrener	1,3	1,0	0,1	3,7
3	Antracen	2,2	2,0	0,7	10,7
3+	Benz(a)fluoren	1,6	1,6	0,3	2,6
3+	Fluoranthen	11,8	11,6	6,0	17,6
4	Pyren	10,4	10,4	5,5	14,4
4	1-Methylpyren	0,5	0,5	0,2	0,9
4	2-Methylpyren	0,8	0,8	0,5	1,1
4	Benz(a)anthracen	4,8	4,7	2,3	10,1
4	Chrysen/Triphenylen	7,3	7,1	4,1	14,8
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	15,4	15,5	8,7	20,1
5	Benzo(e)pyren	6,0	6,1	3,4	11,7
5	Benz[a]pyren	5,5	5,5	2,5	10,3
5	Perylen	6,1	3,3	1,0	49,2
5+	Indeno(1,2,3-cd)pyren	6,9	6,5	3,6	12,7
6	Benz(ghi)perylene	7,0	7,0	3,2	10,7
5	Dibenzo(ah)anthracen	1,4	1,5	0,5	2,2

	2016	Middel	Median	Mindste værdi	Maksimale værdi
2+	Acenaphthylen	2,1	1,9	0,8	6,0
2+	Acenaphthen	1,0	0,5	0,2	5,5
2+	Fluoren	2,6	1,9	0,3	8,2
2+	Dibenzothiophen	0,5	0,5	0,2	2,3
3	Phenanthren	6,8	5,5	2,7	20,5
3	2-Methylphenanthren	0,8	0,7	0,4	1,7
3	Dimethylphenanthrener	0,6	0,4	0,2	1,3
3	Antracen	2,2	2,0	0,9	7,3
3+	Benz(a)fluoren	2,1	1,8	1,1	4,0
3+	Fluoranthen	11,8	11,9	4,9	15,9
4	Pyren	9,5	9,6	4,0	15,1
4	1-Methylpyren	0,5	0,5	0,2	0,8
4	2-Methylpyren	0,9	0,8	0,6	1,2
4	Benz(a)anthracen	6,0	5,6	2,9	10,6
4	Chrysen/Triphenylen	6,6	7,0	2,5	11,3
4+	Benz(b+j+k)fluoranthener	14,0	14,1	6,6	18,2
5	Benzo(e)pyren	5,9	5,8	2,9	7,6
5	Benz[a]pyren	5,8	5,9	1,9	8,9
5	Perylen	6,3	3,4	1,4	45,7
5+	Indeno(1,2,3-cd)pyren	6,6	6,6	2,6	9,5
6	Benz(ghi)perylene	7,9	7,8	3,4	11,1
5	Dibenzo(ah)anthracen	1,6	1,5	0,6	3,9

Appendiks 6

Ospar monitoring

[Title] PAH concentrations in sediment and biota *			
Monitoring Purpose	Pressure and state	Applicable MSFD GES Criteria	8.1. Concentration of contaminants
Monitoring Guidelines / Monitoring Method in place	JAMP Guidelines for Monitoring Contaminants in Biota (Technical Annex 3: Determination of parent and alkylated PAHs in biological materials) JAMP Guidelines for Monitoring Contaminants in Sediments (Technical Annex 3: Determination of parent and alkylated PAHs in sediments)	Assessment Guidelines	CEMP Assessment Manual http://www.ospar.org/documents?d=7115
Quality Assurance Procedures in place	QUASIMEME	Assessment tools available	CEMP Assessment Tool Background Assessment Criteria Ecotoxicological Assessment Criteria Environmental Quality Standards
Quality Control	Delayed mode	Data Custodian	ICES Datacentre
Element Monitored	Introduction of synthetic and non-synthetic substances and compounds PAHs	Data Depository	http://dome.ices.dk/ospar-mime/main.html
Parameter Measured	anthracene; benz[a]anthracene; benzo[ghi]perylene; benzo[a]pyrene; chrysene; fluoranthene; indeno[1,2,3-cd]pyrene; pyrene; phenanthrene, occasionally extended with other PAHs and alkylated PAHs	Indicator Metric	Biota: µg/kg WW Sediment: mg/kg DW
Temporal scope	Start date: 1985 End date: 9999 (9999 if ongoing) Monitoring frequency: annually	Data submission Frequency/ deadline and link to reporting format	Yearly (1 June)

FAGLIG AFKLARING AF OVERVÅGNING AF PAH I SEDIMENT OG BIOTA

Denne rapport omhandler en vurdering af, om antallet af polycykliske aromatiske hydrocarboner (PAH'er), som indgår i NOVANA i ferskvands- og marint sediment samt i muslinger, kan justeres. I vurderingen indgår, om visse PAH'er kan fungere som indikatorer for andre på basis af forekomst og risiko uden tab af information. Konklusionen er, på baggrund af NOVANA data, at det ikke er muligt at anvende enkelte PAH'er som indikator for de øvrige PAH'er. Dette skyldes blandt andet at der er meget stor variation i koncentrationsniveauer og fordelingen mellem de enkelte PAH'er. PAH'er stammer fra primært to meget forskellige kilder (pyrogene og petrogene), og sammensætningen af PAH'er varierer afhængig hvilken kilde, der dominerer i det pågældende område, samt hvor belastet området er. Endvidere er PAH'er bionedbrydelige i varierende grad.