

073-87

# Beschouwing over mogelijkheden voor ontwikkeling van schelpenbankecotopen in de oostelijke Waddenzee

Werkdocument RIKZ/AB/2001.609x



Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

# Beschouwing over mogelijkheden voor ontwikkeling van schelpenbankecotopen in de oostelijke Waddenzee

Werkdocument RIKZ/AB/2001.609x

ir. H.P.J. Mulder (RIKZ)  
drs. S. de Vries (Geo Plus bv)  
ing. J. F. Ruiter (Geo Plus bv)  
dr. N.M.J.A. Dankers (Alterra)

7 mei 2001

## 1. Inleiding

Om organismen een kans te geven zich te ontwikkelen op schelpenbanken is, conform de Landelijke Beleidsnota Schelpenwinning, de oostelijke Waddenzee sinds 1999 gesloten voor schelpenwinning. Dit beleid wordt in 2001 geëvalueerd. Op 3-4-2001 heeft overleg plaatsgevonden over het schelpenwinbeleid tussen vertegenwoordigers van LNV en VenW. Daarin zijn o.a. de volgende punten naar voren gekomen (letterlijk uit verslag):

- *winning vindt nu voor leeuwendeel plaats tussen Vlieland en Terschelling; leidt tot verstoring van het geomorfologisch proces (te veel onttrekking op één punt);*
- *voorstel VenW derhalve om ook in het oostelijk deel van de Waddenzee in de zogenaamde binnendelta (diepere geulen wadwaarts) schelpenwinning toe te staan*
- *in de gebieden waar vanwege de hoge stroomsnelheid de kans op vestiging van ecologisch tot de Waddenzee behorende organismen nihil is, kun je niet spreken van aantasting. Daar waar die kans wel aanwezig is, dient uitgegaan te worden van aantasting. Gespreide winning (over meerdere delta's) leidt volgens het verrichte onderzoek niet tot verstoring van het sedimentatieproces, zodat er op dit punt geen sprake is van aantasting.*
- *op basis van 'best experts judgement' zal RWS de stroomsnelheid vaststellen waarboven zich geen organismen kunnen vestigen. Dat gebied zou vrijgegeven kunnen worden voor de schelpenwinning aangezien er geen sprake is van aantasting van bestaande of potentiële waarden.*
- *de Noordzee blijkt geen echt alternatief omdat de schelpen er te gespreid liggen; alles blijven concentreren in de westelijke Waddenzee heeft geomorfologische bezwaren (zie boven);*
- *de schelpenbanken in de oostelijke Waddenzee waarbij in geval van winning wel sprake zou zijn van aantasting, blijven gesloten; nadat deze gebieden in kaart zijn gebracht zet LNV op basis van die kaart een traject in gang om te komen tot een echt eco-plot (alle in of op de bodem plaatsvindende activiteiten tegengaan); het eco-plot wordt vastgelegd in deel 3 pkb Waddenzee; vervolgens dient gedurende een aantal jaren gevolgd te worden welke organismen zich binnen het eco-plot vestigen;*

Naar aanleiding van bovenstaande is door de Directie Noord-Nederland van Rijkswaterstaat aan RIKZ gevraagd gebieden aan te geven in de binnendelta van de zeegaten in de oostelijke Waddenzee, waar geen mogelijkheden zijn voor vestiging en langdurige overleving van organismen op schelpenbanken. Het betreft hier de vloed- of binnendelta van de zeegaten Borndiep, Friesche Zeegat, Lauwers en de Eems. Volgens de nieuwe PKB (derde nota Waddenzee) is openstelling van deze gebieden voor schelpenwinning niet onmogelijk<sup>1</sup>. Uitgangspunt is dat, conform het huidige beleid, alleen gebieden onder NAP-5 m in aanmerking komen.

In deze beschouwing zijn op basis van expert-judgement gebieden bepaald, waar de kans op vestiging van organismen op schelpenbanken nihil dan wel relatief klein is.

Omdat de vraag op relatief korte termijn beantwoord moest worden, is hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de informatie die verkregen is in het kader van het Vervolgonderzoek Schelpenwinning<sup>2</sup>, uitgevoerd in 2000.

Bij de totstandkoming van dit document hebben dr. K. Essink, dr. J. de Vlas en dr. A. Oost (allen van het RIKZ) commentaar en/of suggesties geleverd.

<sup>1</sup> Deze nota vermeldt op blz. 84: "In ieder geval tot 2002 wordt de Waddenzee ten oosten van het wantij van Terschelling gevrijwaard van schelpenwinning. Door deze vrijwaring kunnen zich onderwaterbiotopen op schelpenbanken ontwikkelen. Uit aanvullend onderzoek moet blijken of dit inderdaad het geval is."

<sup>2</sup> Reijngoud, T.T., 2001. Eindrapport Vervolgonderzoek Schelpenwinning. Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland. Rapport nr. DNN 826/2001.

## 2. Aanpak

### 2.1 Algemeen

Het harde substraat van de schelpenbanken heeft potenties voor de vestiging van bepaalde organismen (hydroïdpoliepen, zee-anemonen, zeemos, mosselen, oesters, mosdiertjes etc.). Een schelpenbank moet in deze context opgevat worden als een concentratie van schelpen, waarvan de schelpendichtheid voldoende hoog is en die voldoende stabiel en duurzaam is uit ecologische oogpunt. De kans dat organismen zich vestigen en ontwikkelen op schelpenbanken is van een aantal factoren afhankelijk. Deze factoren zijn onder te verdelen in biotische, abiotische en menselijke.

Menselijke factoren in dit verband bestaan in de Waddenzee voornamelijk uit visserij-activiteiten zoals sleepnetvisserij of garnalenvisserij. Deze factoren worden hier buiten beschouwing gelaten, omdat hun aanwezigheid afhankelijk is van het beleid dat gevoerd wordt.

Abiotische factoren zijn fysische processen die van belang zijn voor de vorming en de levensduur van een schelpenbank. Stabiele schelpenbanken worden gevormd door een proces van transport en afzetting. Afzettingen kunnen ontstaan wanneer de stroming niet te sterk is. Ook dient een afzetting te bestaan uit een concentratie van een groot aantal schelpen. Een individueel afgezette schelp of een geringe concentratie is ecologisch niet van betekenis. Dit betekent dat er voldoende aanbod van schelpen moet zijn. De levensduur van een afzetting is eveneens van belang. Organismen hebben tijd nodig om zich te vestigen en ontwikkelen. De levensduur wordt bepaald door erosie van de bank of de bedekking door sediment. Deze bedekking kan zowel een golfkarakter hebben als een structureel karakter. Dit is afhankelijk van de aanwezigheid van migrerende ribbels en duinen (beweging in de stroomrichting), van migrerende geulen (beweging dwars op de stroomrichting) of van permanente opvulling.

Biotische factoren hebben betrekking op de aanwezigheid van organismen, de tijd die nodig is voor vestiging en verdere ontwikkeling op een hard substraat, de weerstand tegen stroming zowel voor als na vestiging, de weerstand tegen het zandtransport vlak boven de bodem (het "gezendstraald" worden), de mogelijkheden van organismen om schelpen aan elkaar te verbinden zodat een stevigere verband in het substraat ontstaat en de mogelijkheid om een bedekking door sediment te overleven. Eenmaal gevestigde organismen zijn in staat schelpen en elkaar beter bij elkaar te houden, bijvoorbeeld door de vorming van byssusdraden. Hun weerstand tegen stroming kan dan aanzienlijk zijn. Dit geldt bijvoorbeeld voor mosselen, waarvan bekend is dat die zich gemakkelijk op de basaltblokken van golfbrekers kunnen vestigen en handhaven. Ook is bekend dat niet met antifouling behandelde schepen aanzienlijke aangroei kunnen vertonen die ook bij aanzienlijke vaarsnelheden aanwezig blijft. Kenmerkend voor de aangroei zijn o.a. zakpijpen.

Op basis van bovenstaande beschouwing en beschikbare informatie is gezocht naar bruikbare criteria voor het voorkomen van organismen op schelpenbanken. Door de criteria toe te passen kunnen kaarten gemaakt worden met daarop gebieden waar geen schelpenbanken voorkomen met leven van betekenis.

### 2.2 Criteria en beschikbare informatie.

In het overleg tussen LNV en VenW (zie Inleiding) wordt de stroomsnelheid als criterium genoemd voor de vestiging van organismen. Bij welke stroomsnelheid de vestiging onmogelijk is, is echter niet bekend. Helaas is er ook geen literatuur beschikbaar over het voorkomen van leven op (dode) schelpenbanken. Wel is bekend dat er in het verleden oesters op schelpenbanken voorkwamen in de Waddenzee. Ook hebben zich in de Duitse Waddenzee riffen van zandkokerwormen bevonden. In de dynamische zeegaten komt het (niet beschermde) mosdiertje *Aspidelectra melolontha* voor op schelpophopingen, en voor zover bekend ook alleen daar (Cadée, pers. mededeling). Het is nog moeilijk op basis van waarnemingen in de Waddenzee vast te stellen waar schelpenbanken in de natuur stabiel zijn. Uit de waarnemingen met duikers en onderwater-video in het kader van het Vervolgonderzoek Schelpenwinning blijkt dat zich in de geulen Oosterom, Westmeep, Vliesloot, Zuid-Oost Lauwers schelpenbanken bevinden met een beperkt ontwikkelde flora en fauna. De belangrijkste aangetroffen soorten zijn hydroiden, zeepokken en mosdiertjes, allen opportunistische soorten die zich

vaak als één van de eerste soorten vestigen op nieuw substraat. Hun dichtheden waren over het algemeen laag. Tevens zijn er indicaties gevonden dat het regelmatig voorkomen van garnalenvisserij de vestigingskansen van soorten kan beperken. Op basis van deze waarnemingen zijn dan ook geen uitspraken te doen over de stabiliteit en levensduur van schelpenbanken in de Waddenzee.

Er zijn echter enkele fysische parameters die mogelijkheden bieden op theoretische gronden uitspraken te doen over de stabiliteit en levensduur van een schelpenbank. Het onderzoek van Geo Plus uit 2000<sup>3</sup> in het kader van het Vervolgonderzoek Schelpenwinning bevat informatie over een reeks fysische factoren die onderzocht zijn in relatie tot "schelpenvoorkomens". Het betrof hier echter geen schelpenvoorkomens *in situ* maar gegevens over gewonnen hoeveelheden (inclusief begraven schelpenbanken). Er zijn twee parameters uit dit onderzoek die hier van toepassing kunnen zijn:

- *de bodemschuifspanning*. De bodemschuifspanning is de kracht per eenheid van oppervlakte die het bewegende water op de bodem uitoefent. Zij wordt hier gebruikt als indicator voor de vorming van stabiele schelpenbanken. Indien de bodemschuifspanning boven een kritische waarde uitkomt, dan mag aangenomen worden dat schelpen geen stabiel substraat kunnen vormen. Er is gebruik gemaakt van de momenteel beschikbare kaart met een met modellen berekende bodemschuifspanning t.g.v. stroming en golven<sup>3</sup>. De gebruikte stroomsnelheden behoren bij een situatie die meerdere malen per jaar kan voorkomen. De gebruikte waarden van de orbitaalsnelheden (golfparameter) kunnen beschouwd worden als lokale maxima die nog regelmatig in het Waddengebied kunnen optreden. Als kritische grens voor de bodemschuifspanning is 5 Pa (1 Pascal = 1 Newton/m<sup>2</sup>) gekozen. De keuze is gebaseerd op:
  1. indicaties dat in dit geval relatief hoge stroomsnelheden (1 tot 1,5 m/s) aanwezig zijn (zie bijlage 1).
  2. interpretatie van een Duits onderzoek in een stroomgoot naar kritische snelheden voor schelpen (Futterer<sup>4</sup>, 1977; zie bijlage 2)
  3. indicaties uit het genoemde onderzoek van Geo Plus<sup>3</sup>, dat er weinig tot geen schelpen gewonnen worden in gebieden boven deze grens.
- *erosie/sedimentatie*. Door erosie kunnen schelpen vrij komen en een bank vormen. Hoe lang deze bank als substraat beschikbaar is, hangt af van de sedimentatie. De sedimentatie kan continu zijn, momentaan of regelmatig terugkerend. Hierbij moet men o.a. denken aan de voortplanting van duinen en ribbels, de zijwaartse en cyclische migratie van geulen en grote sedimentatie als gevolg van stormen. Sommige organismen kunnen de sedimentatie overleven door naar boven of opzij te bewegen. De primaire settlers, de zeepokken en mosdiertjes, kunnen dit echter niet. En als deze organismen ontbreken is het minder waarschijnlijk dat er een schelpenbankecotoop ontstaat. Er is echter geen gebiedsdekkende informatie over de lokale sedimentatie op een tijdschaal van het getij, springtij-doodtij of seizoen. Ook ontbreekt voldoende informatie over de migratie van geulen in combinatie met de aanwezigheid van schelpenbanken. De beschikbare gebiedsdekkende informatie is gebaseerd op de 2 meest recente vaklodingen van Rijkswaterstaat, waartussen ca. 5 jaar zit. Aangenomen wordt dat deze lange-termijn-sedimentatie als indicator voor de begraving genomen kan worden. Er wordt tevens verondersteld dat hiervoor de gemeten sedimentatie gebruikt mag worden, ook al is deze opgetreden in een periode dat er sprake was schelpenwinning. Door schelpenwinning kan de structuur van de schelpenlagen verstoord worden, waardoor de erosiebestendigheid van de geulbodem vermindert. De schelpenwinning in de oostelijke Waddenzee is echter gering geweest t.o.v. de westelijke Waddenzee<sup>3</sup>. Als kritische grens voor aan schelpenbanken gebonden organismen wordt hier in eerste instantie uitgegaan van 1 cm per maand c.q. 12 cm/jr. Een structurele begraving van organismen met een snelheid van deze grootte wordt daarmee gezien als dodelijk. Deze waarde is enigszins subjectief gekozen op basis van de ruimtelijke schaal van schelpen en organismen (cm tot dm) en de tijdschaal voor het overleven (maand tot seizoen). Erosie, d.w.z. erosie van de zandige bodem, zou ook een criterium kunnen zijn voor de stabiliteit of levensduur. Echter, in eroderende gebieden kunnen schelpen vrij komen die,

<sup>3</sup> Vries, S. de, 2000. Kansrijke gebieden voor schelpenaccumulaties en koppeling met grootschalige fysische kenmerken. Vervolgonderzoek schelpenwinning Waddenzee. Geo Plus B.V., Rapport nr. 24505-00, in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee, 10 oktober 2000.

<sup>4</sup> Futterer, E., 1977. Einreglung, transport und ablagerung biogener harteile im stromungskanal. Dissertation der Ebenhard-Karls-Universitat zu Tubingen.

eventueel na verplaatst te zijn naar de geulbodem, redelijk stabiele banken kunnen vormen. Aan de andere kant kan de erosie zo groot zijn dat ook de schelpen opgeruimd worden. Dit kan bijvoorbeeld optreden tijdens stormen. Om zowel de erosie als de sedimentatie recht te doen als criterium voor hoog-dynamische omstandigheden kunnen zij samengenomen worden in de parameter *omwerking*. De omwerking is de absolute waarde van de sedimentatie of erosie. Vanwege het mogelijke schelpenaanbod door erosie zou men voor de omwerking een hogere grens kunnen hanteren als voor de sedimentatie, bijvoorbeeld tweemaal zo hoog, i.e. 24 cm/jr.

De resultaten van de fysische beoordeling moeten gecombineerd worden ecologische kennis. Hierbij is o.a. van belang dat ooit oesters voorkwamen op schelpenbanken tot een bepaalde afstand van het zeegat. Verder is van belang dat uit ecologisch veldonderzoek in het kader van het Vervolgonderzoek Schelpenwinning gebleken is dat in een aantal onderzochte geulen redelijk stabiele schelpenbanken voorkwamen.

Voor alle parameters geldt: van zowel het criterium als de gebruikte gegevens is de representativiteit onzeker. Een gevoeligheidsanalyse zal moeten aangeven in hoeverre deze onzekerheid invloed heeft op de grenzen van de af te bakenen gebieden. De te hanteren onzekerheid in de parameters zal naar bevinden geschat worden.

### 3. Resultaten

De volgende 3 kaarten vormen de eerste schatting van gebieden waar geen leven op schelpenbanken mogelijk is:

kaart 1: gebieden met een bodemschuifspanning groter dan 5 Pa en een ligging beneden NAP-5 m.  
 kaart 2: gebieden met een sedimentatie groter dan 12 cm/jr en een ligging beneden NAP-5 m.  
 kaart 3: gebieden met een omwerking groter dan 24 cm/jr en een ligging beneden NAP-5 m.

Uit kaart 1 blijkt dat de geselecteerde gebieden zich beperken tot de zeegaten. Dit biedt de mogelijkheid een duidelijke begrenzing te kiezen. Het ligt voor de hand zowel een hogere als lagere waarde voor kritische schuifspanning te onderzoeken, waardoor het gebied respectievelijk kleiner en groter wordt.

Uit kaart 2 voor de sedimentatie blijkt dat de geselecteerde gebieden zich niet beperken tot het zeegat maar zich kunnen uitstrekken tot in de secundaire geulen die dieper zijn dan NAP-5 m. Het deel van de Zuid-Oost Lauwers, waar veel schelpenbanken aangetroffen zijn, blijkt binnen het gebied te vallen. Voor het gevoeligheidsonderzoek ligt een lagere waarde voor het sedimentatiecriterium, dus een groter gebied, dan niet voor de hand. Wel zou een hogere waarde voor het criterium kunnen leiden tot een het ontdekken van een duidelijke begrenzing.

Uit kaart 3 voor de omwerking blijkt dat de geselecteerde gebieden zich evenmin beperken tot het zeegat en zich uitstrekken tot ver in het bekken. Ook hier is behoefte aan een hogere waarde voor het criterium.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gemaakte kaarten ten behoeve van het gevoeligheidsonderzoek (voor elke kaart geldt het criterium dat het gebied beneden NAP-5 m ligt).

| Kaartnummer | parameter           | criterium                      |
|-------------|---------------------|--------------------------------|
| 4           | bodemschuifspanning | > 4 Pa                         |
| 5           | bodemschuifspanning | > 6 Pa                         |
| 6           | sedimentatie        | > 24 cm/jr                     |
| 7           | sedimentatie        | > 36 cm/jr                     |
| 8           | omwerking           | > 36 cm/jr                     |
| 9           | omwerking           | > 50 cm/jr (i.e. ca. 1cm/week) |

Uit het criterium bodemschuifspanning (kaarten 1, 4 en 5) valt af te leiden dat er relatief veel verandert als het criterium van 5 naar 4 Pa gaat en relatief weinig als de het van 5 naar 6 Pa verandert. Daarmee lijkt een keuze van 5 Pa redelijk.

Ook bij een sedimentatiecriterium van 24 cm/jr (kaart 6) vallen nog grote delen van geulen in het geselecteerde gebied. Bij 36 cm/jr (kaart 7) is dit weliswaar minder het geval, maar ook deze waarde komt nog voor in secundaire geulen en bijvoorbeeld in de Zuid-Oost Lauwers.

Een verhoging van het criterium voor de omwerking (kaarten 3, 8 en 9) resulteert er niet in dat de gebieden die aan het criterium voldoen uit de secundaire geulen verdwijnen. Wel resulteert een verhoging erin dat in een aantal hoofdgeulen (o.a. Borndiep) zich een relatief groot gebied aftekent tussen het zeegat en het vertakte geulenstelsel in het bekken, alwaar niet aan het criterium voldaan wordt. In die zone zou men een ecologische grens kunnen leggen voor schelpenbanken.

Op grond van het voorafgaande is een kaart gemaakt (kaart 10) gebaseerd op een ligging beneden NAP-5 m en op een van de twee criteria: bodemschuifspanning > 5 Pa of omwerking > 50 cm/jr. In deze kaart zijn de grenzen geschetst als voorstel voor open te stellen gebieden. Daarbij is niet gekeken naar individuele vlekken die aan de criteria voldoen. Om praktische redenen is een grens getrokken dwars over een geul. De grens moet opgevat worden als een grens gezien vanuit de Noordzee. Dus in de geulen landwaarts van de grens zijn er wel mogelijkheden voor de ontwikkeling van schelpenbankecotopen.

Uit de getrokken grenzen blijkt dat vooral de bodemschuifspanning bepalend is en niet de omwerking. De onzekerheden rond het gebruik van de gemeten omwerking (of sedimentatie) zijn dan ook minder van belang voor het eindresultaat.

#### 4. Conclusies en aanbevelingen

Op basis van expert-judgement en direct beschikbare informatie uit het Vervolgonderzoek Schelpenwinning is getracht antwoord te geven op de vraag in welke gebieden in de oostelijke Waddenzee geen ontwikkeling van complexe ecotopen op schelpenbanken verwacht wordt.

Het resultaat is aangegeven in kaart nr. 10. De kans wordt zeer klein geacht dat in de gebieden zeewaarts van de aangegeven grenzen, door morfologische veranderingen schelpenbanken te voorschijn komen die zo gunstig gelegen zijn t.o.v. hun omgeving dat er gedurende langere tijd (seizoen-jaren) sprake is van een stabiele bank met vestigingsmogelijkheden voor organismen.

De getrokken grenzen zijn vooral gebaseerd op de hoogte van de bodemschuifspanning. Eventueel verder onderzoek zou zich met name kunnen richten op deze stabiliteitsparameter. De criteria sedimentatie en omwerking, zoals hier gebruikt, lijken vooralsnog niet erg geschikt.

Om meer zekerheid te krijgen kan men overwegen meer onderzoek te doen in het veld, maar ook zijn laboratoriumproeven denkbaar. Dit laatste is het kader van het Vervolgonderzoek Schelpenwinning ooit voorgesteld maar niet uitgevoerd. Veldonderzoek zou kunnen bestaan uit sonar-onderzoek in combinatie met onderwaterinspectie. Dit is vergelijkbaar met het uitgevoerde veldonderzoek in het kader van het Vervolgonderzoek Schelpenwinning, dat plaatsvond in een relatief klein deel van de Waddenzee. Aangeraden wordt een veel groter (eventueel door visserij en schelpenwinning verstoord) gebied te onderzoeken en ook onderzoek doen in volledig ongestoorde gebieden, waar bodemberoerende visserij ontbreekt.

## Bijlage 1 Bodemschuifspanning in relatie tot stroomsnelheid

Meer gedetailleerde informatie hierover is te vinden in de literatuur volgens voetnoot 3.

De bodemschuifspanning is kwadratisch afhankelijk van de stroomsnelheid volgens de formule

$$\tau = \rho \cdot g \cdot (u/C)^2$$

waarin  $\tau$  de bodemschuifspanning is ( $\text{Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ),  $\rho$  de dichtheid van het water ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  de versnelling van de zwaartekracht ( $\text{m/s}^2$ ),  $u$  de dieptegemiddelde stroomsnelheid ( $\text{m/s}$ ) en  $C$  de Chézy-coëfficiënt ( $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ).

Een hoge  $C$ -waarde betekent een relatief (hydraulisch) gladde bodem. Dit komt voor in relatief diepe geulen met relatief geringe bodemruwheid (door ribbels en duinen). Een lage  $C$ -waarde duidt op een relatief ruwe bodem. Voor een diepte van 5 meter of meer mag men volgens modelbenaderingen uitgaan van  $C$ -waarden van minimaal 40 à 50. Voor een diepte van 10 m zou dit minimum ca. 60 kunnen zijn.

In onderstaande tabel is voor een aantal combinaties van waarden van  $u$  en gangbare waarden van  $C$  de bodemschuifspanning weergegeven ( $\rho \cdot g \approx 10^4$ ).

| $\tau = f(u, C)$ | $u = 1$ | $u = 1,1$ | $u = 1,2$ | $u = 1,3$ | $u = 1,4$ | $u = 1,5$ |
|------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $C = 40$         | 6,3     | 7,6       | 9,0       | 10,6      | 12,2      | 14,1      |
| $C = 50$         | 4,0     | 4,8       | 5,8       | 6,8       | 7,8       | 9,0       |
| $C = 60$         | 2,8     | 3,4       | 4,0       | 4,7       | 5,4       | 6,3       |

De zeegaten van de Waddenzee zijn volgens Gerritsen en De Jong<sup>5</sup> meestal in evenwicht bij maximale stroomsnelheden van ca. 1 tot 1,2 m/s en een schuifspanning van ca. 3 tot 7 Pa.

Op grond van deze bevindingen is het aannemelijk dat indien er in de geulen schuifspanningen optreden groter dan 5 Pa de stroomsnelheden groter zijn dan 1 tot 1,3 m/s en de geulen uit hun evenwicht kunnen raken hetgeen gepaard gaat met grootschalige morfologische veranderingen.

Met het oog op stabiliteit van schelpenbanken is een kritische grens van 5 Pa een redelijke eerste schatting.

<sup>5</sup> Gerritsen, F. en H. de Jong, 1985. Stabiliteit van doorstroomprofielen in het Waddengebied. Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, nota WWKZ-84.V016.

## Bijlage 2 Begin van beweging van schelpen

Meer gedetailleerd informatie hierover is te vinden in De Vries<sup>6</sup>. Futterer<sup>4</sup> geeft helaas geen waarden voor de bodemschuifspanning, wel voor kritische stroomsnelheden op 1 cm boven de bodem. Voor kokkels variëren deze van 0,35 tot 0,55 m/s.

Omdat de bodemruwheid in de proeven van Futterer niet bekend<sup>7</sup> is, zal gewerkt moet worden met een schatting hiervan teneinde de stroomsnelheid te vertalen naar een bodemschuifspanning (zie bijlage 1). Hierbij wordt uitgegaan van een logaritmisch profiel voor het verticale snelheidsverloop volgens:

$$u(z) = (u_* / \kappa) \cdot \ln(z/z_0)$$

waarin  $u$  de stroomsnelheid is,  $u_*$  de schuifspanningssnelheid,  $\kappa$  de constante van Von Karman ( $= 0,4$ ),  $z$  de hoogte boven de bodem en  $z_0$  de hoogte is waarop de snelheid nul is. De waarde van  $z_0$  is gekoppeld aan de bodemruwheid volgens

$$C = (g^{1/2} / \kappa) \cdot \ln[h / (e \cdot z_0)]$$

waarin  $h$  de waterdiepte is en  $e$  het natuurlijke getal.

Er geldt per definitie

$$\tau = \rho \cdot (u_*)^2$$

en dus kan de bodemschuifspanning berekend worden volgens

$$\tau = \rho \cdot [\kappa \cdot u(z) / \ln(z/z_0)]^2$$

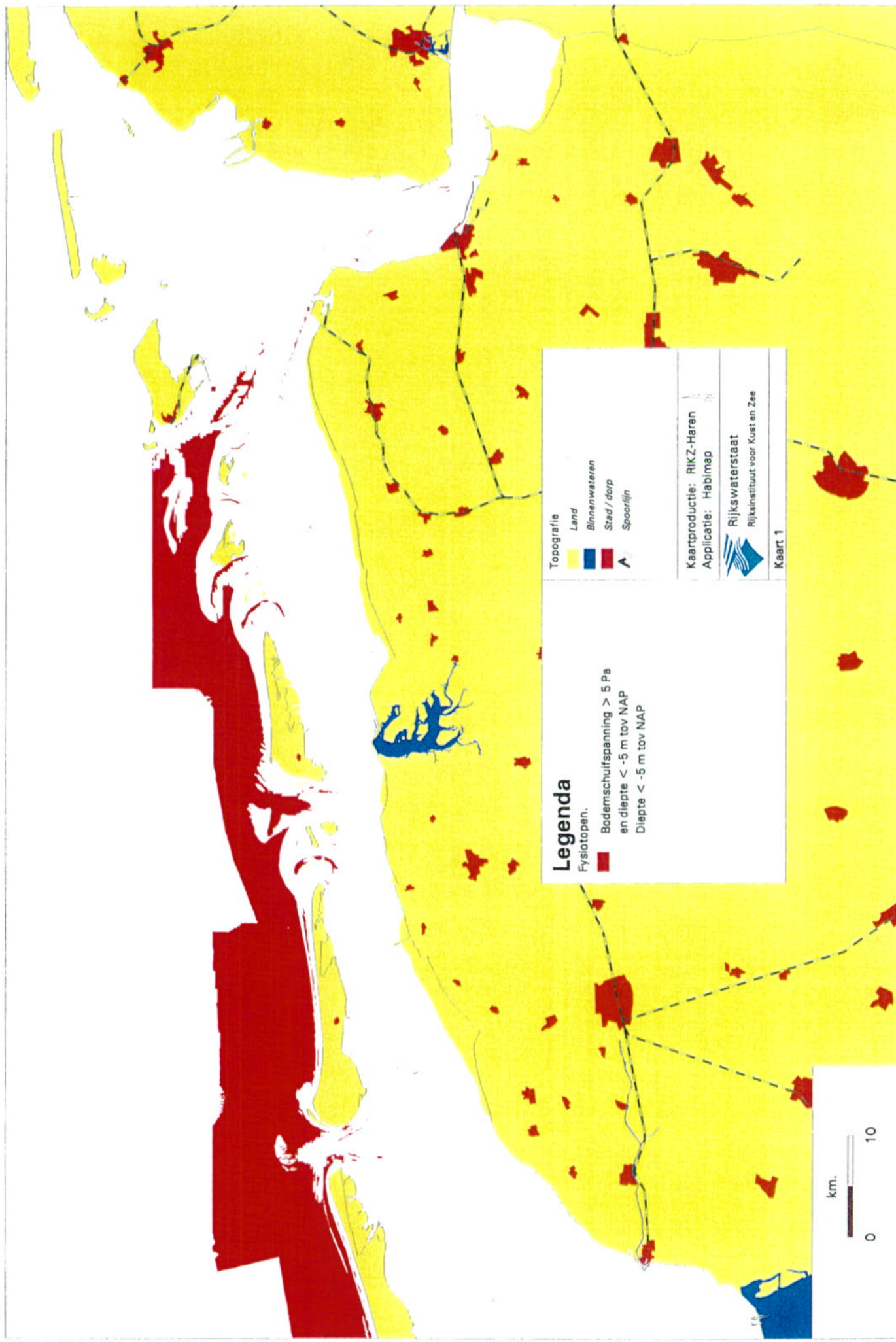
Laten we uitgaan van een veldsituatie met een enigszins gladde bodem, stel  $C = 60$  en een waterdiepte van 5 m. Dan geldt dan  $z_0/h = 0,000173$ , hetgeen resulteert in  $z_0 = 0,00087$  m (0,9 mm) voor  $h = 5$  m. Dit resulteert in een schuifspanning van 5,4 Pa bij een kritische stroomsnelheid van 0,45 m/s op  $z = 0,01$  m (zie hierboven). Zouden we uitgaan van een kleinere diepte (zoals in de proeven van Futterer<sup>7</sup>) dan wordt  $z_0$  kleiner en de kritische schuifspanning ook. Daarmee lijkt een kritische waarde van 5 Pa aan de hoge c.q. veilige kant.

<sup>6</sup> Vries, S. de, 2000. Literatuur- en bronnenstudie "Vervolgonderzoek schelpenwinning". Geo Plus B.V., Rapport nr. 24507-00, in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee, November 2000.

<sup>7</sup> Op het moment van schrijven kon de originele rapportage niet geraadpleegd worden, waardoor een aantal gegevens niet voorhanden is.

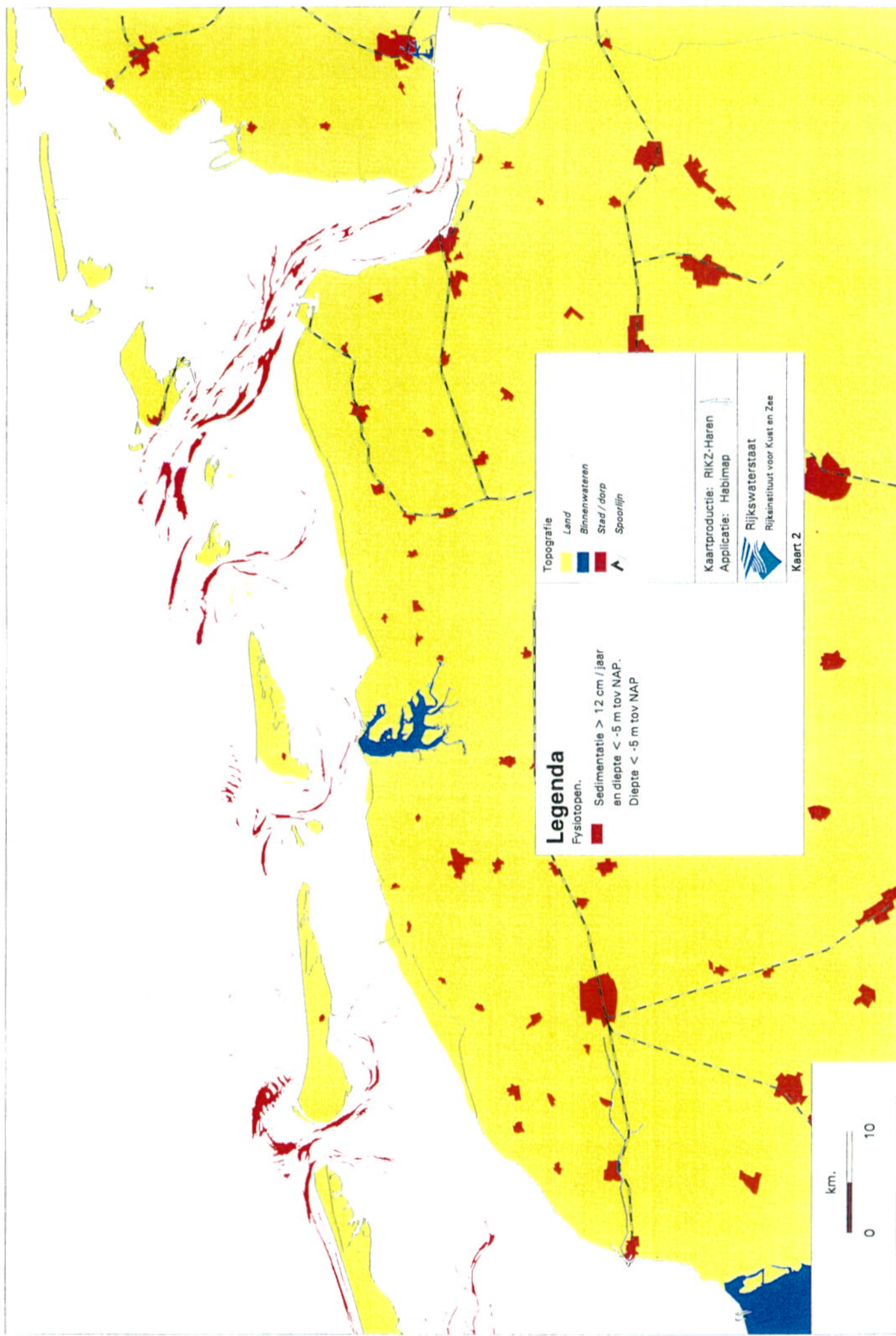
# Schelpenwinning, lokaties op basis van bodemschuifspanning

Waddenzee, midden en oost



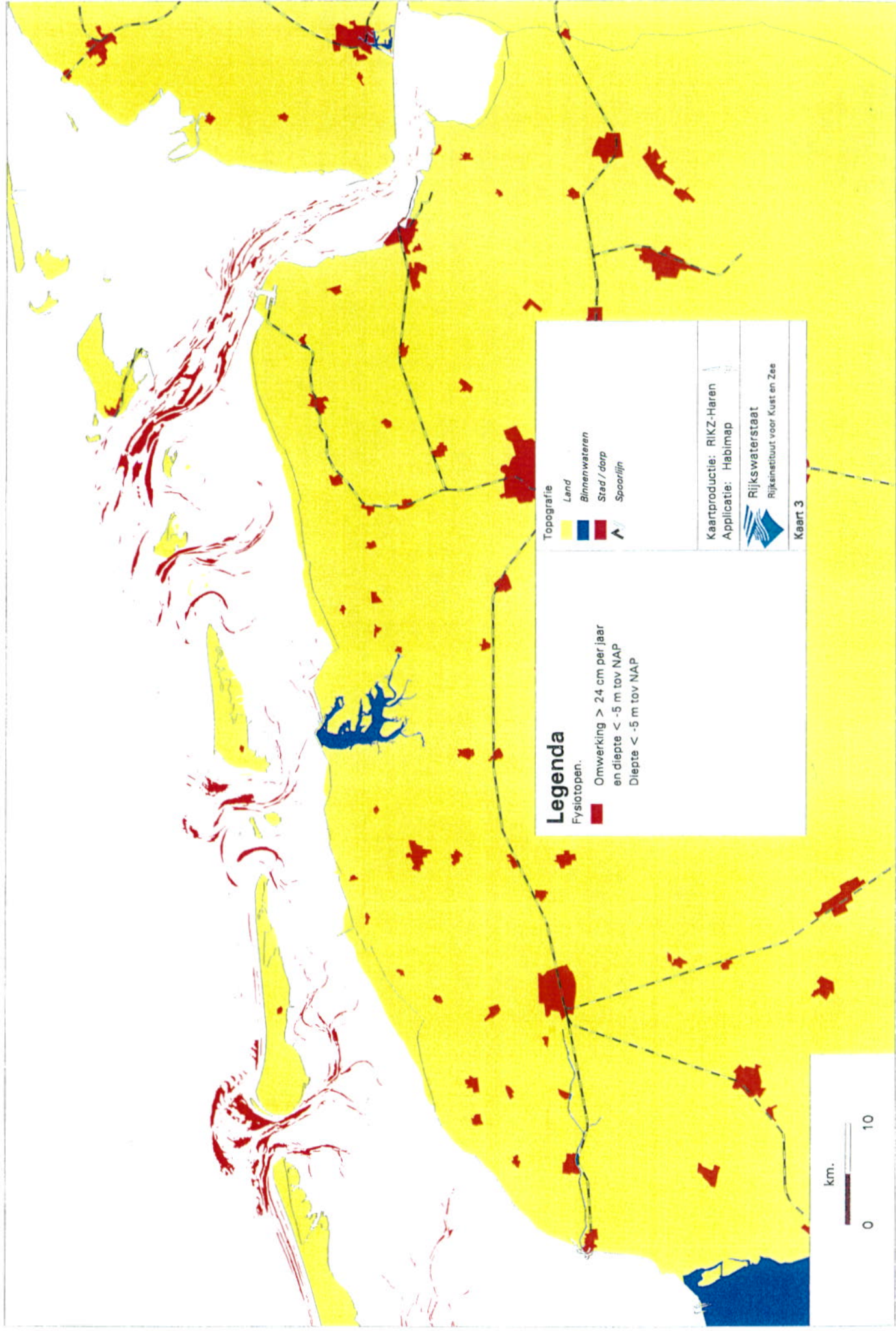
# Schelpenwinning, lokaties op basis van sedimentatie

Waddenzee, midden en oost



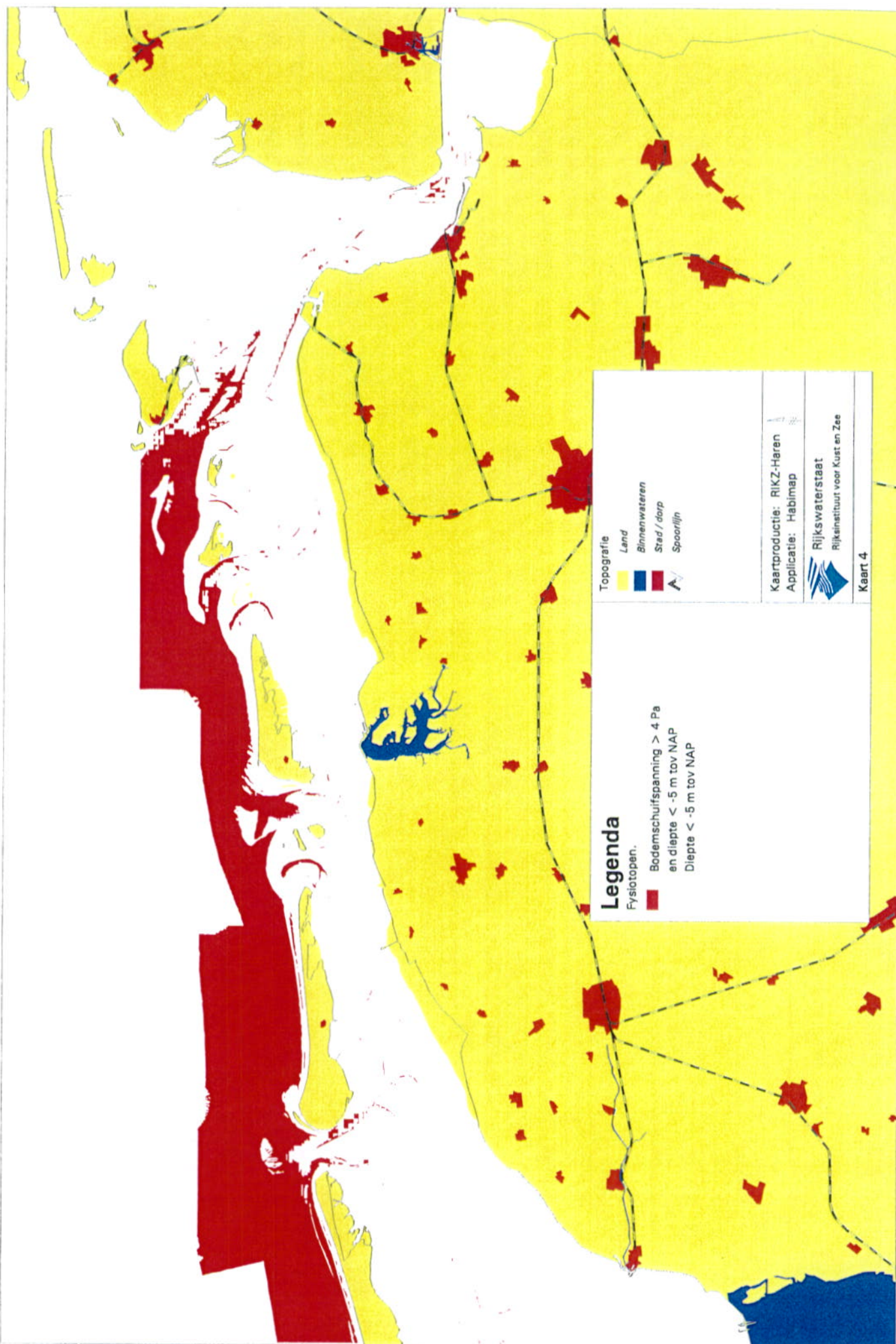
# Schelpenwinning, lokaties op basis van omwerking

Waddenzee, midden en oost



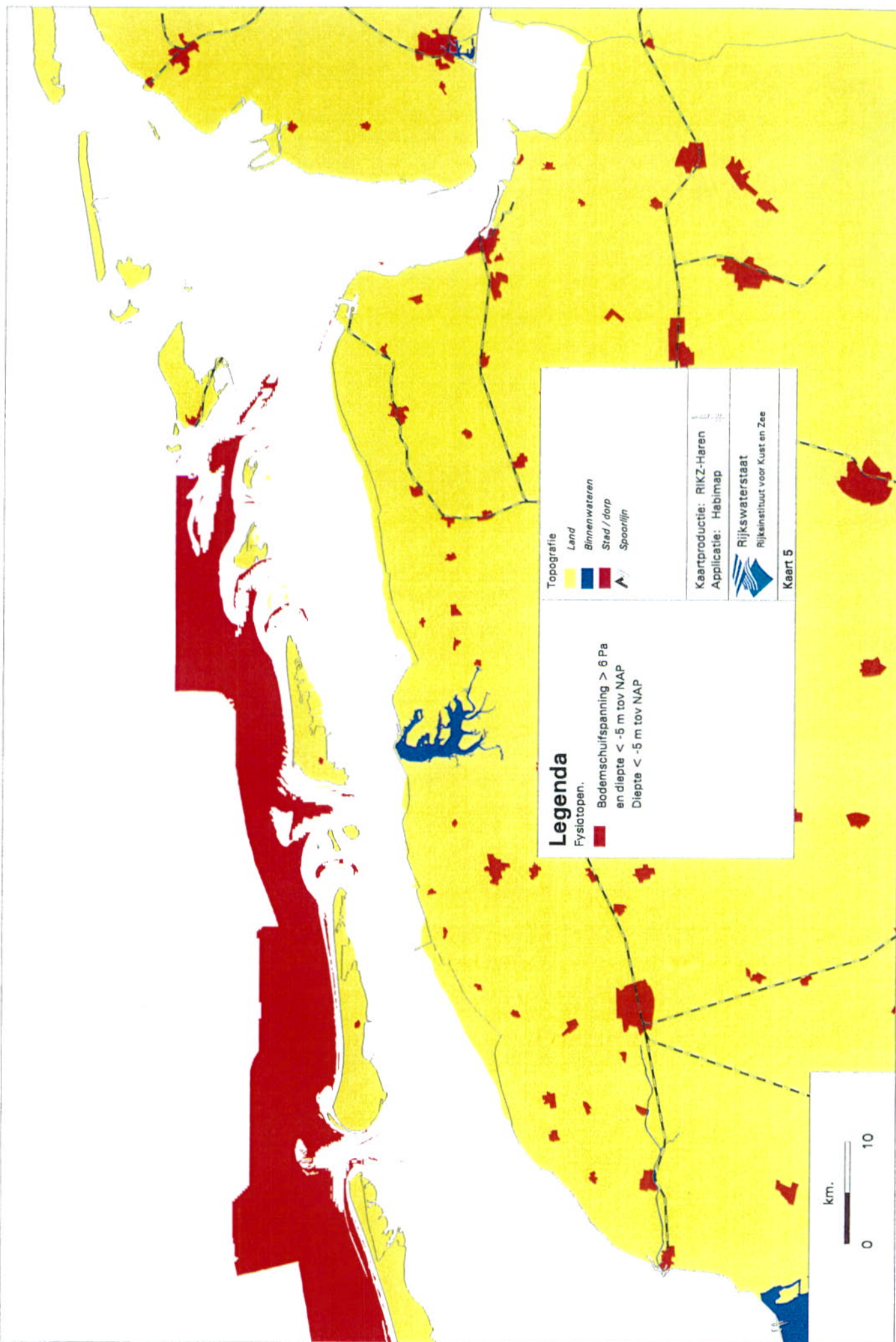
# Schelpenwinning, lokaties op basis van bodemschuifspanning

Waddenzee, midden en oost



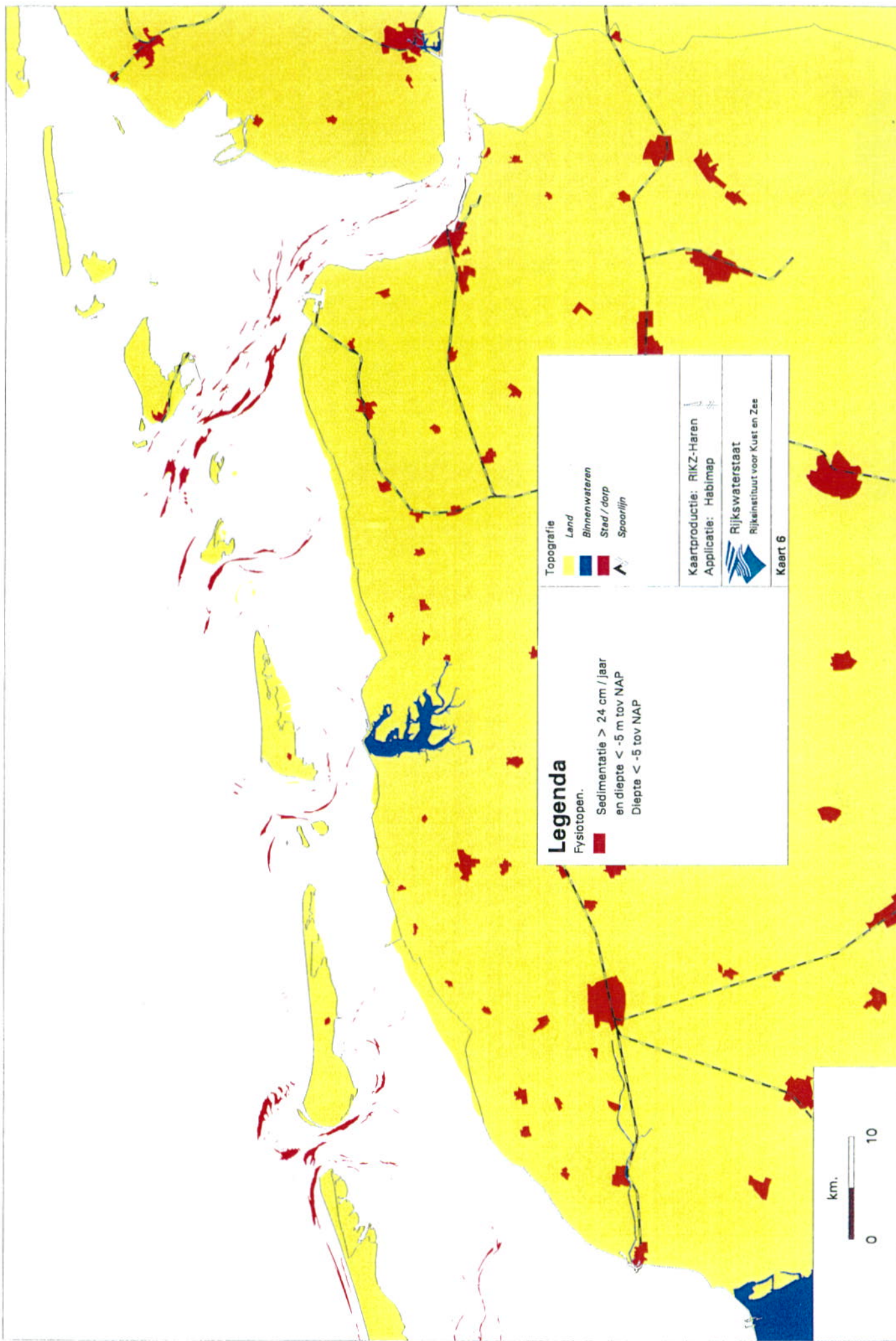
# Schelpenwinning, lokaties op basis van bodemschuifspanning

Waddenzee, midden en oost



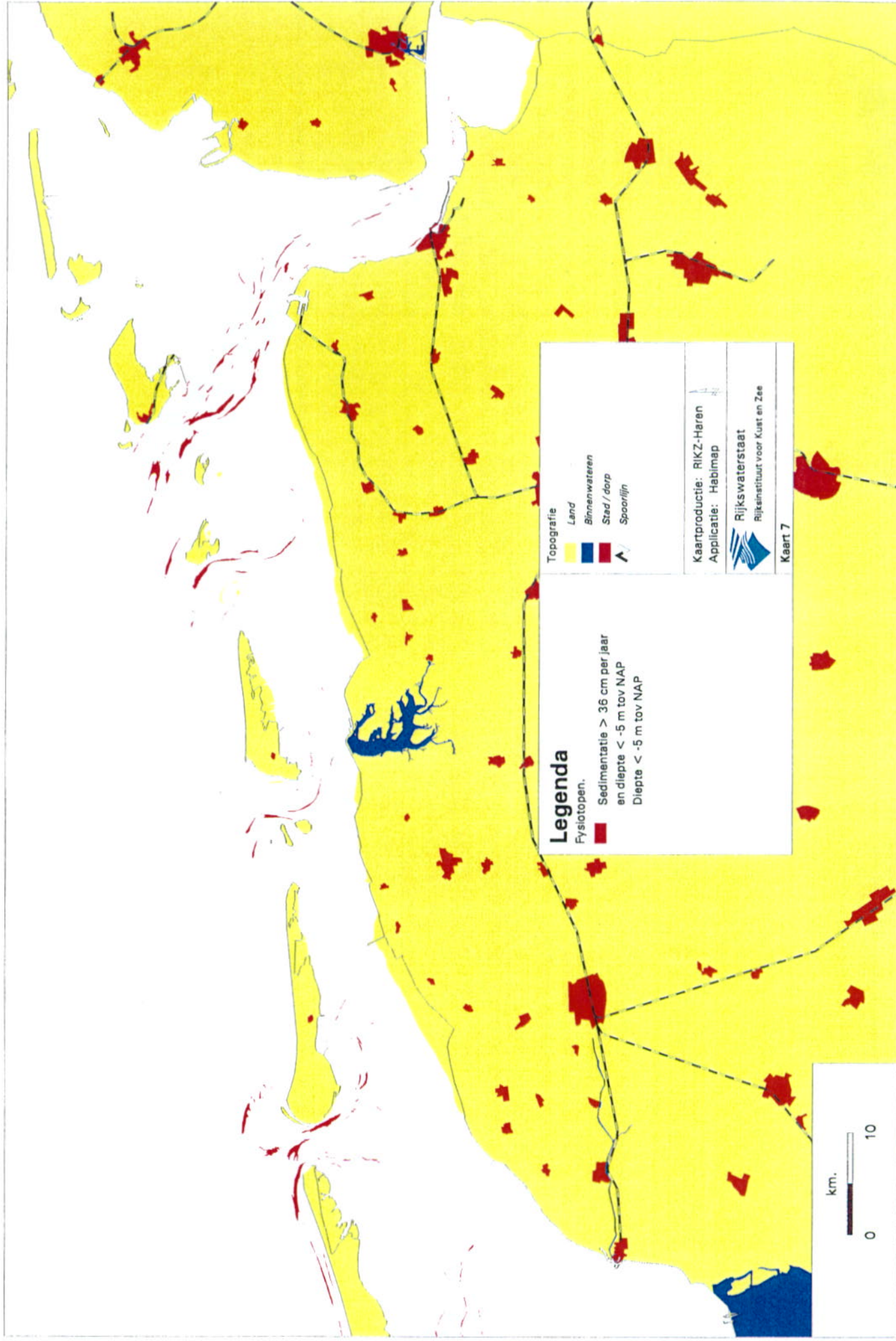
# Schelpenwinning, lokaties op basis van sedimentatie

Waddenzee, midden en oost



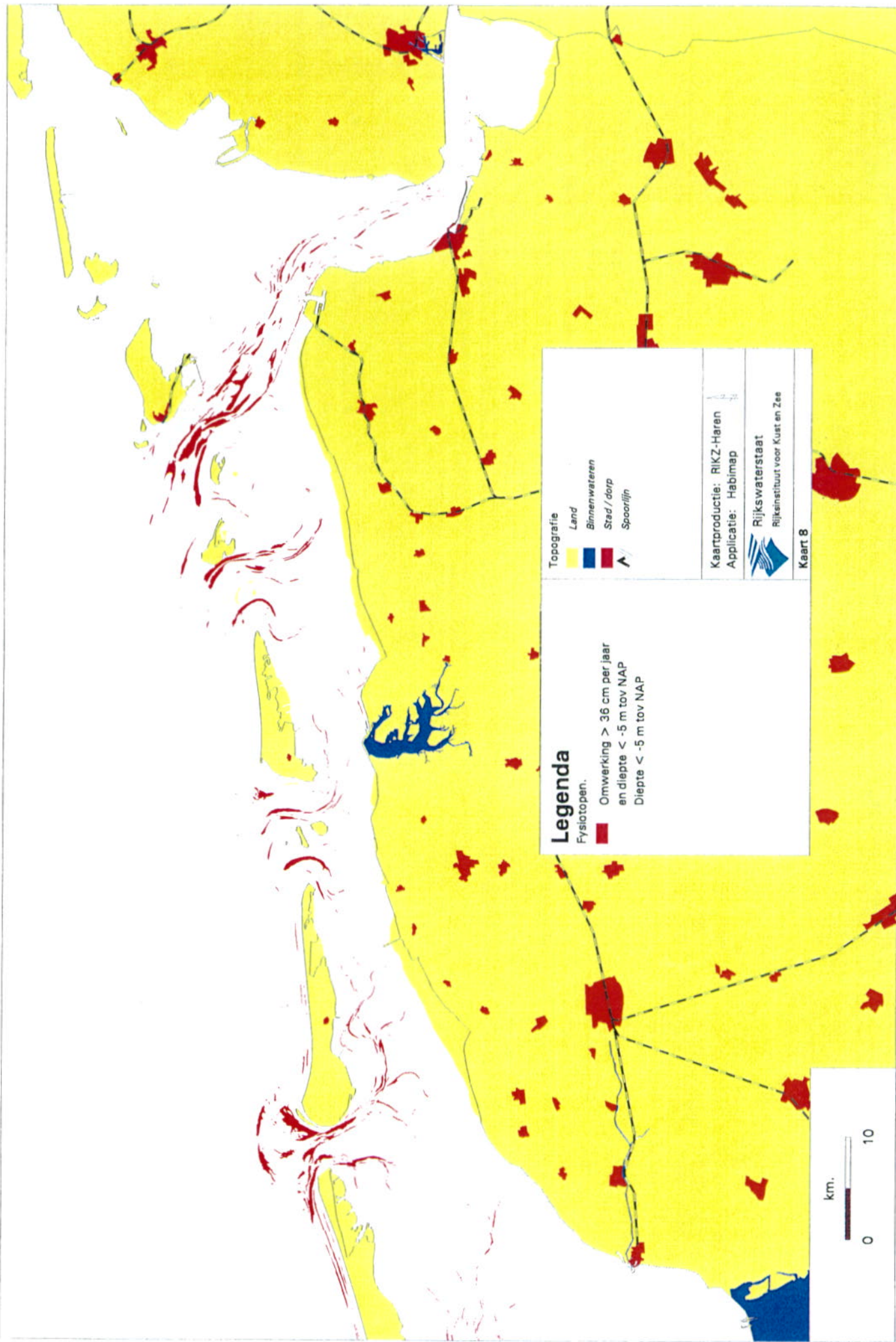
# Schelpenwinning, lokaties op basis van sedimentatie

Waddenze, midden en oost



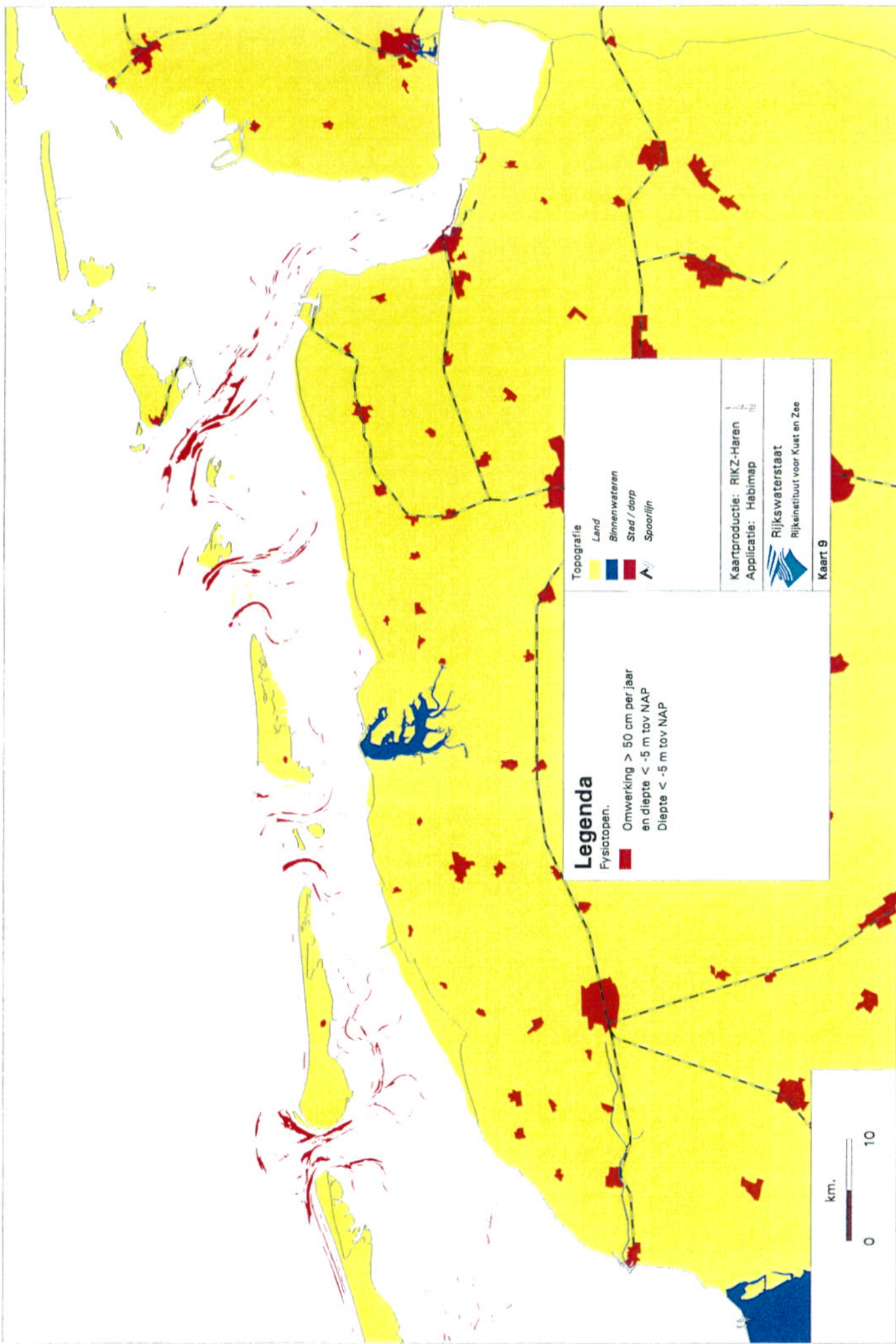
# Schelpenwinning, lokaties op basis van omwerking

Waddenzee, midden en oost



# Schelpenwinning, lokaties op basis van omwerking

Waddenzee, midden en oost



# Schelpenwinning, lokaties op basis van bodemschuifspanning en omwerking

Waddenzee, midden en oost

