



Hvordan finne årsakene til Lukt og Smak?

Lukt og smakskilder - Erfaringer - Tiltak

Bjørnar Eikebrokk, Drikkevannskonsult (tidl. SINTEF)



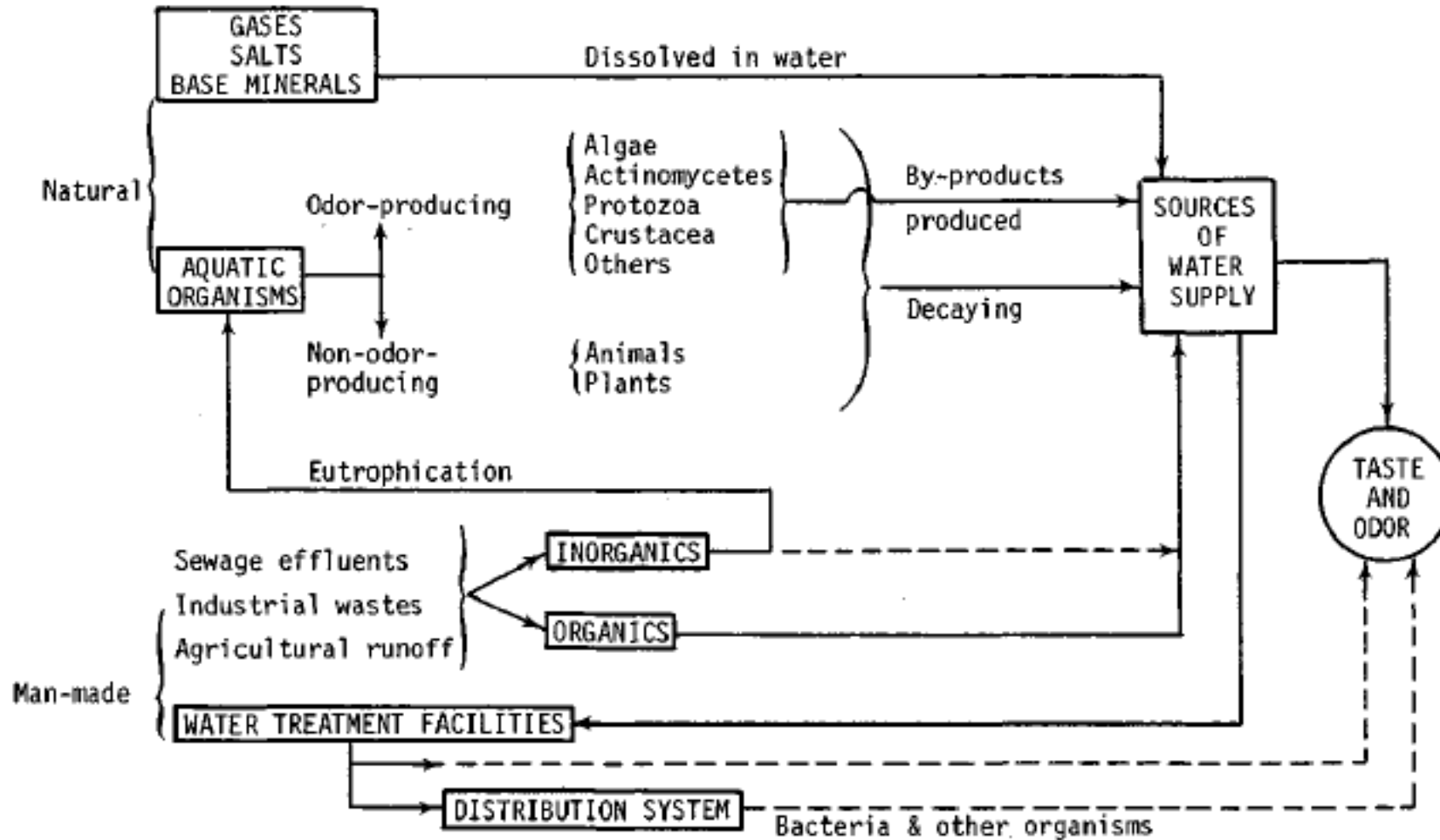
INNHOOLD

- ✓ Kilder til lukt og smak i drikkevann
- ✓ Faktorer som påvirker opplevelsen av lukt og smak
- ✓ Rapporterte erfaringer med lukt og smak
 - Vannkilde og nedbørfelt
 - Vannbehandlingen
 - Ledningsnett/Distribusjonssystem/PE-rør
- ✓ Identifisering av stoffene og sporing av kildene
 - Lukt- og smakshjulet
- ✓ Fjerning av lukt og smak – Vannbehandlingsmetoder
- ✓ Eksempel på komplekse sammenhenger – kloranisoler på ledningsnettet
- ✓ Oppsummering



Kilder til Lukt og Smak i vann

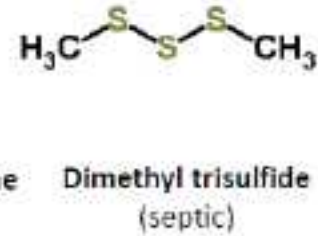
Naturlige og Menneskeskapte



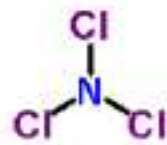
Vanlige Kilder til Lukt og Smak

Hiskia, A. (2021) WaterTOP Meeting, Sept 2021, Greece

Surface Water
Reservoirs
Algal
metabolites



Water
treatment
Chlorination
products



Distribution
network
biofilm activity,
materials in
contact

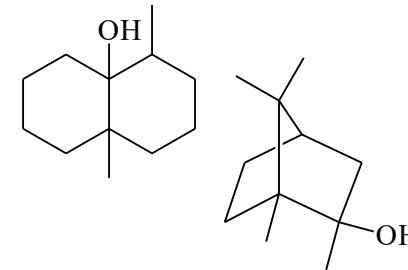


Vanlige kilder til lukt/smakproblemer

- Utslipp/forurensninger i nedbørfelt/vannkilde
 - NOM, kloakk, avrenning, forurensningsutslipp kan påvirkes av oksygenmangel/biologiske prosesser

- Algeproduserte stoffer (blågrønnalger)

- Geosmin m/lukterskel på ~10 ng/l*
- 2-methylisoborneol (2-MIB) m/lukterskel på ~ 29 ng/l*
- Typisk "jordaktig – fuktig", eller "mugglignende"*
- Mjøsa/Glomma-vassdraget 1969-76; Moss/Rygge 2000 (2-MIB)*



- Utslipp/kjemikalier

- Metaller fra råvann, vannbehandling og korrosjon*
- Stoffer som kan diffundere gjennom rørvegger; MTBE (metylbutylester fra bensin)*

- Stoffer som kan lekke ut fra materialer i kontakt med vannet

- Høydebasseng (overflatebelegg, gelcoat, etc)*
- Plastmaterialer/PE-rør/epoksy/lim*
- Kobber og andre metaller fra rør/armatur*

- Kloreringsprodukter

- Klorfenoler; klororganiske forbindelser*

- Biologiske omsetningsprodukter

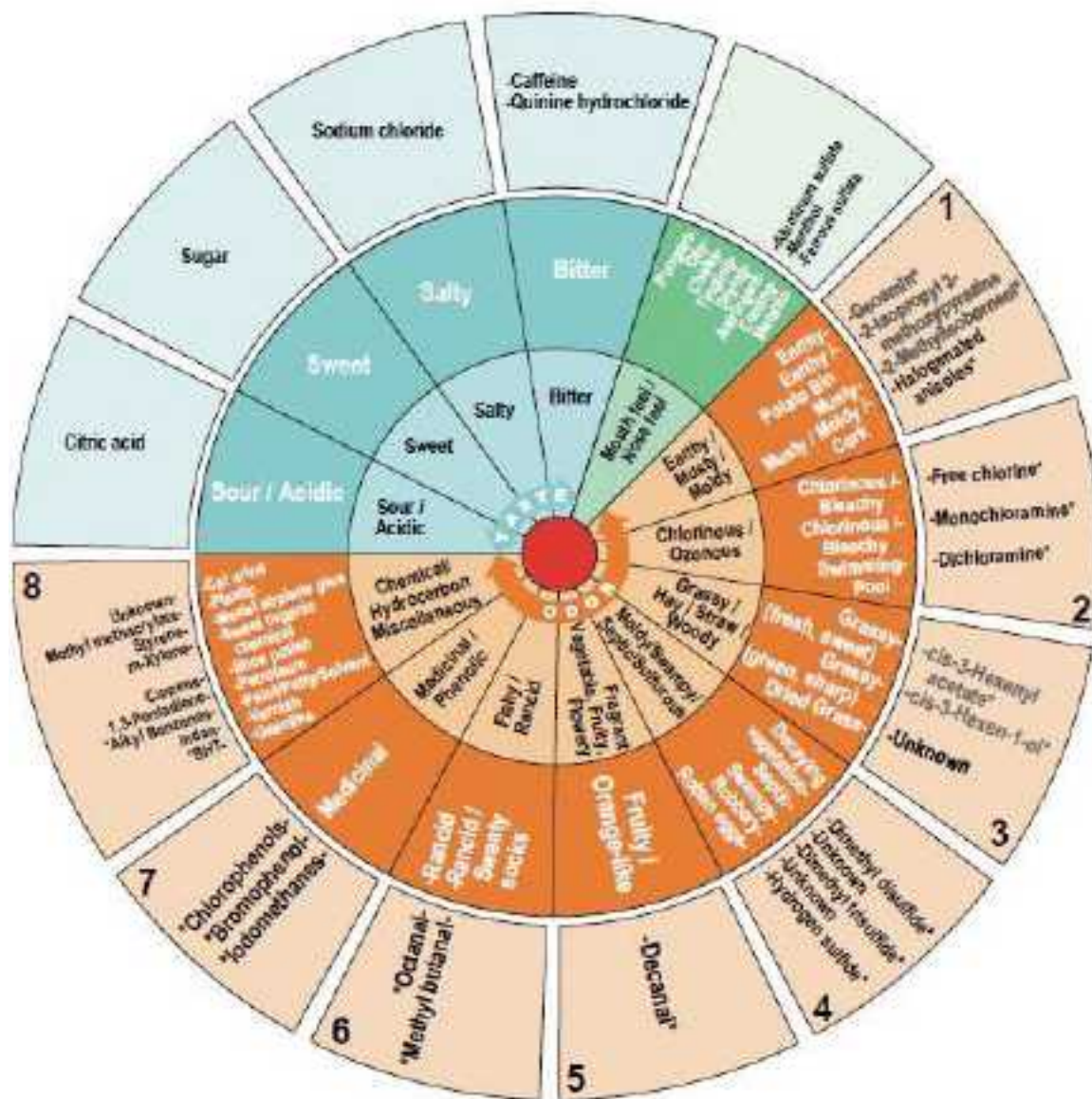
- Kloranisoler (med ekstremt lav lukterskel, < 0.1 ng/L)*

En lang rekke faktorer påvirker opplevelsen - og beskrivelsen - av smak og lukt

- *Avvik fra «det man er vant til» oppleves ofte negativt – som for andre næringsmidler («brand loyalty»)*
- *Vanntemperatur - lav temp kan vanskeliggjøre beskrivelsen*
- *Vannets pH: pH<6.5 kan gi bitter smak, og pH>8.5 kan gi en «slippery» følelse*
- *Klor kan gi smak og lukt: mer sensitiv for fri klor (0.5-1.0 mg/L) enn kloramin (> 3 mg/L), men betydelig lavere nivåer enn dette kan senses av et trenet panel*
- *Fri klor beskrives ofte som «kloraktig», «svømmebasseng» og «blekende», og dette kan maskere eller interferere opplevelsen av andre lukt/smaksstoffer, for eksempel «jordaktig» geosmin*
- *Ved kloraminering har dikloramin en sterkere klorsmak enn monokloramin, og pH bør derfor holdes tilstrekkelig høy (ved pH 6-7 og 5-6 finnes henholdsvis 20 % og 40 % av total restklor som dikloramin). Anbefalt klor/ammonium-forhold er 3-5:1; med pH 7.5-8.5*

Lukt- & smakhjulet

Et hjelpemiddel for å identifisere kildene til lukt og smak - ofte en vanskelig oppgave....



Odørkategorier

1. Earthy/musty/moldy
2. Chlorinous/ozonous
3. Grassy, hay-like, woody
4. Decaying/swampy/septic/sulfurous
5. Fruity, flowery, fragrant
6. Rancid/fishy
7. Medicinal/phenolic
8. Chemical/paint-like

Rapporterte Erfaringer om Lukt og Smak

Fra Vannkilde og Nedbørfelt

- ✓ Svært personavhengig smaksopplevelse av mineraler i vann (fra erosjon, industri/gruvevirksomhet, vegsalt, etc (Avsalting (RO) gir ofte en flau/ubehagelig, bitter ettersmak)
 - Sensitiviteten for ulike ioner er også personavhengig, og noen kan være mer sensitive for Na^+ enn for Ca^{2+} og K^+
 - For mye Ca og Mg kan gi en bitter smak. Vann med hardhet 10-100 mg CaCO_3/L er rapportert som «godt smakende», der kalsium bidrar mer til god smak enn magnesium
 - Bløtt vann påvirker ikke smaken, men kan gi en «glatt» følelse på tungen
 - Fe og Cu er sterke smaksdannere (metallisk/bitter), og Fe^{2+} bør være < 5-50 $\mu\text{g}/\text{L}$, Cu < 0.1-0.5 mg/L
 - Anioner som bikarbonat, klorid og sulfat kan gi smak
- ✓ Hydrogensulfid fra sulfatreduserende bakterier kan gi sterk lukt av «råtne egg»
- ✓ Utslipp av bromdiklormetan, kloroform, metyl-tert-butyl-ether (MTBE), perkloreten (PCE) og triklorethene (TCE) er rapportert å gi luktproblemer i grunnvann
- ✓ Nedbrytning av planter eller alger (cyanobakterier) kan gi «jordaktig» og «muggen» lukt (frigjøring av geosmin og 2-MIB, med terskelverdier på hhv 2-200 og 2-100 ng/L). Normalt oppstår ingen klager ved nivåer < 10 ng/L
- ✓ Grønnalger og diatoméer kan produsere lukt («gress-, fisk-, medisin- og agurk-aktig»)
- ✓ Kjemikalier som hydrokarboner, MTBE, løsemidler, dioksaner og dioksolaner (fra polyesterproduksjon)

Rapporterte Erfaringer om Lukt og Smak

Fra Vannbehandlingen

- ✓ *De fleste lukt/smaksstoffer som genereres i vannbehandlingen faller under kategoriene «fruktige» og «medisinaktige»*
- ✓ *Ozonering er normalt effektiv for fjerning av lukt og smak, men aldehyder fra ozonering kan skape «appelsinaktig» lukt – som lett kan fjernes i etterfølgende GAC-filtre eller biofiltre*
- ✓ *Klorering av vann som inneholder alger kan produsere betydelige mengder geosmin, 2-MIB og aldehyder*
- ✓ *Reaksjoner mellom klor og menneskeskapt eller naturlige substanser (fenoler; bisfenol fra epoksy), kan danne klorerte fenoler og biprodukter som karakteriseres som «medisin-» eller «fenolaktige» med luktterskel på noen ng/L*
- ✓ *Klorering eller ozonering av vann som inneholder NOM, bromid eller iodid kan danne biprodukter med «medisin»- eller «farmasøytaktig» lukt*
- ✓ *Ved akkumulering over tid i bassenger, filtre og slamtanker kan mikrobiell aktivitet i slamavsetninger forårsake lukt og smak (reduerte svovelforbindelser → lukt av «råtne egg», «sulfid», «septisk»), og omdanne naturlige klorfenoler til kloranisoler (Adams, 2021)*
- ✓ *Slam og returstrømmer bør derfor også analyseres som potensielle lukt- og smaksdannere*

Rapporterte Erfaringer om Lukt og Smak

Fra Distribusjonssystem/Ledningsnett

- ✓ Stoffutlekkning fra materialer i kontakt med drikkevann (e.g. epoksy, PE-rør, armatur)
 - Epoksy: Toluene, etylbenzen og xylener (Skjevrak 1999)
 - PE-rør: En rekke «Plastfenoler», hvorav < 5 % er identifisert (Arvin 2017)
 - Epoksybelagt HB: Biofilm med mikrobiell omdanning av svovelforbindelser til organiske sulfidforbindelser med karakteristisk «skittlukt» (Skjevrak 1999)
- ✓ Hydrokarboner i grunnen kan trenge gjennom PE-rør
- ✓ Endringer i klordose, og klorering under/etter reparasjonsarbeider på nettet. Klorering av biofilm kan danne nye forbindelser og mangedoble konsentrasjonene (Skjevrak 2002)
- ✓ Fri klor beskrives ofte som «kloraktig», «svømmebasseng» og «blekende», og dette kan maskere eller interferere opplevelsen av andre lukt/smaksstoffer, for eksempel «jordaktig» geosmin
- ✓ Ved kloraminering har dikloramin en sterkere klorsmak enn monokloramin, og pH bør derfor holdes tilstrekkelig høy (ved pH 5-6 og 6-7 finnes henholdsvis 40 % og 20 % av total restklor som dikloramin). Anbefalt klor/ammonium-forhold er 3-5:1; med pH 7.5-8.5
- ✓ Mikrobiologiske prosesser i ledningsnettet: Dannelse av kloranisoler fra klorfenoler
- ✓ Vannets pH: pH < 6.5 kan gi bitter smak, og pH > 8.5 kan gi en «slippery» følelse
- ✓ Naturlige biofilmer/belegg kan være reservoar og kilde til luktintensivt organisk stoff (VOC) (Skjevrak, 2002)

Distribusjonssystemet - PE-rør

Mer enn 100 kjemiske forbindelser er påvist i drikkevann i kontakt med PE

- Alkaner
- Alkener
- Aromatiske hydrokarboner
- Alkoholer
- Aldehyder
- Cyclohexaner
- Estere
- Etere
- Ketoner
- Organiske syrer
- Peroksider
- Fenoler
- Ftalater
- Quinoner
- Terpenoider

Arvin, E. (2016). Hvordan sikre god vannkvalitet helt frem til forbruker? - Trusler og løsninger. DTU Environment, DK

Migration fra PE/PEX - Sammenfatning

- PE rør afgiver en lang række kemiske forbindelser til drikkevand, bl.a. phenoler, normalt i koncentrationer $< 1\mu\text{g/l}$
- "Plastphenolerne" er påvist i ledningsnet og ved migrationstest
- Kun ca. 2% er identifiserede
- "Plastphenolerne" nedbrydes ikke let
- Mangelfuld viden om stoffernes toksisitet
- "Plastphenolerne" er bioakkumulerende eller tæt på
- PE rør afgiver stoffer i mange år, op til 50-100 år?

Arvin, E. (2017) Hvordan sikre god vannkvalitet helt frem til forbruker? – Trusler og løsninger. Tekna, Trondheim Jan 2017

→ Additiver, Nedbrytningsprodukter, Stabilisatorer, Emulgatorer, Antioksidanter, Fargestoffer, Smøre/slippmidler, mm fra PE-rør

Distribusjonssystemet - PE-rør

Migrasjon fra Plastrør

- Fenoler, estre, aldehyder, ketoner, terpenoider og aromatiske hydrokarboner
- Konsentrasjonsnivåer, tot-VOC: 1-8 µg/L
- MTBE avgitt fra PEX-rør
- Vesentlig lukt (TON)

Skjevrak et al. (2003). Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. Water Research 37

Adsorpsjon av klorfenoler til plastmaterialer

- 4-chlorophenol (4-CP)
- 2,4-dichlorophenol (2,4-DCP)
- 2,4,6-trichlorophenol (2,4,6-TCP)
- Pentachlorophenol (PCP)

Tubic, A. et al. Significance of Chlorinated Phenols Adsorption on Plastics and Bioplastics during water treatment. MDPI Water 2019

Nedbrydning av "plastphenoler" 14 dage, drikkevand, 20 gr. C i mørke

- Abiotisk, kemisk nedbrydning: 14-33%
- Biotisk: abiotisk & mikrobiologisk: 5-38%
- Mikrobiologisk: "ringe"
- Generelt begrenset nedbrydelighet!
- Forbehold: mangler studier med biofilm

Arvin, E. (2017) Hvordan sikre god vannkvalitet helt frem til forbruker? – Trusler og løsninger. Tekna, Trondheim Jan 2017

Migrasjon og biofilm

- PE migrerer nedbrytningsprodukter fra antioksidanter, bla 2,4-di-tert-butylfenol
- Økt konsentrasjon av en svovelholdig komponent (dimetyldisulfid) i biofilm når lav flow (bakteriell nedbrytning av NOM?)
- Klorering av biofilm dannet en rekke nye flyktige forbindelser 15-20 ggr høyere enn opprinnelig mengde
- Naturlig Biofilm: Reservoar og kilde til luktintensiv VOC

Skjevrak, I. (2002). Naturlig biofilm i vannledning – en mulig kilde til luktepisoder på drikkevannsforsyningen. VANN-4-2002enn opprinnelig

Sporing av kildene til lukt- og smak



Så må man nøste seg tilbake i systemet med vannprøvetaking og analyser - før episoden er over...

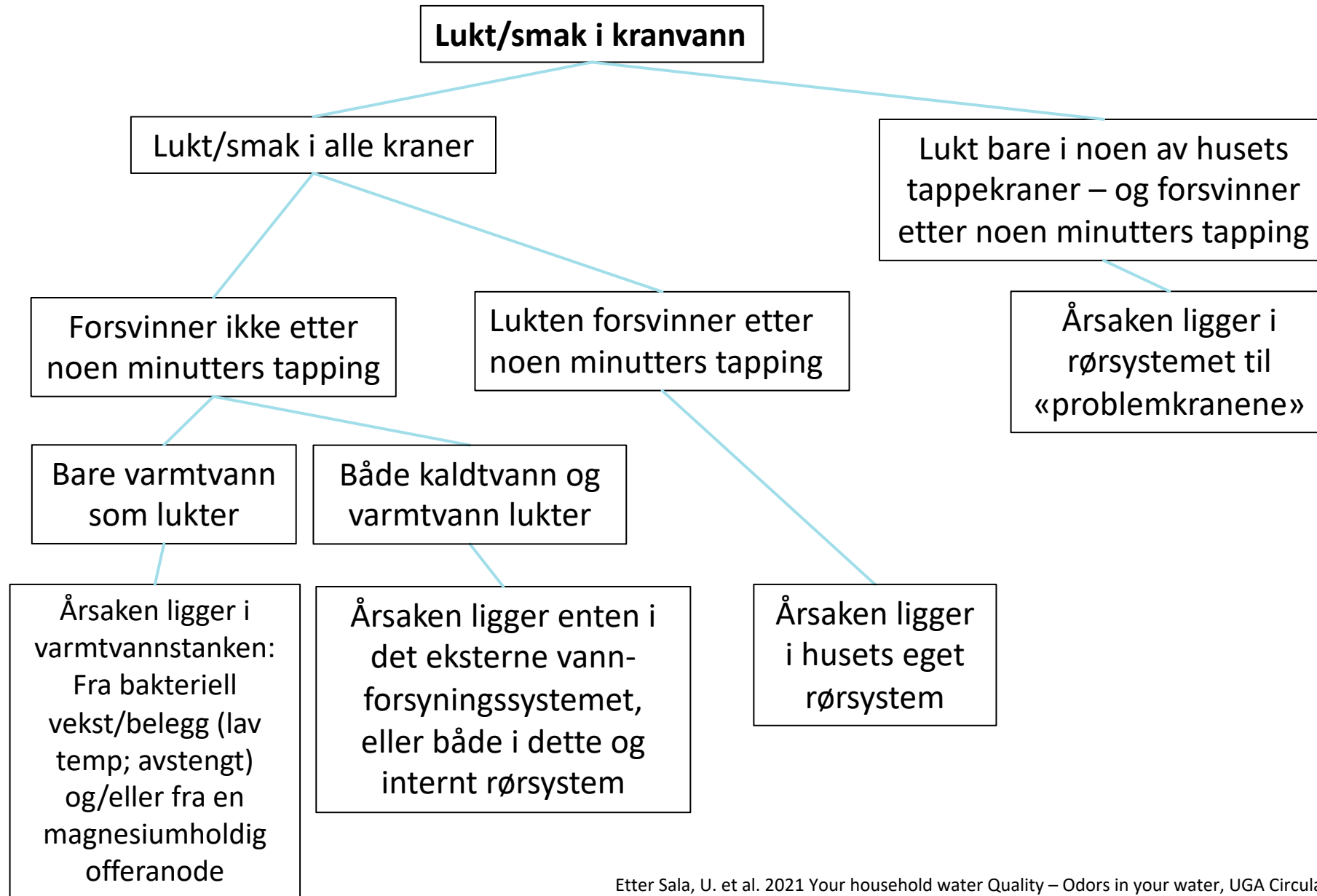


Klagene kommer normalt herfra



La oss starte innomhus

Hvordan spore kildene til lukt- og smak?



Lukt og smak kan oppstå i hele vannforsyningssystemet

I Kilde og nedbørfelt



Mikroorganismer/Alger;
NOM; Salter/metaller
Punktutslipp, forurenset grunn,
andre forurensningstilførsler



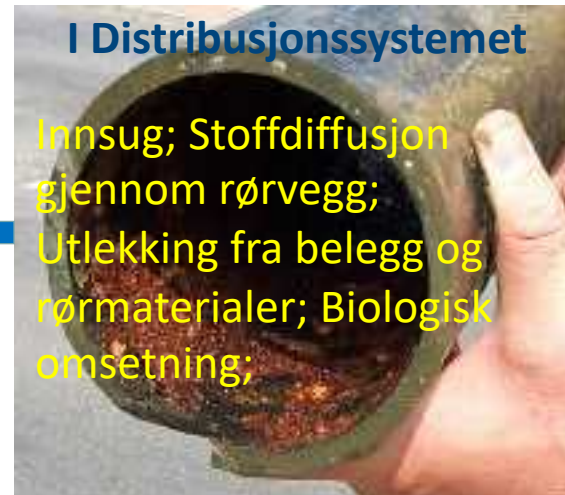
I Vannbehandlingsanlegget



Koaguleringskjemikalier;
Desinfeksjonsmidler, Vaskemidler
Ozon, Klor; Slam/retur-strømmer;
Biologisk omsetning i filtre og
slamtanker



I Distribusjonssystemet



Innsug; Stoffdiffusjon
gjennom rørvegg;
Utlekking fra belegg og
rørmaterialer; Biologisk
omsetning;



I Interne Fordelingsnett



Utlekking fra rørmaterialer/
armaturer; Biofilm/Belegg;
pH; Henstand/Temperatur/
Oppvarming

Hvordan fjerne Lukt og Smak?

Flere metoder anvendes for fjerning av lukt og smak fra vann, gjerne basert på optimalisering av eksisterende eller installasjon av supplerende vannbehandlingstrinn

- ✓ Lufting
- ✓ Aktivkull som pulver (PAC) anvendt i problemperioder
- ✓ Filtrering gjennom granulært aktivkull (GAC-filter)
- ✓ Oksidasjon (Ozon, Kaliumpermanganat)
- ✓ Avanserte oksidasjonsprosesser (AOPs), e.g. Ozon eller UV og peroksid
- ✓ Koagulering (varierende effekt)
- ✓ Klordioksid (varierende effekt, ofte effektiv mot fenoler)
- ✓ Membranfiltrering

Tiltak mot Lukt og Smak i drikkevann

Identifiser “arnestedet” og symptomene, basert på:

- Klager fra abonnenter
- Laboratorieanalyser
 - Lukt/smakpanel
 - Spesifikke analyser (mikrobiologiske, kjemiske)

Finn kilden/opprinnelsen

- Finn kilden/opprinnelsen til LoS-stoffene (Oppstrøms systematisk sporing via tappekran → DS → VBA → Kilde/nedbørfelt)
- Bruk lukt- og smakshjulet som hjelp i stoffidentifikasjon og kildesporing

Diagnose → Kur; Sett inn riktige tiltak

- Fjern kilden hvis mulig (i nedbørfelt, VBA, ledningsnett/materialer)
- Optimaliser vannbehandling/desinfeksjon/membranvask, og suppler evt vannbehandlingen med LoS-fjerning: Lufting, Ozonering, Aktiv kull (GAC)
- Spyl problematiske ledningsstrek og bruk "sikre" materialer i kontakt med vann
- Sjekk også husinterne ledningsnett (varmtvannsberedere, biofilm/belegg)

Fjerning av Lukt og Smak

Hiskia, A. (2021) WaterTOP Meeting, Sept 2021, Greece

Treatment of water for removal of T&O compounds: Challenges

- ✓ Due to their low odor threshold T&O compounds need to be removed from water even at the ngL^{-1} level
- ✓ Few conventional treatment methods are efficient in their removal
- ✓ Coagulation, flocculation, sedimentation and filtration are generally ineffective
- ✓ Common disinfectants and oxidants are unable to control T&O in drinking water
- ✓ Adsorption by powdered/granular activated carbon or ozonation present better suitability with limitations
- ✓ The presence of natural organic matter can dramatically reduce treatment effectiveness

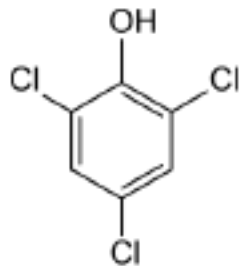
Alternative efficient treatment processes

- ✓ Avanserte Oksidasjonsprosesser (AOPs): UV/H₂O₂; UV/O₃; UV/Cl₂, etc
- ✓ Membranfiltrering

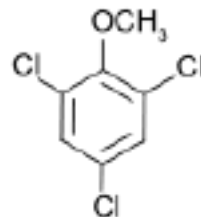
Case: Lukt og smak fra Membrananlegg

Analyseresultater (ng/L) Suez, F

	1 Råvann	2 Ut NF- 1.5t	2B Ut NF 10 min	2C Ut NF-30 min	2D Ut NF 3t	3 Ut HB	4 Ut PE	5 Nett
2,4,6 Triklorfenol	< 10	50	50	40	50	40	50	40
2,4,6 Trikloranisol	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.2	0.1	0.1	0.4



Triklorfenol

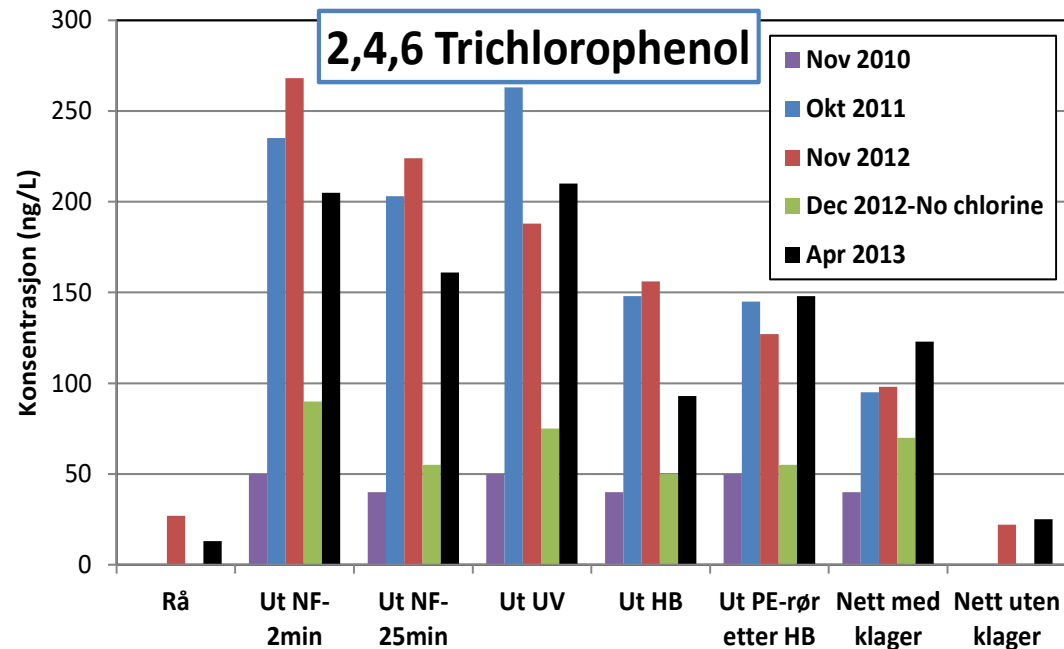


Trikloranisol
(luktterskel 0.02-0.08 ng/L)

- ✓ Triklorfenol dannes i membranen
- ✓ Trikloranisol dannes på nettet

Etter 1 mnd drift uten klorvask var innholdet av triklorfenol redusert med

Case: Lukt og smak fra Membrananlegg

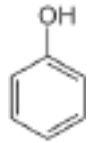


Des 2012 (grønne stolper): Etter 1 måneders drift uten klorvask av membranene
Alle andre datoer: Vanlig klorvask

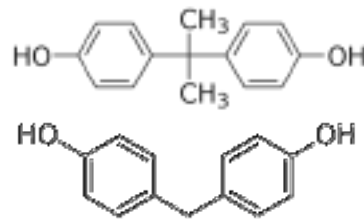
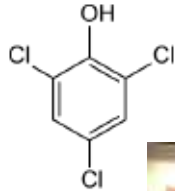
- **Triklorfenoler** dannes under klorvask av membranbelegg
- **Trikloranisoler (TCA)** dannes ved mikrobiell omsetning i biofilm/belegg på ledningsnett

Case: Lukt og smak fra Membrananlegg

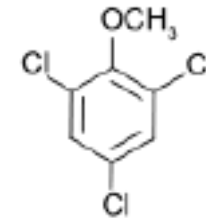
Fra fenoler og bisphenoler til triklorfenoler og trikloranisoler



Fenol/karbolsyre: En del av NOM
Klorfenol: Kan dannes via enzymatisk klorering av NOM (*kloroperoxydase*)
Hodin et al,1991



Triklorfenol: Dannes ved klorvask av NOM-belegg på membranen, og fra klorering av bisphenol som lekker fra lim/epoxy i membranmodulene



Trikloranisol: Dannes ved mikrobiell omsetning av triklorfenol i ledningsnett
Peters and von Gunten, 2009

Komplekse sammenhenger som krever helhetstenkning, omfattende og avanserte analyser

Oppsummering

- ✓ Flere norske vannverk har tidvis problemer med lukt og smak
- ✓ Lukt- og smak oppleves forskjellig, episoder kommer og går – og de kan være over før du får tatt vannprøvene
- ✓ Lukt og smak kan oppstå i alle deler av vannforsyningssystemet – også i eget hus
- ✓ Årsakene til lukt og smaksproblemer er ofte svært sammensatte, kildene kan være flere – og stoffene kan være vanskelige å identifisere: Lukt- og smakshjulet kan være et nyttig verktøy
- ✓ Kildesporing krever avgrensning av problemområdet, relevante prøver og analyser - og ikke minst god innsikt i alle deler av vannforsyningssystemet
- ✓ LOSiNOR har fokusert på lukt og smak knyttet til alger, klorering, PE-rør og membranfiltrering – med hovedfokus på tilgjengeliggjøring av analysemetoder
- ✓ Analysekapasiteten for lukt/smakstoffer er mangelfull i Norge – det er utfordrende analyser og konsentrasjoner på ng/L-nivå
- ✓ Vannbehandling mot lukt og smak vil normal kreve metoder som oksidasjon, aktivkull (PAC, GAC), AOP eller membranfiltrering (NF). Konvensjonelle metoder som koagulering gir varierende, men ofte dårlige resultater
- ✓ Gjennomgang av rapporterte lukt/smaksepisoder, årsakene til disse, aktuelle analysemetoder og vannbehandlingsløsninger er en god kunnskapsballast.....