Skadetyper hos kaldtvannskoraller

Faglig rammeverk for vurdering av skader, stress og kumulative effekter

Einar Morten Slapgård

Revidert utgave 2.4 – APA 7-format

Dato: Juli 2026

Oppdatert med funn fra HI 2026-14 (VDWS Transition)
Systematiske klassifiseringsnøkler (clavis) i Kap. 10
Kalibrert tone og presiseringer etter faglig kvalitetssikring
Veikart til kalibrert status (Kap. 16.2)
Rev. 2.0: reviderte beslutningsnøkler, NML-modell (§§ 4, 5 og 8–12, jf. § 7), oppdatert kildegrunnlag og enhetlig terskelmodell.
Rev. 2.1: generiske skadegrader (koloninivå), betinget § 9, uttømmende Nøkkel 5, styrket kildekritikk (tabell 6.3) og b-MBI-forbehold.
Rev. 2.2: konsekvent betinget § 9 (kap. 10.6 og gjennomgangseksempel), korrigert b-MBI-forbehold, Nøkkel 2-grense lukket ved 70 %, fullførte naturmangfoldlov-henvisninger, fullstendig føre-var-formulering i lederoppsummeringen, samt retting av artsnavn, veikart og paginering.
Rev. 2.3: Nøkkel 4 er revidert slik at skadegrad inngår eksplisitt i reversibilitetsvurderingen og mekanisk skade kan nå R2, R3b og R4; grad IV gir R4; Nøkkel 5 krever evidensnivå 1 eller 2 for T1; intervallet 20–50 år er dekket av R3b.
Rev. 2.4: Nøkkel 3 skiller målte fra modellerte støtteparametere; Nøkkel 4 trinn 1 er omtalt som mekanisk eller mekanisk dominert skade (kode A–C); gjennomgangseksempelet begrunner hvorfor det forblir på basisnivå.

Lederoppsummering

Dokumentets status: Rammeverket er et strukturert beslutnings- og tolkningsstøtteverktøy. Klassifiseringer og tiltakskategorier er operative og indikative, og kan ikke alene erstatte stedsspesifikk faglig vurdering, supplerende datainnhenting eller ordinær forvaltningsmessig skjønnsutøvelse. **Rammeverket er ikke kalibrert mot et standardisert referansedatasett, og klassifiseringene bør derfor anvendes konsistent innenfor samme prosjekt eller dataserie.** All anvendelse krever at forbeholdene i kapittel 1.2, 1.4 og 14 legges til grunn. Se Kap. 16.2 for veikart mot kalibrert status.

Dette dokumentet presenterer et strukturert faglig rammeverk for klassifisering og vurdering av skader hos kaldtvannskoraller, med særlig relevans for revbyggende arter som *Desmophyllum pertusum*. Rammeverket kombinerer etablert vitenskapelig litteratur med operativ feltmetodikk og juridisk anvendbarhet.

Formålet er ikke å fastslå årsak uten dokumentasjon, men å:

- Systematisere observasjoner
- Differensiere mellom skademekanismer
- Synliggjøre kumulative effekter
- Tydeliggjøre usikkerhet og evidensnivå

Dokumentet opererer med tre evidensnivåer (direkte dokumentert skade, forenlig mekanisme og hypotetisk sammenheng), noe som reduserer risiko for overtolkning og styrker etterprøvbarheten i forvaltningsprosesser.

I revidert utgave 1.2 ble rammeverket oppdatert med funn fra Havforskningsinstituttets VDWS Transition-prosjekt (Dunlop et al., 2026). Oppdateringene omfatter kvantitative sedimentasjonsterskler, artsspesifikke følsomhetsklassifiseringer, nye feltmetoder (visuell helseindeks og b-MBI), og empirisk støtte for at subletalt stress kan foreligge uten synlige skader.

I revidert utgave 1.3 er det lagt til et nytt kapittel 10 med fem systematiske klassifiseringsnøkler (clavis) som gjør det mulig å klassifisere skader steg for steg: primær skademekanisme, skadegrad, evidensnivå, reversibilitet og tiltaksvurdering. Nøklene operasjonaliserer rammeverkets teoretiske innhold til etterprøvbare feltverktøy.

I revidert utgave 1.4 er toneleiet kalibrert etter faglig tilbakemelding og kvalitetssikring. Terskler omtales som indikative nivåer, klassifiseringer er formulert som indikative vurderinger fremfor kategoriske konklusjoner, og tiltakskategoriene er eksplisitt definert som beslutningsstøtte for videre saksbehandling.

I revidert utgave 1.5 er det lagt til en eksplisitt erkjennelse av at rammeverket ikke er kalibrert mot et standardisert referansedatasett, samt et veikart (Kap. 16.2) som spesifiserer hva som skal til for å oppnå kalibrert status. Dette gir en transparent utviklingsbane og et konkret grunnlag for samarbeid.

Forholdet til naturmangfoldloven §§ 4, 5 og 8–12

Rammeverket er utformet for å kunne inngå i forvaltningens vurdering av forvaltningsmålene i naturmangfoldloven §§ 4 og 5 og prinsippene i §§ 8–12, jf. § 7. Det faglige hovedgrunnlaget ligger i §§ 4, 5 og 8–10, mens §§ 11 og 12 er saksspesifikke tilleggsprinsipper som brukes når de faktisk er relevante for et konkret tiltak.

Rammeverket er et faglig beslutnings- og tolkningsstøtteverktøy. Det gir et strukturert grunnlag for forvaltningens vurdering av forvaltningsmålene i naturmangfoldloven §§ 4 og 5 og prinsippene i §§ 8–12, jf. § 7. Rammeverket foretar ikke den endelige rettslige vurderingen, fastslår ikke årsak uten dokumentasjon og avgjør ikke kostnadsansvar etter § 11. Den endelige vurderingen og begrunnelsen tilligger ansvarlig forvaltningsorgan.

§ 4 – Forvaltningsmål for naturtyper og økosystemer: Rammeverket knytter skadetyper og skadegrad til tilstanden i naturtypene og økosystemene som skal forvaltes.

§ 5 – Forvaltningsmål for arter: Klassifiseringen av mekanisme, grad og reversibilitet støtter vurderingen av artenes bestandssituasjon og utvikling.

§ 8 – Kunnskapsgrunnlaget: Strukturert skadeanalyse styrker kunnskapsgrunnlaget ved å systematisere observasjoner og koble dem til etablert litteratur.

§ 9 – Føre-var-prinsippet: Relevant når kunnskapsgrunnlaget er utilstrekkelig om virkningene for naturmiljøet. Det skal da tas sikte på å unngå mulig vesentlig skade. Ved risiko for alvorlig eller irreversibel skade kan kunnskapsmangel ikke begrunne at forvaltningstiltak utsettes eller unnlates.

§ 10 – Økosystemtilnærming og samlet belastning: Dokumentet legger særlig vekt på kumulative effekter og samvirke mellom flere påvirkninger.

§ 11 – Kostnadene ved miljøforringelse: Relevant bare der en identifiserbar tiltakshaver og kostnadsansvar kan vurderes med hjemmel i relevant regelverk. Rammeverket fastslår ikke kostnadsansvar.

§ 12 – Miljøforsvarlige teknikker og driftsmetoder: Relevant der et konkret tiltak gjelder valg av teknikk, driftsmetode eller lokalisering; identifiserte skademekanismer gir grunnlag for å vurdere alternativer.

Operativ verdi

Dokumentet gir:

- En samlet terskeloversikt for operativ klassifisering
- Diagnostisk differensiering mellom mekanisk, sedimentrelatert og fysiologisk påvirkning
- Struktur for bruk av støtteparametere (oksygen, TOC, strøm, temperatur)
- Metodisk veiledning for felt- og tidsserieanalyse
- Kvantitative sedimentasjonsterskler basert på HI-rapport 2026-14
- Artsspesifikke følsomhetsklassifiseringer for forvaltningsrelevante bunnarter

- Fem systematiske klassifiseringsnøkler (clavis) for steg-for-steg vurdering

Begrensninger

Rammeverket er ikke en statistisk validert protokoll. Årsaksfastsettelse krever supplerende data, herunder hydrodynamiske analyser, kjemiske målinger og tidsserier.

Utviklingsstatus

Rammeverket er i en utviklingsfase. Det bygger på et fokusert utvalg av sentrale arbeider, ikke på en systematisk litteraturgjennomgang, og er ikke kalibrert mot et standardisert referansedatasett. Kap. 16.2 spesifiserer et veikart med konkrete milepæler for å oppnå status som oppfyller rammeverkets definerte kalibreringskriterier, strukturert i tre dimensjoner:

- **Datagrunnlag (D1–D4):** referansedatasett fra flere lokaliteter og sesonger, med koblede miljøparametere.
- **Metodisk validering (M1–M5):** interkalibrering mellom observatører, terskelvalidering, uavhengig feltvalidering.
- **Institusjonell forankring (I1–I4):** fagfellevurdering, høring hos HI/NINA/Miljødirektoratet, integrering med eksisterende protokoller.

Gjennom dette veikartet synliggjøres rammeverkets nåværende begrensninger og utviklingsbane på en transparent måte.

Samlet vurdering

Rammeverket representerer en faglig styrket og metodisk presisert versjon av tidligere arbeid. Det er vitenskapelig forankret, etterprøvbart, operativt anvendbart og juridisk relevant, samtidig som det er transparent om egne utviklingsbehov.

1. Innledning

Kaldtvannskoraller utgjør strukturelt komplekse og langsomt voksende marine habitater med høy økologisk verdi. De fungerer som tredimensjonale økosystemingeniører og skaper leveområder for et bredt spekter av bentiske og pelagiske arter (Roberts et al., 2006; Freiwald et al., 2004).

I norske farvann forekommer revbyggende kaldtvannskoraller særlig i fjordsystemer og på kontinentalsokkelen, hvor de kan være eksponert for menneskelig aktivitet som fiskeri, akvakultur, infrastruktur og endringer i hydrodynamiske forhold (Fosså et al., 2002; ICES, 2004).

Skader på kaldtvannskoraller kan ha svært ulik karakter. Noen påvirkninger gir akutte og synlige strukturelle skader, mens andre utvikler seg gradvis gjennom fysiologisk stress, redusert vitalitet og sekundære biologiske prosesser (Henry & Roberts, 2017).

Den primære revbyggende arten omtales i dette dokumentet som *Desmophyllum pertusum* (Linnaeus, 1758), tidligere kjent som *Lophelia pertusa*.

1.1 Formål

Formålet med dette dokumentet er å etablere et helhetlig og systematisk faglig rammeverk for:

- Klassifisering av skadetyper hos kaldtvannskoraller
- Skille mellom primær påvirkning og sekundære skadeprosesser
- Strukturert vurdering av kumulative effekter
- Konsistent bruk i felt, analyse og forvaltningsprosesser

1.2 Avgrensning og metodisk presisering

Dette dokumentet fastslår ikke konkrete påvirkningskilder uten støttende datagrunnlag. Det beskriver biologisk forenlige mekanismer basert på etablert litteratur. Det skilles eksplisitt mellom observasjon, faglig vurdering og årsakstolkning.

Eventuell årsaksfastsettelse krever hydrodynamiske analyser, kjemiske målinger, tidsserier og romlig samvariasjonsanalyse.

1.3 Artsoverførbarhet

Rammeverket er primært utviklet med utgangspunkt i revbyggende steinkoraller som *Desmophyllum pertusum*, men bygger på prosesser som i stor grad er felles for andre fastsittende kolonidannende organismer.

VDWS Transition-prosjektet (Dunlop et al., 2026) har dokumentert at følsomheten for organisk påvirkning varierer betydelig mellom arter. Se Kap. 6.4 for fullstendig oversikt.

1.4 Dokumentets status

Dette dokumentet representerer et strukturert faglig rammeverk. Det er ikke en validert vitenskapelig protokoll med interkalibrering og statistisk testede terskler. Angitte prosentnivåer brukes som operative klassifiseringsintervaller.

1.5 Referanse- og kildegrunnlag

Dokumentet er strukturert i henhold til APA 7-standard. Sentrale mekanismer er forankret i etablert primærlitteratur (Fosså et al., 2002; Roberts et al., 2006; Henry & Roberts, 2017; Davies et al., 2009; Kutti et al., 2022; Weinnig et al., 2020; Dunlop et al., 2021; Dunlop et al., 2026).

Rammeverket er bygget på et fokusert utvalg av sentrale arbeider om kaldtvannskoraller, norske farvann og oppdrettsrelatert påvirkning, og ikke på en systematisk litteraturgjennomgang. Dette gir dokumentet et klart og avgrenset faglig forankringspunkt,

men innebærer samtidig at bredere litteraturgrunnlag bør tilstrebes ved videreutvikling og formell validering (jf. Kap. 14 og 16.2).

2. Mekaniske skader

Direkte fysisk påvirkning er en av de best dokumenterte skadeårsakene for kaldtvannskoraller (Fosså et al., 2002; Roberts et al., 2006).

2.1 Direkte fysisk ødeleggelse

Bunnkontakt fra fiskeredskap, ankring og annen fysisk påvirkning kan føre til avrevne grenstrukturer, eksponert kalkskjelett, fragmentering av kolonier og sammenraste revstrukturer.

Diagnostiske kjennetegn

- Skarpe, lyse bruddflater
- Lokal og punktvis skadeutbredelse
- Intakte polypper i direkte tilknytning til brudd

En vertikal dødelighetsgradient med større vevstap nær basis kan være forenlig med sedimentrelatert påvirkning, men er ikke alene diagnostisk; fravær av slik gradient kan tale for mekanisk skade.

2.2 Subletal mekanisk påvirkning

Gjentatt berøring, vibrasjon eller lett slep kan gi redusert polyppaktivitet, midlertidig retraksjon og endret vekstform. Eksperimentelle studier viser at samtidig temperaturøkning kan redusere restitusjonsevnen etter kortvarig stresseksponering (Weinnig et al., 2020).

3. Sedimentrelaterte skader

Finpartikulært sediment representerer en velkjent stressfaktor for kaldtvannskoraller, særlig i områder med redusert strømhastighet eller økt partikkeltilførsel (Larsson & Purser, 2011; Larsson et al., 2013; Henry & Roberts, 2017).

3.1 Fysiologisk mekanisme

Kaldtvannskoraller er avhengige av effektiv partikkelfiltrering. Sediment kan dekke polypper, øke energibruk til rensing og slimproduksjon, og redusere netto energibalanse. Langvarig sedimentpåvirkning kan føre til gradvis polyppdød, redusert kolonivitalitet og lokal vevsnekrose.

Indikative sedimentasjonsnivåer for helseeffekter

VDWS Transition-prosjektet (Dunlop et al., 2026) har dokumentert indikative sedimentasjonsnivåer der helseeffekter er observert hos forvaltningsrelevante bunnarter i norske farvann. Nivåene er basert på modellert akkumulert organisk sedimentasjon

(akkumulert over om lag to år, jf. HI 2026-14) og representerer operative referanseverdier som må tolkes stedsspesifikt, ikke universelle biologiske terskler:

- **Viftesvamp:** Synlig vevsdegradering og redusert LMS er observert i sammenheng med høy sedimentasjon. Fravær av individer innenfor 250 m fra enkelte anlegg kan være forenlig med sterk påvirkning, men alternative forklaringer (habitatpreferanser, naturlig variasjon) kan ikke uten videre utelukkes.
- **Kålrabisvamp: Betydelig cellulær stressrespons er observert i sammenheng med nivåer > 1000 g/m² (akkumulert over to år) og innenfor 300 m i hovedstrømretningen.**
- **Risengrynkorall: Synlig vevsdegradering er observert i sammenheng med nivåer > 2000 g/m² (akkumulert over to år), innenfor 10–500 m.**
- **Sjøtre: Metabolske og molekylære responser er observert i sammenheng med nivåer > 1000 g/m² (akkumulert over to år) og innenfor 200 m.**

3.2 Diagnostiske kjennetegn

- Økt dødelighet nær kolonibasen
- Vertikal dødelighetsgradient
- Tilstedeværelse av finpartikulært materiale mellom grenstrukturer

3.3 Kronisk vs. episodisk påvirkning

Episodisk sedimenttilførsel kan være reversibel. Kronisk tilførsel kan gi gradvis funksjonstap, økt mottakelighet for sekundær kolonisering og redusert strukturell stabilitet.

Døgnrytmen i polyppaktivitet hos risengrynkorall og sjøtre forstyrres ved kronisk sedimentasjon på 0,5 g/m²/dag, tilsvarende nivåer modellert innenfor om lag 300 m i hovedstrømretningen ved de undersøkte anleggene (Dunlop et al., 2026).

4. Organisk belastning og oksygenstress

Organisk berikelse kan påvirke kaldtvannskoraller indirekte gjennom økt mikrobielt oksygenforbruk og endret biogeokjemi (Dunlop et al., 2021; Kutti et al., 2022).

4.1 Metabolsk depresjon

Studier av *Desmophyllum pertusum* viser at økt organisk belastning kan føre til metabolsk depresjon, reduserte energireserver og nedsatt vekstrate (Kutti et al., 2022).

Indikative eksponeringsnivåer fra laboratorieforsøk

Laboratorieforsøk fra VDWS gir konkrete eksponeringsnivåer der fysiologiske stressresponser er observert (Dunlop et al., 2026). Verdiene gjelder de testede artene under forsøksbetingelser og kan ikke overføres direkte til alle feltsituasjoner:

- **Risengrynkorall:** Redusert polyppaktivitet, vevsnedbrytning og økt dødelighet er observert i sammenheng med eksponeringsnivåer på 5–10 g/m²/dag. Døgnrytme forstyrret allerede ved eksponeringsnivåer på 0,5 g/m²/dag.
- **Sjøtre:** Tilsvarende responser som risengrynkorall.
- **Øyekorall:** Minst følsom for organisk materiale.

Merk: Verdier oppgitt som g/m²/dag er eksponeringsrater fra laboratorieforsøk og kan ikke sammenlignes direkte med akkumulerte feltverdier oppgitt i g/m².

4.2 Oksygenstress

Økt organisk tilførsel kan føre til redusert oksygenkonsentrasjon i bunnvann, som kan redusere polyppaktivitet, øke risiko for vevstap og forsterke kumulative effekter (Roberts & Cairns, 2014).

4.3 Samvirke mellom flere påvirkninger

Kombinasjon av temperaturøkning og annen stresseksponering kan gi sterkere negativ effekt enn hver faktor isolert (Weinnig et al., 2020).

Legemidler som tilleggsstressor

VDWS dokumenterer avlusningsmidler som tilleggsstressor (Dunlop et al., 2026):

- **Hydrogenperoksid:** LC50 = 27,20 mg/L for øyekorallarver.
- **Azametifos:** EC50 = 1,89 µg/L, subletale effekter opptil 200 m.
- **Emamektin benzoat:** Metabolske og atferdsmessige endringer hos voksne øyekoraller.

5. Sekundær kolonisering og biologisk overvekst

Eksponert kalkskjelett fungerer som substrat for hydroider, bryozoer, svamp og andre epibionter (Henry & Roberts, 2017).

5.1 Primær vs. sekundær prosess

Sekundær kolonisering er ikke nødvendigvis en primær skadeårsak, men kan være en konsekvens av tidligere vevstap og en selvforsterkende progresjonsdriver.

Molekylære metoder kan avdekke subletale responser som ikke fanges opp av visuelle kriterier (Dunlop et al., 2026). Det er ikke tilstrekkelig dokumentert at slike endringer generelt opptrer før synlig sekundær kolonisering.

5.2 Indikativ klassifisering av overvekst

- < 30 % overvekst → Grad I (begrenset påvirkning)
- 30–<70 % → Grad II (moderat påvirkning)

- 70–<85 % → Grad III (omfattende påvirkning)
- ≥85 % → Grad IV (svært omfattende påvirkning)

Merk: Terskelverdiene angir andel påvirket av den analyserte enheten. Det må skilles mellom prosentvis skade på én koloni og prosentvis berørt habitat, areal eller forekomst; dette er ulike analyseenheter som ikke nødvendigvis har samme terskelverdier.

6. Kumulative effekter og progresjonsdynamikk

6.1 Mulige utviklingsforløp

- Akutt mekanisk skade → lokal regenerering
- Mekanisk skade + sediment → progresjon
- Organisk belastning → fysiologisk svekkelse
- Flere samtidige påvirkninger → akselerert kollaps

6.2 Reversibilitet

Tidlige stadier kan være reversible. Senere stadier med omfattende strukturelt tap anses i praksis irreversible på forvaltningsmessig tidsskala (Roberts et al., 2006).

6.3 Utvidet oversikt over stress- og påvirkningsfaktorer (indikativ)

Nr.	Stressfaktor	Årsak	Symptomer	Langtidseffekt	Implikasjon	Ref.
6.3.1	Temperatur	Vedvarende økning	Redusert polyppaktivitet	Redusert restitusjonsevne	Forsterker andre	Weinnig et al. (2020)
6.3.2	Oksygen	Hypoksi	Polyppinaktivitet	Økt dødelighet	Selektiv død	Roberts & Cairns (2014)
6.3.3	Organisk belastning	Partikulært materiale	Redusert filtrering	Habitatforringelse	Gradvis svekkelse	Kutti et al. (2022)
6.3.4	pH-reduksjon	Karbonatsystem	Redusert kalkdannelse	Tynnere skjelett	Redusert motstand	Roberts & Cairns (2014)
6.3.5	Miljøgifter	Tungmetaller	Subletale effekter	Svekket reproduksjon	Vanskelig å se	ICES (2004)
6.3.6	Sediment	Finpartikulært	Polyppkvelning	Kolonitap	Vertikal gradient	Larsson et al. (2013)
6.3.7	Substrat	Ras, vibrasjon	Destabiliserte kolonier	Permanent tap	Økt sårbarhet	Fosså et al. (2002)
6.3.8	Artsendring	Næringsendring	Overvekst	Tap av funksjon	Endret balanse	Henry & Roberts (2017)
6.3.9	Sykdom	Mikrobiell ubalanse	Uregelmessig vevstap	Økt dødelighet	Nekrose	Roberts et al. (2006)

Nr.	Stressfaktor	Årsak	Symptomer	Langtidseffekt	Implikasjon	Ref.
6.3.10	Redusert rekruttering	Tap av revstruktur	Eldre kolonier	Kontinuitetstap	Strukturelt	Fosså et al. (2002)
6.3.11	**Legemidler**	Avlusningsmidler	Larvedødelighet	Populasjonsnedgang	Reproduksjonsspot.	Dunlop et al. (2026)

Merk: Tabell 6.3 er en indikativ oversikt. Flere av årsakskjedene bygger på brede oversiktskilder og er ikke direkte dokumentert for hver enkelt påstand; de leses som operative arbeidshypoteser inntil målrettede primærkilder foreligger. Weinnig et al. (2020) gjelder temperaturpåvirkning på restitusjon etter kortvarig eksponering og støtter ikke en generell påstand om alle stressorer.

6.4 Artsspesifikk følsomhetsklassifisering

Basert på Dunlop et al. (2026). Klassifiseringen gjelder følsomhet for de undersøkte eksponeringene (organisk belastning og sedimentasjon), ikke generell artssensitivitet; visuelle indekser er artsavhengige.

Art	Følsomhet	Sikkerhet	Kommentar
Viftesvamp (*Phakellia* spp.)	Svært høy	Høy	Mest følsomme takson i forsøket; alternative forklaringer (historisk påvirkning, substrat, undersøkelsesdekning) bør vurderes
Kålrabisvamp (*Geodia barretti*)	Høy	Høy	Noen individer tolerante
Sjøtre (*Paragorgia arborea*)	Moderat-høy	Høy	Visuelt vanskelig å se
Risengrynkorall (*Primnoa resedaeformis*)	Moderat-høy	Moderat	Motstridende signaler
Bergskjell (*Acesta excavata*)	Lav	Moderat	Mer robust
Sjøbusk (*Paramuricea placomus*)	Ukjent	Lav	For lavt utvalg
Øyekorall (*Desmophyllum pertusum*)	Ukjent (felt)	Lav (felt)	Minst følsom av de fire undersøkte koralltaksa i laboratorieforsøket; larver svært følsomme

7. Operativ syntese av skademekanismer

7.1 Primære skadeprosesser

- Direkte fysisk destruksjon (Fosså et al., 2002; Roberts et al., 2006)
- Sedimentindusert energistress (Larsson et al., 2013; Baussant et al., 2022)

- Organisk belastning og metabolsk depresjon (Kutti et al., 2022)
- Temperaturrelatert reduksjon i restitusjonsevne (Weinnig et al., 2020)
- Legemiddeleksponering fra akvakultur (Dunlop et al., 2026)

7.2 Sekundære og selvforsterkende prosesser

- Sekundær kolonisering
- Økt sedimentakkumulering
- Redusert rekruttering
- Strukturell destabilisering

7.3 Diagnostisk differensiering

Mønster	Mest forenlig mekanisme
Skarpe, punktvise bruddflater	Mekanisk påvirkning
Vertikal dødelighetsgradient	Sedimentstress
Jevn vitalitetsreduksjon uten brudd	Fysiologisk stress
Overvekst av dødt skjelett	Sekundær prosess
Forstyrret polyppaktivitet uten synlig skade	Subletal organisk påvirkning

8. Evidensnivå og tolkingsstyrke

Rammeverket opererer med tre evidensnivåer:

Nivå 1 – Direkte dokumentert skade

- Direkte observert eller dokumentert eksponering eller skadehendelse med samsvarende skade
- Robuste før- og etterdata med dokumentert påvirkning

Nivå 2 – Forenlig mekanisme

- Skademønster konsistent med etablert litteratur
- Fravær av alternative mer plausible forklaringer
- Tidsmessig og romlig samsvar med kjent hendelse, med mønstergjenkjenning og systematisk vurdering av alternative forklaringer

LMS kan styrke vurderinger på dette nivået (Dunlop et al., 2026).

Nivå 3 – Hypotetisk sammenheng

- Biologisk plausibel

- Utilstrekkelig datagrunnlag
- Krever videre analyse

9. Samlet operativ klassifisering

Klassifisering	Indikativ andel funksjonstap	Operativ tolkning
Begrenset påvirkning	< 30 %	Lokale skader
Moderat påvirkning	30–<70 %	Betydelig svekkelse
Omfattende påvirkning	70–<85 %	Kritisk tilstand
Svært omfattende påvirkning	≥85 %	Indikativt funksjonelt sammenbrudd

10. Systematiske klassifiseringsnøkler (clavis)

Dette kapitlet presenterer fem systematiske nøkler etter prinsippene for tradisjonell dikotomisk clavis, kjent fra taksonomisk feltarbeid. Nøklene operasjonaliserer rammeverkets kapitler 2–9 til et steg-for-steg verktøy for klassifisering i felt og analyse.

> **Viktig presisering:** Nøklene er et strukturert beslutnings- og tolkningsstøtteverktøy, ikke en validert diagnostisk protokoll. Resultatene er indikative vurderinger som angir mest forenlige mekanismer, grader og tiltakskategorier – de erstatter ikke stedsspesifikk faglig vurdering, supplerende datainnhenting eller ordinær forvaltningsmessig skjønnsutøvelse. En kode som E-II-2-R3a-T2 uttrykker en strukturert arbeidshypotese, ikke en validert klassifisering.

10.1 Om nøklene

En clavis er et hierarkisk beslutningstre. Ved hvert trinn velges ett av to (eller flere) gjensidig utelukkende alternativer. Valget leder enten til neste trinn eller til et klassifiseringsresultat. Slik struktur reduserer subjektivitet og gjør vurderinger etterprøvbare.

De fem nøklene er:

- **Nøkkel 1:** Primær skademekanisme (hvilken type skade?)
- **Nøkkel 2:** Skadegrad (hvor alvorlig?)
- **Nøkkel 3:** Evidensnivå (hvor sikker er vurderingen?)
- **Nøkkel 4:** Reversibilitet og progresjonspotensial (hva skjer videre?)
- **Nøkkel 5:** Tiltaksvurdering (hva bør gjøres?)

Bruksveiledning: Start alltid med Nøkkel 1. Arbeid deg nedover – svar på hvert trinn basert på observasjonen. Når du når et resultat, gå videre til neste nøkkel. Alle fem nøkler tilsammen gir en samlet klassifisering som dekker skadetype, grad, sikkerhet, prognose og tiltak.

Forutsetning: Nøklene forutsetter systematisk feltdokumentasjon iht. Kap. 11.1. Ved manglende observasjonsgrunnlag skal dette angis som en del av usikkerhetsvurderingen.

10.2 Nøkkel 1: Primær skademekanisme

Formål: Identifisere hvilken hovedmekanisme som best forklarer observerte skader. Resultater viser til relevante kapitler i rammeverket.

Start her.

1a	Skaden omfatter synlige, skarpt avgrensede bruddflater eller avrevne strukturer	→ **Trinn 2**
1b	Skaden mangler akutte brudd og utvikler seg gradvis	→ **Trinn 4**

2a	Bruddflatene er skarpe og lyse (nylig), uten vertikal dødelighetsgradient, med intakte polypper i tilknytning til bruddet	→ **A – Akutt mekanisk skade (Kap. 2.1)**
2b	Bruddflater forekommer sammen med omfattende sekundær kolonisering eller vertikal gradient	→ **Trinn 3**

3a	Sekundær kolonisering er dominerende, bruddflater er eldre (mørke/bevokste)	→ **B – Historisk mekanisk skade + sekundær prosess (Kap. 2 + 5)**
3b	Vertikal dødelighetsgradient dominerer sammen med brudd	→ **C – Kombinert mekanisk + sedimentbelastning (Kap. 2 + 3)**

4a	Synlig finpartikulært sediment på/mellom grenstrukturer, og/eller vertikal dødelighetsgradient (mer dødt ved basis)	→ **Trinn 5**
4b	Ingen synlig sedimentdekning eller vertikal gradient	→ **Trinn 7**

5a	Sedimentet er finpartikulært og fremstår organisk anriket (luktende, biofilm, mørk farge), ELLER kilde til organisk utslipp er kjent i nærheten	→ **Trinn 6**
5b	Sedimentet er mineralsk/grovt eller uten tegn på organisk anrikning	→ **D – Ren sedimentbelastning (Kap. 3)**

6a	Modellert eller målt akkumulert sedimentasjon forhøyet (f.eks. > 1000 g/m² over to år, jf. HI 2026-14), vurdert samlet med strømretning, eksponeringsperiode og artsspesifikke responser. Avstand til kilde brukes ikke alene som klassifikasjonskriterium.	**→ E – Sedimentindusert skade med organisk anrikning (Kap. 3 + 4)**
6b	Kvantifisering mangler, men mønster er forenlig med organisk påvirkning	**→ E – Sedimentindusert skade med organisk anrikning (Kap. 3 + 4), evidensnivå 2–3**

7a	Redusert polyppaktivitet ELLER økt slimproduksjon, OG kjent eller sannsynlig organisk kilde i nærheten	**→ F – Mulig organisk belastning / metabolsk depresjon (arbeidshypotese, Kap. 4)**
7b	Overvekst av epibionter (hydrozoer, bryozoer, svamp) på dødt skjelett dominerer	**→ G – Sekundær kolonisering (Kap. 5)**
7c	Redusert polyppaktivitet eller andre tegn på stress uten kjent kilde, ingen overvekst, ingen støttedata	**→ H – Uspesifisert fysiologisk stress (krever videre analyse)**

Oversikt – resultater fra Nøkkel 1

Kode	Klassifisering	Hovedkapittel	Typisk diagnostikk
A	Akutt mekanisk skade	Kap. 2.1	Skarpe, lyse bruddflater
B	Historisk mekanisk + sekundær	Kap. 2 + 5	Eldre brudd + overvekst
C	Mekanisk + sediment	Kap. 2 + 3	Brudd + vertikal gradient
D	Ren sedimentbelastning	Kap. 3	Mineralsk sediment, gradient
E	Sediment + organisk anrikning	Kap. 3 + 4	Organisk sediment, kjent kilde
F	Mulig organisk belastning (arbeidshypotese)	Kap. 4	Redusert polyppaktivitet – krever støttedata
G	Sekundær kolonisering	Kap. 5	Overvekst av epibionter
H	Uspesifisert fysiologisk stress	Kap. 4	Krever videre analyse

10.3 Nøkkel 2: Skadegrad

Formål: Fastslå alvorlighetsgraden basert på prosentvis påvirkning av kolonien eller habitatet. Brukes sammen med resultatet fra Nøkkel 1.

Grunnlag: Estimat av andel koloni/habitat som er påvirket (vevstap, overvekst, redusert vitalitet eller sediment-dekning). Bruk punkt-intercept-metode på fotografier, kvadratmetoder eller visuell %-vurdering.

1a	Mindre enn 30 % av kolonien/området viser tegn på påvirkning	→ **Grad I – begrenset påvirkning**
1b	30 % eller mer av kolonien/området er påvirket	→ **Trinn 2**

2a	Mellom 30 % og under 70 % av kolonien/området er påvirket	→ **Grad II – moderat påvirkning**
2b	70 % eller mer av kolonien/området er påvirket	→ **Trinn 3**

3a	Mellom 70 % og under 85 % påvirket, men fortsatt observerbar funksjonell struktur	→ **Grad III – omfattende påvirkning**
3b	85 % eller mer påvirket, funksjonell struktur i praksis tapt	→ **Grad IV – svært omfattende påvirkning**

Oversikt – skadegrad

Grad	Andel påvirket	Operativ tolkning	Forvaltningsrelevans
I – begrenset	< 30 %	Lokale skader, begrenset betydning	Overvåkning anbefalt
II – moderat	30–<70 %	Betydelig svekkelse, funksjon delvis intakt	Tiltak bør vurderes
III – omfattende	70–<85 %	Kritisk tilstand, forhøyet risiko for progresjon	Behovet for aktive tiltak bør vurderes
IV – svært omfattende	≥85 %	Indikativt funksjonelt sammenbrudd	Praktisk irreversibel – forebygging

Merk: Grensene er operative vurderingsnivåer, ikke universelle biologiske terskler. Ved tvil mellom to grader, angi det lavere og beskriv usikkerheten. Prosentgrensene gjelder andel påvirket av én koloni (analyseenheten); habitat- eller arealvurdering krever en separat definert analyseenhet, og Grad IV på habitatnivå beskrives som «indikativt funksjonstap i definert analyseenhet».

10.4 Nøkkel 3: Evidensnivå

Formål: Vurdere hvor sikker klassifiseringen fra Nøkkel 1 og 2 er. Dette nivået bør oppgis i rapporter og faglige beslutningsgrunnlag.

1a	Direkte observert eller dokumentert eksponering/skadehendelse med samsvarende skade, eventuelt robuste før- og etterdata med dokumentert påvirkning	→ **Nivå 1 – Direkte dokumentert skade**
1b	Ingen direkte dokumentasjon, vurderingen baseres på skademønster	→ **Trinn 2**

2a	Skademønster konsistent med etablert litteratur, eventuelt tidsmessig/romlig samsvar med kjent hendelse, OG ingen mer plausible alternative forklaringer	→ **Trinn 3**
2b	Skademønster er biologisk plausibelt, men alternative forklaringer kan ikke utelukkes	→ **Nivå 3 – Hypotetisk sammenheng**

3a	Målte støtteparametere er tilgjengelige (O_2, TOC, sediment, LMS eller tilsvarende; b-MBI regnes som supplerende utviklingsindikator og løfter ikke evidensnivået alene) og samsvarer med tolkningen	→ **Nivå 2 – Forenlig mekanisme (styrket)**
3b	Kun visuelle observasjoner og/eller modellerte verdier, uten målte kvantitative støttedata	→ **Nivå 2 – Forenlig mekanisme (basis)**

Oversikt – evidensnivå

Nivå	Kriterier	Tolkingsstyrke	Bruk i faglig beslutningsgrunnlag
1 – Direkte	Direkte observert/dokumentert eksponering eller skadehendelse med samsvarende skade; eventuelt robuste før-/etterdata	Høy	Kan inngå i faglig beslutningsgrunnlag
2 – Forenlig	Mønster matcher litteratur, ingen bedre alternativ	Moderat	Styrkes av støtteparametere
3 – Hypotetisk	Biologisk plausibel, men usikker	Lav	Krever videre analyse

10.5 Nøkkel 4: Reversibilitet og progresjonspotensial

Formål: Vurdere om skaden er reversibel, om progresjon er sannsynlig, og dermed hvor hastverk tiltak har. For gradvise stressprosesser (kode D–H fra Nøkkel 1) tas utgangspunkt i progresjonsmodellen i Kap. 12.1. For akutt mekanisk skade (kode A–C) gjelder en egen logikk som reflekterer at slike skader ikke inngår i progresjonsmodellen.

1a	Skaden er klassifisert som mekanisk eller mekanisk dominert skade (kode A–C fra Nøkkel 1)	→ **Trinn 4**
1b	Skaden er klassifisert som sediment- eller organiskrelatert stress (kode D–H fra Nøkkel 1)	→ **Trinn 2**

2a	Koloni i tidlig stadium av progresjonsmodellen (trinn 1–3: fysiologisk stress eller redusert polyppaktivitet uten strukturelle skader)	→ **Trinn 3**
2b	Koloni i mellomstadium (trinn 4–5: sedimentakkumulering og begynnende sekundær kolonisering)	→ **Trinn 5**
2c	Koloni i avansert stadium (trinn 6–7: avansert kvelning eller indikativ habitatkollaps)	→ **R4 – Praktisk irreversibel på forvaltningsmessig tidsskala**

3a	Stressfaktoren er identifisert og kan fjernes eller reduseres (teknisk og administrativt mulig), ingen ytterligere stressorer forventes	→ **R1 – Reversibel (høy restitusjonsevne forventet)**
3b	Stressfaktoren vedvarer eller er vanskelig å fjerne	→ **R2 – Betinget reversibel (progresjonsfare dersom stress vedvarer)**

4a	Mekanisk skade omfatter < 30 % av analyseenheten (grad I), og gjentakelse av skadeforløpet kan unngås	→ **R1 – Reversibel (lokal regenerering forventet)**
4b	Mekanisk skade omfatter < 30 % av analyseenheten (grad I), men vedvarende eller gjentatt redskapsbelastning er dokumentert	→ **R2 – Betinget reversibel (progresjonsfare dersom belastningen vedvarer)**
4c	Mekanisk skade omfatter 30–<70 % av analyseenheten (grad II), uten dokumentert vedvarende belastning	→ **R3a – Delvis reversibel (regenerering over år til tiår)**
4d	Mekanisk skade omfatter 30–<70 % (grad II) med dokumentert vedvarende eller gjentatt belastning, eller 70–<85 % (grad III)	→ **R3b – Akselerert kollaps sannsynlig**

4a	Mekanisk skade omfatter < 30 % av analyseenheten (grad I), og gjentakelse av skadeforløpet kan unngås	→ **R1 – Reversibel (lokal regenerering forventet)**
4e	Mekanisk skade omfatter ≥ 85 % (grad IV), funksjonell struktur er i praksis tapt, eller revstruktur er fragmentert til korallgrus	→ **R4 – Praktisk irreversibel på forvaltningsmessig tidsskala**

5a	Enkelt hovedstressor identifisert, ingen dokumenterte samtidige stressorer, belastningen vurderes stabil eller avtakende	→ **R3a – Delvis reversibel (regenerering over år til tiår)**
5b	Flere påvirkninger virker samtidig, eller belastning vurderes økende	→ **R3b – Akselerert kollaps sannsynlig**

Oversikt – reversibilitet

Kode	Beskrivelse	Tidshorisont	Tiltaksindikasjon
R1	Reversibel	Måneder til 1–2 år	Fjerning av stress tilstrekkelig
R2	Betinget reversibel	1–5 år med tiltak	Aktivt tiltak påkrevd
R3a	Delvis reversibel	5–20 år	Langsiktig overvåkning
R3b	Akselerert kollaps	20–50 år, eller akselererende utvikling mot R4	Umiddelbare tiltak
R4	Praktisk irreversibel	> 50 år / ikke på forvaltningsskala	Fokus på forebygging andre steder

10.6 Nøkkel 5: Tiltaksvurdering etter naturmangfoldloven

Formål: Kombinere resultatene fra Nøkkel 1–4 til en operativ tiltaksanbefaling, koblet til naturmangfoldloven §§ 4, 5 og 8–12, jf. § 7.

> Tiltakskategoriene (T1–T5) er beslutningsstøtte for videre saksbehandling, ikke normative utfall. Forvaltningsmålene i §§ 4 og 5 og prinsippene i §§ 8–12, jf. § 7, må vurderes konkret i den enkelte saken. Nøkkelen gir en strukturert inngang til slike vurderinger, men erstatter dem ikke.

Tiltakskategoriene er faglig beslutningsstøtte. De utløser ikke automatisk bestemte lovbestemmelser. Relevansen av §§ 8–12 må vurderes konkret av ansvarlig forvaltningsorgan etter § 7. §§ 4 og 5 angir relevante forvaltningsmål. § 9 vurderes særskilt dersom kunnskapsgrunnlaget er utilstrekkelig og skadepotensialet gjør bestemmelsen relevant. § 10 vurderes når samlet belastning er relevant for beslutningen.

Grunnlag: Bruk utdata fra de fire foregående nøklene: skademekanisme (A–H), grad (I–IV), evidensnivå (1–3) og reversibilitet (R1–R4).

1a	Skaden er klassifisert som dokumentert akutt mekanisk skade (kode A) med evidensnivå 1, uavhengig av grad	**→ Trinn 2 (vurder først om vilkårene for T1 er oppfylt; ellers behandles saken videre i trinn 3)**
1b	Andre mekanisme-koder (B–H) eller evidensnivå 2–3	**→ Trinn 2**

2a	Skadegrad III eller IV (≥70 %) OG reversibilitet R3b eller R4 (akselerert/praktisk irreversibel) OG evidensnivå 1 eller 2	**→ T1 – umiddelbare tiltak bør vurderes. §§ 4 og 5 angir forvaltningsmål; § 9 vurderes særskilt dersom kunnskapsgrunnlaget er utilstrekkelig og skadepotensialet gjør bestemmelsen relevant; § 12 dersom tiltaket gjelder teknikk, driftsmetode eller lokalisering.**
2b	Skadegrad lavere enn III, reversibilitet R1–R3a, eller evidensnivå 3	**→ Trinn 3**

3a	Skadegrad II–IV med evidensnivå 1 eller 2, og ikke allerede klassifisert som T1	**→ T2 – behovet for aktive tiltak bør vurderes. §§ 4 og 5 angir forvaltningsmål; § 10 vurderes når samlet belastning er relevant; § 12 ved avbøtende teknikk, driftsmetode eller lokalisering.**
3b	Skadegrad I, eller evidensnivå 3	**→ Trinn 4**

4a	Dokumentert eller sannsynlig samlet belastning fra tidligere, pågående og forventede påvirkninger; flere samtidige stressfaktorer er ett mulig tilfelle.	**→ T3 – samlet belastningsvurdering anbefales (§ 10, vurdert mot målene i §§ 4 og 5); behovet for målrettede tiltak vurderes.**
4b	Enkelt stressor eller usikkerhet om kumulative effekter	**→ Trinn 5**

5a	Evidensnivå 3 eller vesentlige kunnskapshull som krever aktiv datainnhenting	**→ T4 – Overvåkning og kunnskapsinnhenting anbefales (§ 8; § 9 dersom overvåkning kombineres med midlertidige føre-var-tiltak)**
5b	Grad I og R1 med tilstrekkelig evidens og lavt skadepotensial, uten at vilkårene for § 9 er aktuelle	**→ T5 – Passiv overvåkning, tiltak ikke indikert på nåværende tidspunkt**
Ellers	Øvrige kombinasjoner som ikke er fanget opp foran (f.eks. grad I med R2–R3a og evidensnivå 1–2 uten høy samlet belastning)	**→ T4 – overvåkning anbefales; behovet for tiltak vurderes konkret når nytt grunnlag foreligger.**

Oversikt – tiltakskategorier

Kode	Tiltakskategori	Primær forankring	Betinget tillegg
T1	Umiddelbare tiltak bør vurderes	§§ 4 og 5	§ 9 når kunnskapsgrunnlaget er utilstrekkelig og skadepotensialet gjør bestemmelsen relevant; § 10 ved flere samtidige påvirkninger; § 12 ved teknikk, driftsmetode eller lokalisering
T2	Aktive tiltak bør vurderes	§§ 4 og 5	§ 9 når vilkårene er aktuelle; § 10 ved samlet belastning; § 12 ved avbøtende teknikk, driftsmetode eller lokalisering; § 11 bare når tiltakshaver og kostnadsansvar er rettslig relevant
T3	Samlet belastnings-vurdering anbefales	§ 10, vurdert mot §§ 4 og 5	§ 9 ved usikkerhet og skadepotensial (føre-var)
T4	Overvåkning og kunnskapsinnhenting anbefales	§ 8	§ 9 dersom overvåkning må kombineres med midlertidige føre-var-tiltak
T5	Passiv overvåkning	§ 8	Brukes bare der vilkårene for § 9 ikke er aktuelle

10.7 Samlet klassifisering – eksempel på bruk

Eksempelet nedenfor viser hvordan de fem nøklene brukes sammen for å klassifisere en observasjon.

Feltobservasjon (fiktivt eksempel)

En koloni av Desmophyllum pertusum observeres på ca. 180 m dyp, 350 m fra et oppdrettsanlegg. Kolonien viser jevnt redusert polyppaktivitet og lett sedimentdekning mellom grenstrukturene, med en svak vertikal dødelighetsgradient. Modellert akkumulert sedimentasjon er estimert til 1200 g/m². Ca. 45 % av kolonien er påvirket. Strømforhold tilsier at området ligger nedstrøms fra anlegget. LMS-data foreligger ikke.

Steg-for-steg klassifisering

Nøkkel	Valg	Resultat
Nøkkel 1 – Mekanisme	1b → 4a → 5a → 6a	**E – Sedimentindusert skade med organisk anrikning** (Kap. 3 + 4). Begrunnelse: vertikal gradient, nedstrøms anlegg, modellert sedimentasjon > 1000 g/m².
Nøkkel 2 – Grad	1b → 2a	**Grad II – moderat påvirkning (45 % påvirket).**
Nøkkel 3 – Evidens	1b → 2a → 3b	**Nivå 2 – Forenlig mekanisme (basis). Sedimentasjonsverdien er modellert, ikke målt på lokaliteten; fravær av målte støtteparametere holder vurderingen på basisnivå.**
Nøkkel 4 – Reversibilitet	1b → 2b → 5a	**R3a – Delvis reversibel** (mellomstadium i progresjonsmodellen, enkeltstressor). Vedvarende påvirkning eller tilleggsstressorer kan føre til R3b.
Nøkkel 5 – Tiltak	1b → 2b → 3a	**T2 – Aktive tiltak bør vurderes** (§§ 4 og 5 samt § 10; § 12 ved avbøtende teknikk og alternativ lokalisering): avbøtende teknikker, hydrodynamisk modellering, vurdering av alternativ lokalisering.

Samlet klassifiseringskode

E-II-2-R3a-T2 – Indikativ vurdering: sedimentindusert skade med organisk anrikning, moderat grad, forenlig mekanisme (basis), delvis reversibel, aktive tiltak bør vurderes.

Viktig forbehold: Klassifiseringen uttrykker den mest forenlige tolkningen gitt tilgjengelige data. Alternative forklaringer – som naturlig variasjon i polyppaktivitet, lokal hydrodynamisk turbulens, andre samtidige påvirkninger eller tidligere hendelser som ikke er dokumentert – kan ikke fullt ut utelukkes uten supplerende data. Virkelige feltsituasjoner vil ofte ha et større tolkningsrom enn dette pedagogiske eksempelet antyder.

Anbefalt faglig formulering til beslutningsgrunnlaget:

«Observasjonen vurderes som mest forenlig med sedimentindusert skade med organisk anrikning (E), skadegrad II (30–<70 % påvirket), evidensnivå 2 (basis), reversibilitetskategori

R3a. Alternative forklaringer kan ikke fullt ut utelukkes uten supplerende data. I henhold til naturmangfoldloven §§ 4, 5 og 10 vurderes det som relevant å vurdere aktive tiltak (T2), herunder avbøtende teknikker og hydrodynamisk modellering av sedimentspredning. Ettersom kunnskapsgrunnlaget på evidensnivå 2 fortsatt er beheftet med usikkerhet og skadepotensialet er vesentlig, vurderes også naturmangfoldloven § 9 som relevant. Ettersom tiltakene gjelder valg av avbøtende teknikk og eventuell alternativ lokalisering, bør § 12 vurderes særskilt. § 11 er bare relevant dersom tiltakshaver og kostnadsansvar kan identifiseres med hjemmel i relevant regelverk. Innhenting av LMS-data eller andre validerte støtteparametere anbefales for å styrke evidensnivået (Dunlop et al., 2026). b-MBI kan inngå som supplerende utviklingsindikator, men løfter ikke evidensnivået alene. Vurderingen er beslutningsstøtte og erstatter ikke ordinær forvaltningsmessig skjønnsutøvelse.»

11. Operativ bruk i felt og analyse

11.1 Feltbasert dokumentasjon

Systematisk dokumentasjon er en forutsetning for bruk av nøklene i Kap. 10.

- Høyoppløselig foto og/eller video
- Skalaobjekt i bilde
- Oversiktsbilde + detaljbilde
- Dokumentasjon av omkringliggende substrat
- Registrering av dybde, strømforhold og sikt

Anbefalte visuelle helsekriterier iht. Dunlop et al. (2026): andel vevstap, synlig vevsdegradering/misfarging, slimproduksjon, sedimentdekning.

11.2 Romlig mønstergjenkjenning

- Er skaden punktvis eller gradientbasert?
- Er dødelighet størst ved basis eller topp?
- Er skaden symmetrisk eller retningsbestemt?
- Samvarierer skaden med strømretning?

11.3 Bruk av støtteparametere

- Oksygenkonsentrasjon (O_2)
- Totalt organisk karbon (TOC)
- Sedimentkornstørrelse
- Strømhastighet og variasjon
- Temperaturavvik fra historisk normal

Avanserte støttemetoder

Fra Dunlop et al. (2026):

- **Visuell helsetilstandsindeks:** Ikke-inngripende indeks for flere korall- og svamparter.
- **b-MBI:** Mikrobiell indikator på organisk anrikning. Supplerende utviklingsindikator; ikke regionalt validert for norske forhold, og kan ikke alene løfte evidensnivået eller verifisere en påvirkningsgradient (HI 2026-14).
- **LMS:** Cellulært stress også der visuell tilstand er normal.

11.4 Tidsdimensjon og progresjonsvurdering

- Er skaden nylig eller etablert?
- Finnes tegn til regenerering?
- Er overvekst i tidlig eller avansert fase?
- Finnes historisk dokumentasjon?

11.5 Klassifisering og usikkerhet

Ved klassifisering etter nøklene i Kap. 10 skal alltid angis:

- Skademekanisme-kode (A–H)
- Skadegrad (I–IV)
- Evidensnivå (1–3)
- Reversibilitetskategori (R1–R4)
- Tiltakskategori (T1–T5)
- Datagrunnlag og usikkerhetsvurdering

11.6 Anvendelse i forvaltningssammenheng

Ved bruk i faglig beslutningsgrunnlag bør dokumentasjonen:

- Skille tydelig mellom observasjon og tolkning
- Angi usikkerhetsnivå
- Beskrive alternative forklaringer
- Vurdere kumulative effekter (§ 10)

11.7 Operative vurderingsprinsipper

A. Observasjon skilles fra tolkning. Deskriptiv dokumentasjon først, faglig vurdering adskilt (jf. § 8).

B. Primære og sekundære prosesser vurderes separat. Se Nøkkel 1 i Kap. 10.2.

C. Fravær av akutt skade likestilles ikke med god tilstand. Subletale prosesser kan foreligge uten synlige brudd (Weinnig et al., 2020). Bekreftet empirisk av Dunlop et al. (2026): LMS og transkriptomiske analyser viser cellulært stress der visuell tilstand er normal.

D. Skader vurderes i romlig og tidsmessig kontekst.

E. Kumulative effekter prioriteres ved usikkerhet.

F. Årsak fastslås ikke uten støttende data.

G. Tiltak vurderes før irreversible terskler overskrides (jf. § 9 og Nøkkel 5).

12. Kumulative effekter og ikke-lineær progresjon

12.1 Konseptuell progresjonsmodell for skadeutvikling

1. Frisk koloni – Aktiv polyppfiltrering og intakt struktur.

2. Fysiologisk stress – Redusert energibalanse.

3. Redusert polyppaktivitet – Periodisk retraksjon.

4. Sedimentakkumulering – Økt partikkelbinding.

5. Sekundær kolonisering – Epibionter etableres.

6. Avansert kvelning – Omfattende overvekst.

7. Indikativ habitatkollaps – Indikativt strukturelt sammenbrudd.

Tidlige stadier (1–3) kan være reversible. Senere stadier anses praktisk irreversible på forvaltningsmessig tidsskala (Roberts et al., 2006).

12.2 Særlig kritiske samvirkninger mellom påvirkninger

Temperatur × organisk belastning: Økt metabolsk behov + redusert håndteringsevne.

Organisk belastning × redusert strøm/oksygen: Lokal oksygenreduksjon.

Sediment × næringsstress: Forsterket sedimentrelatert påvirkning på svekkede kolonier.

Organisk belastning × legemidler: Avlusningsmidler som tilleggsstressor (Dunlop et al., 2026).

12.3 Hydrodynamisk modellering og reelle påvirkningsområder

VDWS Transition (Dunlop et al., 2026) dokumenterer at enkel avstandsmåling er utilstrekkelig. Strømretning gjør at nedstrøms områder kan få høyere sedimentasjon enn nærmere områder utenfor hovedstrømretningen.

Det anbefales å gå fra avstandsbaserte buffersoner til stedsspesifikke vurderinger basert på høyoppløselig hydrodynamisk modellering. b-MBI kan brukes som supplerende utviklingsindikator, men er ikke regionalt validert for norske forhold og kan ikke alene verifisere en påvirkningsgradient (HI 2026-14).

Kan være relevant for § 10 og, når beslutningen gjelder teknikk, driftsmetode eller lokalisering, § 12.

13. Forholdet til naturmangfoldloven §§ 4, 5 og 8–12

Rammeverket skiller mellom et grunnleggende faglig grunnlag i naturmangfoldloven §§ 4, 5 og 8–10 og en tiltaksavhengig forankring i §§ 11 og 12. Prinsippene i §§ 8–12 legges til grunn som retningslinjer ved offentlig myndighetsutøvelse, jf. § 7, og vurderingen skal fremgå av beslutningen. Rammeverket leverer det faglige grunnlaget; ansvarlig forvaltningsorgan foretar den endelige rettslige vurderingen.

Naturmangfoldloven	Relevante kapitler	Beslutningsrelevans
§ 4 Forvaltningsmål for naturtyper og økosystemer	Kap. 1–7, 10	Knytter skadetyper og skadegrad til tilstanden i naturtypene og økosystemene som skal forvaltes.
§ 5 Forvaltningsmål for arter	Kap. 6, 6.4, 10	Klassifisering av mekanisme, grad og reversibilitet støtter vurderingen av artenes bestandssituasjon og utvikling.
§ 7 Prinsipper for offentlig beslutningstaking i §§ 8–12	Kap. 13	Prinsippene i §§ 8–12 legges til grunn som retningslinjer ved offentlig myndighetsutøvelse; vurderingen skal fremgå av beslutningen.
§ 8 Kunnskapsgrunnlaget	Kap. 1–7, 10, 11	Systematiserer artstilstand og skademekanismer. Nøklene i Kap. 10 gir etterprøvbar klassifisering.
§ 9 Føre-var-prinsippet	Kap. 8, 10.6 (Nøkkel 5), 11.7	T1 kan gi beslutningsstøtte når § 9 er relevant etter en konkret vurdering (høy grad og lav reversibilitet).
§ 10 Økosystemtilnærming og samlet belastning	Kap. 10.6 (T3), Kap. 12	Tiltakskategori T3 adresserer kumulative effekter eksplisitt.
§ 11 Kostnadene ved miljøforringelse skal bæres av tiltakshaver	Kap. 7, 9, 10.6 (T2)	Relevant bare der en identifiserbar tiltakshaver og kostnadsansvar kan vurderes med hjemmel i relevant regelverk; klassifiseringskoden gir da strukturert omfangsgrunnlag. § 11 er ikke et selvstendig rettslig hjemmelsgrunnlag; kostnadsplasseringen må bygge på annet relevant regelverk eller vedtakshjemmel.
§ 12 Miljøforsvarlige teknikker og driftsmetoder	Kap. 7, 10.6 (T1–T2), 12.3	Relevant der et tiltak gjelder valg av teknikk, driftsmetode eller lokalisering; identifiserer sårbarhetsfaktorer og alternativer som begrenser skade.

§ 8 – Kunnskapsgrunnlaget: Rammeverket systematiserer skadetyper, strukturerer feltobservasjoner og kobler til litteratur. Nøklene i Kap. 10 legger til rette for mer etterprøvbar klassifisering.

§ 9 – Føre-var-prinsippet: Synliggjør subletale prosesser. § 9 vurderes særskilt dersom kunnskapsgrunnlaget er utilstrekkelig og skadepotensialet gjør bestemmelsen relevant; T1 kan gi beslutningsstøtte i slike tilfeller.

§ 10 – Samlet belastning: Beskriver kumulative effekter og tiltakskategori T3 dedikert til samlet belastning.

§ 11 – Kostnadene ved miljøforringelse: Relevant bare der en identifiserbar tiltakshaver og kostnadsansvar kan vurderes med hjemmel i relevant regelverk. Rammeverket fastslår ikke kostnadsansvar.

§ 12 – Miljøforsvarlige teknikker og driftsmetoder: Relevant der et konkret tiltak gjelder valg av teknikk, driftsmetode eller lokalisering; identifiserer kritiske påvirkninger og alternative lokaliseringer.

14. Begrensninger

- Rammeverket er ikke statistisk validert.
- Terskler er operative og indikative, ikke biologisk absolutte.
- Nøklene i Kap. 10 krever systematisk feltdokumentasjon.
- Årsaksfastsettelse krever supplerende data.
- Referansegrunnlaget er fokusert rundt et begrenset utvalg sentrale arbeider om kaldtvannskoraller, norske farvann og oppdrettsrelatert påvirkning. Klassifiseringsnøklene, tersklene og tiltakskategoriene bygger på dette fokuserte grunnlaget, ikke på en systematisk litteraturgjennomgang. Bredere litteraturforankring bør tilstrebes ved videreutvikling.
- Artsoverførbarheten er begrenset. Selv om kjernemekanismene er prosessbaserte, viser Kap. 6.4 at følsomhet varierer betydelig mellom arter og at sikkerheten er lav for flere arter. Samme diagnostiske logikk gjelder ikke like godt for alle arter.
- Nøklene og tiltakskategoriene er beslutningsstøtte, ikke vedtaksmotor. Forvaltningsmålene i naturmangfoldloven §§ 4 og 5 og prinsippene i §§ 8–12, jf. § 7, må vurderes konkret i den enkelte saken.

15. Eksempel på faglig formulering til beslutningsgrunnlaget

Basert på systematisk klassifisering etter Kap. 10 vurderes observasjonen som mest forenlig med kode E-II-2-R3a-T2: sedimentindusert skade med organisk anrikning, moderat grad, forenlig mekanisme (basis), delvis reversibel, aktive tiltak bør vurderes. Alternative forklaringer kan ikke fullt ut utelukkes uten supplerende data.

Selv om direkte årsakssammenheng ikke kan fastslås uten supplerende analyser, må § 9 vurderes særskilt dersom kunnskapsgrunnlaget anses utilstrekkelig og skadepotensialet oppfyller vilkårene, før praktisk irreversible terskler overskrides.

Tilgjengelig informasjon er ikke tilstrekkelig til å gradere samlet belastning. Tidligere, pågående og forventede påvirkninger må vurderes særskilt etter § 10. Klassifiseringen er beslutningsstøtte og erstatter ikke ordinær forvaltningsmessig skjønnsutøvelse.

16. Videre utvikling

16.1 Generelle utviklingsområder

- Standardisert visuell scoringsprotokoll
- Interkalibrering mellom observatører
- Integrasjon av hydrodynamiske data
- Kvantitativ modellering av progresjon
- Videre validering av b-MBI-indeks for norske farvann
- AI-basert bildeanalyse for standardisert LMS-tolkning
- Empirisk validering og kalibrering av nøklene i Kap. 10 på flere datasett
- Digital implementering av nøklene som feltbasert beslutningsstøtte-app

16.2 Veikart mot kalibrert status

Rammeverket er i nåværende form ikke kalibrert mot et standardisert referansedatasett. Dette kapitlet spesifiserer konkrete milepæler som må oppnås før rammeverket kan endre status fra *«operativt beslutningsstøtteverktøy»* til *«kalibrert rammeverk»*. Veikartet er organisert i tre dimensjoner og gir et konkret grunnlag for samarbeid med HI, NINA, Miljødirektoratet og andre institusjonelle aktører.

Kravene til antall lokaliteter, sesonger, observasjoner og år angitt nedenfor er foreslåtte planleggingskriterier, ikke etablerte fagstandarder.

Dimensjon 1 – Datagrunnlag

- **D1. Standardisert referansedatasett:** Etablering av et dokumentert datasett med feltobservasjoner fra minst 5 geografisk spredte lokaliteter, over minst 2 sesonger, med systematisk fotodokumentasjon etter fast protokoll.
- **D2. Miljøparametere koblet:** Hver observasjon i referansedatasettet koblet til modellert sedimentasjon, målt O_2, TOC og strømdata.
- **D3. Tidsserier etablert:** Gjentatte observasjoner fra samme faste målepunkter, minimum 3 tidspunkter per lokalitet.
- **D4. Artsspesifikk dekning:** Tilstrekkelig datagrunnlag for minst 3 av artene i Kap. 6.4, med minst 30 individer per art.

Dimensjon 2 – Metodisk validering

- **M1. Interkalibrering:** Minst 3 uavhengige observatører klassifiserer samme datasett. Mål: Fleiss' kappa ≥ 0,7 for Nøkkel 1 (skademekanisme) og vektet kappa ≥ 0,6 for Nøkkel 2 (skadegrad, ordinal). Ved to observatører brukes Cohen's kappa.
- **M2. Terskelvalidering:** Statistisk testing av %-intervallene i Nøkkel 2 (30 %, 70 %, 85 %) mot målte biologiske endepunkter. R^2 alene validerer ikke klassifikasjonstersklene; bruk biologiske endepunkter med f.eks. sensitivitet, spesifisitet og ordinal/logistisk modellering.

- **M3. Validering av sedimentterskler:** Empirisk testing av de indikative nivåene (> 1000 og > 2000 g/m², akkumulert over to år; studie- og lokalitetsspesifikke referansenivåer) mot observerte helseeffekter i uavhengige datasett.
- **M4. Uavhengig feltvalidering:** Nøklene anvendt på et datasett utenfor utviklingsgrunnlaget, mot en uavhengig referanseklassifikasjon (forhåndsdefinert ekspertkonsensus). Mål: balansert nøyaktighet, sensitivitet/spesifisitet eller macro-F1; ren totalnøyaktighet kan skjule svak klassifikasjon av sjeldne kategorier.
- **M5. Sensitivitetsanalyse:** Kvantifisering av hvor robust klassifiseringen er ved mindre variasjoner i observasjoner (f.eks. ± 5 % skadegrad).

Dimensjon 3 – Institusjonell forankring

- **I1. Fagfellevurdering:** Publisering av metoden i fagfellevurdert vitenskapelig tidsskrift, fortrinnsvis internasjonalt.
- **I2. Høring hos institusjonelle aktører:** Formell gjennomgang og kommentarrunde hos HI, NINA, Miljødirektoratet og relevante statsforvaltere.
- **I3. Integrering med eksisterende protokoller:** Kompatibilitetsvurdering mot MAREANO, OSPAR-tilstandsvurderinger (OSPAR, 2023) og andre etablerte overvåkningssystemer.
- **I4. Opplæringsmateriell:** Utvikling av standardisert opplæringspakke (manual, fotoreferanser, øvelsessett) for konsistent anvendelse.

Operative kriterier for kalibrert status

Rammeverket kan endre status til «kalibrert» når følgende minimumskriterier er oppnådd:

Kriterium	Milepæler oppnådd	Operativ terskel
Datagrunnlag	D1 + D2 + D3	Minst 5 lokaliteter, 2 sesonger, koblede miljødata
Interkalibrering	M1	Fleiss' kappa ≥ 0,7 for Nøkkel 1
Terskelvalidering	M2 + M3	Forhåndsdefinerte biologiske eller klassifikasjonsbaserte endepunkter med relevante mål (sensitivitet, spesifisitet, balansert nøyaktighet, observatørsamsvar)
Uavhengig validering	M4	Tilfredsstillende balansert nøyaktighet / macro-F1 på eksternt datasett
Institusjonell forankring	I1 + I2	Fagfellevurdert + høring gjennomført

Gradvis progresjon: Rammeverket kan oppnå en definert intern utviklingsstatus gjennom trinnvis oppnåelse av kriteriene. Det anbefales å rapportere kalibreringsnivå eksplisitt i alle fremtidige revisjoner, f.eks. som «intern utviklingsstatus: D1+D2+M1 oppnådd».

Foreløpig planleggingsestimat: Full kalibrering etter alle kriteriene vurderes å kreve 3–5 års samordnet innsats med tilstrekkelig finansiering og institusjonelt samarbeid. Intern utviklingsstatus (D1+M1+M2) kan oppnås innen 1–2 år ved målrettet innsats.

17. Referanseliste (APA 7)

Baussant, T., Arnberg, M., Lyng, E., Ramanand, S., Bamber, S., Berry, M., Hansen, I. M., Van Oevelen, D., & Van Breugel, P. (2022). Identification of tolerance levels on the cold-water coral *Desmophyllum pertusum* (*Lophelia pertusa*) from realistic exposure conditions to suspended bentonite, barite and drill cutting particles. *PLOS ONE, 17*(2), e0263061. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263061

Davies, A. J., Duineveld, G. C. A., Lavaleye, M. S. S., Bergman, M. J. N., van Haren, H., & Roberts, J. M. (2009). Downwelling and deep-water bottom currents as food supply mechanisms to the cold-water coral *Lophelia pertusa* (Scleractinia) at the Mingulay Reef Complex. *Limnology and Oceanography, 54*(2), 620–629. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.2.0620

Dunlop, K. M., Harendza, A., Bannister, R. J., & Keeley, N. (2021). Spatial response of hard- and mixed-bottom benthic epifauna to organic enrichment from salmon aquaculture in northern Norway. *Aquaculture Environment Interactions, 13*, 455–475. https://doi.org/10.3354/aei00419

Dunlop, K. M., Gomes, A. C. S., Laroche, O., Järnegren, J., Meier, S., Sævik, P. N., Schuppe, B. K., Reiss, H., Oskars, T. R., Olsen, S. A., Baussant, T., Kutti, T., Olsvik, P. A., Pochon, X., Keeley, N., Ullgren, J. E., Fuhrmann, M. M., Blévin, P., Palerud, J., … Husa, V. (2026). *Metoder for å vurdere følsomheten til forvaltningsrelevante bunnarter overfor akvakulturaktiviteter* (Rapport fra havforskningen 2026-14). Havforskningsinstituttet. https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2026-14

Fosså, J. H., Mortensen, P. B., & Furevik, D. M. (2002). The deep-water coral *Lophelia pertusa* in Norwegian waters: Distribution and fishery impacts. *Hydrobiologia, 471*(1), 1–12. https://doi.org/10.1023/A:1016504430684

Freiwald, A., Fosså, J. H., Grehan, A., Koslow, T., & Roberts, J. M. (2004). *Cold-water coral reefs: Out of sight – no longer out of mind* (UNEP-WCMC Biodiversity Series No. 22). UNEP-WCMC.

Henry, L.-A., & Roberts, J. M. (2017). Global biodiversity in cold-water coral reef ecosystems. I S. Rossi, L. Bramanti, A. Gori, & C. Orejas (Red.), *Marine animal forests: The ecology of benthic biodiversity hotspots* (s. 235–256). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21012-4_6

ICES. (2004). *Report of the Study Group on Cold-Water Corals (SGCOR)* (ICES CM 2004/ACE:07). International Council for the Exploration of the Sea. https://doi.org/10.17895/ices.pub.19266128

Kutti, T., Legrand, E., Husa, V., Olsen, S. A., Gjelsvik, Ø., Carvajalino-Fernández, M., & Johnsen, I. A. (2022). Fish farm effluents cause metabolic depression, reducing energy stores and growth in the reef-forming coral *Lophelia pertusa*. *Aquaculture Environment Interactions, 14*, 279–293. https://doi.org/10.3354/aei00442

Larsson, A. I., & Purser, A. (2011). Sedimentation on the cold-water coral *Lophelia pertusa*: Cleaning efficiency from natural sediments and drill cuttings. *Marine Pollution Bulletin, 62*(6), 1159–1168. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.03.041

Larsson, A. I., van Oevelen, D., Purser, A., & Thomsen, L. (2013). Tolerance to long-term exposure of suspended benthic sediments and drill cuttings in the cold-water coral *Lophelia pertusa*. *Marine Pollution Bulletin, 70*(1–2), 176–188. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.02.033

OSPAR Commission. (2023). Benthic habitats thematic assessment. I *Quality Status Report 2023*. OSPAR Commission.

Roberts, J. M., & Cairns, S. D. (2014). Cold-water corals in a changing ocean. *Current Opinion in Environmental Sustainability, 7*, 118–126. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.01.004

Roberts, J. M., Wheeler, A. J., & Freiwald, A. (2006). Reefs of the deep: The biology and geology of cold-water coral ecosystems. *Science, 312*(5773), 543–547. https://doi.org/10.1126/science.1119861

Weinnig, A. M., Gómez, C. E., Hallaj, A., & Cordes, E. E. (2020). Cold-water coral (*Lophelia pertusa*) response to multiple stressors: High temperature affects recovery from short-term pollution exposure. *Scientific Reports, 10*, Article 1768. https://doi.org/10.1038/s41598-020-58556-9

Rettskilder og veiledere

Klima- og miljødepartementet. (2016). *Naturmangfoldloven kapittel II. Alminnelige bestemmelser om bærekraftig bruk* (Veileder T-1554 B). Regjeringen. https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/naturmangfoldloven-kapittel-ii/id2481368/

Naturmangfoldloven. (2009). *Lov om forvaltning av naturens mangfold* (LOV-2009-06-19-100). Lovdata. https://lovdata.no/lov/2009-06-19-100

Einar Morten Slapgård

Utarbeider

Skadetyper hos kaldtvannskoraller – faglig rammeverk (Rev. 2.4)

Dato: Juli 2026