

Rapport 9

ONDERZOEK NAAR DE EFFECTEN
VAN MILITAIRE OEFENINGEN OP
BODEM, VEGETATIE EN FAUNA

EROSIEGEVAAR OP MILITAIRE OEFENTERREINEN

J.F. Bannink en K.R. van Lynden

STICHTING VOOR BODEMKARTERING, WAGENINGEN

RAPPORTEN DIE ZIJN VERSCHENEN IN HET KADER VAN DIT ONDERZOEK

- 1 Wiertz, J., 1980. Achtergrond, probleemstelling en voorgestelde globale studieopzet, met een uitgewerkt voorstel voor studiefase I. RIN, Leersum.
- 2 Vrieling, J.G. & J.C. Pape, 1981. Globale beschrijving van de bodemgesteldheid van een aantal militaire terreinen. Stiboka, Wageningen.
- 3 Beijer, H.M. & L.M.F. Husson, 1981. Globale beschrijving van het biotische milieu, de cultuurhistorie en het militair gebruik van een aantal militaire terreinen. RIN, Leersum.
- 4 Weinreich, J.A., 1981. Ingreep-effectrelaties tussen militaire oefeningen en het natuurlijk milieu. RIN, Leersum.
- 5 Beijer, H.M., 1981. Onderzoekvoorstellen. RIN/Stiboka/IMAG/NRLO, Leersum/Wageningen.
- 6 Beijer, H.M., 1982. Isolatie-effecten als gevolg van wegen en zandbanen. RIN, Leersum.
- 7 Beijer, H.M., 1982. Kieming en vestiging van plantesoorten uit heidemilieus. RIN, Leersum.
- 8 Dekker, L.W. & J.H.M. Wösten, 1983. Hydrologische gevolgen van het losmaken van humuspodzol-B-horizonten op de Elspeetsche Heide en in het Rozendaalse Veld. Stiboka, Wageningen.
- 9 Bannink, J.F. en K.R. van Lynden, 1986. Erosiegevaar op militaire oefenterreinen. Stiboka, Wageningen.
- 10 Beijer, H.M., 1983. Ruimtebeslag en inrichtingspatroon van voorzieningen binnen enkele heideterreinen. RIN, Leersum.
- 11 Beijer, H.M. & J.G. Vrieling, 1983. Effecten van berijding na 10-20 jaar op bodem en vegetatie van het Uddeler Buurtveld en de Arnhemse heide. RIN/Stiboka, Leersum/Wageningen.
- 12 Thissen, J.B.M., 1983. De invloed van militair gebruik op de broedvogelstand van heideterreinen op de Veluwe. RIN, Leersum.
- 13 Beijer, H.M. & J.G. Vrieling, 1985. Effecten van berijding op bodem en vegetatie van de Stakenberger Heide. RIN/Stiboka, Leersum/Wageningen.

Naar bovenvermelde rapporten kan als volgt worden verwezen (bijv. rapport 1):
Wiertz, J., 1980. Onderzoek naar de effecten van militaire oefeningen op bodem, vegetatie en fauna. I. Achtergrond, probleemstelling en voorgestelde globale studieopzet, met een uitgewerkt voorstel voor studiefase I. RIN, Leersum.

STICHTING VOOR BODEMKARTERING
Postbus 98
6700 AB Wageningen
Tel. 08370 - 19100

© 1986 Stiboka

De Stichting voor Bodemkartering aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stichting voor Bodemkartering en het Ministerie van Defensie.

Project nr. 69.7035

2.86/is

	Blz.
INHOUD	
TEN GELEIDE	5
WOORD VOORAF	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	11
2 DE EROSIEPROCESSEN EN DE FACTOREN DIE DAAROP VAN INVLOED ZIJN	15
2.1 Processen	15
2.1.1 Processen bij watererosie	15
2.1.2 Processen bij winderosie	16
2.1.3 Effecten van de begroeiing	16
2.2 Factoren	17
2.2.1 Factoren die de watererosie bepalen	17
2.2.2 Factoren die de winderosie bepalen	19
3 HET EROSIEGEVAAR OP ENKELE GRONDEN EN OP DE AFZONDERLIJKE OEFENTERREINEN	21
4 SLOTOPMERKINGEN	27
LITERATUUR	29
BIJLAGE	
Beschrijving van drie geologische afzettingen die in de oefenterreinen veel voorkomen	31
TABELLEN	
1 De geologische formaties en afzettingen die in de afzonderlijke oefenterreinen voorkomen	21
2 Globale aanduiding van het erosiegevaar op drie geologische afzettingen bij afwezigheid van een vegetatiedek	23
3 Gevarenklasse voor wind- en watererosie en richtlijnen voor de vaststelling hiervan	24
4 De gevarenklasse voor wind- en watererosie die aan de afzonderlijke oefenterreinen is toegekend	24

TEN GELEIDE

In het kader van het defensiebeleid met betrekking tot gebruik en beheer van militaire oefenterreinen heeft het Ministerie van Defensie in 1979 aan de Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek (NRLO) kenbaar gemaakt wetenschappelijk onderzoek te willen laten verrichten naar de mogelijkheden van multifunctioneel gebruik van militaire oefenterreinen. Uit de daaropvolgende contacten tussen het Ministerie van Defensie en de NRLO is de participatie van dit Ministerie in de NRLO voortgekomen, waardoor de onderzoekswensen terecht kunnen komen bij die onderzoekinstellingen waar de deskundigheid aanwezig is.

De eerste opdracht die in 1980 door tussenkomst van de Hoofdgroep Defensie Onderzoek TNO bij de NRLO is geplaatst, betreft een onderzoek naar de effecten van militaire oefeningen op bodem, vegetatie en fauna. Als randvoorwaarden voor het onderzoek gelden een door het Ministerie van Defensie opgestelde vragenlijst (opgenomen in rapport 1), de definitieve lijst van betrokken militaire terreinen en de aard en intensiteit van het terreingebruik (opgenomen in rapport 3). Daarnaast is het Structuurschema Militaire Terreinen (SMT) mede richtinggevend geweest. De resultaten van deze studie worden van betekenis geacht voor beheer en inrichting van oefenterreinen, alsmede voor een verdere onderbouwing van de verschillende functies die er in het kader van het Structuurschema Militaire Terreinen of anderszins aan worden toegedacht. In verband met het beschikbare budget en de meerjarige onderzoeksperiode is een zodanige selectie van terreinen en onderzoeksvraagstukken gemaakt dat een zo gunstig mogelijke overdraagbaarheid van de resultaten mag worden verwacht. Dit houdt in dat sommige terreintypen en activiteiten niet binnen deze opdracht aan de orde zullen komen, evenals bepaalde ecosystemen, zoals die van estuariene en mariene milieus.

De studie is verdeeld in verschillende fasen. Studiefase I omvatte de probleemstelling, een inventarisatie van de bodemgesteldheid en vegetatie van de militaire oefen- en schietterreinen en een uitgewerkt voorstel voor het vervolgonderzoek (fase II). De resultaten van fase I zijn in vijf rapporten (1 t/m 5) vastgelegd. De resultaten van fase II (1982-1986) worden in 10 rapporten gepubliceerd. In 1986 zal het eindrapport gereedkomen. Een overzicht van titels en auteurs is in dit rapport opgenomen.

Bij deze onderzoekopdracht, waarvan de totale duur ten minste vijf jaar is, zijn verschillende disciplines van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN), de Stichting voor Bodemkartering (Stiboka) en het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG) betrokken.

Ir. F.C. Zuidema,

Secretaris Afdeling Landinrichting en
Natuur- en Landschapsbeheer NRLO

Samenstelling projectgroep

ing. W.B.M. Arts	- Instituut voor Mechanisatie Arbeid en Gebouwen
ing. J.F. Bannink*	- Stichting voor Bodemkartering
mr. J.H. Bergsma (van jan. tot aug. 1984)	- Sectie Landbouwkundig Onderzoek TNO
ir. H.M. Beije	- Rijksinstituut voor Natuurbeheer
mr. J.C.E. van den Brandhof (na aug. 1984)	- Sectie Landbouwkundig Onderzoek TNO
ir. W.G. Diemont	- Rijksinstituut voor Natuurbeheer
mw. C.G. Korteweg (tot jan. 1984)	- Sectie Landbouwkundig Onderzoek TNO
ir. J. Lambermont (tot sept. 1983)	- Ministerie van Defensie, Directie Gebouwen, Werken en Terreinen
ir. K.R. van Lynden (na maart 1984)	- Stichting voor Bodemkartering
ir. J.C. Pape (tot maart 1984)	- Stichting voor Bodemkartering
ir. U.D. Perdok	- Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
drs. J. Wiertz	- Rijksinstituut voor Natuurbeheer
ir. P.A.M. van Winden (na aug. 1984)	- Ministerie van Defensie, Directie Gebouwen, Werken en Terreinen
ir. A.L.J. Wijnhoven	- Rijksinstituut voor Natuurbeheer (projectcoördinator)
ir. F.C. Zuidema	- Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek (voorzitter)
ir. T. Zwart	- Ministerie van Defensie, Directie Gebouwen, Werken en Terreinen.

* Overleden op 27 augustus 1985

WOORD VOORAF

Het rapport is opgesteld in het kader van het volgende onderzoekvoorstel (opgenomen in rapport 5): "de Stichting voor Bodemkartering geeft op grond van bestaande inzichten een analytische beschouwing over erosiegevaar onder omstandigheden zoals die worden aangetroffen in militaire oefenterreinen".

De samenstelling van de tabellen 1, 3 en 4 is, zowel wat betreft het veldwerk en de analyse van het kaartbeeld als de interpretatie en de presentatie van de gegevens, geheel het werk van ing. J.F. Bannink. In het begin van dit jaar trof hem een ernstige ziekte waardoor hij zijn werkzaamheden moest staken. Hij overleed op 27 augustus 1985. Ir. K.R. van Lynden heeft zijn taak in deze rapportering overgenomen.

De directeur van de
Stichting voor Bodemkartering,

Dr.ir. F. Sonneveld

SAMENVATTING

Over het algemeen is erosie op militaire oefenterreinen ongewenst en men zal deze willen voorkomen of beperken. Daarom is een heel beperkt literatuuronderzoek gedaan naar processen en factoren die een rol spelen bij erosie en is de mate van erosiegevaar op een aantal gronden globaal aangegeven. Toepassing van deze kennis op de bodemkaartjes van de afzonderlijke oefenterreinen (zie rapport 2) kan een (eveneens globaal) antwoord geven op de vraag waar men erosie mag verwachten.

Door de inrichting en het gebruik van militaire oefenterreinen gaat de vegetatie plaatselijk verloren. Dit gebeurt vooral op free-for-all terreinen, zandbanen, stellinggebieden e.d. Op de kale plekken kan op de daarvoor gevoelige gronden water- of winderosie optreden. Onder erosie verstaan we het losmaken, opnemen en over enige afstand vervoeren van aardkorstmateriaal (bijv. bodemdeeltjes). In dit rapport wordt voornamelijk aandacht geschonken aan de zgn. versnelde antropogene erosie.

Door oppervlakkige erosie gaan de humushoudende bovengrond (bodemprofiel) en daarmee de voor de vegetatie beschikbare voedingsstoffen verloren en neemt het vermogen van de grond om voedingsstoffen en vocht te binden sterk af. Diepgaande erosie kan het oorspronkelijk reliëf onherkenbaar veranderen (vorming van stuifzanden). Afzetting van het opgenomen materiaal geeft problemen als dit bijv. in natuurgebieden, op wegen of op landbouwgronden plaatsvindt. Waar erosie optreedt is de vegetatie al sterk aangetast en kan de natuurwaarde afnemen. Verder confronteert erosie de militaire gebruiker met een onbegaanbaar, slecht berijdbaar, modderig of stuivend oefenterrein, waarin (als er hoogteverschillen voorkomen) erosiegeulen ontstaan die de terreinvormen geleidelijk aantasten.

Free-for-all terreinen moeten echter het gehele jaar door berijdbaar zijn voor wiel- en rupsvoertuigen en ook hun oorspronkelijke terreinvorm moet zoveel mogelijk intact blijven. Om het terrein berijdbaar te houden worden de gronden diep bewerkt (om de vaste lagen te breken, die moeilijk water doorlaten) indien nodig gedraineerd en met voor deze gronden geschikte grassen ingezaaid. Bij zeer intensief gebruik en langdurig droog weer blijft echter ook op deze gronden erosiegevaar bestaan.

Alleen in stuifzandgebieden, of voormalige stuifzandgebieden die men weer als zodanig wil ontwikkelen, vormt erosie in beginsel geen probleem, maar kan er juist toe bijdragen om de karakteristieke natuurwaarden ervan in stand te houden. Daarom kunnen de erosiebestrijdingswerkzaamheden (diepe grondbewerking, draineren en gras inzaaien) hier in het algemeen beter achterwege blijven, te meer omdat een belangrijk deel van het stuifzandgebied (de uitgestoven laagten) van nature vrij stabiel en redelijk tot goed berijdbaar is.

Belangrijke processen die bij erosie optreden zijn:

- het losmaken van aan het oppervlak liggende bodemdeeltjes door inslaande regendruppels;
- het transport van de losgemaakte deeltjes door over het oppervlak stromend water;
- het transport van bodemdeeltjes door wind.

Begroeiing (een gesloten plantendek) voorkomt of vertraagt de erosie door de regendruppels te onderscheppen, door de ruwheid van het landoppervlak te verhogen, door de bodemdeeltjes bijeen te houden (wortels) en door de porositeit van de grond te verhogen (wat het wateropnemend vermogen hiervan vergroot).

Factoren die de erosie bepalen zijn o.a. de neerslag, de aard van de bodem (vooral het oppervlak), de helling (lengte en gradiënt), de diepte van het grondwater, de bodembedekking en de wind (vooral in samenhang met droge perioden). Het gecombineerde effect van deze factoren (of een aantal daarvan) op de erosie hebben Amerikaanse onderzoekers in formules samengevat om hiermee uit een aantal gemeten basisgegevens de mate van erosie te schatten. De toepassing van deze formules biedt voor ons doel nog weinig perspectieven omdat de omstandigheden waaronder deze formules zijn ontwikkeld en moeten worden toegepast sterk afwijken van de Nederlandse.

Voor de militaire oefenterreinen kan een "voorspelling" van erosiegevaar slechts globaal en met het nodige voorbehoud worden gegeven. Zij kan worden afgeleid uit de terreinvorm, de textuur van het bodemmateriaal, de grondwaterstand en de aanwezigheid van een goed ontwikkeld bodemprofiel. Op hellende terreinen met diepe grondwaterstanden bestaat matig gevaar voor watererosie, op de overige terreinen weinig gevaar. Het gevaar voor winderosie is matig tot groot op terreinen met fijn zand en een diepe grondwaterstand en gering op de overige terreinen (verder: zie tabel 2 en 4).

De belangrijkste conclusie is, dat op het overgrote deel van de militaire oefenterreinen alleen water- of winderosie zal optreden indien het vegetatiedek en eventueel het bodemprofiel over een zekere oppervlakte verdwenen zijn. In deze conclusie liggen twee voorwaarden besloten die moeilijk kwantificeerbaar zijn:

- de minimumoppervlakte kale grond die nodig is om erosie op gang te brengen is niet bekend;
- de omstandigheden waaronder het terrein kaal blijft zijn evenmin precies bekend. Kale grond heeft immers in ons land de neiging begroeid te raken, tenzij dit door menselijke activiteiten wordt verhinderd, of als oppervlak, helling e.d. van de kale grond zodanig zijn dat de erosie sterker is dan de vastlegging door planten.

1 INLEIDING

De inrichting en het gebruik van militaire oefenterreinen brengen veelal een plaatselijke vernieling van de vegetatie met zich mee. De oppervlakte waarover dit gebeurt is variabel en hangt o.m. af van de aard van de terreininrichting en de soort en intensiteit van de oefeningen. Op de van zijn beschermend vegetatiedek beroofde, kale grond hebben regen en wind vrij spel, waardoor op daarvoor gevoelige gronden erosie kan optreden.

Erosie zal in de eerste plaats voorkomen op de free-for-all terreinen en op stellinggebieden. Hier is immers de kans op ernstige beschadiging of volledige vernieling van de vegetatie het grootst. Ook op de onbegroeide zandbanen is de kans op erosie vrij groot.

Onder erosie verstaan we het losmaken, opnemen en over enige afstand meenemen van aardkorstmateriaal (bijv. bodemdeeltjes) door een bewegend agens zoals water of wind (Jungerius, 1973). We zullen ons hier voornamelijk bezig houden met de zogenaamde "versnelde antropogene erosie": een overwegend door de mens veroorzaakte erosie, die zich afspeelt in een tijdsbestek van tientallen jaren waarbij jaarlijks een bodemlaag van gemiddeld 10 tot 100 mm dikte wordt afgevoerd.

We beperken ons tot de zandgebieden, omdat het overgrote deel van de militaire oefenterreinen in dergelijke gebieden ligt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen water- en winderosie. Andere vormen van erosie, bijv. gletsjer- of sneeuwerosie, zijn in Nederland van geen betekenis en blijven daarom buiten beschouwing.

Watererosie treedt overwegend op als kale plekken op hellingen voorkomen. De verschillende vormen van watererosie worden in drie klassieke typen samengevat: "gully"-, "rill"- en "sheet"-erosie. Winderosie komt meestal voor op kale plekken in vrij grote open gebieden, zowel in vlak terrein als op hellingen. Omdat reliëf en openheid kenmerkend zijn voor veel militaire oefenterreinen in het zandgebied, bestaat op deze terreinen in het algemeen gevaar voor het optreden van erosie. Dat dit erosiegevaar niet denkbeeldig is, tonen o.a. de grootschalige wind- en watererosie op de Leusderheide en de tot de zandbanen beperkte watererosie op de Elspeetsche Heide aan.

De gevolgen van erosie zijn van uiteenlopende aard. Door de, overigens zelden voorkomende, "gully"-erosie worden (soms enige meters) diepe geulen uitgeslepen, die het landschap geheel vernijsnijden en onherkenbaar veranderen. "Rill"-erosie veroorzaakt ook geulen, die echter veel smaller en ondieper zijn dan de geulen die ontstaan door "gully"-erosie; ze kunnen met eenvoudige landbouwwerktuigen worden weggewerkt. "Rill"-erosie gaat gepaard met de afvoer van een belangrijk deel van de bovengrond. Bij "sheet"-erosie wordt eveneens een deel van de bovengrond afgevoerd, maar over een grote breedte zonder dat het afstromende water zich tot stroompjes verenigt.

Ook door winderosie wordt een deel van de bovengrond en, als het erosieproces zich voortzet, ook van de ondergrond opgenomen en afgevoerd, waarbij het reliëf drastisch kan worden gewijzigd (bijv. het ontstaan van stuifzanden).

Het door wind of water geërodeerde materiaal kan zowel nabij als ver van de bron van herkomst in verschillende vormen (bijv. modderbrij, zanddek, duinen) worden afgezet. Met de afvoer van de humushoudende bovengrond - gewoonlijk een min of meer natuurlijk bodemprofiel - gaan ook de voor de vegetatie beschikbare voedingsstoffen verloren en is het vermogen van de grond om voedingsstoffen en vocht te binden sterk afgenomen. Behalve effecten op de geërodeerde plaatsen zijn er ook altijd effecten op de plaatsen waar het geërodeerde materiaal wordt gedeponneerd. De oorspronkelijke vegetatie bijv. kan direct vernietigd worden (afdekken) alsook indirect tot verdwijnen zijn gedoemd wanneer een overmatige hoeveelheid voedingsstoffen vrijkomt uit het gedeponneerde materiaal.

Waar erosie optreedt, is de vegetatie al sterk aangetast. Meestal zal hierdoor de natuurwaarde zijn afgenomen. Erosie kan deze situatie verergeren, omdat nu ook het oorspronkelijke abiotisch milieu wordt aangetast. Naast de afname van de natuurwaarden in het geërodeerde gebied kunnen ook op de plaatsen waar het opgenomen materiaal terecht komt veranderingen optreden waardoor de natuurwaarden verminderen.

Erosie confronteert de militaire gebruiker met een, in omvang toenemend, onbegaanbaar, slecht berijdbaar, modderig of stuiwend terrein, waarin (als er hoogteverschillen zijn) erosiegeulen ontstaan die de terreinvormen geleidelijk aantasten. Free-for-all terreinen moeten echter het gehele jaar door berijdbaar zijn voor wiel- en rupsvoertuigen en ook wil men de oorspronkelijke terreinvormen zo veel mogelijk intact laten. Om dit doel te bereiken worden de gronden onder meer diep bewerkt (om de vaste lagen te breken die moeilijk water doorlaten), indien nodig gedraineerd en met voor deze gronden geschikte grassen ingezaaid. Bij een goed beheer hebben de aldus bewerkte gronden minder van erosie te duchten dan in de oorspronkelijke toestand. Onder bepaalde omstandigheden (bijv. zeer intensief gebruik en langdurig droog weer) blijft echter ook op deze gronden, enigszins afhankelijk van bodemmateriaal en terreinvorm, erosiegevaar bestaan.

In stuifzandgebieden, of voormalige stuifzandgebieden die men weer als zodanig wil ontwikkelen, vormt erosie in beginsel geen probleem. Wind- en watererosie zijn hier juist onmisbare processen om de natuurwaarden die karakteristiek zijn voor dit gebied, in stand te houden. Daarom moeten de erosiebestrijdingswerkzaamheden (diepploegen, draineren en gras inzaaien) hier achterwege blijven, te meer omdat een belangrijk deel van het stuifzandgebied (uitgestoven laagtes) reeds van nature redelijk tot goed berijdbaar is.

In het algemeen is erosie op oefenterreinen ongewenst en men zal deze willen voorkomen of beperken. Dit roept een aantal vragen op, bijv. waar kan men erosie verwachten, onder welke

omstandigheden treedt het op en in welke mate, hoe kan men erosie voorkomen en op welke wijze kan reeds bestaande erosie worden afgeremd. De meeste van deze vragen zijn niet op korte termijn te beantwoorden en behoeven nader onderzoek. In dit rapport gaan we alleen nader in op het erosiegevaar dat op een beperkt aantal gronden onder bepaalde omstandigheden aanwezig is. Toepassing van deze kennis op de bodemkaarten van de oefenterreinen (zie rapport 2) kan een, zij het nog globaal, antwoord geven op de vraag waar men erosie mag verwachten. Deze informatie is van nut bij het beheer en de inrichting van de terreinen, in het bijzonder bij de "voorspelling" van het erosiegevaar op buiten gebruik gestelde zandbanen.

In hoofdstuk 2 wordt aandacht besteed aan de erosieprocessen en de factoren die hierop van invloed zijn. In hoofdstuk 3 geven we een globale aanduiding van het erosiegevaar op een beperkt aantal gronden en op elk afzonderlijk oefenterrein als geheel.

Aan het rapport ligt geen systematisch veldonderzoek of literatuuronderzoek ten grondslag. Hoofdstuk 2 berust voornamelijk op studiedictaten (Eppink, 1984 en 1985) en op Jungerius, 1973. Uit beide geschriften zijn vooral de definities overgenomen. In verband met de leesbaarheid zijn de vele aanhalingen van beide auteurs niet consequent als zodanig in de tekst aangegeven. De toekenning van de mate van erosiegevaar aan de gronden en aan de afzonderlijke oefenterreinen (hoofdstuk 3) berust op een door veel veldervaring verworven inzicht van enkele medewerkers van de Stichting voor Bodemkartering.

2 DE EROSIEPROCESSEN EN DE FACTOREN DIE DAAROP VAN INVLOED ZIJN

2.1 Processen

Erosie is enerzijds afhankelijk van het "losmakend" en "transporterend" vermogen van regen en wind en anderzijds van de weerstand die de bodem hiertegen biedt. Processen die met het "losmaken", "transporteren" en "weerstand bieden" te maken hebben, vormen het onderwerp van deze paragraaf.

2.1.1 Processen bij watererosie

Bij erosie door water maakt men onderscheid tussen het effect van de inslaande regendruppels en het effect van het water dat langs het bodemoppervlak afstroomt (Jungerius, 1973).

Het losmakend vermogen wordt voornamelijk geleverd door de kinetische energie van de inslaande regendruppels. Rondom het inslagpunt van de vallende druppel wordt het bodemmateriaal soms over grote afstand (150 cm) verplaatst. Door inslaande regendruppels kunnen ook de bodemaggregaten of structuurelementen in hun componenten (lutum, zand, organische stof) uiteenvallen. Als een dergelijke "verslechte" grond opdroogt, ontstaat een dunne korst aan het oppervlak die de luchttoetreding in de grond remt. In zandgronden hebben we hier doorgaans minder mee te maken.

Het transport van de losgemaakte bodemdeeltjes vindt overwegend plaats door het over het bodemoppervlak afstromende water. Deze vorm van watererosie treedt alleen op als:

- er een helling aanwezig is. De dikte van de waterlaag en de snelheid van het water nemen hellingafwaarts toe zodat de erosie beneden aan de helling aanmerkelijk intensiever is dan boven;
- de hoeveelheid regenwater die de grond per tijdseenheid kan opnemen kleiner is dan de regenintensiteit. De mate waarin de zandgronden, die we in onze militaire oefenterreinen aantreffen, regenbuien kunnen verwerken loopt weinig uiteen. Een uitzondering vormen de vastgereden gronden of de gronden waar veel verspoelde amorfe humus is afgezet (vaak waarneembaar in opgedroogde plassen op zandwegen) en de weinig voorkomende fijnzandige, zeer sterk lemige holtpodzolgronden op de stuwwallen. In al deze gevallen is de indringing van het regenwater wat trager;
- de weerstand van de bodem geringer is dan de erosieve krachten van het water. Alvorens transport kan plaatsvinden, moet de cohesie tussen de bodemdeeltjes zijn overwonnen. Van fijn, sterk lemig zand (bijv. voorkomend op de stuwwal) zijn de bindende krachten groter dan van grovere en minder lemige zanden. De cohesie tussen de deeltjes wordt echter ook bepaald door het humusgehalte van de grond en de vorm (moder of amorf) waarin

de humus voorkomt. Omgekeerd zal in een zelfde waterstroom los, fijnzandig materiaal gemakkelijker en over een grotere afstand worden vervoerd dan grof. Er treedt zo een selectie op waardoor we hoger op de helling vaak grof en aan de voet fijn materiaal (colluvium) aantreffen.

2.1.2 Processen bij winderosie

Het transport van bodemdeeltjes door wind vereist een veel grotere stroomsterkte dan door water; pas bij een windsnelheid van 5 m.s.^{-1} ("matige wind") wordt stof opgewerveld of wordt een zandkorrel gerold of even opgetild.

Men onderscheidt drie vormen van voortbeweging van bodemdeeltjes door wind: saltatie (springen), kruip (creep) en suspensie. Bij saltatie beweegt de korrel sprongsgewijs, zodat de energie van de neerkomende zandkorrel gedeeltelijk wordt overgedragen op een andere, die daardoor op zijn beurt wegspringt. De afmetingen van salterende bodemdeeltjes liggen vrijwel altijd tussen de 50 en 500 μm . Deeltjes groter dan 500 μm (0,5 mm) worden door de wind via botsingen met salterende deeltjes, rollend en schuivend over de grond voortbewogen. Dit proces noemt men kruip. Bij de transportvorm suspensie wordt fijn materiaal (<100 μm) in beweging gebracht door salterende deeltjes, hoog opgewerveld en over grote afstanden vervoerd (stofstormen). Saltatie is de belangrijkste transportvorm omdat 50 tot 70% van het vervoer in die vorm plaatsvindt, maar ook omdat het de aanzet geeft tot de beide andere vormen.

Door het grote aantal krachtige onderlinge botsingen ronden de korrels af. Windafzettingen die vaak en ver getransporteerd zijn zoals dekzanden en stuifzanden bestaan dan ook uit ronde korrels. Verder werkt windtransport sterk sorterend: stof wordt veel verder afgezet dan zand en in het herkomstgebied blijft het grofste materiaal (stenen en gruis) over. Als het uitgangsmateriaal grove bestanddelen (bijv. keitjes) bevat die niet door de wind zijn te verplaatsen, zullen deze op de duur een gesloten laag (keienvloer) aan het oppervlak vormen die verdere winderosie belemmert. Ook in de ondergrond voorkomende vaste leemlagen (keileem, tertiaire leem) en het grondwater kunnen winderosie afremmen.

2.1.3 Effecten van de begroeiing

De begroeiing speelt bij de erosie een doorslaggevende rol. Een grond met een gesloten vegetatiedek zal doorgaans niet aan erosie onderhevig zijn. Bij watererosie onderscheidt Jungerius (1973) de volgende effecten van de begroeiing:

- het bladerdek onderschept de regen, waardoor de erosieve kracht van het water wordt gebroken;

- de vegetatie verhoogt de ruwheid van het oppervlak, waardoor de snelheid van het afstromende water, en daarmee de erosie, wordt afgeremd;
- de plantewortels vergroten de weerstand van de bodem doordat ze de bodemdeeltjes bijeenhouden.
- microbiologische processen verhogen de porositeit (hoeveelheid poriën in de grond) waardoor het wateropnemend vermogen van de grond toeneemt.

Bij winderosie mag men zeggen dat vrijwel alle soorten vegetatie de winderosie remmen of voorkomen. Wel remmen een recht-opstaand gewas, een lang gewas of stoppel de winderosie meer af dan een legerend of kort gewas, en ook geeft een fijn gewas een betere bescherming tegen erosie dan een grof. Gras werkt bijzonder gunstig door zijn fijnheid en uitgebreid wortelstelsel.

2.2 Factoren

Na de beknopte bespreking in paragraaf 2.1 van de processen die bij water- en winderosie van betekenis zijn, volgt hieronder een overzicht van de belangrijkste factoren die beide erosievormen bepalen.

2.2.1 Factoren die de watererosie bepalen

De watererosie blijkt afhankelijk van de neerslag, de aard van de bodem, de helling, de bodembedekking en het ingrijpen van de mens. Veel van deze factoren beïnvloeden elkaar wederzijds. Wischmeier (Hudson, 1981; Eppink, 1984) heeft dit gecompliceerde samenspel van factoren in een formule samengevat (universal soil-loss equation USLE). De formule luidt:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Hierin wordt de erosie A (grondverlies in t.ha⁻¹) berekend uit:

R regenfactor

K erosiegevoeligheidsfactor van de bodem

L hellinglengtefactor

S hellinggradiëntfactor

C gewas-, begroeiings- en bedrijfsvoeringsfactor

P erosiebeheersingsfactor

De vier eerste abiotische factoren liggen betrekkelijk vast en bepalen het potentiële bodemverlies (erosie). De twee laatste kunnen door bijv. veranderend bodemgebruik in de tijd variëren.

De regenfactor R wordt bepaald als het produkt van de kinetische energie van de regen en de grootste gemiddelde regenintensiteit gedurende 30 minuten in de bui (Hudson, 1981).

De erosiegevoeligheidsfactor van de bodem K berust op het gehalte aan silt + uiterst fijn zand (2-100 µm), het gehalte aan

lutum ($<2 \mu\text{m}$), het gehalte aan organische stof, de bodemstructuur (in 4 klassen) en de verzadigde doorlatendheid (in 6 klassen). De factor is uit een betrekkelijk eenvoudig nomogram af te leiden (Hudson, 1981). Een hoge erosiegevoeligheid hebben gronden met een hoog gehalte aan silt + uiterst fijn zand en een laag gehalte aan lutum en organische stof (bijv. löss). De erosiegevoeligheid neemt af bij lagere gehalten aan silt + uiterst fijn zand, ongeacht of daarbij de lutumfractie dan wel het gehalte aan grover zand (100-2000 μm) toeneemt.

De hellinglengtefactor L is de verhouding tussen het bodemverlies (erosie) bij de beschouwde hellinglengte en dat bij de lengte van een standaardproefveld van 22,6 m. De hellinggraadfactor S is de verhouding tussen het bodemverlies (erosie) bij de beschouwde hellingshoek en dat bij de hoek van een standaardproefveld van 9%. Gewoonlijk worden de factoren L en S gecombineerd; de gecombineerde factor kan uit een nomogram worden afgelezen.

De gewas-, begroeiings- en bedrijfsvoeringsfactor C is de verhouding tussen het bodemverlies op het beschouwde land en dat op een standaard braakliggend land.

De erosiebeheersingsfactor D geeft de verhouding tussen de erosie op het beschouwde land en dat op een standaardland waarop geen enkele vorm van erosiebestrijding wordt toegepast.

De formule is bedoeld om:

- een schatting te geven van het gemiddelde jaarlijkse grondverlies door oppervlakte-erosie;
- aanwijzingen te geven voor het opstellen van bodembeschermings- en erosiebestrijdingsmaatregelen;
- een schatting te geven van de vermindering van bodemverlies door erosie als gevolg van maatregelen die boer of terreinbeheerder toepast.

In het kader van deze rapportage is de toepassingsmogelijkheid echter beperkt omdat de omstandigheden (het klimaat, het landgebruik en het fysisch milieu) waaronder deze formule is ontwikkeld en moet worden toegepast, afwijken van de onze. Voor een eventueel Nederlands gebruik zouden de regenfactor (R), de gewas-, begroeiings- en bedrijfsvoeringsfactor (C) en de erosiebeheersingsfactor (P) moeten worden aangepast, omdat de relatie tussen deze drie factoren en het bodemverlies door erosie hier vermoedelijk anders ligt dan in de Verenigde Staten. Bovendien ontbreken relevante gegevens over de aggregaatstabiliteit en de permeabiliteit van de meeste gronden. In onze omstandigheden zullen we ons bij de vaststelling van het gevaar voor watererosie voorlopig moeten behelpen met slechts twee factoren: de factor K (afgeleid uit de textuur) en de gecombineerde factor LS (afgeleid uit het kaartbeeld).

2.2.2 Factoren die de winderosie bepalen

Ook de mate van winderosie wordt bepaald door een groot aantal vaak van elkaar afhankelijke factoren. Skidmore heeft het gecombineerde effect samengevat in een formule (Eppink, 1985). Deze formule lijkt op die van Wischmeier, maar is veel ingewikkelder en moeilijker te gebruiken. We laten hem daarom buiten beschouwing en geven een overzicht van de belangrijkste factoren.

Het klimaat, en dan vooral de wind in samenhang met perioden van droogte, is van invloed op het optreden van winderosie. In Nederland overheersen noordoostelijke en zuidwestelijke winden. De gemiddelde jaarlijkse windsnelheid loopt uiteen van circa 6 m.s^{-1} aan de kust tot $3,5 \text{ m.s}^{-1}$ in het binnenland. Rond deze gemiddelden bestaat een zeer grote spreiding. De ervaring leert dat de combinatie van een droge periode met een hoge windsnelheid voldoende vaak voorkomt om los, niet te grof materiaal te eroderen (duinen, stuifzanden, opgespoten zand).

De cohesie van de aan het oppervlak liggende bodemdeeltjes bepaalt eveneens de mate van winderosie. In stuifzandgebieden kan men waarnemen dat vooral de B-horizonten van podzolgronden een grotere weerstand tegen winderosie bezitten dan het onderliggende C-materiaal. Dit geldt ook voor het keienvloertje (paragraaf 2.1.2). Door bewerking maar ook al door plaatselijke beschadiging (graven van kuilen) van deze vaste laag neemt de kans op winderosie toe. Het vochtgehalte beïnvloedt de cohesie tussen de bodemdeeltjes. Bij vochtgehalten lager dan dat bij $pF = 4$ treedt gemakkelijk erosie op.

Van invloed zijn ook de afmeting en de dichtheid (soortelijke massa) van de bodemdeeltjes. Diameter en dichtheid van de bodemdeeltjes worden vaak gecombineerd in de zgn. equivalent diameter. De zandkorrels₃ die het gevoeligst zijn voor winderosie (dichtheid 2650 kg.m^{-3}), hebben een diameter van circa $100 \mu\text{m}$.

Naarmate de afstand waarover de wind over erodeerbaar materiaal waait (strijk lengte) groter is, neemt de erosie toe. Bij iedere windsnelheid bestaat een maximale opname van materiaal. In Nederland wordt deze maximumopname zelden bereikt omdat de strijklengten te kort zijn. Duidelijk is dat zandbanen evenwijdig aan de heersende windrichting meer van winderosie te duchten zullen hebben dan de banen loodrecht hierop.

Voor de vaststelling ("voorspelling") van winderosie onder Nederlandse omstandigheden met behulp van de genoemde (of eventueel andere) factoren bestaan weinig of geen richtlijnen. Uitspraken kunnen alleen gebaseerd zijn op de textuur (en de afronding) van het moedermateriaal, de aanwezigheid van een bodemprofiel en de diepte van het grondwater. Zo zullen bijv. de relatief fijne stuifzanden ($M50 = \text{ca. } 150 \mu\text{m}$), waarin nog geen vaste bodemhorizonten zijn gevormd, gemakkelijk verstuiven, mits het grondwater niet te ondiep is (grondwatertrap II, III, IV van bodemkaartjes, rapport 2). Hetzelfde geldt voor de eveneens betrekkelijk fijne dekzanden indien het (onder de vaste A- en B-horizonten voorkomende) materiaal uit de C-horizont aan de wind wordt blootgesteld.

3 HET EROSIEGEVAAR OP ENKELE GRONDEN EN OP DE AFZONDERLIJKE OEFENTERREINEN

In dit hoofdstuk geven we een globale aanduiding van het erosiegevaar op een aantal gronden en op de afzonderlijke oefenterreinen. Deze aanduiding berust, zoals in de inleiding reeds is vermeld, op inzichten die door jaren veldervaring zijn verkregen.

Het uitgangspunt is de geologische formatie of afzetting. Deze is vaak gekenmerkt door een bepaalde bodenvorming, textuur (of textuurafwisseling), terreinvorm en soms ook diepte van het grondwater. Het zijn juist deze vier kenmerken die ons, bij gebrek aan relevantere gegevens, aanwijzingen over het erosiegevaar kunnen geven. De verbreiding van de geologische afzetting geeft in dit verband tevens een (ruw) beeld van de verbreiding van het erosiegevaar.

In de oefenterreinen komen de volgende geologische afzettingen over grote oppervlakten voor:

- het complex van gestuwde afzettingen (gestuwd preglaciaal);
- de dekzandafzettingen (Formatie van Twente);
- de stuifzandafzettingen (Formatie van Kootwijk).

Hun ontstaanswijze, eigenschappen en kenmerken zijn in de bijlage weergegeven.

Een overzicht van de in elk oefenterrein voorkomende geologische formaties en afzettingen geeft tabel 1.

In tabel 2 is een ruwe benadering gegeven van het erosiegevaar op de drie veel voorkomende geologische afzettingen.

Tabel 1 De geologische formaties en afzettingen die in de afzonderlijke oefenterreinen voorkomen. Het voorkomen is aangegeven met de beginletter(s) van de formatie of afzetting.

Code en naam oefenterrein	Formatie*
A01 Appelbergen	G, K, T, k
A06 Ballooërveld	G, T, k, E
A07 Anloo	G, K, T, k
B01 en 2 Havelte	G, K, T, k, E
B04 Wecheierveld	T, Kr
B05 De Bannink	T
C02 en 5 Ermelosche Heide en Sparrendaal	K, T, ka, <u>U?</u> , <u>V?</u> , <u>S?</u> , <u>H</u>
C03 en 4 Beekhuizerzand	K, T, <u>U</u> , <u>En</u> , <u>H</u>
C06 Liesberg/Stakenberger Heide	T, ka
C07 Speulder- en Houtdorperveld	T, ka
C010 Wezepsche Heide	ka, <u>U</u> , <u>En</u> , <u>H</u> , <u>Te</u>
C011 Elspeeterveld	T, ka, s
C012 Kleine Kolonie	T, ka
C013 Elspeetsche Heide	T, ka
C014 Westeindsche Heide	K, T, ka
C018 Het Grootte Veld	T
D01 Stroesche Zand	K, <u>U</u> , <u>S</u>
D02 en 11 Loobosch en Kootwijkerzand	K, T, <u>U</u> , <u>S</u>

Code en naam oefenterrein	Formatie*	
D03	Ederheide	K, T, s, <u>U</u> , <u>S</u>
D04	Ginkelsche Heide	T, s, <u>U</u> , <u>S</u>
D05	Arnhemsche Heide	T, s
D06	Rozendaalsche Veld	K, T, <u>U</u> , <u>S</u>
D07	Galgenberg	<u>U</u> , <u>Ke</u>
D08	Mariënbosch	T, <u>S?</u> , <u>Ke?</u>
D010	Heumensoord	T, s
E01	Cadettenkamp Breda	K, T
E02	Vrachelsche Heide	K, T, <u>S</u>
E03	Boswachterij Dorst	K, T, <u>S</u>
E05	De Vijf Eiken	K, T, S, <u>Ke</u>
E06	Galdersche Heide	K, T
E07	Rechte Heide	T, S, <u>Ke</u>
E011	Molenzicht	K, T
E012	Rucphensche Heide	K, T
E013	Ossendrecht	K, T, <u>Te</u>
E014	Woensdrechtsche Heide	K, T, <u>Te</u>
F01	Loonsche en Drunensche Duinen	K, T, <u>Ke</u>
F02 en 3	Fort Crèvecoeur en Engelse gat	B
F04	Lunetten	K, T
F05	Helvoirt	K, T
F06	Langenboom	V
F07	Reeksche Heide	K, V
F08	Oirschotsche Heide	K, T
G01	Groote Heide	S
G03	Boshover- en Weeterheide	K, T
G04	Beegderheide	K, T
G05	Melickerheide	K, T, <u>V</u> , <u>S</u>
H014	Laren-Bussum	ka, s, <u>U</u> , <u>S</u>
K02	Vlakte van Waalsdorp	W
K03	Duinterrein Katwijk	W
M02 en 8	De Soesterberg en De Vlasakkers	<u>U</u> , <u>S</u>
M03 en 4	Oude Kamp en Leusderheide	<u>U</u> , <u>S</u>
M05	Den Treek	K, T
CS6	A.S.K. Oldebroek	K, T, <u>U</u> , <u>En</u> , <u>H</u> , <u>Te</u>
CS12	Orderbosch	T, <u>U</u> , <u>S</u> , <u>En</u> , <u>H</u> , <u>Te</u>
CS13	Gorsselsche Heide	T
DS2	Schietterrein Harskamp	K, T, <u>U</u> , <u>S</u>

* B	Betuwe Formatie	E	Formatie van Eindhoven
G	Formatie van Griendtsveen	U	Formatie van Urk
K	Formatie van Kootwijk (windafzettingen)	V	Formatie van Veghel
W	Westland Formatie	S	Formatie van Sterksel
T	Formatie van Twente (windafzettingen)	En	Formatie van Enschede
k	Formatie van Drente (keileem)	Ke	Formatie van Kedichem
ka	Formatie van Drente (kamerterras)	H	Formatie van Harderwijk
s	Formatie van Drente (sandr)	Te	Formatie van Tegelen
Kr	Formatie van Kreftenheye		

? de naam van de Formatie is onbekend
 (onderstreept) de Formatie is gestuwd
 ^ (dakje) de Formatie is overdekt

Tabel 2 Globale aanduiding van het erosiegevaar op drie geologische afzettingen bij afwezigheid van een vegetatiedek. Het eerste en tweede cijfer in elke kolom *) geeft de gevarenklasse voor resp. wind- en watererosie aan.

Afzetting en bodem- profiel	Terreinvorm, textuur en grondwatertrap**)															
	vlak				helling											
	grof		fijn		grof		fijn									
	ondiep	diep	ondiep	diep	ondiep	diep	ondiep	diep								
gestuwd preglaciaal																
holtpodzolgronden	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-
haarpodzolgronden	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-
dekzand																
veldpodzolgronden	-	-	-	-	1	1	2	1	-	-	-	-	1	1	2	2
haarpodzolgronden	-	-	-	-	1	1	2	1	-	-	-	-	1	1	2	2
beekeerdgronden	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
stuifzand																
duinvaaggronden	-	-	-	-	2	1	3	1	-	-	-	-	2	1	3	2
vlakvaaggronden	-	-	-	-	1	1	2	1	-	-	-	-	1	1	2	2

*) - : combinatie komt niet voor
 1 : weinig gevaar voor erosie
 2 : matig gevaar voor erosie
 3 : groot gevaar voor erosie

**) grof : zand met M50 >210 µm
 fijn : zand met M50 <210 µm
 ondiep : grondwatertrap II, III en IV
 diep : grondwatertrap V, VI en VII

Ten slotte hebben we het erosiegevaar op elk afzonderlijk militair oefenterrein als geheel globaal beoordeeld.

Deze beoordeling berust op:

- de textuur van het bodemmateriaal, die wordt ontleend aan de geologische afzetting of formatie;
- de aanwezigheid van een bodemprofiel;
- de diepte van het grondwater, waarvoor de grondwatertrap als maatstaf gekozen is;
- de gradiënt en lengte van de helling, die uit het kaartbeeld afgeleid kan worden.

Bij de beoordeling gaan we ervan uit dat een beschermend vegetatiedek afwezig is. Deze situatie kan zich voordoen op free-for-all terreinen, zandbanen e.d. Er is geen rekening gehouden met regionale verschillen in neerslag of windsnelheid.

Het erosiegevaar is aangegeven in 3 klassen, aangeduid met de cijfercode 1, 2 en 3. Het laagste cijfer wijst op een gering, het hoogste op een groot erosiegevaar (tabel 3). Richtlijnen (uiteraard globaal) om de erosiegevoeligheid vast te stellen staan in de laatste kolom van tabel 3.

Tabel 3 Gevarenklassen voor wind- en watererosie en richtlijnen voor de vaststelling hiervan.

Klasse	Richtlijnen	
code	omschrijving	
WINDEROSIE		
1	weinig gevaar	grove zanden met een bodemprofiel en met grondwatertrap I t/m VII (gedeelten van het gestuwd preglaciaal) fijne zanden met of zonder bodemprofiel en met grondwatertrap II t/m IV (overwegend dekzanden en stuifzanden)
2	matig gevaar	grove zanden zonder een bodemprofiel met grondwatertrap I t/m VII (gedeelten van het gestuwd preglaciaal) fijne zanden met een bodemprofiel en met grondwatertrap V t/m VII (overwegend dekzanden)
3	groot gevaar	fijne zanden zonder een bodemprofiel met grondwatertrap V t/m VII (gedeelten van de stuifzanden en kustduinen)
WATEREROSIE		
1	weinig gevaar	vlak terrein òf korte helling met grondwatertrap II t/m IV
2	matig gevaar	korte helling met grondwatertrap V t/m VII
3	groot gevaar	lange helling

De uiteindelijk toegekende erosie-gevarenklasse van elk afzonderlijk oefenterrein is in tabel 4 aangegeven. Als in een oefenterrein meer gevarenklassen voorkomen (bijv. door verschil in textuur van het bodemmateriaal of door verschil in grondwatertrap), is die met de grootste oppervlakte in de tabel opgenomen. Twee beoordelingen worden gegeven als er in een oefenterrein twee gevarenklassen voorkomen die ieder een belangrijk deel van de oppervlakte innemen. Van deze klassen staat die met de kleinste oppervlakte tussen haakjes.

Tabel 4 De gevarenklasse*) voor wind- en watererosie die aan de afzonderlijke oefenterreinen is toegekend

Code en naam oefenterrein		Winderosie		Watererosie	
A01	Appelbergen	2	(3)	2	(3)
A06	Ballooërveld	2	(1)	2	(3)
A07	Anloo	2	(3)	2	(3)
B01 en 2	Havelte	3	(1)	2	(3)
B04	Wecheïerveld	1		1	
B05	De Bannink	2		1	

Code en naam oefenterrein	Winderosie		Watererosie		
C02 en 5	Ermelosche Heide en Sparrendaal	1	(3)	2	(3)
C03 en 4	Beekhuizerzand	3		2	(3)
C06	Liesberg/Stakenberger Heide	1	(2)	2	(3)
C07	Speulder- en Houtdorperveld	1	(2)	2	(3)
C010	Wezepsche Heide	1		2	(3)
C011	Elspeeterveld	1	(2)	1	(2)
C012	Kleine Kolonie	1	(2)	1	(3)
C013	Elspeetsche Heide	1	(2)	1	(3)
C014	Westeindsche Heide	1	(3)	1	(2)
C018	Het Grootte Veld	2		1	
D01	Stroesche Zand	3		1	(3)
D02 en 11	Loobosch en Kootwijkerzand	3		1	(2)
D03	Ederheide	2	(3)	1	(3)
D04	Ginkelsche Heide	2	(3)	1	(3)
D05	Arnhemsche Heide	1	(2)	1	(2)
D06	Rozendaalsche Veld	1	(3)	1	(3)
D07	Galgenberg	1		1	(2)
D08	Mariënbosch	1	(2)	1	(3)
D010	Heumensoord	1		1	(2)
E01	Cadettenkamp Breda	3		1	
E02	Vrachelsche Heide	3		1	(3)
E03	Boswachterij Dorst	3	(2)	1	(3)
E05	De Vijf Eiken	2	(3)	1	(3)
E06	Galdersche Heide	2	(3)	1	(2)
E07	Rechte Heide	2		1	(2)
E011	Molenzicht	3		1	(2)
E012	Rucphensche Heide	2	(3)	1	(2)
E013	Ossendrecht	3	(2)	1	(2)
E014	Woensdrechtsche Heide	3	(1)	1	(2)
F01	Loonsche en Drunensche Duinen	3		1	(3)
F02 en 3	Fort Crèvecoeur en Engelse gat	1		1	(2)
F04	Lunetten	3		1	
F05	Helvoirt	3		1	(2)
F06	Langenboom	1		1	(2)
F07	Reeksche Heide	3	(1)	1	(2)
F08	Oirschotsche Heide	3	(2)	1	(2)
G01	Groote Heide	1	(2)	1	
G03	Boshover- en Weerterheide	3	(2)	1	(2)
G04	Beegderheide	3	(2)	1	(2)
G05	Melickerheide	2	(1)	1	(2)
H014	Laren-Bussum	1		1	(2)
K02	Vlakte van Waalsdorp	3		2	(3)
K03	Duinterrein Katwijk	3	(1)	2	(3)
M02 en 8	De Soesterberg en De Vlasakkers	1		2	(3)
M03 en 4	Oude Kamp en Leusderheide	1	(3)	2	(3)
M05	Den Treek	2	(3)	1	(3)
CS6	A.S.K. Oldebroek	1	(3)	1	(3)
CS12	Orderbosch	1	(2)	1	(2)
CS13	Gorsselsche Heide	2	(1)	1	
DS2	Schietterrein Harskamp	3	(2)	1	(2)

*) 1 weinig gevaar voor erosie

2 matig gevaar voor erosie

3 groot gevaar voor erosie

() gevarenklasse die in het betreffende oefenterrein ook vrij veel voorkomt

4 SLOTOPMERKINGEN

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat de bestaande kennis onvoldoende is om een enigermate gekwantificeerde "voorspelling" te geven over het optreden van erosie op de militaire oefenterreinen in het zandgebied. In plaats van de gebruikelijke conclusies willen we ons daarom tot enkele algemene slotopmerkingen beperken.

- 1 Versnelde antropogene erosie (de erosievorm waarmee we ons hier hebben bezig gehouden) treedt alleen op bij ernstige beschadiging of vernietiging van een gesloten vegetatiedek.
- 2 Een goed ontwikkeld bodemprofiel waarop de vegetatie verloren is gegaan, maar waarvan de verdichte, met ijzer en humus verrijkte inspoelingslaag nog intact is, biedt vrij lang weerstand tegen water- en winderosie. Pas als er "gaten" in het profiel komen, hetzij van nature, hetzij door het toedoen van de mens, bereiken water en wind het onderliggende, veelal losse C-materiaal en neemt de erosie snel toe.
- 3 Op terreinen waar de vegetatie en het bodemprofiel zijn verdwenen, treedt vrijwel altijd water- of winderosie op. Deze omstandigheden kunnen zich voordoen op free-for-all terreinen, zandbanen, stellinggebieden e.d. (voor de oppervlakte die deze terreinen innemen, zie rapport 10). Een uitzondering vormen vlakke terreinen met een zeer ondiepe grondwaterstand of met zeer grof materiaal of een keienvloertje aan het oppervlak. Deze terreinen komen echter weinig voor.
- 4 De mate van erosie van een grond zonder vegetatiedek is afhankelijk van de aanwezigheid van een bodemprofiel, de textuur van de bovengrond, de terreinvorm en de grondwaterstand (zie tabel 2).
- 5 Herstel van een vegetatie is binnen afzienbare tijd mogelijk, dat van een bodemprofiel niet.
- 6 In gevallen dat het bodemprofiel wordt aangetast (aanleg van zandbanen, graven van schuttersputjes e.d.) kunnen deze activiteiten zodanig worden gelokaliseerd dat weinig erosiegevaar bestaat. Vaak zullen deze plaatsen met behulp van de bodemkaart (rapport 2) en tabel 2 bij benadering vastgesteld kunnen worden.
- 7 Het verdient aanbeveling om de plaatsen waar het bodemprofiel reeds is aangetast en de plaatsen waar dit nog zal gebeuren, niet aan elkaar te laten groeien, maar van bufferzones te voorzien waarin bodemprofiel en vegetatie nog geheel intact zijn.

In deze slotopmerkingen liggen twee voorwaarden besloten die moeilijk kwantificeerbaar zijn:

- de minimumoppervlakte kale grond die nodig is om erosie op gang te brengen is niet bekend;
- de omstandigheden waaronder het terrein kaal blijft zijn evenmin precies bekend. Kale grond heeft immers in ons land de neiging begroeid te raken, tenzij dit door menselijke activiteiten wordt verhinderd of als oppervlak, helling e.d. van de kale grond zodanig zijn dat de erosie sterker is dan de vastlegging van de bodemdeeltjes door planten.

LITERATUUR

- Eppink, L.A.A.J., 1984. Bodemtechniek deel E; inleiding tot de erosie, erosiebestrijding en bodembescherming. 3e oplage (voorlopige tekst). Vakgroep Cultuurtechniek, Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Eppink, L.A.A.J., 1985. Capita selecta over erosie, erosiebestrijding en bodembescherming deel 2; winderosie en winderosiebestrijding. 2e herziene druk (voorlopige uitgave). Vakgroep Cultuurtechniek, Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Hudson, N., 1981. Soil Conservation. Batsford Academic and Educational Ltd, London.
- Jungerius, P.D. en F.J.P.M. Kwaad, 1973. "Bodemerosie". In: Jungerius, P.D. et al. Fysische geografie; aspecten van het landschapsonderzoek. Oosthoek, Utrecht.

BIJLAGE

Beschrijving van drie geologische afzettingen die in de oefenterreinen veel voorkomen

Complex van gestuwde afzettingen

Het complex van gestuwde afzettingen (gestuwd preglaciaal) bevat schuin tot verticaal staand, dagzomende lagen die overwegend uit zand maar ook wel uit leem of klei bestaan. Deze zanden, lemen en kleien zijn afgezet door rivieren (o.a. Rijn, Maas en vanuit het oosten stromende rivieren) in zeer verschillende geologische perioden en onder zeer verschillende klimaatomstandigheden. De mineralogische samenstelling van de overwegend grove zanden loopt uiteen. Een deel van de rivierafzettingen is in het Saalien in bevroren toestand opgestuwd door het landijs dat van noord naar zuid over ons land schoof. Deze pakketten gestuwde afzettingen vatten we samen onder de naam "gestuwd preglaciaal"; we vinden ze in het tegenwoordige landschap als hoge heuvelruggen terug, de stuwallen. Deze heuvels zijn van boven sterk afgevlakt en zijn verder gekenmerkt door diepe erosiedalen, die tegenwoordig geen water meer afvoeren (droge dalen). De grondwaterstand is in de stuwallen vele meters diep.

In deze afzettingen treffen we, afhankelijk van de mineralogische samenstelling van de gestuwde, dagzomende laag, holtpodzolgronden (Y) en haarpodzolgronden (Hd) aan. De eerstgenoemde komen voor in zanden met een relatief hoog gehalte aan donkere, gemakkelijk verweerbare mineralen (de zgn. bruine zanden), de laatste in afzettingen die vrijwel geheel uit kwarts bestaan (de zgn. witte zanden).

Dekzandafzettingen

De dekzandafzettingen (Formatie van Twente) zijn leemarme tot lemige, overwegend fijne, kalkloze zanden. Ze zijn door de wind afgezet in de zeer koude en droge perioden van het Weichselien. Zij hebben de kenmerken van een windafzetting: afgeronde zandkorrels en een duidelijke sortering (d.w.z. in de korrelgrootteverdeling overheerst één korrelgrootte zeer sterk). Dekzanden bestaan overwegend uit het mineraal kwarts. Het gehalte aan donkere, gemakkelijk verweerbare mineralen is zeer gering. Dekzandafzettingen hebben een zwak golvend reliëf waarin vaak paraboolduinachtige vormen zijn te herkennen. De grondwaterstand varieert van 0,3 m beneden maaiveld in de lage gedeelten tot ca. 2 m in de ruggen.

In deze kwartsrijke windafzettingen komen bij diepe grondwaterstanden gewoonlijk haarpodzolgronden voor (Hd). Bij ondiepe grondwaterstanden treft men er veldpodzolgronden in aan (Hn), vooral in de vlakke en zwak golvende terreinen. Op de flanken en in de lage delen van de beekdalen zijn vooral gooreerdgronden (pZn) resp. beekeerdgronden (pZg) ontwikkeld.

Stuifzandafzettingen

Stuifzandafzettingen (Formatie van Kootwijk) zijn leemarme, fijne, kalkloze zanden, waarin plaatselijk veel dunne humeuze laagjes voorkomen. Het zijn typische windafzettingen, die in het Holoceen ongeveer vanaf de late Middeleeuwen uit de dekzandafzettingen zijn opgewaaid. Zij bezitten dus ook afgeronde korrels en hebben een zeer geringe hoeveelheid donkere mineralen. In tegenstelling tot het dekzand echter zijn ze gekenmerkt door een opvallend losse pakking. De stuifzanden ontstonden daar waar de vegetatie en daarna het bodemprofiel werden vernield. Dit waren de hoogste en dus meestal de droogste plaatsen. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in onjuist landgebruik, bijv. overmatig branden en plaggen van de heide, overbeweiding door schapen. Het zand dat van de hoge plaatsen wegstoof, bleef gewoonlijk in de vegetatie van de lage en vochtige plaatsen hangen. Deze werden geleidelijk opgehoogd waardoor een omkering van het reliëf ontstond. De oorspronkelijk hoogste delen stoven diep uit tot op het grondwater of tot er een keienvloertje was gevormd (uitgestoven laagte). De lage delen werden opgevuld, waarbij soms de typische "forten" ontstonden. De grondwaterstand loopt uiteen van zeer diep in de opgestoven heuvels tot ondiep in de uitgestoven laagten.

In de stuifzanden is de bodemvorming nog maar van korte duur; daarom worden ze tot de duinvaaggronden (Zd, in de opgestoven heuvels) en vlakvaaggronden (Zn, in de uitgestoven laagten) gerekend.