

# GEUS Notat om risikoklassificering af ustabile fjeldpartier i Karrat og Kigarsima, Ummannaqs fjordsystem

## Indholdsfortegnelse

Indledning.....	2
Sammendrag .....	3
Datagrundlag.....	3
Den norske risikoklassificering.....	4
Sandsynlighed/fareklasse .....	4
Konsekvens .....	5
Årlig sandsynlighed .....	5
Systemets anvendelse i Grønland.....	5
Risikoklassificering for Karrat 1 og 2 .....	7
Fareklasse.....	7
Konsekvens .....	7
Risiko .....	7
Risikoklassificering for Karrat 3 .....	9
Fareklasse.....	9
Konsekvens .....	10
Risiko .....	11
Risikoklassificering for Kigarsima .....	12
Fareklasse.....	12
Konsekvens .....	13
Risiko .....	14
Sammenligning med norske fjeldpartier.....	15
Konklusion og anbefalinger.....	16
Referencer .....	17
Appendiks A: Fareklasse kriterier og point .....	18

## Indledning

Nærværende notat præsenterer opdaterede risikovurderinger for de ustabile fjeldpartier Karrat 1, 2 og 3 og Kigarsima beliggende i Uummannaqs fjordsystem med udgangspunkt i det norske system for risikoklassificering af ustabile fjeldpartier. Dette er første gang systemet bliver implementeret i Grønland. Notatet er en del af projektet "Undersøgelse af risiko for alvorlige fjeldskred i Grønland".



Figur 1: Oversigtskort over Uummannaqs fjordsystem. Områderne med ustabile fjeldpartier ved Karrat og Kigarsima er markeret med sorte rammer.

## Sammendrag

GEUS anbefaler, at der fremover benyttes en tilpasset norsk risikoklassificering til at risikovurdere de grønlandske ustabile fjeldpartier som opstår i fast klippe, som f.eks. i Karrat fjorden (Karrat 1, 2 og 3) og Kigarsima. Det anbefales ligeledes, at der fremadrettet som i Norge benyttes betegnelserne "lav risiko", "moderat risiko" og "høj risiko", som defineret i risikomatricen (Figur 2) ud fra en systematisk vurdering af dels fareklasse og dels konsekvensklasse.

På baggrund af analyser af satellitdata, feltobservationer og tsunamimodellering vurderes det, at både Karrat 3 og Kigarsima udgør en høj risiko for nærtliggende beboede områder. Karrat 1 og 2 udgør ikke nogen risiko, så længe Illorsuit og Nuugaatsiaq er ubeboede. Hvis Illorsuit og/eller Nuugaatsiaq endnu var beboede, ville det potentielle tab af menneskeliv og dermed risikoen forbundet med fjeldskred i Karrat 1, 2 og 3 samt Kigarsima øges. Vurderingerne beskrevet i nærværende notat ændrer ikke på tidligere vurderinger af risikoen forbundet med de ustabile fjeldpartier.

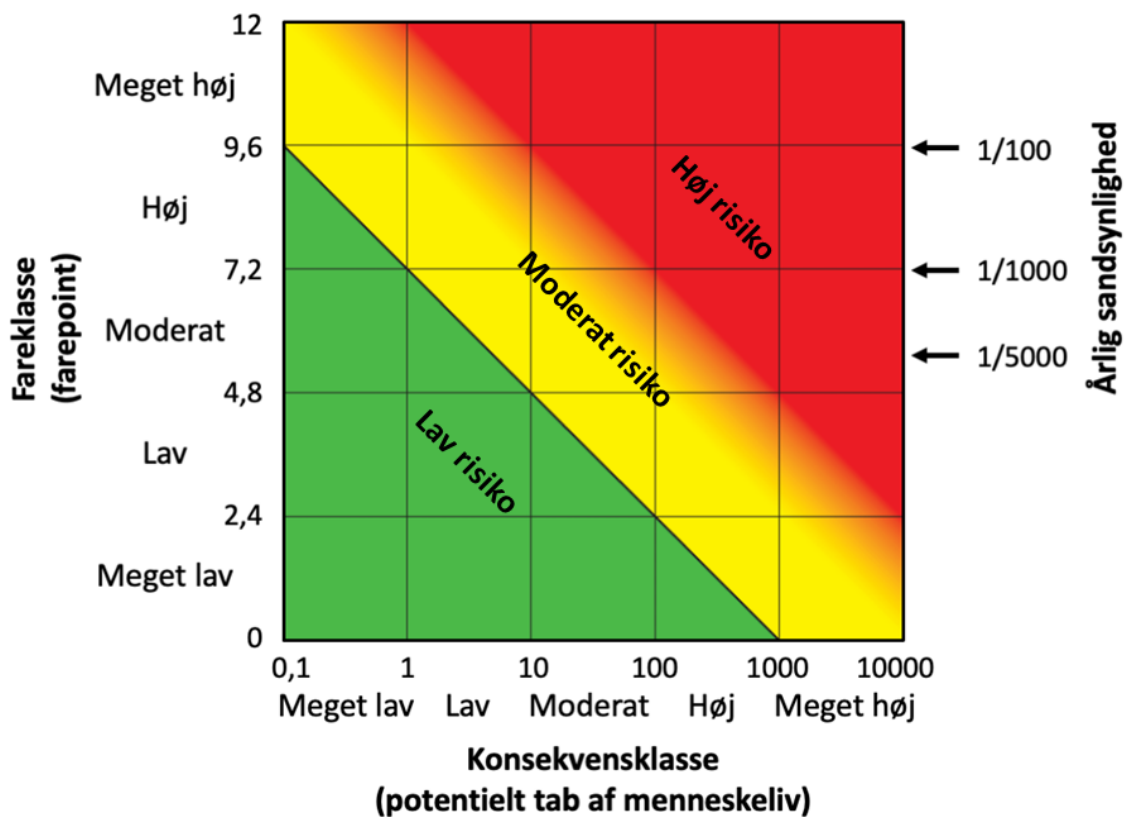
## Datagrundlag

GEUS har gennem de seneste år undersøgt kystnære fjeldsider i Grønland for risikoen for alvorlige fjeldskred der potentielt kan udløse en tsunami, som kan være til fare for beboede områder. Den opdaterede risikoklassificering, som præsenteres her, er udarbejdet på baggrund af feltobservationer og skråfoto indsamlet i løbet af fjeldskredsprojektet, analyser af optiske flyfoto tilbage til 1953, flyfoto fra Arktisk Kommando 2021–2022, indberetninger fra lokale fiskere, optiske satellitbilleder (Sentinel-2 2015–2022, Landsat 1972–2022), ArcticDEM, analyser af InSAR-data (Sentinel-1 2015–2022), analyser af historiske skred samt tsunamimodelleringer udført af Norges Geotekniske Institut. De ustabile fjeldpartier Karrat 3 og Kigarsima blev besøgt under fjeldskredsprojektets feltarbejde i somrene 2019 og 2021. Karrat 1 og 2 er ikke besøgt til fods pga. risikoen for fjeldskred. Fjeldpartiernes risiko og deres klassificering er drøftet undervejs med fjeldskredseksperter fra Norges Geologiske Undersøgelse og Norges Geotekniske Institut.

## Den norske risikoklassificering

Risiko er defineret som produktet af sandsynlighed og konsekvens. Risiko plottes typisk i en risikomatrice med sandsynlighed på y-aksen og konsekvens på x-aksen.

Risikoen forbundet med et ustabil fjeldparti afhænger af sandsynligheden for, at der sker et fjeldskred, og konsekvensen af fjeldskredet i form af potentielt tab af menneskeliv. I forbindelse med fjeldskred betegnes sandsynligheden ofte som faren, og begge betegnelser vil blive brugt her. Figur 2 viser den risikomatrice som er udviklet for ustabile fjeldpartier i Norge. I den norske risikoklassificering betegnes risikoen som enten lav (grøn), moderat (gul) eller høj (rød). Herunder følger en kortfattet beskrivelse af risikomatricens forskellige elementer: fareklasse, konsekvensklasse og årlig sandsynlighed.



Figur 2. Den norske risikomatrice, hvori risiko defineres som produktet af fare og konsekvens. Grøn svarer til "lav risiko", gul svarer til "moderat risiko", og rød svarer til "høj risiko". Grænsen mellem moderat og høj risiko er gradvis for at afspejle, at der i denne del af risikomatricen er behov for ekspertvurdering af specifikke forhold for det enkelte ustabile fjeldparti for at kunne klassificere dets risiko. Den årlige sandsynlighed, som den er beregnet for Norge, er angivet i matricens højre side.

## Sandsynlighed/fareklasse

Sandsynligheden for et fjeldskred betegnes ved hjælp af fareklasse, som defineres ud fra en sum af farepoint. I det norske system for klassificering af fareklasse for ustabile fjeldpartier tildeles der op til 12 farepoint for ni forskellige kriterier, som afspejler strukturgeologiske

forhold, nuværende deformation i det ustabile fjeldparti samt tidligere fjeldskredshændelser (Hermanns et al., 2012). De ni kriterier er: bagvæg, potentielle glidestrukturer, laterale frigørelsesflader, kinematisk mulig, morfologisk manifestation af brudflade, hastighed, acceleration, stenfallsaktivitet og tidligere hændelser.

Alle kriterier med undtagelse af hastighed kan få 0–1 point. Idet hastigheden har stor betydning for stabiliteten af et ustabil fjeldparti, kan dette kriterie få op til 5 point. Der gives point for acceleration for at tage højde for en forventet forøgelse af pointtallet for hastighed. Af den grund gives der ikke point for acceleration, når hastigheden allerede har 5 point. Samlet set kan der tildeles op til 12 point, og der defineres på baggrund af dette fem fareklasser: meget lav [0–2,4], lav [2,4–4,8], moderat [4,8–7,2], høj [7,2–9,6] og meget høj [9,6–12]. For en nærmere beskrivelse af de enkelte kriterier og deres farepoint, se Appendiks A i nærværende notat samt Hermanns et al., 2012.

### Konsekvens

Konsekvensen af et fjeldskred defineres som det potentielle tab af menneskeliv. Dette beregnes på baggrund af antal personer, som forventes at opholde sig i tsunamis opskylszone. Der medregnes personer, som bor i opskylszone, samt personer i bygninger, som ikke er til beboelse. For bygninger, som ikke er til beboelse, defineres en eksponeringsfaktor, som typisk er lavere end 100% for at tage højde for, at folk kun opholder sig der en del af tiden (Oppikofer et al., 2016).

I forbindelse med en tsunami er der en forventet overlevelse på 30% (Hermanns et al., 2012). Det potentielle tab af menneskeliv beregnes således som 70% af personerne i opskylszone. På grund af de klimatiske forhold i Grønland kan den forventede overlevelse eventuelt være lavere her.

I den norske risikoklassificering er der defineret følgende fem konsekvensklasser: meget lav [0,1–1], lav [1–10], moderat [10–100], høj [100–1000] og meget høj [1000–10000].

### Årlig sandsynlighed

Det norske system til risikoklassificering definerer desuden den årlige sandsynlighed for, at et fjeldskred sker. Den årlige sandsynlighed er angivet ud fra fastlagte grænser på 1/100 (1%), 1/1000 (1‰) og 1/5000 (0,2‰) og skal forstås som sandsynligheden for, at fjeldskredet sker inden for det kommende år. En årlig sandsynlighed på 1/100 skal således ikke forstås som, at der er 100% sandsynlighed for, at et fjeldskred vil ske inden for de kommende 100 år, men derimod at der er 1% sandsynlighed for, at fjeldskredet sker inden for det kommende år. Det ligger i definitionen, at sandsynligheden kan ændre sig, hvis fareklassificeringen justeres pga. ændrede bevægelsesmønstre e.l.

### Systemets anvendelse i Grønland

Under screeningsundersøgelsen i 2018 blev der defineret tre risikoklasser: "potentielt høj risiko", "høj risiko" og "meget høj risiko". De tre ustabile fjeldpartier i Karrat blev alle vurderet til at være i kategorien "meget høj risiko". På baggrund af den begrænsede viden om de enkelte ustabile fjeldpartier, som på det tidspunkt var til rådighed for

risikovurderingerne, var det ikke klart, om den norske risikoklassificering kunne overføres til Grønland.

Baseret på de udførte undersøgelser og diskussioner med bl.a. Reginald Hermanns fra Norges Geologiske Undersøgelse vurderer GEUS nu, at der er grundlag for at benytte den tilpassede norske risikoklassificering for de ustabile fjeldpartier i Grønland, som sker i fast klippe, som f.eks. i Karrat fjorden og Kigarsima. I Vaigat, hvor der er sket fem fjeldskred inden for de seneste 100 år, opstår en del af de ustabile områder i blødere geologisk materiale (talus og colluvium). Det er endnu usikkert, om den norske fareklassificering kan benyttes i denne type geologi, hvor det er vanskeligt at definere de strukturelle kriterier for bagvæg, frigørelsesflader og brudflade, som indgår i definitionen af fareklassen.

De kortlagte ustabile fjeldpartier i Grønland bevæger sig generelt betydeligt hurtigere end de ustabile fjeldpartier i Norge, hvilket kan skyldes forskelle i geologien eller anderledes klimatiske forhold. Vi definerer derfor hastigheden med intervaller som bedre afspejler den grønlandske geologi og de tilgængelige bevægelsesdata, som alene baseres på fjernmålinger med InSAR (se Appendiks A). På den måde får vi et tilpasset klassifikationssystem, som følger det norske på alle punkter med undtagelse af hastighed. Længere tidsserier af bevægelsesdata indsamlet i ustabile fjeldpartier samt mere detaljeret feltarbejde i Grønland vil kunne reducere usikkerheden i de opgivne resultater i klassifikationssystemet.

Den etablerede sammenhæng mellem fareklasse og årlig sandsynlighed i Norge er baseret på mange års kortlægning, detaljerede undersøgelser og dateringer af et stort antal tidligere fjeldskred. Et tilsvarende omfattende arbejde ville være påkrævet for at kunne vurdere den årlige sandsynlighed for fjeldskred i Grønland, særligt set i lyset af forskellene i geologi og højere hastigheder i de grønlandske ustabile fjeldpartier. Et sådant arbejde er endnu ikke udført i Grønland, hvorfor det ikke vides, hvordan den årlige sandsynlighed fra den norske risikoklassificering kan overføres til ustabile fjeldpartier i Grønland, og derfor vil den ikke blive benyttet her. Det er dog GEUS' vurdering, at den sammenhæng mellem fareklasse og årlig sandsynlighed som er vist i Figur 2, rimeligvis kan overføres til ustabile fjeldpartier i Grønland.

## Risikoklassificering for Karrat 1 og 2

Karrat 1 og 2 ligger i den geologiske Karrat Gruppe i et område med udpræget lagdeling, som hælder 20°–30° mod kysten, og som udgjorde glideplanet for fjeldskredet 17. juni 2017 i Karrat fjorden. Karrat 1 og 2 ligger nær skredarret fra 2017-fjeldskredet, og har begge haft en kort og hurtig udvikling, siden de blev aktive i 2015. Der er defineret et skredscenarie for hver af Karrat 1 og 2 med volumener på henholdsvis  $13 \times 10^6 \text{ m}^3$  og  $11 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

### Fareklasse

Karrat 1 ligger ca. 500 meter vest for 2017-skredarret og glider sandsynligvis på en plan brudflade langs den centrale del, men har tydelige elementer af rotationsbevægelse i top og bund. Den nuværende aktivitet i Karrat 1 begyndte i 2015, men udbulningen i fjeldsiden, som kunne ses før 2015, kan være dannet ved en tidligere ustabil fase.

Karrat 2 ligger som den direkte vestlige forlængelse af 2017-skredarret og ser ud til at være strukturelt betinget af de samme strukturer som forårsagede fjeldskredet i 2017. Karrat 2 er sandsynligvis et translativt skred. I tabel 1 og 2 er der givet korte begrundelser for de tildelte point for hvert farekriterie.

I fareklassificeringen får Karrat 1 og 2 pointsum på henholdsvis 12 og 10,75, og fareklassen defineres for begge fjeldpartier som meget høj.

### Konsekvens

Tsunamimodelleringen viste, at fjeldskred fra Karrat 1 og 2 kun medfører opskyl i Nuugaatsiaq og Illorsuit med begrænsede opskylshøjder på 3–6 m i Nuugaatsiaq og 3 m i Illorsuit (NGI Rapport af 26. marts 2021, GEUS Notat af 4. august 2021). Da de to bygder på nuværende tidspunkt ikke er beboede, betyder det, at det potentielle tab af menneskeliv ved tsunamier dannet ved fjeldskred fra et af de to ustabile fjeldpartier er nul.

### Risiko

Med en konsekvens på nul kan Karrat 1 og 2 ikke plottes i risikomatricen. Selv om sandsynligheden for fjeldskred er meget høj for begge lokaliteter, udgør de ikke nogen risiko for beboede områder. Karrat 1 og 2 ville have en vis risiko, hvis der endnu var beboere i de lavereliggende dele af Illorsuit og Nuugaatsiaq.

Tabel 1: Fareklassificering for Karrat 1

Kriterie		Point	Kommentar
1	Bagvæg	1	Veludviklet bagvæg på 50 meter højde med blottet fast klippe.
2	Potentielle glidestrukturer	1	Lagdelingen hælder 20–25° mod kysten.
3	Laterale frigørelsesflader	1	Veludviklede frigørelsesflader til begge sider.
4	Kinematisk mulig	1	Lagdelingen sammen med vertikale, kystparallelle sprækker i området giver kinematisk mulighed for skred.
5	Morfologisk manifestation af brudflade	1	Veludviklet brudflade langs hele fjeldpartiets nedre afgrænsning.
6	Hastighed	5	Fuldstændig dekorrelation i InSAR. At dømme efter den meget opbrudte overflade kan hastigheden være flere meter per år.
7	Acceleration	*	Se note
8	Øget stenfaldsaktivitet	1	Betydelig stenfaldsaktivitet særligt fra fjeldpartiets nedre del.
9	Tidligere hændelser	1	Ja, i 2009, 2016 og 2017.
Sum point		12	Svarer til <b>meget høj</b> fareklasse
*Der gives ikke point for acceleration når hastigheden har 5 point.			

Tabel 2: Fareklassificering for Karrat 2

Kriterie		Point	Kommentar
1	Bagvæg	0,5	Der er en bagvæg under udvikling fra den østlige del af området. Bagvæggen ligger i forlængelse af bagvæggen fra fjeldskredet i 2017.
2	Potentielle glidestrukturer	0,75	Lagdelling hælder ca. 20° mod kysten.
3	Laterale frigørelsesflader	0,75	Mod øst udgør skredarret fra fjeldskredet i 2017 en helt fritstående frigørelsesflade for Karrat 2. Mod vest er afgrænsningen mere utydelig.
4	Kinematisk mulig	1	Lagdelingen sammen med vertikale, kystparallelle sprækker i området giver kinematisk mulighed for skred.
5	Morfologisk manifestation af brudflade	0,75	Idet skredarret fra 2017 går skråt ind under Karrat 2, er der ikke noget som understøtter det ustabile fjeldparti.
6	Hastighed	5	Fuldstændig dekorrelation i InSAR.
7	Acceleration	*	Se note
8	Øget stenfaldsaktivitet	1	Betydelig stenfaldsaktivitet særligt fra fjeldpartiets østlige og nedre del.
9	Tidligere hændelser	1	Ja, i 2009, 2016 og 2017.
Sum point		10,75	Svarer til <b>meget høj</b> fareklasse
*Der gives ikke point for acceleration når hastigheden har 5 point.			



## Risikoklassificering for Karrat 3

Karrat 3 ligger i den geologiske Karrat Gruppe i et område med udpræget lagdeling, som hælder 20°–30° mod kysten, og som udgjorde glideplanet for fjeldskredet 17. juni 2017 i Karrat fjorden. Karrat 3 er et meget stort ustabil fjeldparti ca. 3 km vest for, hvor 2017-fjeldskredet skete. I GEUS Notat 29. marts 2021 blev der defineret to skredscenarier for Karrat 3 på henholdsvis  $412 \times 10^6 \text{ m}^3$  og  $524 \times 10^6 \text{ m}^3$  baseret på analyser af strukturer i fjeldpartiet og variationer i hastigheden. GEUS' seneste undersøgelser giver dog ikke grundlag for at definere forskellige fareklasser for de to skredscenarier, og tsunamimodellerne viste heller ikke meget stor forskel mellem opskylshøjderne, hvorfor risikoen for Karrat 3 vurderes samlet her.

### Fareklasse

Fjeldpartiet Karrat 3 har haft en mangeårig udvikling, sandsynligvis over hundreder eller tusinder år. Strukturelle analyser viser, at fjeldpartiet glider på en plan brudflade langs den centrale del, men har elementer af rotationsbevægelse i top og bund. En kort begrundelse for de tildelte point for hvert farekriterie er angivet i Tabel 3.

Tabel 3: Fareklassificering for Karrat 3

Kriterie	Point	Kommentar	
1	Udviklet bagvæg	1	Veludviklet bagvæg på 120 meter højde.
2	Potentielle glidestrukturer	0,75	Lagdeling hælder 20°–30° mod kysten, parallelt med skråningen.
3	Laterale frigørelsesflader	0,75	Veludviklet lateral frigørelsesflade mod vest og en mere utydelig afgrænsning mod øst.
4	Kinematisk mulig	1	Skred er sandsynligvis mulig langs lagdeling og vertikale, kystparallelle sprækker.
5	Morfologisk manifestation af brudflade	0,5	Det vides ikke om brudfladen (den nedre afgrænsning af det ustabile fjeldparti) manifesteres i morfologien, da det i givet fald sker under havniveau, og det ikke har været muligt at kortlægge batymetrien så tæt på land. Der ses dog antydning af udbulning i morfologien lige over havniveau.
6	Hastighed	3	Fjeldpartiet har en heterogen bevægelse med 5–10 cm/år i den øvre del og mere end 20 cm/år i den nedre del. De hurtigste områder bevæger sig med mere end 1 m/år og dekorrelerer i InSAR.
7	Acceleration	0	Der er ikke observeret en acceleration i InSAR-data i perioden 2016–2022.
8	Stenfaldsaktivitet	1	Der er stenfaldsaktivitet i området.
9	Tidligere hændelser	0,5	Der er tidligere sket fjeldskred på samme bjergside i 2009, 2016 og 2017, og ældre fjeldskredaflejringer peger mod en endnu længere historie af fjeldskred på Karrat kysten. Der er dog ikke i Holocæn sket fjeldskred af samme størrelse som Karrat 3.
Sum point	8,5	Svarer til <b>høj</b> fareklasse	

Samlet set får Karrat 3 en pointsum på 8,5, og fareklassen defineres på baggrund af dette som høj. Sandsynligheden vil kunne ændre sig, hvis der efter nogle år sker en ændring i f.eks. de observerede hastigheder af det ustabile fjeldparti.

## Konsekvens

Tsunamimodelleringen for et fjeldskred fra Karrat 3 viste, at der vil være meget høje opskyl i flere beboede bygder i Uummannaqs fjordsystem (NGI Rapport af 26. marts 2021, GEUS Notat af 4. august 2021). Ifølge befolkningstal fra Grønland bor der for tiden 212 personer i opskylszoneerne for et "worst case" skredscenarie fra Karrat 3, fordelt på bygderne:

	Indbyggere i alt	Beboere i Karrat 3 "worst case" opskylszone
Qaarsut	161	130
Niaqornat	35	35
Uummannaq	1447	27*
Saatuut	255	9
Ukkusissat	234	1
Ikerasak	153	10
Personer i alt		212
*Inklusiv 21 beboere på et elevhjem		

For at få et retvisende estimat af det potentielle tab af menneskeliv, skal der ligeledes medregnes personer i bygninger, som ikke er til beboelse. Da mange butikker og fabrikker samt sygehuset i Uummannaq ligger nær kysten, vil en del beboere i dagtid bevæge sig ind i opskylszoneerne. GEUS har modtaget tal for ansatte i butikker og fabrikker i opskylszoneerne og har på baggrund af dette estimeret, hvor mange ekstra personer der kan være i opskylszoneerne i dagtid. For Qaarsut og Niaqornat er der taget højde for, at en del personer allerede vil være medregnet, fordi de bor i opskylszoneerne. Idet folk kun opholder sig i butikker mv. i en del af dagen, ganges antallet af ekstra personer i dagtid med en eksponeringsfaktor på 0,3.

Idet "worst case" her er defineret som det sandsynlige skredscenarie der genererer det højeste opskyl og sker ved maksimalt højvande på 1,3 m over middelvandstand, giver ovenstående et øvre estimat for det potentielle tab af menneskeliv. I tsunamimodelleringen er der benyttet forskellige skredparametre for at afspejle usikkerheden i modelleringen relateret til fjeldskreddet dynamik. For at bestemme et nedre estimat for det potentielle tab af menneskeliv, har GEUS estimeret hvor mange personer der opholder sig i opskylszoneerne for et mindre alvorligt skredscenarie. Dette er gjort på baggrund af en optælling af huse i opskylszoneerne samt estimerer af ekstra personer i dagtid. Det understreges, at GEUS ikke har haft information om, hvilke huse som benyttes til beboelse, eller hvor mange personer som bor i hvert enkelt hus, hvilket medfører en vis usikkerhed i estimerterne.

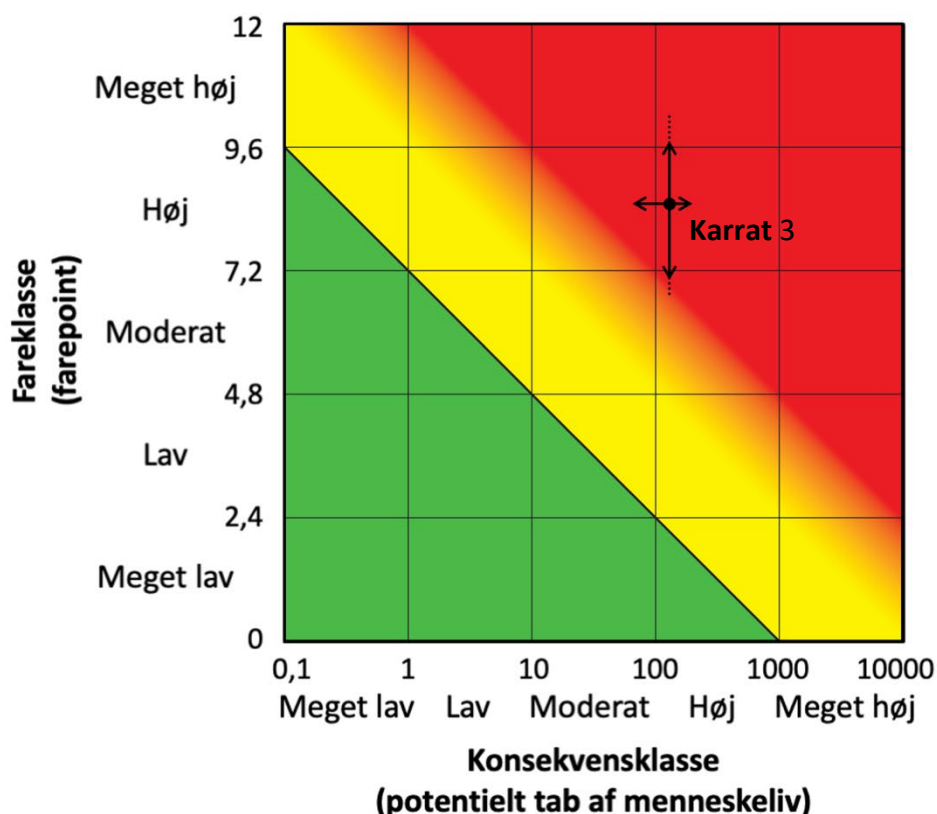
Baseret på ovenstående estimeres det, at det potentielle tab af menneskeliv er mellem 65 og 200 (70% af personerne i opskylszoneerne).

	Karrat 3 øvre estimat		Karrat 3 nedre estimat	
	Beboere	Ekstra personer i dagstid	Beboere	Ekstra personer i dagstid
Qaarsut	130	5	52	10
Niaqornat	35	0	21	5
Uummanaq	27	150	0	50
Saatuut	9	30	0	0
Ukkusissat	1	25	0	0
Ikerasak	10	30	0	0
Sum	212	240*	73	65*
Personer i alt	284		93	
Konsekvens (70%)	200		65	

\*Antallet af personer i dagstid ganges med en eksponeringsfaktor på 0,3, før konsekvensen (defineret som det potentielle tab af menneskeliv) beregnes som 70% af personerne i opskylszonerne.

## Risiko

Med udgangspunkt i estimaterne af fare- og konsekvensklasse er Karrat 3 plottet i risikomatricen i Figur 5. Heraf ses det, at Karrat 3 plottes i det røde felt for høj risiko.



Figur 5: Risikomatrix for Karrat 3. Den estimerede usikkerhed er vist med pile. Usikkerheden i fareklassen afspejler, at der er begrænset datagrundlag i nogle af farekriterierne. Usikkerheden i konsekvensklassen afspejler spændet af realistiske skredscenarier, samt det at fjeldskredet kan ske både ved lavvande og højevande.

## Risikoklassificering for Kigarsima

Lokaliteten Kigarsima ligger i Kangerluarsuk fjorden og blev for første gang beskrevet i GEUS Notat af 8. april 2022. Med notatet informerede GEUS formanden for Beredskabskommissionen om, at der fra denne lokalitet er meget høj sandsynlighed for et fjeldskred, som vil kunne have alvorlige konsekvenser for nærtliggende beboede områder. Denne vurdering blev bekræftet af tsunamimodellering udført af Norges Geotekniske Institut (NGI Rapport af 13. juni 2022, GEUS Notat af 14. juni 2022). Kigarsima ligger i den geologiske Karrat Gruppe i et område med udpræget lagdeling, som hælder 20°–23° mod kysten. Geologien er den samme som i Karrat fjorden.

### Fareklasse

Kigarsima vurderes at have haft en hurtig og accelererende udvikling begyndende for ca. 10 år siden. Strukturelle analyser viser, at det er et translationsskred, hvis bevægelse må antages at fortsætte og eventuelt accelerere yderligere. En kort begrundelse for de tildelte point for hvert farekriterie er angivet i Tabel 4.

Samlet set får Kigarsima 10 point, og fareklassen defineres på baggrund af dette som meget høj.

Tabel 4: Fareklassificering for Kigarsima

Kriterie		Point	Kommentar
1	Udviklet bagvæg	1	Veludviklet bagvæg på op til 20 meter højde.
2	Potentielle glidestrukturer	1	Lagdeling hælder 20°–23° mod kysten og kommer ud af skråningen.
3	Laterale frigørelsesflader	0,5	Delvist udviklede afgrænsninger til begge sider.
4	Kinematisk mulig	1	Der er tydelig lagdeling i området, men det vides ikke med sikkerhed, om der er andre strukturer som gør skred kinematisk mulig.
5	Morfologisk manifestation af brudflade	0,5	Der ses udbulning langs fjeldpartiets nedre afgrænsning.
6	Hastighed	3	Der er målt hastigheder ved hjælp af InSAR og bevægelsesvektorer på ca. 1 m/år i størstedelen af fjeldpartiet. Der er lokale områder med højere hastigheder (dekorrelation i InSAR).
7	Acceleration	1	Der er markant acceleration af bevægelserne, baseret på udviklingen af strukturerne.
8	Stenfaldsaktivitet	1	Der er stenfaldsaktivitet særligt i den nedre del.
9	Tidligere hændelser	1	Fjeldskreddene i Karrat i 2009, 2016 og 2017 er sket i samme geologiske og geografiske miljø.
Sum point		10	Svarer til <b>meget høj</b> fareklasse

## Konsekvens

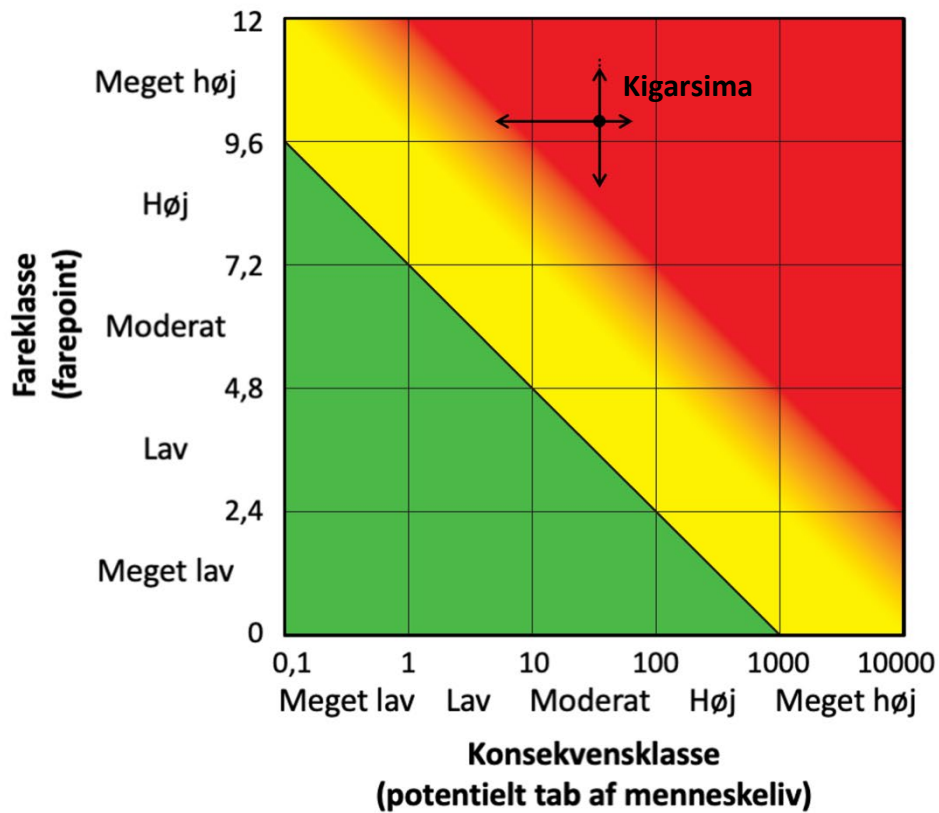
Tsunamimodelleringen for et "worst case" scenarie fjeldskred fra Kigarsima ved højvande viste, at der vil være høje opskyl i Qaarsut, Niaqornat og Ukkusissat (GEUS Notat af 14. juni 2022).

GEUS har ikke information om, hvor mange personer som bor i opskylszoneerne fra Kigarsima. Det potentielle tab af menneskeliv i opskylszoneerne er derfor estimeret på baggrund af en optælling af huse i opskylszoneerne samt estimerer af ekstra personer i dagstid. Det understreges, at GEUS ikke har haft oplysninger om, hvilke huse som benyttes til beboelse, eller hvor mange personer som bor i hvert enkelt hus, hvilket medfører en vis usikkerhed i estimererne. Baseret på ovenstående estimeres det, at det potentielle tab af menneskeliv er mellem ca. 5 og 65.

	Kigarsima øvre estimat		Kigarsima nedre estimat	
	Beboere	Ekstra personer i dagstid	Beboere	Ekstra personer i dagstid
Qaarsut	55	15	8	5
Niaqornat	12	5	0	0
Uummanaq	0	25	0	0
Saatuut	0	5	0	2
Ukkusissat	1	25	0	0
Ikerasak	0	0	0	0
Sum	68	75*	8	7*
Personer i alt	91		10	
Konsekvens (70%)	65		5	
*Antallet af personer i dagstid ganges med en eksponeringsfaktor på 0,3, før konsekvensen (defineret som det potentielle tab af menneskeliv) beregnes som 70% af personerne i opskylszoneerne.				

## Risiko

Med udgangspunkt i estimerterne af fare- og konsekvensklasse er Kigarsima plottet i risikomatrixen i Figur 6. Heraf ses det, at Kigarsima plotter i det røde felt for høj risiko.



Figur 6: Risikomatrix for Kigarsima. Den estimerede usikkerhed er vist med pile. Usikkerheden i fareklassen afspejler, at der er begrænset datagrundlag i nogle af farekriterierne. Usikkerheden i konsekvensklassen afspejler spændet af realistiske skredscenarier, samt det at fjeldskredet kan ske både ved lavvande og højevande.



## Konklusion og anbefalinger

GEUS anbefaler, at den tilpassede norske risikoklassificering fremover benyttes til at risikovurdere de grønlandske ustabile fjeldpartier som sker i fast klippe, som f.eks. i Karrat fjorden (Karrat 1, 2 og 3) og Kigarsima. Det anbefales ligeledes, at der fremadrettet benyttes betegnelserne "lav risiko", "moderat risiko" og "høj risiko", som defineret i risikomatricen (Figur 2) ud fra en systematisk vurdering af dels fareklasse og dels konsekvensklasse.

Karrat 3 og Kigarsima er på denne baggrund klassificeret med høj risiko. Kigarsima vurderes at have en større sandsynlighed for fjeldskred, dvs. højere fareklasse, end Karrat 3. Til gengæld viser tsunamimodellerne, at en tsunami genereret af et fjeldskred fra Karrat 3 vil have en større konsekvens end en tsunami genereret af et fjeldskred fra Kigarsima. De to fjeldpartier Karrat 1 og Karrat 2 vurderes at have høj sandsynlighed for fjeldskred, men tsunamimodellerne viser, at potentielle fjeldskred fra Karrat 1 og 2 kun udgør en fare for Nuugaatsiaq og Illorsuit. Så længe Illorsuit og Nuugaatsiaq er ubeboede, udgør de to fjeldpartier derfor ikke nogen risiko for beboede områder. Vurderingerne beskrevet i nærværende notat ændrer ikke på tidligere vurderinger af de ustabile fjeldpartier.

Hvis Illorsuit og/eller Nuugaatsiaq endnu var beboede, ville det potentielle tab af menneskeliv og dermed risikoen forbundet med fjeldskred fra Karrat 1, 2 og 3 samt Kigarsima øges. Således ville Karrat 3 plukke længere mod højre i risikomatricens røde højrisiko felt. Karrat 1 og 2 ville få en vis risiko, og risikoen for Kigarsima ville øges, hvis der endnu var beboere i de lavereliggende dele af Illorsuit og Nuugaatsiaq.

Nærværende fareklassificering af de ustabile fjeldpartier er baseret på nuværende viden og data om bevægelser og volumen af områderne i bevægelse. GEUS vurderer, at de modellerede skredscenarier, som er benyttet i tsunamimodellerne (GEUS Notat af 14. juni 2022 og 4. august 2022), giver et retvisende billede af mulige forløb, hvis der sker et fjeldskred fra Karrat 1, 2, 3 eller Kigarsima i dag. GEUS' undersøgelser tyder dog på, at skråningerne i det centrale Vestgrønland er i et kritisk stadie pga. degradering af permafrost (Svennevig et al., 2020; 2022). Undersøgelserne viser endvidere, at 2017 fjeldskredet ved Karrat og de ustabile fjeldpartier Karrat 1 og 2 og Kigarsima har haft en meget hurtig udvikling. Derfor kan fareklassificeringen for mulige skredscenarier hurtigt ændre sig. GEUS anbefaler derfor, at lokaliteterne Karrat 3 og Kigarsima monitoreres og genvurderes løbende. Det anbefales desuden, at der med få års mellemrum foretages en screening vha. satellitdata (InSAR og optiske) af alle kystvendte skråninger i hele Uummannaqs fjordsystem for at vurdere, om der er nye ustabile fjeldpartier, som bør undersøges nærmere og risikoklassificeres.

Det understreges, at det ikke er muligt at forudsige, hvornår eller præcis hvor de næste fjeldskred vil forekomme. Det er ligeledes ikke muligt at forudsige præcis, hvor store kommende fjeldskred vil være, om de vil generere tsunamier, og hvilke konsekvenser de vil have. De præsenterede vurderinger er de bedst mulige ud fra nuværende data og viden.



## Referencer

- Hermanns, R. L., Oppikofer, T., Anda, E., Blikra, L. H., Böhme, M., Bunkholt, H., Crosta, G. B., Dahle, H., Devoli, G., Fischer, L., Jaboyedoff, M., Loew, S., Sätre, S., Molina, F. Y. Recommended hazard and risk classification system for large unstable rock slopes in Norway, NGU report 2012.09, Geological Survey of Norway, Trondheim, Norway.
- GEUS Notat om risiko ved en tsunami udløst af et fjeldskred fra Karrat fjorden i Uummannaqs fjordsystem – opdaterede opskylskurver per august 2022, 4. august 2022.
- GEUS Notat om risiko for beboede områder ved en tsunami udløst af et fjeldskred fra lokaliteten Kigarsima i Uummannaqs fjordsystem, 14. juni 2022.
- GEUS Notat om risiko for et alvorligt fjeldskred fra lokaliteten Kigarsima i Uummannaqs fjordsystem, 8. april 2022.
- GEUS Notat om vurdering og anbefaling af muligheder for monitoring og varsling af tsunami og fjeldskred ved Karrat 3, 2. juli 2021.
- GEUS Notat om mulighederne for varsling af tsunami eller fjeldskred i Grønland, 28. juni 2021.
- NGI Report no 20210737-01-R: Tsunami hazard analysis in Greenland. Runup modelling of potential tsunamis from Kigarsima, 13. juni 2022.
- NGI Report no 20200823-01-R: Tsunami hazard screening for Uummannaq fjord system – Greenland. Hazard scenario simulations and 2017 event hindcast, 26. marts 2021.
- Oppikofer, T., Böhme, M., Nicolet, P., Penna, I., Hermanns, R. L., 2016. Metodikk for konsekvensanalyse av fjellskred, NGU rapport 2016.047, Norges Geologiske Undersøkelse, Trondheim, Norge.
- Svennevig, K., Hermanns, R.L., Keiding M, Binder, D., Citterio, M., Dahl-Jensen, T., Mertl, S., Sørensen, E.V., Voss, P.H., 2022. Large frozen debris avalanche entraining warming permafrost ground - the June 2021 Assapaat landslide, West Greenland. Landslides. <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01922-7>.
- Svennevig, K., Dahl-Jensen, T., Keiding, M., Merryman Boncori, J.P., Larsen T. B., Salehi, S., Solgaard, A.M., Voss, P. H. 2020. Evolution of events before and after the 17 June 2017 rock avalanche at Karrat Fjord, West Greenland – a multidisciplinary approach to detect and locate unstable rock slopes in a remote Arctic area. Earth Surface Dynamics. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/esurf-8-1021-2020>.

## Appendiks A: Fareklasse kriterier og point

<b>1. Bagvæg</b>	Point
Ikke-udviklet	0
Udviklet langs en del af det ustabile fjeldparti	0,5
Udviklet over hele det ustabile fjeldparti	1
<b>2. Potentielle glidestrukturer</b>	Point
Ingen gennemgående strukturer hælder ud af skråningen	0
Gennemgående strukturer hælder <20° ud af skråningen	0,5
Gennemgående strukturer hælder >20° ud af skråningen	1
<b>3. Laterale frigørelsesflader</b>	Point
Ikke udviklet	0
Udviklet på den ene side	0,5
Udviklet på begge sider	1
<b>4. Kinematisk mulig</b>	Point
Ikke kinematisk mulig	0
Delvist kinematisk mulig	0,5
Kinematisk mulig	0,75
Delvist kinematisk mulig med gennemgående strukturer	0,75
Kinematisk mulig med gennemgående strukturer	1
<b>5. Morfologisk manifestation af brudflade</b>	Point
Ingen indikation på skråningens morfologi	0
Dannelse af brudflade er indikeret af skråningens morfologi (f.eks. udbulning, kildefremspring)	0,5
Gennemgående brudflade kan kortlægges på skråningens morfologi	1
<b>6. Hastighed*</b>	Point
Ingen målbar bevægelse med InSAR	0
Målbar bevægelse uden dekorrelation in InSAR	1
Ikke defineret	2
Målbar bevægelse med lokal dekorrelation i InSAR	3
Ikke defineret	4
Fuldstændig dekorrelation i InSAR	5
<b>7. Acceleration</b>	Point
Ingen øgning af bevægelsen	0
Øgning af bevægelsen	1
<b>8. Stenfaldsaktivitet</b>	Point
Ingen stenfaldsaktivitet	0
Stenfaldsaktivitet	1
<b>9. Tidligere hændelser</b>	Point
Ingen Holocæne fjeldskred af samme størrelse	0
Et eller flere Holocæne fjeldskred af samme størrelse	0,5
Et eller flere historiske fjeldskred af samme størrelse	1
*Kriteriet for hastighed er tilpasset grønlandske forhold og afviger som det eneste fra det norske system til klassifikation af fareklasse. Det er endnu ikke muligt at definere fem distinkte klasser for hastighed for ustabile fjeldpartier i Grønland, da målingerne indtil videre alene er baseret på InSAR.	