

Càlcul de la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies a l'illa Spiekeroog.



www.natosti.uni-oldenburg.de (Foto: H. Kolde, 2001)

**Memòria del Treball de Final de Màster Universitari d' anàlisi,
gestió i planificació en àrees litorals**

Director: Dr. Miquel Grimalt Gelabert

Autora: Margalida Amer Binimelis

Setembre 2013



**Universitat de les
Illes Balears**

Títol: Càlcul de la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies a l'illa Spiekeroog.

NOM AUTOR: Margalida Amer Binimelis

Memòria del Treball de Final de Màster

Màster Universitari d' anàlisi, gestió i planificació en àrees litorals

de la

UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Curs Acadèmic 2012/2013

Data 03 de setembre 2013

Signatura de l'autor _____

Nom Tutor del Treball **Miquel Grimalt Gelabert**

Signatura Tutor _____

Nom Cotutor (si escau) _____

Signatura Cotutor _____

Acceptat pel Director del Màster Universitari de _____

Signatura _____

Aquest treball s'inclou en les tasques d'investigació sobre hidrologia subterrània de les Illes Frísies dirigida per Tania Röper, del departament de Hydrogeologie und Landschaftswasserhaushalt, Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg

ÍNDEX

1. Introducció	4
2. Descripció geogràfica:	5
2.1 Història	5
2.2 Formació	5
2.3 Clima	6
2.4 Geologia i geomorfologia	8
2.5 Hidrogeologia	9
2.6 Fauna	10
2.7 Vegetació	11
2.8 La principal activitat econòmica: el turisme	24
3. Objectius	25
4. Metodologia	26
4.1. Antecedents del càlcul de la taxa de recàrrega d'aigua subterrània a l'illa Spiekeroog.	26
4.2 Definició de les diferents àrees.	27
4.3 Càlcul de l'àrea per a cada una de les zones.	29
4.4 Mètode per al càlcul de la taxa de la recàrrega de les aigües subterrànies.	30

5. Càlcul de la taxa de recàrrega de l'aigua subterrània amb els dos mètodes.	31
5.1 Mètode I: G. Dörhöfer & Josopait V. (1980)	31
5.2 Mètode II: Stuyfzand (1993)	38
5.3 Càlcul de la recàrrega d'aigua subterrània a l'aqüífer de Spiekeroog	52
6. Interpretació i comparació de mètodes	62
7. Càlcul de les necessitats d'aigua de la població total	64
8. Càlcul dels límits de població total que pot assolir l'illa.	66
9 . Bibliografia	67

1. INTRODUCCIÓ

Spiekeroog és una illa Frisona Oriental de la Baixa Saxònia a la mar de Watten, es troba situada entre les illes Langeoog i Wangerooge. L'illa té una superfície de 22,52 km², 9,8 Km de longitud i 2,2 Km d'amplada. Una població de dret de 775 habitants (31 desembre 2011) i una densitat de població de 42 habitants per km². És part del Patrimoni Natural Mundial mar de Watten per la UNESCO.

El principal sector econòmic és el turisme, amb una mitjana de 97.000 visitants l'any 2011.

L'illa Spiekeroog compta amb un clima marítim, amb hiverns suaus i estius més freds. Una temperatura mitjana anual de 8,8 ° C. La temperatura mitjana mensual al febrer és de 1,1 ° C i a l'agost és de 16,4 ° C. La precipitació mitjana anual és de 808 mm, essent el mes d'agost el més plujós.



Figura 1: Mapa del Mar del Nord, el nord d'Alemanya i les illes Frisones Orientals (www.escademic.com)

2. DESCRIPCIÓ GEOGRÀFICA

2.1 Història

La primera referència que es té de l'illa és al 1398 amb el nom "Spiekeroch". Ocupada en aquests moments per pirates. No fou fins l'any 1600 que es construïren les primeres cases. L'any 1684 el poble comptava amb 19 cases i 110 habitants. L'any 1696 es va construir l'església (la més antiga de les Illes Frisonas orientals). Ja al 1740 l'illa comptava amb un total de 30 cases.

Al maig de 1792, es va iniciar el primer servei de ferry des de Neuharlingersiel fins Spiekeroog i no fou fins al 1846 que es va citar Spiekeroog com un balneari. La primera construcció d'espigons i dics de contenció a l'oest per a la protecció de les platges data de 1873 i al 1936 es va construir el mur de contenció per protegir la zona oest de l'illa, dels temporals marins.

El 13 de desembre de 1883 un vaixell anglès va quedar varat a l'est de l'illa i a dia d'avui es poden observar les restes del naufragi durant la marea baixa. Al 1885 fou creada la primera ruta a cavall des de el poble fins a l'oest de l'illa i al 1899 es van construir els "Warmbadenanstalt" (banys d'aigua calenta) que a dia d'avui és el "Café Westend". Des de 1912 es va autoritzar la utilització de la platja reservada a dones i nins també als homes. Al 1928 es va fundar la primera escola.

Al 1986 es va crear el Parc Nacional de Watten de la Baixa Saxònia on està inclosa l'illa Spiekeroog. L'any 2006 s'inaugurà el Centre de Medi ambient "Wittbülten" i al Juny del 2009 la Mar de Watten és considerat Patrimoni Natural de la Humanitat (<http://www.spiekeroog.de/inselinfo/inselgeschichte.html>).

2.2 Formació

Les Illes Frísies Orientals es van formar fa uns 5.000 anys com a conseqüència de l'acció del vent que va provocar una acumulació d'arena. Per mor dels corrents de marea i dels vents predominants de l'oest, les illes es trobaven en constant moviment, una migració de Nord-oest a sud-est. Els nuclis urbans originàriament es van construir al centre de l'illa, no obstant a causa del continu moviment actualment es troba situat a l'extrem occidental.

Aquest fenomen d'inestabilitat formal constant es va frenar amb la construcció dels dics de contenció de principis del segle XX.

A la següent imatge (fig 2) es pot observar l'evolució de l'illa en 360 anys. Els primers registres cartogràfics són del període de 1650. Durant els segles XVII i XVIII, Spiekeroog va créixer fins absorbir les illes de Lütjeoog i Oldeoog, el que va comportar un creixement cap a l'est d'uns 5 Km. El major creixement s'enregistrà en el període de 1860 a 1960 amb més de 3 Km lineals (Homeier de 1962, Streif AD 1990).

Des de 1650 a 1960 experimentà un creixement de 4,6 Km de longitud i 0,6 Km d'amplada, originat principalment pel sediment provinent del canal de Harle, que la separa de Wangerooge. Per protegir la zona oest de l'illa de temporals, s'iniciaren al segle XVIII les actuacions de fixació de la línia de costa mitjançant dics. Aquestes construccions han permès un major desenvolupament de les dunes. Les dunes més antigues situades a la part occidental, daten de la meitat del segle XVI i a la zona nord i est es localitzen les formes dunars més joves. Les dunes de nova creació es localitzen situades a la part oriental a la zona més propera a la platja. La formació dunar assoleix una potència màxima de 25 m per sobre del nivell de la mar. (Röper et al., 2012).

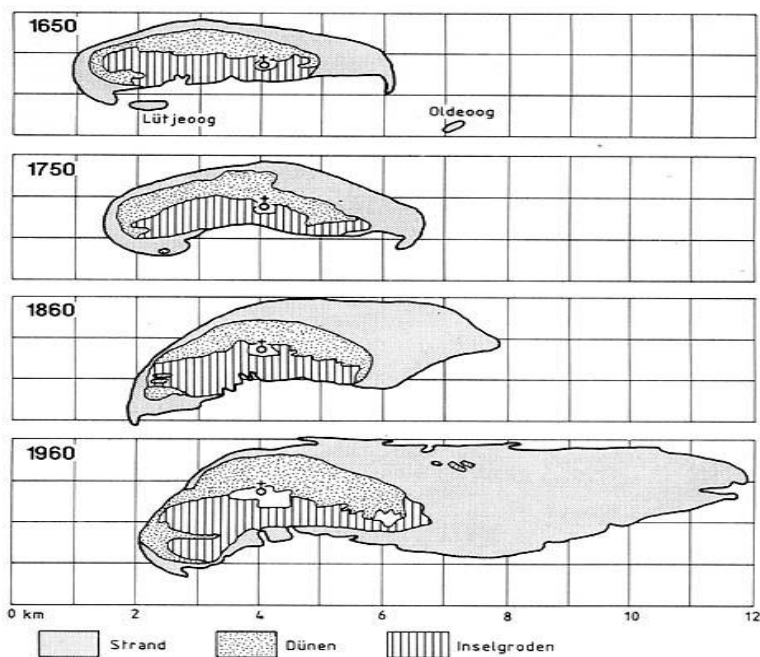


Figura 2: Evolució de l'illa Spiekeroog des de 1650 a 1960. Font: Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Geographisches Institut. Exkursion Nordsee – Ostsee – Rügen Brandenburg – Potsdam.

Strandd (platja), Dünen (dunes), Inselgraden (aigüamolls)

2.3 Clima

El clima de la Mar de Watten es caracteritza per la interacció de les masses continentals d'aire marítim humit de l'oest i les masses d'aire continental sec d'orient. Dominen les depressions en moviment cap a l'est, procedents de l'Atlàntic Nord amb els vents de l'oest, el que explica que els hiverns siguin suaus i els estius frescs.

La temperatura mitjana anual de l'illa Spiekeroog és de 8,8 ° C, al mes de febrer és de 1,1 ° C i a l'agost de 16,4 ° C. Una mitjana de set dies a l'any s'enregistren temperatures

superiors a 28 ° C. La precipitació mitjana anual entre 1984-2011 és de 808 mm, essent el mes d'agost el més plujós.

A la figura 3, s'observa un climograma de l'estació de Wittmund, població situada al continent Europeu al Nord d'Alemanya, a la que pertany administrativament l'illa d'Spiekerog, localitzada a 12 km. Al climograma s'observen les mitjanes de temperatures més altes i més baixes enregistrades per a cada mes de l'any i el nombre mitjà de dies de gelada.

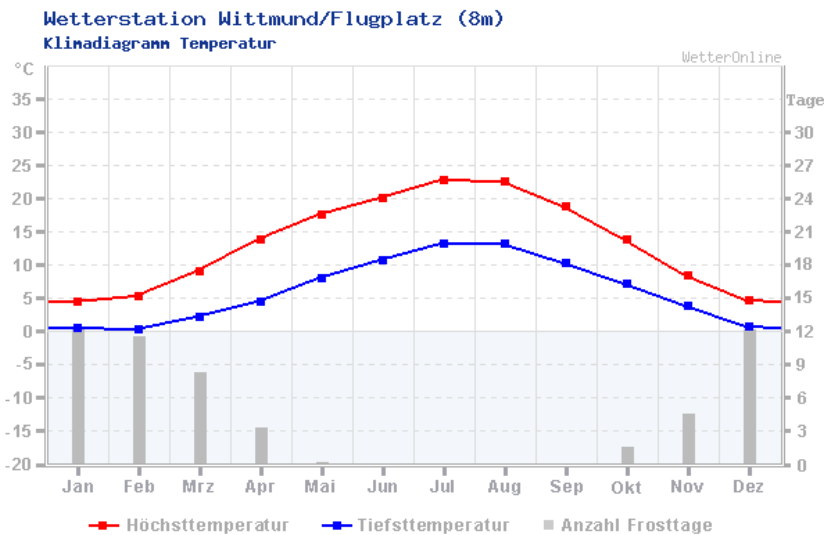


Figura 3: Climograma de l'estació de Wittmund situada a una alçada de 8m. (wetteronline.de).

Hochsttemperatur (temperatura màxima mitjana), Tiefsttemperatur (temperatura mínima mitjana), Anzahl Frosttage (mitjana mensual de dies de gelada)

A la figura 4 s'observa, la mitjana en mm de precipitació per a cada mes de l'any i el nombre de dies de pluja per mesos.

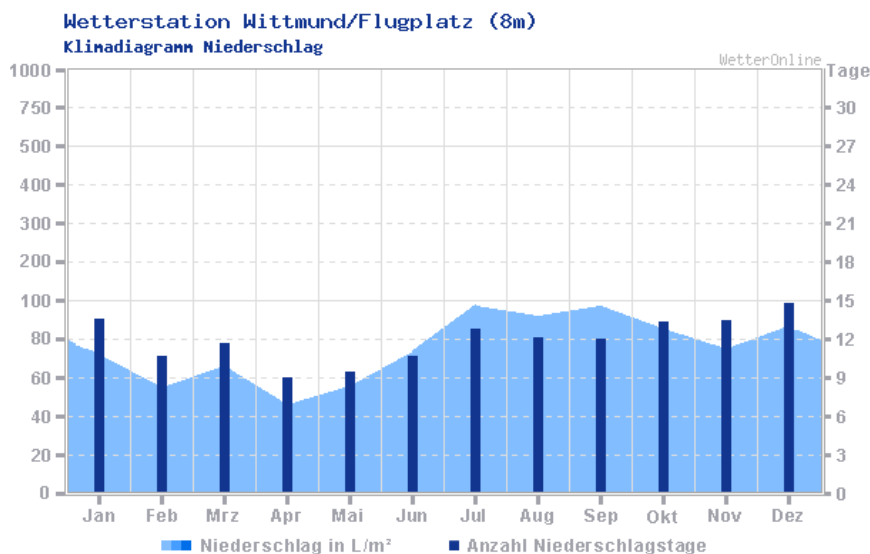


Figura 4: Precipitació mitjana mensual (mm) i nombre mitjà de dies de (wetteronline.de)

Niederschlag (precipitació), Anzahl Niederschlagstage (nombre de dies amb precipitació)

La regularitat pluviomètrica al llarg de l'any és manifesta, així com també es pot constatar la baixa intensitat mitjana de les pluges, atès que aquestes es reparteixen en un nombre elevat de jornades plujoses

2.4. Geologia i geomorfologia

Spiekeroog es troba situada entre les illes de Langeoog i Wangerooge. Separades per el canals navegables de Otzumer a l'oest i Harle a l'est. L'oscil·lació de la marea alta és de mitjana 1,20 m per sobre del nivell de la mar i l'amplitud mareal total entorn de 2,80 m.

L'illa compta amb tres zones diferenciades, la zona de dunes consolidades, la zona pantanosa salobrosa al vessant de la mar de Watten i a la part oriental "Ostplate" zona de formació activa de dunes mòbils (Sindowski, 1973).

Els inicis de la formació de la barrera de les Illes Frísies Orientals fou a principis del Boreal (8800-7501 AC), en el context de l'interglacial actual (<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/4958/apm6de7.pdf>).

Segons Barckhausen (1969), aquest procés es pot atribuir a la interacció del vent, l'onatge i les corrents marines. La seva forma morfològica és provocada pel predomini dels vents de l'oest que subministren la major part del sediment. No obstant, a la zona sud-oest es troben vestigis de sediments a 5-10 metres de profunditat del Pleistocè (Streif, 2002, 1990).

A la part central i oriental de l'illa es troben materials del Pleistocè del desglaç de la vall de Saalian. A l'Holocè la intrusió de la mar del Nord va provocar l'erosió i la redistribució dels sediments al canal Harle. Actualment el canal està omplert de sediments de l'Holocè, arenes de mida de gra mitjà- gruixat, separats ocasionalment per lents d'argiles incrustades. La capa de l'Holocè es troba situada entre 15 a 20 metres per davall del nivell de la mar (Röper et al., 2012).

Per davall de la base de materials de l'Holocè, es troben sediments glacials d'arenes fluvials de mida de gra fi a mitjà. Els depòsits de Ton Lauenburger, capa d'argiles comunes al Nord d'Alemanya s'han trobat només a una zona de petites dimensions a la part nordoriental de Spiekeroog i per sota de les zones planes de marea cap al continent. Són sediments del Pleistocè, arenes de mida de gra fi a mitjà (Röper et al., 2012).

Entre els 44 i 55 m per sota del nivell de la mar s'ha trobat una capa d'argila a varis nuclis de sediments (NLfB, 1985) que se suposa que continua per sota de la zona de dunes (Röper et al., 2012) i que té importants repercussions hidrològiques.

2.5. Hidrogeologia

A l'illa s'han identificat dos nivells aquífers principals i un nivell aquítard. Les arenas de mida de gra gruixat de l'holocè que contenen lents d'argiles incrustades, amb depòsits d'arena subjacent del Pleistocè i per davall sediments de mida de gra més fins del Pliocè formen l'aquífer.

A una profunditat de 44-55 m per sota del nivell de la mar les arenas estan sustentades per una capa més o menys contínua d'argila que actua com a aquítard. Davall les arenas de mida fi a mitjà del Pliocè formen el segon aquífer. La capa d'argila intercalada separa l'aigua dolça subterrània de l'aigua salina subterrània subjacent.

L'aquífer es troba situat a la part nordoccidental de l'illa, ocupa aproximadament una extensió de 4,40 Km² en superfície, el que representa el 19,57% del total de la superfície de l'illa. Es troba situat sota la zona dunar consolidada i en aquells indrets en què aquesta assoleix una major potència. És explotat com a font de subministrament hídric per a la comunitat humana de l'illa mitjançant un total de 6 pous, que bombegen l'aigua fins a l'estació de tractament des d'on és subministrada posteriorment al consumidor.

El dipòsit d'aigua dolça, que assoleix, com es pot esperar en una illa de material porós una estructura lenticular, prové de la infiltració de l'aigua de pluja a la zona dunar (zona de permeabilitat alta), desplaçant l'aigua salada fins que s'estableix l'equilibri hidrodinàmic, aquest equilibri és prou complex en un context de variacions mareals diàries de notable amplitud. L'equilibri es troba amenaçat per factors naturals com les variacions de la vegetació, la forma, les dimensions i l'alçada de l'illa, la quantitat de pluja, la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies, l'evapotranspiració, la capacitat d'emmagatzemar de l'aquífer. Els factors antropogènics negatius són les taxes d'extracció dels pous i els possibles agents contaminants abocats a la superfície (Röper, 2012).

La lent d'aigua dolça es troba conforma una capa d'espessor variable, que assoleix valors de fins a 50 m per davall del nivell de la mar sota la zona de dunes. Per sota l'aquífer superior es troba una capa d'argila impermeable de entre 1,5 a 15 metres. L'aquífer inferior només conté aigua salada.

La següent figura s'observen les diferents zones d'aigua dolça i d'aigua salada.

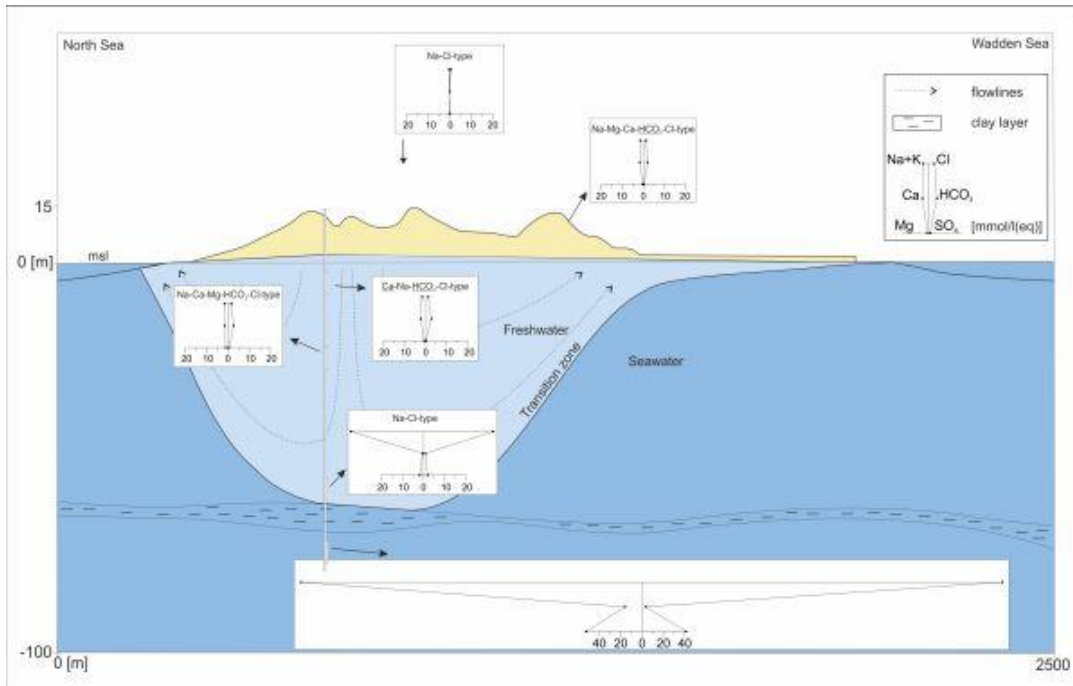


Figura 5: Esquema de la lent d'aigua dolça, perfil de Nord-Sud amb els diferents tipus d'aigua. (Roper et al., 2012).

2.6.Fauna

A la mar de Watten, interposada entre les illes i el continent, es poden trobar en torn de 4.200 espècies de fauna, principalment invertebrats. Destaca la migració d'aus, en relació a la qual aquesta àrea marítima constitueix un indret d'importància internacional i per la migració de peixos entre els rius i els oceans per fresar i alimentar-se.

Es poden trobar una mitjana de més de 6 milions d'aus residents a la Mar de Watten i entre 10 i 12 milions d'aus passen anualment entre les seves zones de cria a Sibèria, Escandinava, Groenlàndia i nord-est de Canadà i les zones de hibernació a Europa, i Àfrica. A la tardor és l'època en què es poden observar un major nombre d'espècies migratòries (Compiled by Friederike Bungenstock Dirk Enters Copyright Niedersächsisches Institut für historische Küstenforschung, Wilhelmshaven 2010).

2.7 Vegetació

A l'illa Spiekeroog, a partir de la classificació oficial es poden diferenciar un total de 12 biòtops i 30 subbiòtops organitzats entre les set àrees diferents:

Taula 1: Per a cada una de les àrees s'hi troben biòtops i subbiòtops existents a l'illa de Spiekeroog.

Zona	Biòtops	Subbiòtops
Aigües obertes	KP	
Platja	KS	KSI KSN
Zona marea alta	KH KP KR	KHO, KHQ KPL KRP, KRS
Zona marea baixa	KH KR KW	KHU KRS KWG, KWO, KWQ, KWK
Zona camps i pastures	GM	GMZ
Zona de bosc	HB KD WN WP WZ	KDG WNB WPB
Duna	HB KD KH KN KR WN WZ WP	KDV, KDW, KDG, KDH, KDN, KDB, KDZ, KDF, KDX, KDY, KDR KHO KNA, KNB, KNR KRP WNB WPB

La caracterització del tipus de vegetació s'ha realitzat per a cada una de les zones diferenciades de l'illa.

a) Aigües obertes es troba el **Biòtop KP**. Zona salobrosa, banyada per la marea, rierols de mar a terra d'aigua de mar, zona pantanosa, etc.

b) Zona de platja es troba un únic biòtop KS i dos subbiòtops KSI i KSN. Zones de bancs d'arena i platges amb escassa vegetació.

Biòtop KS: Bancs d'arena i platja. Zona amb escassa o nul.la vegetació.

KSN platjes d'arena semi naturals sense macròfits i platges d'arena semi natural amb arena i halòfits (especialment de illes). Les espècies vegetals característiques del biòtop KSN: *Elymus farctus ssp. borealiatlanticus*, *Cakile maritima*, *Honckenia peploides*, com *Salsola kali*. Algunes d'elles també presents a les dunes de les Illes Balears com la *Cakile maritima*.



Figura 6: Biòtop KSN. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KSI Platges d'ús intensiu recreatiu, platges artificials o platges protegides per estructures artificials (espigons, etc).



Figura 7: Biòtop KSI. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

c) **Zona de marea alta** es troben un total de tres tipus de biòtops i cinc tipus de subbiòtops: KH, KHO, KHQ, KPL, KRP i KRS.

Biòtop KH: Vegetació de plantes herbàcies de mida mitjana d'ambient altament salobros.

KHO: Zona salina superior. Zona menys freqüentment inundada per la marea. Predomini de la planta *Armeria maritima*.

KHQ: Gram i card de la maresma superior. Tipus de vegetació: *Elymus athericus* i/o *Elymus repens* a les zones d'aiguamolls salobres. Altres poblacions pertanyents al gènere dels cards.

Del biòtop KH predominen les espècies vegetals : *Artemisia maritima*, *Aster tripolium*, *Carex extensa*, *Cochlearia anglica*, *Limonium vulgare*, *Plantago maritima*, *Puccinellia distans*, *Spergularia media*, *Tri glochin maritimum*. Com a la major part dels aiguamolls salobrosos.

KHO: Predomini de les espècies *Agrostis stolonifera* (*ssp. maritima*), *Armeria maritima*, *Centaurium littorale*, *Cochlearia danica*, *Festuca rubra ssp. litoralis*, *Glaux maritima*, *Juncus gerardi*, *Lotus tenuis*, *Parapholis strigosa*, *Sagina maritima*, *Trifolium fragiferum* u.a.



Figura 8: Biòtop KHO. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KHQ: predomini de les espècies *Elymus athericus*, *Elymus repens*.



Figura 9: Biòtop KHQ. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

Biòtop KP: Zona d'aigües salobres. Formació de canals d'aigua salobre a la zona de zona de marea alta.

KPL: Predomini de *Ruppia maritima* i altres plantes aquàtiques.

Biòtop KR: Canyar de zona pantanosa d'aigua salobre. Zona de joncar intercalat amb espècies herbàcies o arbusts. També inclou les zona exterior dels estuaris pantanosos.

KRP: predomini de *Phragmites australis* (canyet).



Figura 10: Biòtop KRP. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KRS: predomini de *Bolboschoenus maritimus*.



Figura 11: Biòtop KRS. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

d) Zona de marea baixa compta amb un total de sis biòtops: KH, KHU, KRS, KWG, KWO, KWQ.

Biòtop KH: Vegetació de plantes herbàcies de dimensions mitjanes d'ambient salobros.

KHU: Zona de marea baixa, freqüentment inundada. Dominada per comunitats vegetals herbàcies: *Puccinellion maritimae* especialment *Puccinellia maritima* i/o *Atriplex portulacoides*.



Figura 12: Biòtop KHU. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

Biòtop KR: Canyar de zona pantanosa d'aigua salobrosa. Zona de joncar intercalat amb espècies herbàcies o arbusts. També inclou les zona exterior dels estuaris pantanosos.

KRS: predomini de *Bolboschoenus maritimus*.



Figura 13: Biòtop KRS. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

Biòtop KW: Zona de influència de la marea amb vegetació escassa. Zones de sediments per sota de la línia mitjana de pleamar.

KWQ: Zona d'aiguamolls amb poblacions de salicòrnia, vegetació mixta de arbusts i gram. Predomini de les espècies de *Salicornia europaea ssp. brachystachya* i/o *Suaeda maritima*.



Figura 14: Biòtop KWQ. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KWG: Zona de marea amb espècies vegetals com *Spartinetum anglicae* i *Spartinion maritimae*.



Figura 15: Biòtop KWG. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KWK: Zona de marea amb absència de vegetació de plantes superiors. Presència d'algues.



Figura 16: Biòtop KWK. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

e) Zona de Camp i pastures es localitza un únic biòtop GM

Biòtop GM: Zona de pastures mesòfiles

GMZ: vegetació formada per plantes mesòfiles. Format per un grup variat d'espècies com *Campanula patula*, *Colchicum autumnale*, *Fritillaria meleagris*, *Geranium pratense*, *Myosotis discolor*, *Rhinanthus angustifolius*, *Primula veris*, *Saxifraga granulata*.

f) Zona de bosc coexisteixen un total de 5 biòtops: HB, KDG, WNB, WZ, WPB.

Biòtop HB: Arbre o grups d'arbres aïllats.

Biòtop KD: Dunes costaneres amb vegetació de pastura i bruc

KDG: Zona de dunes costaneres. Predomini de les espècies *Aira praecox*, *Carex arenaria*, *Corynephorus canescens* (var. *maritimus*), *Festuca rubra* ssp. *arenaria*, *Jasione montana* (var. *litoralis*), *Trifolium arvense*, *Viola canina* (var. *dunensis*).

Biòtop WN: Boscs a zona d'aiguamolls. Boscos amb predomini de verns, freixes, salzes, bedolls i altres espècies d'arbres nadius en els llocs humits fora de les zones d'origen, aiguamolls i planes d'inundació (Drachenfels 2011).

WNB: Bosc pantanós de bedoll (*Betula pendula*) i pi (*Pinus Spp.*).



Figura 17: Biòtop WNB. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

Biòtop WZ: Altre tipus de bosc de coníferes. Espècies: *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pseudotsuga menziesii*.



Figura 18: Biòtop WZ. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

Biòtop WP: Bosc pioner i de successió

WPB: Bosc de Bedoll i pollancre. Espècies pròpies: *Betula pendula*, *Betula pubescens*, *Populus tremula*, *Sorbus aucuparia*.



Figura 19: Biòtop WPB. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

g) Zona de Duna: Un total de 23 biòtops diferents. En aquest apartat s'especifiquen les característiques generals per els grans grups (un total de 8).

1. **Biòtop HB:** Arbre o grups d'arbres aïllats.
2. **Biòtop KD:** Dunes costaneres de pastures i bruc

Zona de dunes formades per l'acció del vent, amb una alçada mitjana entre els 0,5 i 20 metres.

Tipus d'espècies:

KDV : *Elymus farctus ssp. borealiatlanticus*, *Cakile maritima*, *Leymus arenarius*, *Honckenya peploides*, *Salsola kali*, etc



Figura 20: Biòtop KDV. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KDW : *Ammophila arenaria* (borró), *Calystegia soldanella*, *Eryngium maritimum* (Card marí), *Leymus arenarius*, *Lathyrus maritimus*, incloent *Sonchus arvensis*. Espècies vegetals semblants a les espècies existents als sistemes dunars de les Illes Balears.



Figura 21: Biòtop KDW. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KDG : *Aira praecox*, *Carex arenaria*, *Corynephorus canescens* (var. *maritimus*), *Festuca rubra* ssp. *arenaria*, *Jasione montana* (var *litoralis*), *Trifolium arvense*, *Viola canina* (var *dunensis*).



Figura 22: Biòtop KDG. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KDH : *Calluna vulgaris*, *Emperum nigrum*, incloent *Polypodium vulgare* (Falguera de Lluc).

KDN : *Rosa spinosissima*, *Salix repens* ssp. *Dunensis*.

KDB : *Hippophae rhamnoides*, *Salix repens* ssp.

KDZ: *Crataegus* spp., *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Sambucus nigra* u.a.

KDR: *Anchusa officinalis*, *Calamagrostis epigejos*, *Epilobium angustifolium*, *Urtica dioica*, *Urtica urens*, *Cirsium arvense* u.a.



Figura 23: Biòtop KDR. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KDF: *Ammophila arenaria*, *Armeria maritima*, *Elymus spp.*, *Sonchus arvensis*, *Linaria vulgaris u.a.*



Figura 24: Biòtop KDF. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KDX: *Rosa rugosa*, planta endèmica de l'illa.

KDY: *Acer pseudoplatanus*, *Pinus mugo*, *Populus alba*, *Prunus serotina u.a.*

3.Biòtop KH: Costa banyada per la marea. Amb vegetació composta per espècies herbàcies de mida mitjana-alta d'ambient salobros.

KHO: Predomini de les espècies *Agrostis stolonifera (ssp. maritima)*, *Armeria maritima*, *Centaureum littorale*, *Cochlearia danica*, *Festuca rubra ssp. litoralis*, *Glaux maritima*, *Juncus gerardi*, *Lotus tenuis*, *Parapholis strigosa*, *t maritima*, *Trifolium fragiferum u.a.*



Figura 25: Biòtop KHO. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

4.Biòtop KN: Zona dunar humida. Predomini de les espècies vegetals: *Baldellia ranunculoides*, *Carex panicea*, *Carex viridula*, *Eleocharis uniglumis*, *Juncus articulatus*, *Juncus anceps*, *Littorella uniflora*, *Mentha aquatica*, *Ophioglossum vulgatum*, *Potentilla anserina*, *Radiola linooides*, *Salix repens ssp. dunensis*, *Sagina nodosa*, *Samolus valerandi u.a.*

KNA: *Carex nigra*, *Carex trinervis*, *Dactylorhiza majalis*, *Hierochloë odorata*, *Hydrocotyle vulgaris*, *Juncus conglomeratus*, *Potentilla laevis*, *Ranunculus flammula*, *Viola palustris* u.a.



Figura 26: Biòtop KNA. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KNB: *Alnus glutinosa*, *Betula pubescens*, *Salix cinerea*, *Salix pentandra* u. a.

KNR: *Phragmites australis*, *Bolboschoenus maritimus*.



Figura 27: Biòtop KNR. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

5. Biòtop KR: Canyar de zona pantanosa d'aigua salobre. Zona de joncar intercalat amb espècies herbàcies o arbusts. També inclou les zona exterior dels estuaris pantanosos.

KRS: predomini de *Bolboschoenus maritimus*.



Figura 28: Biòtop KRS. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

KRP: predomini de l'espècie *Phragmites australis*.



Figura 29: Biòtop KRP. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

6. Biòtop WN: Boscs a zona d'aiguamolls. Boscs amb predomini de verns, freixes, salzes, bedolls i altres espècies d'arbres nadius en els llocs humits fora de les zones d'origen, aiguamolls i planes d'inundació (Drachenfels 2011).

WNB: Bosc pantanós de bedoll i pi.



Figura 30: Biòtop WNB. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

7. Biòtop WZ: Altre tipus de bosc de coníferes. Espècies: *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pseudotsuga menziesii*.



Figura 31: Biòtop WZ. Font: <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

8. Biòtop WP: Bosc pioner i de successió

WPB: Bosc de bedoll i pollancre. Espècies pròpies: *Betula pendula*, *Betula pubescens*, *Populus tremula*, *Sorbus aucuparia*.



Figura32:BiòtopWPB.Font:<http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

2.8. La principal activitat econòmica: el turisme.

La principal activitat econòmica de l'illa és el turisme.

Des de 1792 l'illa compta amb un servei de vaixell setmanal que connecta l'illa amb el continent. A l'any 1820 Spiekeroog enregistrà la primera arribada explícita de visitants/turistes.

Al 1981 es va obrir el nou port situat al costat del nucli urbà per poder facilitar les tasques de transport dels visitants.

L'any 2010 l'illa enregistrà un total de 94.229 visitants i 616.456 pernотacions i l'any 2011 97.824 visitants i 608.468 pernотacions. L'estada mitjana dels turistes per a l'any 2006 fou de 5,8 dies i per a l'any 2010 de 6,5 dies.

El nombre de places d'allotjament turístic és aproximadament de 3500. La modalitat d'establiment d'allotjament turístic que més predomina és el de casa de vacances, seguit per el lloguer d'habitacions privades. A més d'aquestes dues modalitats també es troben hotels, pensions, apartaments i un càmping (Industrie- und Handelskammer für Ostfriesland un Papenburg. AUSGABE November 2012).

3. OBJECTIUS

L'objectiu principal és calcular la taxa de recàrrega d'aigua subterrània per a cada una de les zones al conjunt de l'illa i específicament a la zona a on es troba situat l'aqüífer en base a dos mètodes:

- Mètode I: G.DORHOFER i JOSOPAIT V. (1980)
- Mètode II: " recàrrega natural a les dunes" STUYFZAND dunes 1993)

Objectius secundaris:

- Classificar i cartografiar l'illa en vuit zones diferents en funció del tipus de vegetació existent: aigües superficials, platja, dunes, mareal superior, mareal inferior, boscos, camps i pastures i zona urbana. Es reclassifiquen les categories base del mapa de vegetació de 2004 Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (NLPV).
- Recopilar els estudis precedents sobre recàrrega d'aigua de l'aqüífer a l'illa.
- Definir la mida de gra de cada una de les àrees d'estudi.
- Determinar el tipus de vegetació de cada una de les unitats establertes.
- Establir el valor de l'Evapotranspiració real (mm/a) per a cada tipus d'hàbitat.
- Avaluar la taxa de recàrrega d'aigua subterrània basat en el valor d'Evapotranspiració real determinat.
- Calcular la superfície de l'aqüífer.
- Avaluar les necessitats d'aigua de la població total de l'illa.
- Marcar els límits de la població que pot suportar el territori estudiat en funció dels recursos hídrics.

4. METODOLOGIA

4.1. Antecedents del càlcul de la taxa de recàrrega d'aigua subterrània a l'illa Spiekeroog.

L'illa Spiekeroog registrà per a l'any 2011 un consum d'aigua total de 154.000 m³. L'espai insular actualment és autosuficient en l'abastiment d'aigua dolça, de manera que la totalitat de l'aigua que es consumeix prové de l'aqüífer propi.

Ateses aquestes circumstàncies de dependència dels propis recursos, diversos autors han intentat calcular amb exactitud quina és la taxa de recàrrega de l'aqüífer, per avaluar l'aigua disponible aplicant diferents mètodes de càlcul.

Friedrich-Franzen (OOWV, 2009), va calcular una taxa de recàrrega de 636 mm/a mitjançant la mesura amb lisímetre (1988-2006). Tronicke et al., 1999 una taxa de recàrrega mitjana anual de 370 mm, Beukeboom al 1976 una taxa de recàrrega de 220 mm/any. Dörhöfer y Josopait, 1985 establiren una taxa de recàrrega es troba situada entre 350 a 500 mm anuals i per Röper la taxa de recàrrega calculada mitjançant la mesura de triti-heli és de 300 a 400 mm/any. (Roper et al., 2012).

Els diferents mètodes utilitzats mostren oscil·lacions de taxa de recàrrega molt contrastats, que van des de un mínim de 220 mm/a fins a un valor màxim de 636 mm/a.

Amb l'objectiu de poder afinar la taxa de recàrrega d'aigua subterrània de l'aqüífer en aquest estudi s'han utilitzat dos mètodes de càlcul que ens han permès comparar els resultats entre els dos mètodes utilitzats i citar breument les diferències amb la resta.

4.2 Definició de les diferents àrees

Abans d'aplicar els dos mètodes de càlcul s'han establert àrees homogènies en base a la vegetació existent a partir del mapa de vegetació (2004) de Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (NLPV) i el treball de camp.

El mapa de vegetació 2004 (NLPV) classifica l'illa en 21 zones diferents:

1. A
2. D
3. Duna
4. Matollar humit (Gebüsch feuchter Standorte)
5. Aigües (Gewässer)
6. Zona de prats (Insel-Grünland)
7. Costa de maresma (Küstenwatt)
8. Zona aiguamolls costaners (Niedermoor)
9. nn
10. Mar del Nord (Nordsee)
11. Maresme alta (Obere Salzwiese)
12. P
13. Canals de maresme (Priele)
14. Gramínies a la zona de maresma (Queller u. Schlickgras in Salzwiesen)
15. Canyar (Röhricht)
16. Canyar de pantà salobros (Röhricht der Brackmarsch)
17. Zona de Maresma principal (Salzwiesen-Pionier-Zone)
18. Altra maresma (sonstige Salzwiese)
19. Platja i bancs d'arena (Strand, Sandplate)
20. Baixa maresma (Untere Salzwiese)
21. Bosc humit i zones humides.

Amb l'objectiu de reduir el nombre d'àrees s'ha realitzat una nova classificació, distingint un total de vuit àrees.

La nova classificació és la següent:

- 1 Aigües superficials: rierols, aigües (nº 5,10)
- 2 Platja: platja, banc d'arena. (nº 19)
- 3 Duna: Duna, matollar humit. Les àrees de pantà, i canyar d'aiguamolls salobros i canyar de llocs humits han estat parcialment inclosos. (nº 3,4,8,16,15)
- 4 Zona alta marea: Alta maresma, canyar de pantà salobros i altra maresma. (nº 11, 16, 18)
- 5 Zona baixa marea: Zona de marea baixa, zona de maresma principal, costa de maresma, zona d'aiguamolls costaners, gramínies a zona de maresma. (nº 20, 7, 17,8,14,13)
- 6 Camps i pastures: Correspon a la zona de prats. (nº 6)
- 7 Superfícies segellades: A, D, P corresponen a les zones urbanes, carreteres i camins (nº 1,2,9,12)
- 8 Bosc: Boscs i llocs humits. (nº21)

Figura 33: Illa Spiekeroog. Classificació simplificada de la vegetació en vuit zones



4.3 Càlcul de l'àrea per a cada una de les zones.

La següent passa ha estat calcular l'àrea per a cada una de les zones classificades. A la taula 2, s'observa l'àrea en (m²) i la proporció de superfície total per a cada una de les àrees respecte al total de la superfície de l'illa.

S'observen quatre àrees importants per la superfície que ocupen. La superfície major és ocupada per la zona de marea baixa amb un total de 5,90 Km² amb una representació del 26,22% del total de la superfície de l'illa. Seguit de la zona de platja amb una extensió de 5,26 Km², zona dunar amb 5,09 Km² i la zona de marea alta amb una extensió de 4,56 Km².

Aquestes quatre grans zones representen el 92,45% del total de la superfície de l'illa.

La resta de les zones amb una representació total del 7,55% corresponen a la zona urbana amb un 3,76% de la superfície, seguit de les aigües superficials amb 1,74%, la zona de prats amb el 1,13% de representació i finalment el bosc amb el 0,91% del total del territori.

Taula 2: Àrea (m²) i la representació (%) respecte del total de la superfície de l'illa de cada una de les zones de Spiekeroog.

Zones	Àrea (m ²)	Representació (%)
Zona de camps i pastures	255.640,02	1,13
Duna	5.090.561,19	22,6
Zona de marea alta	4.565.197,33	20,27
Platja	5.262.367,49	23,36
Zona de marea baixa	5.906.930,16	26,22
Zona urbana	846.309,69	3,76
Bosc	205.402,29	0,91
Aigües superficials	392.717,26	1,74
Total	22.525.125,43	100

4.4 Mètode per al càlcul de la taxa de la recàrrega de les aigües subterrànies.

La base per al càlcul de la recàrrega de les aigües subterrànies és la fórmula:

$$GW \text{ neu} = N - [ET_{\text{real}} + A_o \text{ (mm/any)}]$$

GW neu: Taxa de recàrrega d'aigües subterrànies (mm/a)

N: precipitació (mm/any)

ET real: Evapotranspiració real (mm/any)

Ao: escorrentia superficial (mm/any)

A partir d'aquesta fórmula, es coneixen els valors del precipitació i de correntia superficial.

La precipitació mitjana anual entre 1984-2011 a l'illa Spiekeroog és 808 mm. Es considera que la correntia superficial del terreny és insignificant, atesa el baix pendent i el predomini de litologies permeables i per tant es pot considerar, inicialment, des del punt de vista comptable com a nul.la.

El valor desconegut és el de l'evapotranspiració real (ET real). Per a la identificació d'aquest valor s'utilitzen dos mètodes:

Mètode I: G.DORHOFER JOSOPAIT i V. (1980). Aquest mètode estableix una relació directa entre la granulometria del terreny (mida de gra) i el tipus de sòl. A partir d'aquesta relació es defineix la taxa d'Evapotranspiració real per a cada una de les zones delimitades a l'àrea d'estudi.

Mètode II: "recàrrega natural a les Dunes" Stuyfzand" (1993). L'evapotranspiració es determina sobre la base de tipus de vegetació per a cada zona de l'illa. Stuyfand (1993) defineix una evapotranspiració per a cada tipus de vegetació de la zona dunar.

5. Càlcul de la taxa de recàrrega de l'aquífer amb els dos mètodes.

5.1 Mètode I: G.DORHOFER i JOSOPAIT V. (1980)

El mètode G.DORHOFER i V. JOSOPAIT, 1980, és el que s'utilitza per calcular la taxa de recàrrega dels aquífers a tota la regió de Niedersachsen (Baixa Saxònia). El mètode es basa en la relació directa entre la mida de gra del sòl i l'evapotranspiració. L'evapotranspiració augmenta amb la disminució de la mida del gra.

Per realitzar l'estudi de la relació entre l'evaporació i la mida mitjana de gra del sòl es va recórrer al lisímetre. L'estudi es va dur a terme per a diferents tipus d'ús del sòl: "bosc", "camp o prat" i "zona de no creixement". Els resultats foren que hi va haver una relació lineal, on l'evaporació disminueix amb l'augment de la mida del gra (G.DORHOFER i V. JOSOPAIT, 1980).

Un total de 6 lisímetres situats a la regió de Niedersachsen. Les característiques dels indrets figuren a la següent taula:

Taula 3: Característiques dels lisímetres situats a la regió Niedersachsen. Font: Lemke, D. & Elbracht, D. (2008)

Lisímetre	Profunditat	Àrea	Data Instal.lació	Tipus de sòl	Precipitació mitjana
Thülsflede	2	1	Gen. 01	Podzol	842
Achim-Uesen	2	1	Feb.02	Pseudogley-Podsol	846
Hohenzethen	2	1	Feb.01	Terra bruna	803
Sehlde	1	1	Feb.03	Terra bruna	sense dades
Reinhausen	1,5	1	Oct.02	Pelosol mitjà	614
Jühnde	1	1	Agost. 02	Rendzina	776

5.1.1. Definició de la mida de gra i la taxa d'evapotranspiració real.

Definició de la mida de gra en base al mapa geològic 1:5000 del servei cartogràfic de la Baixa Saxònia Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS (www.nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH-GUEK500).

Sis de les vuit àrees tenen una mida de gra classificada entre arena fina (63 -200 μm) i arena mitjana (200-630 μm) (Taula 4). S'ha utilitzat el valor mitjà de 200 μm . A tota l'illa només hi ha una zona amb una mida d'arena fina (63 -200 μm). En aquest cas s'ha utilitzat el valor mitjà de 131 μm .

Taula 4: Els rangs de la mida de gra per a cada una de les zones.

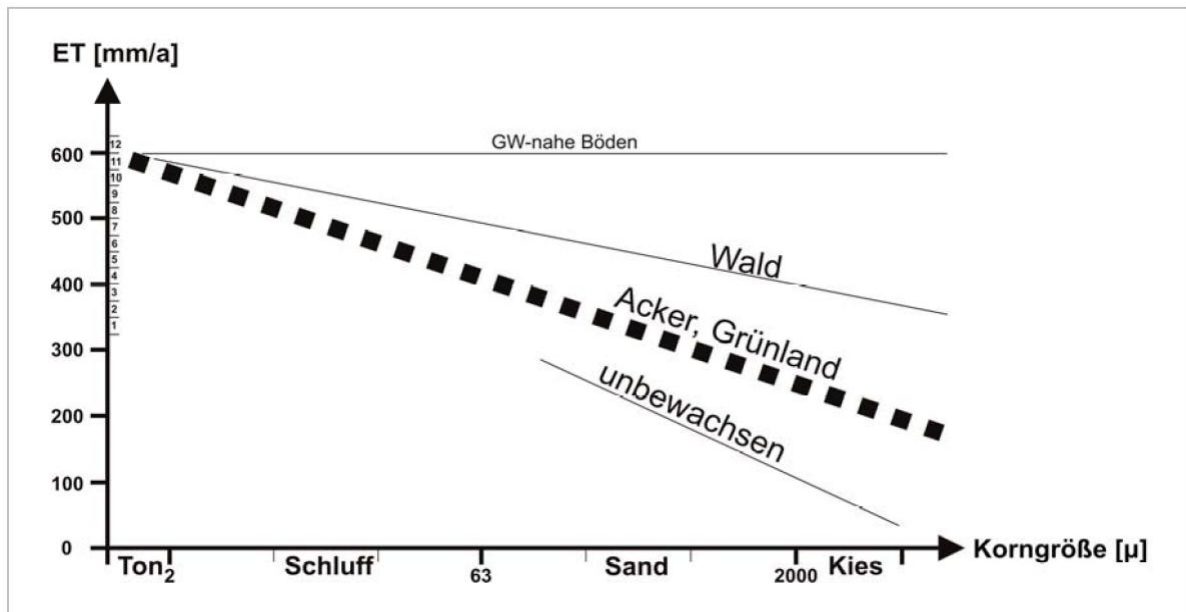
Zones	Mida de gra	Mida de gra (μm)
Aigües superficials	-----	0
Platja	Fi-Mitjà	200
Duna	Fi -Mitjà	200
Zona de marea alta	Fi -Mitjà	200
Zona de marea baixa	Fi	(63-200) 131
Zona de prats	Fi -Mitjà	200
Zona urbana	Fi -Mitjà	200
Bosc	Fi -Mitjà	200

Definició de l'evapotranspiració

La definició de la taxa d'evapotranspiració real per a cada tipus de sòl en funció de la mida de gra s'ha regit per el diagrama de la figura 34.

Les zones forestals i les terres de conreu i pastura han estat identificades a partir dels mapes topogràfics. El sòls pròxims a aigües subterrànies (a una distància inferior a 0,8m), es va assignar una taxa d'evaporació de 600 mm/any, que correspon aproximadament amb l'evaporació potencial de la zona climàtica d'estudi (G.DORHOFER & V. JOSOPAIT, 1980).

Figura 34: Diagrama per a la determinació de la Taxa d'evapotranspiració. Mida de gra i tipus de sòl (DORHOFER i V. JOSOPAIT, 1980).



Unbewachsen (sense creixement), Acker, Grünland (camp o prat), Wald (Bosc), GW-nahe Böden (Sòls pròxims a aigües subterrànie).

Per poder aplicar el mètode s'ha assignat a cada una de les vuit zones definides un tipus de sòl:

- L'aigua superficial, la platja i la zona de marea baixa: sòls pròxims a aigües subterrànies.
- Duna, zona de marea alta, pastures i zona urbana: terres de cultiu i prats
- Bosc: Bosc

Taula 5 i la Figura 34 s'observa els tipus de sòl per a cada una de les zones classificades.

El valor de l'evapotranspiració de les terres de cultiu i prats i una mida de partícula de 200 micròmetres és de 350 mm/a i per al bosc de 470 mm/a. Per a les zones d'aigües superficials, platja i zona de marea baixa, sòls pròxims a les aigües subterrànies, el valor de l'evapotranspiració real és de 600 mm/any.

Taula 5: Determinació de la taxa d'evapotranspiració (ET), el tipus de sòl i la mida de gra per a cada una de les zones en base a la figura 32 (DORHOFER i V. JOSOPAIT, 1980).

Zones	Mida de gra	Mida de gra (μm)	Tipus de sòl	ET (mm/a)
Aigües superficials	-----	0	Sòls pròxims a aigües subterrànies	600
Platja	Fi -Mitjà	200	Sòls pròxims a aigües subterrànies	600
Duna	Fi -Mitjà	200	Camp i prats	350
Zona de marea alta	Fi -Mitjà	200	Camp i prats	350
Zona de marea baixa	Fi	(63-200) 131	Sòls pròxims a aigües subterrànies	600
Zona de prats	Fi -Mitjà	200	Camp i prats	350
Zona urbana	Fi -Mitjà	200	Camp i prats	350
Bosc	Fi -Mitjà	200	Bosc	470

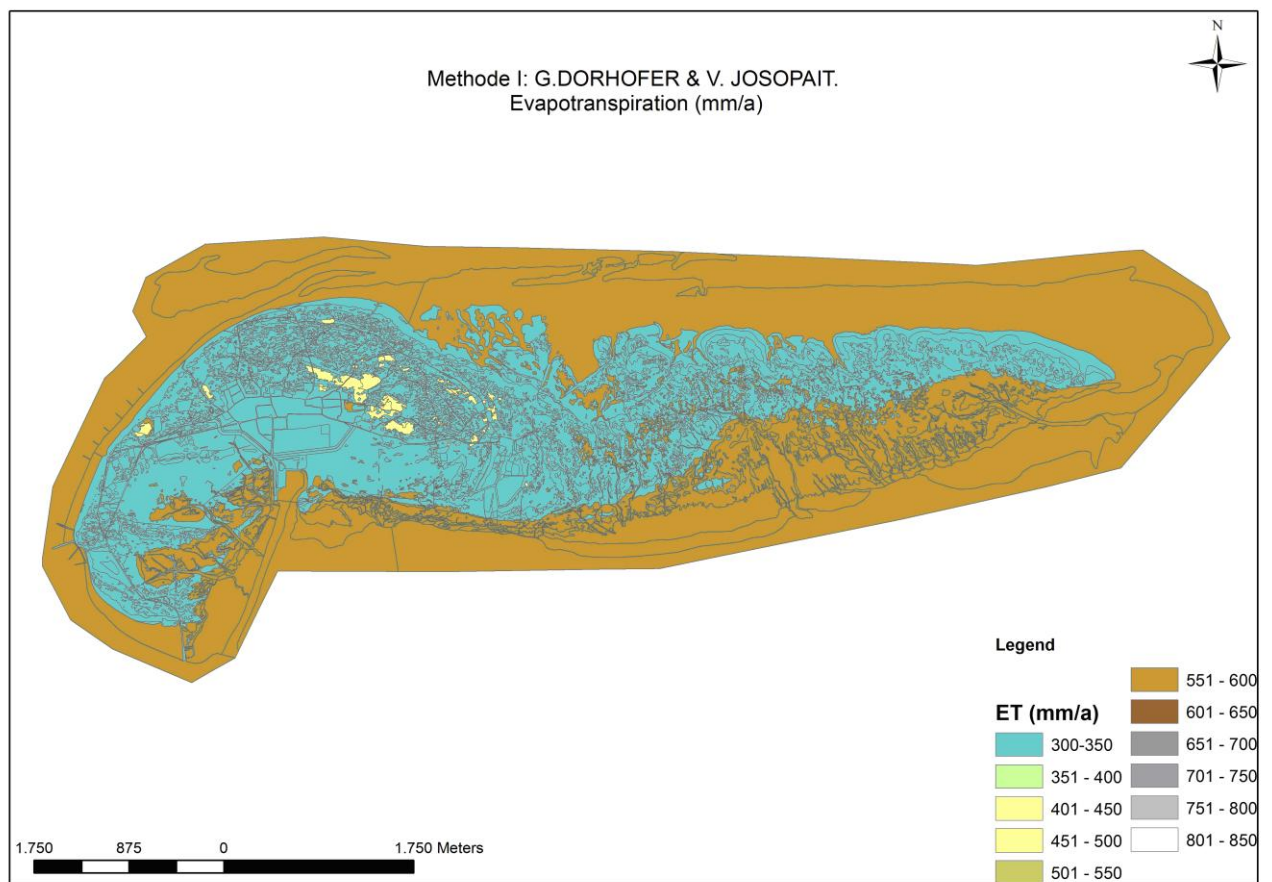


Figura 35: Mapa de l'evapotranspiració a Spiekeroog pel mètode de G. Dorhöfer & V. Josopait (1980).

5.1.2. Càlcul de la recàrrega de les aigües subterrànies

A les àrees no urbanes, el mètode de càlcul s'ha realitzat en base a la metodologia anteriorment explicada. No obstant, per a les àrees urbanes s'ha calculat en base a la metodologia específica per aquestes àrees que estableix el mètode de G.DORHOFER i JOSOPAIT V. (1980) que estableix una metodologia per calcular la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies per a superfícies urbanes que estan connectats al sistema de clavegueram.

Tot i què en un primer moment s'ha considerat aquesta àrea com a camp i prats i amb un mida de gra de fi a mitjà, per calcular la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies de la zona urbana s'ha trobat interessant aconseguir un major detall i s'ha optat per utilitzar un mètode específic.

G.DORHOFER i JOSOPAIT V. (1980), estableixen diferents categories de sòl urbà en funció del grau d'ús residencial existent a la zona urbana. Classifiquen les diferents zones urbanes segons el grau de segellat (que deriva de la intensitat d'edificació).

A la taula 6 es mostra la intensitat de segellat per a cada una de les zones urbanes. Per el cas de Spiekeroog s'ha estimat oportú considerar tota la zona urbana d'ús residencial normal i per tant amb un % de segellat del 50.

Procés	Intensitat de segellat (%)
Centre	>90%
Residencial dens	80
Residencial normal	50
residencial espaiat	20

A la taula 7 i la Figura 36 mostren la recàrrega d'aigües subterrànies per a totes les àrees.

Les zones a on es produeix una major taxa de recàrrega d'aigües subterrànies amb un valor de 458 mm/a correspon a la zona dunar i mareal alta, representant el 44% del total de la superfície de l'illa. La zona boscosa que representa tan sols el 0,91% del total de la superfície de l'illa compta amb una taxa de recàrrega d'aigües subterrànies de 338 mm/a. En La zona urbana presenta una taxa de recàrrega de 229 mm/a (valor que correspon al 50 % del total del valor de la zona de prats).

Finalment les zones d'aigües superficials, platja i zona de marea baixa amb una representació del 51,31% del total de la superfície de l'illa presenten la taxa de recàrrega més baixa, essent de 208 mm/a.

A les zones dunar, zona de marea alta i camp i prats és a on es produeix una major taxa de recàrrega d'aigües subterrànies, el 58,68% de la precipitació mitjana anual. A les zones d'aigües superficials, platja i zona de marea baixa s'infiltra el 25,74% del total de la precipitació anual, a la zona boscosa el 41,83% i finalment a la zona urbana el 28,34%.

La precipitació mitjana anual a l'illa és de 18.180 milions de litres. El resultat és que s'infiltrin un total de 7.198,64 milions de litres anuals, el que representa el 39,60% del total de la pluviometria mitjana anual.

Taula 7: Taxa de recàrrega d'aigua subterrànies per zones i la representació (%) respecte a la precipitació total anual de cada zona per el Mètode I G.Dorhöfer & V.Josopait (1980).

Zones	Precipitació (mm/a)	Evapotranspiració ET (mm/a)	Escorrentia superficial (mm/a)	Taxa de recàrrega (mm/m ² /a)	Àrea (Km ²)	Representació respecte del total (%)	Precipitació Total (Mil l/a)	Taxa de recàrrega total [Mil l/Km ² /a]	Representació respecte total (%)
Aigües superficials	808	600	0	208	0,4	1,74	323,2	83,2	25,74
Platja	808	600	0	208	5,26	23,36	4.250,08	1.094,08	25,74
Duna	808	350	0	458	5,09	22,6	4.112,72	2.331,22	56,68
Zona de marea alta	808	350	0	458	4,56	20,27	3.684,48	2.088,48	56,68
Zona de marea baixa	808	600	0	208	5,9	26,22	4767,2	1.227,2	25,74
Zona de prats	808	350	0	458	0,25	1,13	202	114,5	56,68
Zona urbana	808	350	0	229*	0,84	3,76	678,72	192,36	28,34
Bosc	808	470	0	338	0,2	0,91	161,6	67,6	41,83
Total					22,5	100%	18.180	7.198,64	39,60

* A la zona urbana s'ha aplicat la metodologia específica que estableix el mètode per a zones urbanes. Considerant l'àrea urbana de l'illa amb un percentatge de segellat del 50% que correspon a residencial normal.

Figura 36: Mapa dels nivells de recàrrega d'aigües subterrànies (mm/a) pel mètode de G. Dorhöfer & V. Josopait (1980)



5.2 Mètode II: " recàrrega natural a les dunes" Stuyfzand (1993)

5.2.1. Definició de l'evapotranspiració

El mètode de Stuyfzand (Stuyfzand, P.J. (1993)), es basa en la dependència de l'Evapotranspiració de la vegetació.

La Taula 8 mostra els tipus de vegetació (en anglès) i la traducció al català i el valor de l'evapotranspiració (mm/a) per a cada tipus de vegetació pel mètode de Stuyfzand (1993).

Recàrrega natural de l'aigua a la zona de dunes	Tipus de vegetació	ET (mm/a)
<i>Bare, very few mosses</i>	Zona sense vegetació, escassa presència de molsa	197
<i>Bare, some marram</i>	Zona sense vegetació, escassa presència de borró	207
<i>Mosses, dewberry, bare</i>	Molsa, esbarzer i sòl nu	301
<i>Moss carpet</i>	Molsa tapiant	328
<i>Mosses, dry grass, bare</i>	Molsa, herbes seques i sòl nu	344
<i>Poor, dry dune vegetation</i>	sòl pobre, vegetació dunar seca	361
<i>Rather poor, see foot note</i>	Sòl bastant pobre	394
<i>Sea buckthorn, <50% mosses</i>	Espinós < 50% molses	410
<i>Seabuckthorn, <50% grass</i>	Espinós groc, < 50% herba	426
<i>Rich, dry dune vegetation</i>	zona rica, amb Vegetació dunar seca	443
<i>Heather</i>	Bruc	451
<i>Dry deciduous, open structure</i>	Caducifoli sec, estructura oberta	451
<i>Dense dune shrub, dry or wet</i>	Arbust dunar dens, sec o humit	476
<i>Wett, tall grasses and herbs</i>	Pastures altes i herbes humides	492
<i>Oaks, dry nor wet</i>	Roures, alzinar sec o humit	517
<i>Wet dune slack vegetation</i>	Vegetació dunar humida	582
<i>Wet deciduous forest</i>	Bosc caducifoli humit	582
<i>Dry pines</i>	Pinar sec	623
<i>Pines, dry or wet</i>	Pinar sec o humit	679
<i>Wet pines</i>	Pinar humit	746
<i>Open water</i>	Aigües obertes	771
<i>Reeds in dune lake</i>	Canyar a la zona llacuna a les dunes	615/1400

A cada tipus de biòtop de l'illa se li ha assignat un d'aquests tipus de vegetació. De les taules 9 a la 15 s'observen els diferents tipus de biòtop per Drachenfels (2011) per a cada una de les 8 zones classificades a Spiekeroog, el tipus de vegetació i la taxa d'evapotranspiració corresponent (ET). A la zona urbana no se li ha assignat cap tipus de biòtop ja que és zona residencial i no presenta vegetació.

La zona anomenada aigües superficials presenta un sòl tipus d'hàbitat. Tipus de vegetació d'aigües obertes amb una taxa d'evapotranspiració de 771 mm/a.

Taula 9: Aigües superficials: Determinació del tipus de vegetació i la taxa d'evapotranspiració (ET) en base a la taula 7 (Stuyfzand, 1993).

Zona	Nomenclatura Biòtop	BIÒTOP	Tipus de vegetació Stuyfzand (1993)	ET (mm/a)	Àrea (m ²)
Aigües obertes	KP	Salz-/ Brackwasserpriel/ zona salobrar	Aigües obertes	771	
Total					392.717,26

La zona de platja, amb dos biòtops amb el mateix tipus de vegetació: estructura oberta de vegetació caducifòlia seca, amb un Evapotranspiració de 451 mm/a.

Taula 10: Zona de platja: Determinació del tipus de vegetació i la taxa d'evapotranspiració (ET) en base a la taula 7 (Stuyfzand, 1993).

Zona	Nomenclatura Biòtop	BIÒTOP	Tipus de vegetació Stuyfzand (1993)	ET (mm/a)	Àrea (m ²)
Platja	KSI	Naturferner Sandstrand /Platja natural d'arena d'ús intensiu o artificial o protegida per estructures.	Caducifoli sec, estructura oberta	451	
Platja	KSN	Naturnaher Sandstrand/Platja natural d'arena	Caducifoli sec, estructura oberta	451	
Total					5.262.367,49

La zona de zona de marea alta presenta un total de sis biòtops diferents. Per el tipus de vegetació existent de cada un dels biòtops, se li ha assignat el tipus de vegetació de pastures altes i herbes humides amb una taxa d'evapotranspiració de 492 mm/a.

Taula 11: Zona de marea alta: Determinació del tipus de vegetació i la taxa d'evapotranspiració (ET) en base a la taula 7 (Stuyfzand, 1993).

Zona	Nomenclatura Biòtop	BIÒTOP	Tipus de vegetació Stuyfzand (1993)	ET (mm/a)	Àrea (m ²)
Zona de marea alta	KH	Küsten Salzwiese/Maresma de costa	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea alta	KHO	Obere Salzwiese/Zona de marea alta	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea alta	KHQ	Quecken- und Distelflur der oberen Salzwiese /Gram i card a la zona de marea alta	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea alta	KPL	außerdem vereinzelt Ruppia maritima und andere Wasserpflanzen/ Ruppia marítima i altres plantes aquàtiques aïllades	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea alta	KRP	Schilf-Röhricht der Brackmarsch/ Canyar de pantà salobre	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea alta	KRS	Strandsimsen-Röhricht der Brackmarsch/ Platja de pantà salobre amb canyís	Pastures altes i herbes humides	492	
Total					4.565.197,33

La zona de zona de marea baixa presenta sis tipus d'hàbitat, però un sòl tipus de vegetació de pastures altes i herbes humides amb una taxa d'evapotranspiració de 492 mm/a.

Taula 12: Zona de marea baixa: Determinació del tipus de vegetació i la taxa d'evapotranspiració (ET) en base a la taula 7 (Stuyfzand, 1993).

Zona	Nomenclatura Biòtop	BIÒTOP	Tipus de vegetació Stuyfzand (1993)	ET (mm/a)	Àrea (m ²)
Zona de marea baixa	KH	Küsten Salzwiese/ Costa de maresma	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea baixa	KHU	Untere Salzwiese/ zona de marea baixa	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea baixa	KRS	Strandsimsen-Röhricht der Brackmarsch/ Platja de pantà salobre	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea baixa	KWG	Schlickgras-Watt /cordó de vegetació a la maresma	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea baixa	KWO/KWK	Kustenwatt ohne Vegetation höherer Pflanzen /maresma de costa sense vegetació alta	Pastures altes i herbes humides	492	
Zona de marea baixa	KWQ	Queller-Watt/predomini de Salicornia europaea agg	Pastures altes i herbes humides	492	
Total					

La zona dunar presenta un total de 23 tipus d'hàbitats que han estat classificats en 10 tipus de vegetació. La taula 12 mostra per a cada tipus d'hàbitat el tipus de vegetació assignada i la taxa d'evapotranspiració.

Taula 13: Zona duna: Determinació del tipus de vegetació i la taxa d'evapotranspiració (ET) en base a la taula 7 (Stuyfzand, 1993).

Zona	Nomenclatura Biòtop	BIÒTOP	Tipus de vegetació Stuyfzand (1993)	ET (mm/a)	Àrea (m ²)
Duna	HB	Einzelbaum /arbres aïllats	Pinar sec	623	43.002,84
Duna	KDB	Sandorn küstendünengebüsch/ Arbust dunes	Arbust dunar dens, sec o humit	476	173.502,18
Duna	KDF	Salzweiden-Düne/ Maresma zona dunar	Pastures altes i herbes humides	492	519.030,18
Duna	KDG	Graudünen-Grasflur /Pastures a zona dunar	zona rica amb vegetació dunar seca	443	1.720.173,17
Duna	KDH	Küsten Dünen Heide/ duna costanera	Bruc	451	576.138,75
Duna	KDN	Niedrigwüchsiges Küstendünengebüsch/ Matoll de dunes costaneres	Arbust dunar dens, sec o humit	476	84.518,76
Duna	KDO	Vegetationsfreier Küstendünenbereich/ Dunes costaneres sense vegetació	Caducifoli sec, estructura oberta	451	21.033,67
Duna	KDR	Ruderalisierte Küstendünen/ dunes costaneres	zona rica amb Vegetació dunar seca	443	12.258,03
Duna	KDV	Binsenquecken-Vordüne /joncs a foredune	sòl pobre, vegetació dunar seca	361	450.136,97
Duna	KDW	Strandhafer-weißdüne/ Predomini de l'espècia Ammophila arenaria	Molsa, herbes seques i sòl nu	344	866.704,72
Duna	KDX	Kartoffelrosen-Gebüsch der Küstendünen/ predomini de l'espècie autòctona "Rosa rugosa"	Arbust dunar dens, sec o humit	476	70.390,56

Zona	Nomen clatura Biòtop	BIÒTOP	Tipus de vegetació Stuyfzand (1993)	ET (mm/a)	Àrea (m ²)
Duna	KDY	Sonstiger Gehölzbestand der Küstendünen/ Altres plantes llenyoses	Arbust dunar dens, sec o humit	476	202,9469
Duna	KDZ	Sonstiges Gebüsch der Küstendünen aus heimischen Arten/ altres arbusts a dunes costaneres d'espècies autòctones	Arbust dunar dens, sec o humit	476	182.148,45
Duna	KHO	Obere Salzwiese/zona de marea alta	Pastures altes i herbes humides	492	6.471,20
Duna	KNA	niedrigwüchsiges Küstendünengebüsch/ Jonquines i joncs rics en calci	Bosc caducifoli humit	582	55.149,67
Duna	KNB	Gebüsch/ Arbusts	Arbust dunar dens, sec o humit	476	359,5727
Duna	KNR	Röhricht der Küstendünentäler /	Bosc caducifoli humit	582	12.498,34
Duna	KRP	Schilf-Röhricht der Brackmarsch/ canyar de pantà salobre	Pastures altes i herbes humides	492	13.089,25
Duna	KRS	Strandsimsen-Röhricht der Brackmarsch /platja de pantà salobre amb canyís	Pastures altes i herbes humides	492	1.018,52
Duna	TF		Pinar sec o humit	679	59.987,76
Duna	WNB	Birken- und Kiefern-Sumpfwald/ Bedoll i pin	Pinar humit	746	2.442,70
Duna	WPB	Birken- und Zitterpappel-Pionierwald/ Bedoll i pollancre	Bosc caducifoli humit	582	192.729,72
Duna	WZ	Sonstiger Nadelforst /Bosc de coníferes	Pinar sec	623	27.573,21
Total					5.090.561,19

La zona de pastures i camp amb un sòl tipus d'hàbitat i un sol tipus de vegetació amb una evapotranspiració de 492 mm/a.

Taula 14: Zona de pastures i camp: Determinació del tipus de vegetació i la taxa d'evapotranspiració (ET) en base a la taula 7 (Stuyfzand, 1993).

Zona	Nomenclatura Biòtop	BIÒTOP	Tipus de vegetació Stuyfzand (1993)	ET (mm/a)	Àrea (m ²)
Zona pastures i camp	GMZ	Sonstiges mesophiles Grünland, artenärmere Ausprägung / Pastures mesòfiles	Pastures altes i herbes humides	492	
Total					255.640,02

La zona Forestal, amb una extensió total de 205.402,29 m² presenta cinc tipus d'hàbitat i quatre tipus de vegetació. La taula 14 s'observa la taxa d'evapotranspiració per a cada tipus de vegetació.

Taula 15: Bosc: Determinació del tipus de vegetació i la taxa d'evapotranspiració (ET) en base a la taula 7 (Stuyfzand, 1993).

Zona	Nomenclatura Biòtop	BIÒTOP	Tipus de vegetació Stuyfzand (1993)	ET (mm/a)	Àrea (m ²)
Bosc	HB	Einzelbaum/ arbres aïllats	Pinar sec	623	4.633,15
Bosc	KDG	Graudünen-Grasflur/ vegetació de pastura a zona dunar	zona rica amb Vegetació dunar seca	443	1.103,42
Bosc	WNB	Birken- und Kiefern-Sumpfwald/ Bedoll i pi a Bosc pantanós	Pinar humit	746	67.591,72
Bosc	WZ	Sonstiger Nadelforst / Altres boscos de coníferes	Pinar sec	623	67.102,09
Bosc	WPB	Birken- und Zitterpappel-Pionierwald /Bedoll al Bosc	Bosc caducifoli humit	582	64.971,91
Total					205.402,29

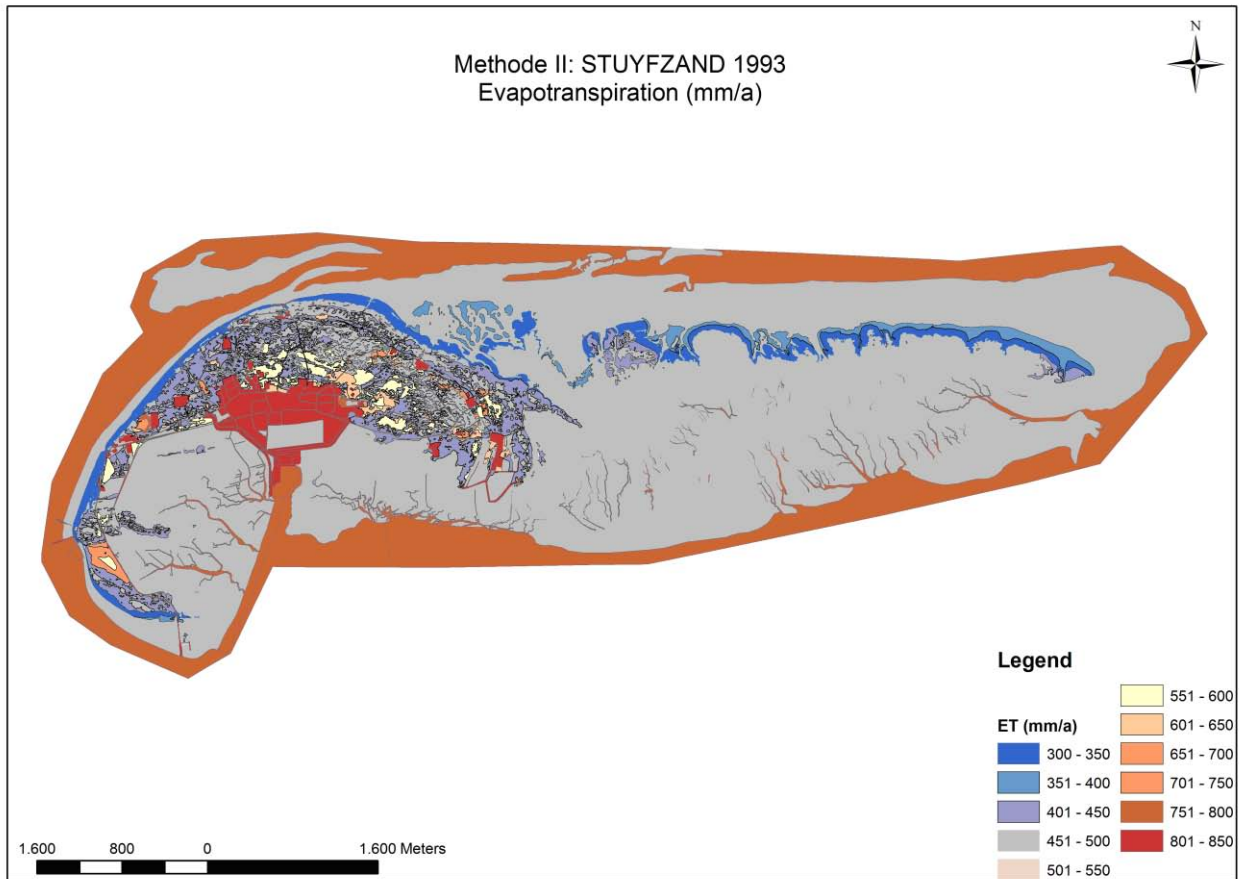


Figura 37: Mapa del evapotranspiració pel mètode de Stuyfzand (1993)

5.2.2. Càlcul de la recàrrega de les aigües subterrànies

La Taula 16 mostra els valors de: precipitació, evapotranspiració, drenatge superficial, la taxa de recàrrega de les aigües subterrànies, l'àrea, el percentatge de representació i la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies total (milions l/a) de sis de les vuit àrees de l'illa.

En aquesta taula, no figuren els valors de la taxa d'evapotranspiració i la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies per m² de la zona dunar i zona forestal, degut a que aquestes dues zones presenten una gran quantitat d'hàbitats i tipus de vegetació diferent i no s'ha considerat adient homogeneïtzar. A les taules 16 i 17 s'observa la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies per a cada una d'aquestes zones i tipus de vegetació.

En el cas de la zona urbana amb una representació del 3,76% del total de la superfície de l'illa, la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies és de 0 mm/any, degut a que s'ha aplicat una taxa d'evapotranspiració de 808 mm/any. Aquesta suposició inicial es va fer perquè el mètode no especifica la taxa d'evapotranspiració a les zones residencials.

El valor més alt de la recàrrega d'aigües subterrànies es dona a la zona de platja amb un valor de 357 mm/a (representa el 23,36% de la superfície de l'illa). Seguit per la zona de marea alta, marea baixa i zona de pastures, amb una recàrrega d'aigua subterrània de 316 mm/a.

La zona d'aigües superficials presenta una taxa de recàrrega de 37 mm/a (1,74% de representació del total de la superfície) i la taxa de recàrrega d'aigua subterrània més baixa (essent nul·la) es presenta a la zona urbana amb un total de 0 mm/any perquè el mètode no contempla un mètode de càlcul per aquest tipus d'ús, no obstant el percentatge de superfície que representa aquesta zona és baix tan sols del 3,76% de tota l'illa.

El total de la taxa de recàrrega de les aigües subterrànies pel conjunt de l'illa és del 39,48% respecte de la precipitació mitjana anual.

La zona dunar i la platja presenten un percentatge de recàrrega d'aigua subterrània de 45,58% i 44,18%, respectivament, respecte al total de les precipitacions anuals. A la zona de marea alta, zona de marea baixa i camp i pastures el percentatge d'aigua que s'infiltra és del 39,11%, a la zona de Bosc és del 20,13% i el 4,58% a la zona d'aigua superficial. A la zona urbana el percentatge d'aigua que s'infiltra és nul.

Taula 16: Taxa de recàrrega d'aigua subterrània per zones i la representació (%) respecte a la precipitació total anual de cada zona per el Mètode II Stuyfzand (1993).

Zones	Precipitació (mm/a)	Evapotranspiració ET (mm/a)	Escorrentia superficial (mm/a)	Taxa de infiltració (mm/m ² /a)	Àrea(K m ²)	Representació respecte del total (%)	Precipitació total (Mil l/a)	Taxa de infiltració [Mil l/Km ² /a]	Representació respecte del total. Taxa de infiltració (%)
Aigües superficials	808	771	0	37	0,4	1,74	323,2	14,8	4,579
Platja	808	451	0	357	5,26	23,36	4.250,08	1.877,82	44,18
Duna	808	** (1)	0	** (1)	5,09	22,6	4.112,72	1.869,46	45,45
Zona de marea alta	808	492	0	316	4,56	20,27	3.684,48	1.440,96	39,10
Zona de marea baixa	808	492	0	316	5,9	26,22	4.767,2	1.864,4	39,10
Zona de prats	808	492	0	316	0,25	1,13	202	79	39,10
Zona urbana	808	808	0	0	0,84	0	678,72	0	0,000
Bosc	808	** (1)	0	**(1)	0,2	0,91	161,6	32,54	20,13
Total					22,5	100%	18.180,00	7.178,98	39,48

(1) Atesa la complexitat de la zona de dunes i la zona de bosc per el gran nombre de biòtops i subbiòtops diferents que presenta, no s'ha explicat a la taula el valor de la mitjana.

A la Taula 17 s'observen la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies per a cada tipus de vegetació a la zona dunar. Els valors més elevats de la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies corresponen a la zona a on predomina l'espècie *Ammophila arenaria* (borrò) amb 464 mm/any, seguit de la zona a on predominen els joncs a la foredune amb una taxa de 447 mm/any. Aquestes dues àrees representen el 25,8% de l'extensió total de la zona dunar.

Un total de 14 tipus d'hàbitat compten amb una taxa de recàrrega d'aigües subterrànies que oscil·la entre 316 i 365 mm/any i representen el 66,4% del total de la superfície.

Una taxa de recàrrega d'aigua subterrània amb valors entre els 226 i 229 mm/any, amb tres tipus d'hàbitat representen el 5,1% del total de la superfície dunar.

Un altre grup representat per tres tipus d'hàbitat (2,5% de la superfície total) registren una taxa de recàrrega d'aigües subterrànies de 129 i 185 mm/any i el valor més baix és representat per la zona de bedolls i pi a la zona de bosc pantanós amb una taxa de 62 mm/any.

Un total de 1.869,46 milions de litres d'aigua s'infiltra al subsòl anualment a la zona dunar.

Taula 17: Taxa de recàrrega d'aigües subterrànies per a cada tipus de vegetació de la zona dunar i representació (%) respecte del total de la superfície de la zona dunar.

Zona Duna	Precipitació (mm/a)	Evapotranspiració ET (mm/a)	Escorrentia superficial (mm/a)	Taxa de infiltració (mm/a)	Àrea (m ²)	Representació respecte del total (%)	Taxa de infiltració (Mil l/m ² /a)	Representació (%)
Einzelbaum (HB)/ arbres aïllats	808	623	0	185	43.002,84	0,8	7,95	0,43
Sandorn küstendünengebüsch (KDB)/ vegetació arbustiva	808	476	0	332	173.502,18	3,4	57,60	3,08
Salzwise-Düne (KDF)/ maresma-duna	808	492	0	316	519.030,18	10,2	164,01	8,77
Graudünen-Grasflur (KDG)/ Vegetació de pastura a zona dunar	808	443	0	365	1.720.173,17	33,8	627,86	33,59
Küsten Dünen Heide (KDH)/ Garriga, bruguerar a dunes costaneres	808	451	0	357	576.138,75	11,3	205,68	11,00
Niedrigwüchsiges Küstendünengebüsch (KDN)/ Matoll a dunes costaneres	808	476	0	332	84.518,76	1,7	28,06	1,50
Vegetationsfreier Küstendünenbereich (KDO)/ dunes costaneres sense vegetació	808	451	0	357	21.033,67	0,4	7,50	0,40
Ruderalisierte Küstendünen (KDR)/ vegetació ruderal dunes costaneres	808	443	0	365	12.258,03	0,2	4,47	0,24
Binsenquecken-Vordüne (KDV) /joncs a foredune	808	361	0	447	450.136,97	8,8	201,21	10,76
Strandhafer- weißdüne (KDW)/ predomini de <i>Ammophila arenaria</i>	808	344	0	464	866.704,72	17	402,15	21,51
Kartoffelrosen-Gebüsch der Küstendünen (KDX)/ predomini de l'espècie autòctona " <i>Rosa rugosa</i> "	808	476	0	332	70.390,56	1,4	23,36	1,25

Zona Duna	Precipitació (mm/a)	Evapotranspiració ET (mm/a)	Escorrentia superficial (mm/a)	Taxa de infiltració (mm/a)	Àrea (m ²)	Representació respecte del total (%)	Taxa de infiltració (Mil l/m ² /a)	Representació (%)
Sonstiger Gehölzbestand der Küstendünen (KDY)/ Altres plantes llenyoses	808	476	0	332	202,94	0	0,067	0,00
Sonstiges Gebüsch der Küstendünen aus heimischen Arten (KDZ)/ Altres tipus d'arbusts autòctons a dunes costaneres.	808	476	0	332	182.148,45	3,6	60,47	3,23
Obere Salzwiese (KHO)/zona de marea alta	808	492	0	316	6.471,20	0,1	2,04	0,11
Seggen- und binsenreicher Sumpf kalkarmer Küstendünetäler (KNA)/ Jonques i joncs rics en calci	808	582	0	226	55.149,67	1,1	12,46	0,67
Gebüsch (KNB)/arbusts	808	476	0	332	359,57	0	0,11	0,01
Röhricht der Küstendünetäler (KNR)/ Canyissar dunes costaneres	808	582	0	226	12.498,34	0,2	2,82	0,15
Schilf-Röhricht der Brackmarsch (KRP)/ Canyissar maresma salobre	808	492	0	316	13.089,25	0,3	4,13	0,22
Strandsimsen-Röhricht der Brackmarsch (KRS)/ canyar de pantà salobre	808	492	0	316	1.018,52	0	0,32	0,02
TF	808	679	0	129	59.987,76	1,2	7,73	0,41
Birken- und Kiefern-Sumpfwald (WNB)/ Bedoll i pi	808	746	0	62	2.442,7	0	0,15	0,01
Birken- und Zitterpappel-Pionierwald (WPB)/ Bedoll i pollancre	808	582	0	229	192.729,72	3,8	44,13	2,36
Sonstiger Nadelforst (WZ)// Bosc de coníferes	808	623		185	27.573,21	0,5	5,10	0,27
Total					5.090.561,17	100%	1.869,46	100%

La zona boscosa està composta per cinc tipus diferents de biòtops i quatre tipus de vegetació diferents (Taula 18). El valor més alt de recàrrega de les aigües subterrànies és de 365 mm/a per a la vegetació de pastura (KDG), però representa un percentatge

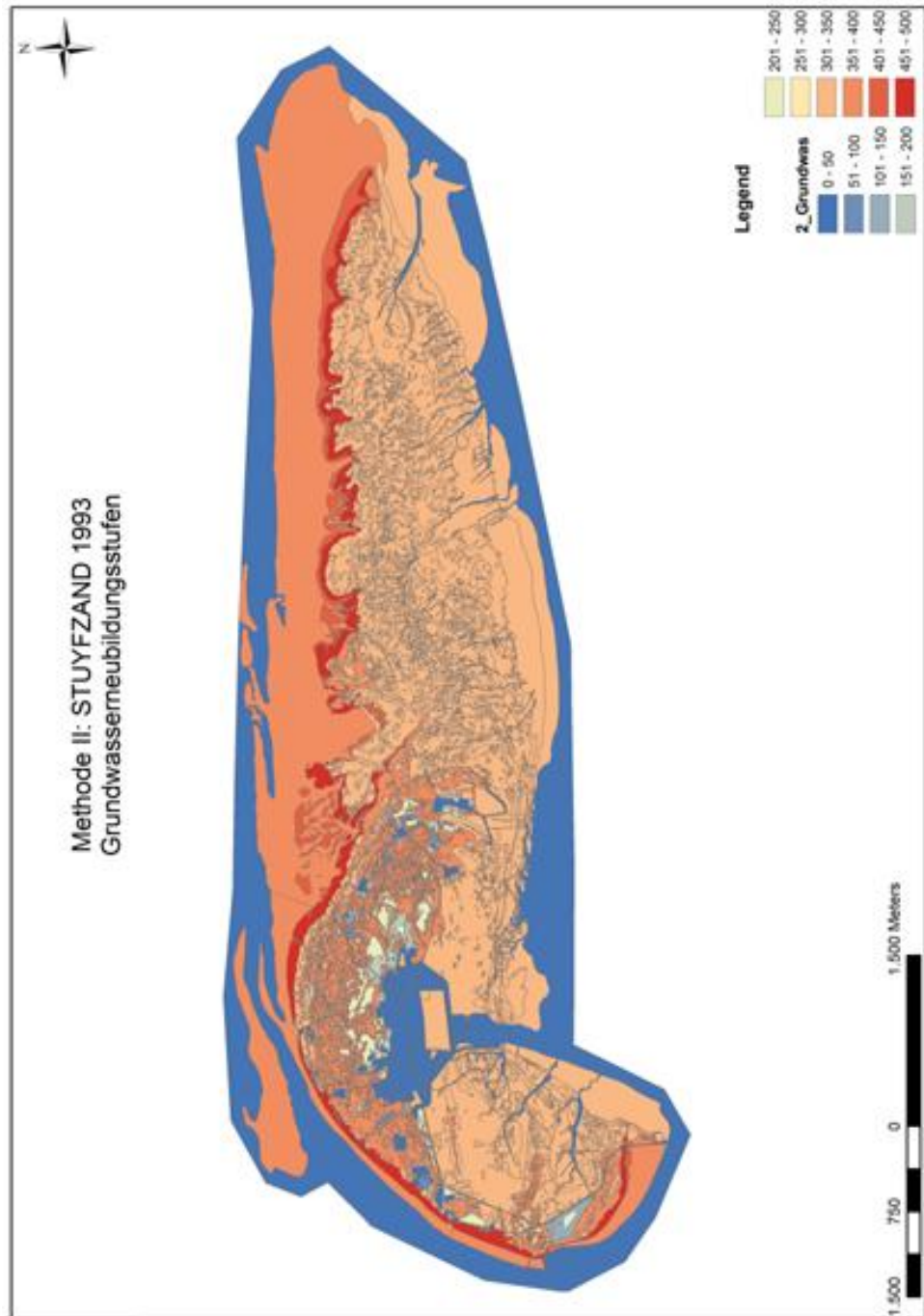
de tan sols el 0,5% de la superfície total del bosc. El segon valor més alt és de 226 mm/a per a la zona de bedoll (WPB), representant el 31,6% de la superfície total.

El 35% de la superfície total de boscos compten amb una taxa de recàrrega de 185 mm/a. Finalment la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies per sota de 62 mm/a per al tipus de vegetació bedoll i pi bosc pantanós (WNB), representant el 32,9% de la superfície forestal. El total d'aigua que s'infiltra al subsòl per aquesta zona és de 32,54 milions de litres anuals.

Taula 18: Taxa de recàrrega d'aigües subterrànies per a cada tipus de vegetació de la zona de Bosc i representació (%) respecte del total de la superfície forestal.

Bosc	Precipitació (mm/a)	Evapotranspiració ET (mm/a)	Escurrentia superficial (mm/a)	Taxa de infiltració (mm/a)	Àrea (m ²)	Respresentació (%)	Taxa de infiltració (Mil l/m ² /a)	Reprentació (%)
Einzelbaum (HB)/ Arbres aïllats	808	623	0	185	4.633,15	2,3	0,85	2,63
Graudünen-Grasflur (KDG)/Vegetació de pastura	808	443	0	365	1.103,42	0,5	0,40	1,23
Birken- und Kiefern-Sumpfwald (WNB)/Bedoll i pi a Bosc pantanós	808	746	0	62	67.591,72	32,9	4,19	12,87
Sonstiger Nadelforst (WZ)// Altres boscos de coníferes	808	623	0	185	67.102,09	32,7	12,41	38,14
Birken- und Zitterpappel-Pionierwald (WPB)/ Bosc de Bedoll	808	582	0	226	64.971,91	31,6	14,68	45,11
Total					205.402,29	100	32,54	100%

Figura 38: Mapa dels nivells de recàrrega d'aigües subterrànies pel mètode II: Stuyfzand (1993)



5.3 Càlcul de la taxa de recàrrega d'aigua a l'aqüífer de Spiekeroog.

5.3.1 Característiques de l'aqüífer

S'ha considerat com a superfície d'aqüífer la calculada per Seibert, S (2012). L'estudi sobre la interfície d'aigua dolça – aigua salada poc profunda a l'illa Frisia Spiekeroog. L'estudi es va realitzar mitjançant isòtops estables i mètodes hidroquímics

L'aqüífer amb una superfície aproximada de 4.409.873,73 m², representa el 19,57% del total de la superfície de l'illa. Es troba situat al Nord-oest de l'illa.

De les vuit diferents zones classificades a l'illa, l'aqüífer es troba sota part de la zona dunar amb un 73,56% del total de l'extensió de l'aqüífer, la zona urbana representa el 16,65%, la zona de camp o prat el 4,65%, el bosc el 5,14% del total de la superfície de l'aqüífer.

Taula 19: Àrea de cada una de les quatre tipologies de terreny sota el que està situat l'aqüífer.

Zones	Àrea (m ²)	Representació (%)
Duna	3.243.713,02	73,56
Zona urbana	734.420,26	16,65
Bosc	205.278,05	4,65
Camp o pastures	226.462,40	5,14
Total	4.409.873,73	100

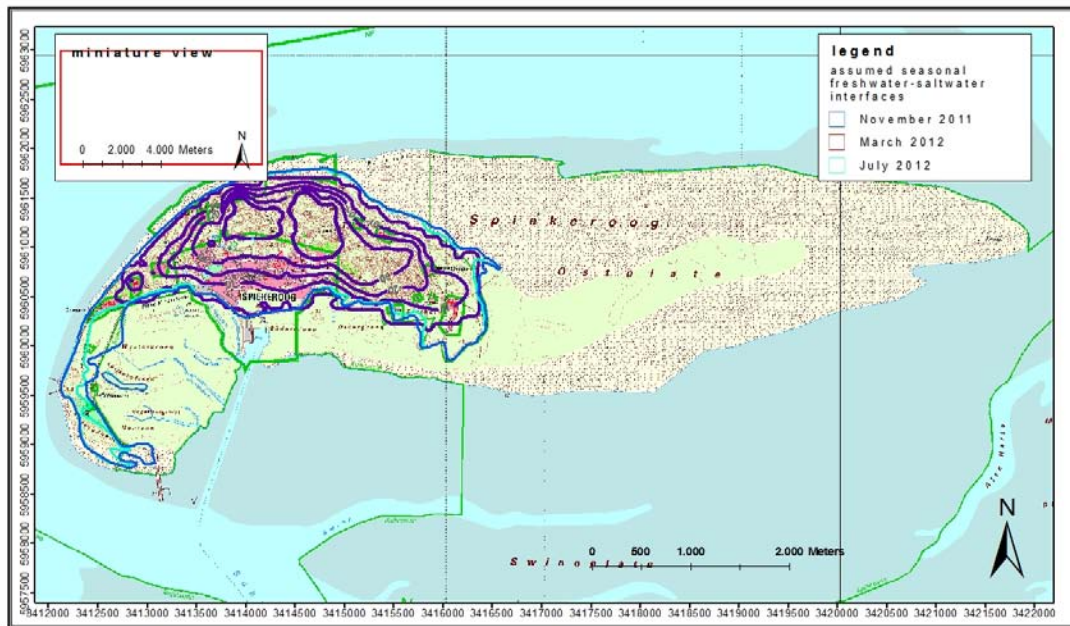


Figura 39: Aqüífer de Spiekeroog. (Seibert, S 2012)

5.3.2 Càlcul de la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies a l'aqüífer pel Mètode I: G.DORHOFER & JOSOPAIT V. (1980)

A la taula 20 s'observa, la taxa de recàrrega d'aigua subterrània de l'aqüífer de Spiekeroog per a cada una de les quatre zones sota el que està situat l'aqüífer.

Un total de 1.824,80 milions de litres anuals s'infiltra a l'aqüífer, el que representa el 51,27% del total de la pluja mitjana anual enregistrada a l'illa calculada per a la superfície de l'aqüífer.

A la zona de dunes i de camps i pastures presenten una taxa de infiltració del 56,68% del total de la pluja per a cada una d'aquestes zones. Al bosc la taxa és del 41,83% i a la zona urbana del 28,34%.

Taula 20: Taxa de recàrrega d'aigües subterrànies a l'aqüífer per el mètode G. Dorhofer & Josopait V. (1980)

Zona	Precipitació (mm/a)	Evapotranspiració ET (mm/a)	Escorrentia superficial (mm/m ² /a)	Taxa de infiltració (mm/m ² /a)	Àrea (Km ²)	Representació respecte del total (%)	Precipitació Total (Mil l/a)	Taxa de infiltració [Mil l/a]	Representació respecte total (%)
Duna	808	350	0	458	3,24	73,55	2617,92	1.483,92	56,68
Zona camps i pastures	808	350	0	458	0,226	5,14	182,608	103,508	56,68
Zona urbana	808	350	0	229*	0,734	16,68	593,072	168,086	28,34
Bosc	808	470	0	338	0,205	4,66	165,64	69,29	41,83
Total					4,405	100	3559,24	1.824,80	51,27

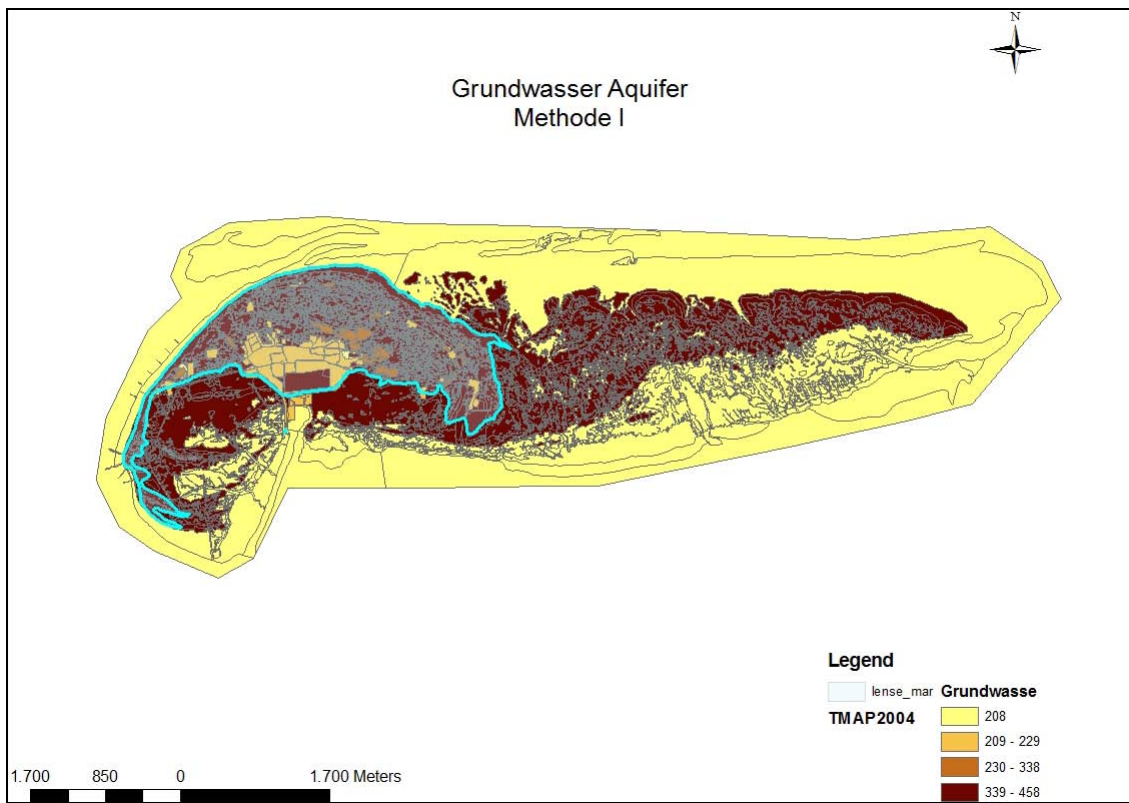
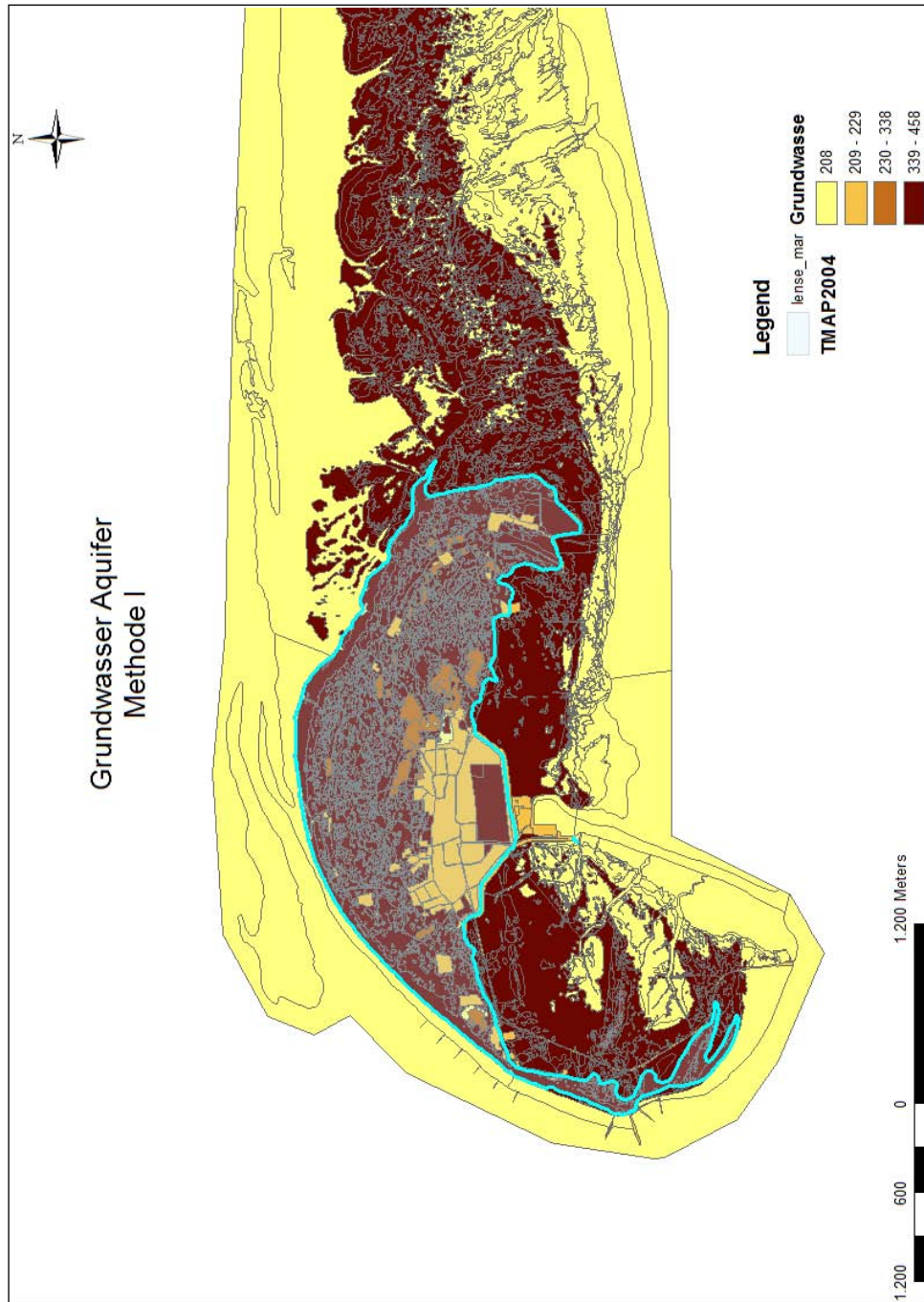


Figura 40: Mapa de taxa de recàrrega d'aigües subterrànies mètode I G.DORHOFER & JOSOPAIT V. (1980)

Figura 41: Ampliació de la zona de l'aquífer del mapa anterior



5.3.3 Càlcul de la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies a l'aqüífer pel Mètode II: "recàrrega natural a les dunes". STUYFZAND 1993.

A la taula 21 s'observa la taxa de recàrrega total i per a cada una de les quatre zones. Una recàrrega total de 1.396,73 milions de litres anuals, el que representa el 39,24% del total de la precipitació mitjana anual per a la superfície de l'aqüífer.

És important recordar que el mètode de Stuyfzand 1993, no contempla cap metodologia de càlcul per a les àrees urbanes i per tant si s'aplica el mètode de manera estricta, la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies a la zona urbana és nul·la, metodologia emprada al càlcul realitzat per al conjunt de l'illa on la superfície urbana representava tan sols el 3,76% del total de la superfície de l'illa.

No obstant, per el càlcul de la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies a la superfície de l'aqüífer, la superfície urbana representa el 16,68%. Essent una representació important i considerant que l'ús residencial es conforma per unifamiliars amb jardins s'ha considerat adient, considerar aquest espai per saber el valor de l'evapotranspiració com a la zona de camps i prats per tant amb una evapotranspiració de 492 mm/a i s'ha aplicat la metodologia de G. DORHOFER & V. JOSOPAIT (1985), per a les àrees urbanes considerant un 50% de segellat.

A la zona dunar s'infiltra el 44,97% del total de la pluja mitjana anual, seguit de la zona de camps i pastures que s'infiltra el 39,11%, a la zona urbana el 19,55% i finalment a la zona de bosc s'infiltra el 19,43% del total de la pluja mitjana anual.

Les taules 22 i 23, corresponen a les zones dunar i forestal. S'observa de manera específica la taxa de recàrrega per a cada un dels biòtops que componen aquestes dues zones.

Taula 21. Taxa de recàrrega d'aigües subterrànies a l'aqüífer per el mètode Stuyfzand 1993.

Zona	Precipitació (mm/a)	Evapotranspiració ET (mm/a)	Escorrentia superficial (mm/a)	Taxa de infiltració (mm/a)	Àrea (Km ²)	Respresentació respecte del total (%)	Precipitació Total (Mil l/a)	Taxa de infiltració [Mil l/Km ² /a)	Representació respecte total (%)
Duna	808	** (2)	0	** (2)	3,24	73,55	2617,92	1177,17	44,97
Zona de prats	808	492	0	316	0,226	5,14	182,608	71,416	39,11
Zona urbana	808	492	0	158	0,734	16,68	593,072	115,97	19,55
Bosc	808	** (2)	0	** (2)	0,205	4,66	165,64	32,18	19,43
Total					4,405	100	3559,24	1396,73	39,24

(2) Atesa la complexitat de la zona de dunes i la zona de bosc per el gran nombre de biòtops i subbiòtops diferents que presenta, no s'ha calculat la mitjana.

El conjunt de la zona dunar de l'illa de Spiekeroog compta amb un total de 23 biòtops. No obstant, a la zona a on està situat l'aquífer es presenten un total de 13 biòtops que amb l'assignació del tipus de vegetació en base al model de Stuyfzand, s'emmarquen els 13 biòtops en vuit tipus de vegetació. A la taula 21 s'observen les dades d'evapotranspiració, l'àrea (m²), la taxa de recàrrega d'aigua de cada un dels biòtops.

Entre tres dels 13 biòtops que es troben sobre la superfície de l'aquífer conformen en 80,82% del total de la superfície. Per ordre de importància són:

Biòtop KDG amb predomini de les espècies: *Aira praecox*, *Carex arenaria*, *Corynephorus canescens* (var. *maritimus*), *Festuca rubra* ssp. *arenaria*, *Jasione montana* (var. *litoralis*), *Trifolium arvense*, *Viola canina* (var. *dunensis*), se li ha assignat amb el model de Stuyfzand el tipus de vegetació de zona rica de vegetació seca típica de duna, amb una representació del 49,87% del total de la superfície i una taxa de infiltració del 365 mm/a, seguit de KDH amb predomini de les espècies: *Calluna vulgaris*, *Emperum nigrum*, incloent *Polypodium vulgare*, se li ha assignat amb el model de Stuyfzand el tipus de vegetació de Bruc, presenta una taxa de infiltració del 357 mm/a i representa el 16,77% del total de la superfície i i finalment el biòtop KDW amb predomini de l'espècia *Ammophila arenaria* i altres com *Calystegia soldanella*, *Eryngium maritimum*, *Leymus arenarius*, *Lathyrus maritimus*, incloent *Sonchus arvensis* amb una representació del 14,18% i una taxa de recàrrega de 464 mm/a.

Taula 22: Taxa de recàrrega d'aigües subterrànies per a cada tipus de biòtop de la zona dunar.

Zona Duna	Precipitació (mm/a)	Evapotranspiració ET (mm/a)	Escorrentia superficial (mm/a)	Taxa de infiltració (mm/m ² /a)	Àrea (m ²)	Representació respecte del total (%)	Taxa de infiltració Total (Mil l/m ² /a)	Rep total taxa infiltració (%)
Einzelbaum (HB)/ arbres aïllats	808	623	0	185	43.002,84	1,33	7,95	0,68
Sandorn küstendünengebüsch (KDB)/ vegetació arbustiva	808	476	0	332	168.187,49	5,19	55,83	4,74
Graudünen-Grasflur (KDG)/ Vegetació de pastura a zona dunar	808	443	0	365	1.617.508,36	49,87	590,39	50,15
Küsten Dünen Heide (KDH)/ vegetació dunar costanera	808	451	0	357	544.096,74	16,77	194,24	16,50
Niedrigwüchsiges Küstendünengebüsch (KDN)/ Matoll a dunes costaneres	808	476	0	332	63.047,72	1,94	20,93	1,78
Vegetationsfreier Küstendünenbereich (KDO)/ dunes costaneres sense vegetació	808	451	0	357	2.201,28	0,07	0,78	0,07
Ruderalisierte Küstendünen (KDR)/ vegetació ruderal dunes costaneres	808	443	0	365	11.550,96	0,36	4,21	0,36
Binsenquecken-Vordüne (KDV) /joncs a foredune	808	361	0	447	5.412,39	0,17	2,41	0,21
Strandhafer- weißdüne (KDW)/ predomini de <i>Ammophila arenaria</i>	808	344	0	464	459.841,55	14,18	213,36	18,13
Kartoffelrosen-Gebüsch der Küstendünen (KDX)/ predomini de l'espècie autòctona " <i>Rosa rugosa</i> "	808	476	0	332	57.629,72	1,78	19,13	1,63

Zona Duna	Precipitació (mm/a)	Evapotranspiració ET (mm/a)	Escorrentia superficial (mm/a)	Taxa de infiltració (mm/m ² /a)	Àrea (m ²)	Representació respecte del total (%)	Taxa de infiltració Total (Mil l/m ² /a)	Rep total taxa infiltració (%)
Sonstiges Gebüsch der Küstendünen aus heimischen Arten (KDZ)/ Altres tipus d'arbusts autòctons a dunes costaneres.	808	476	0	332	176.631,93	5,45	58,64	4,98
Birken- und Kiefern-Sumpfwald (WNB)/ Bedoll i pi	808	746	0	62	67028,82	2,07	4,15	0,35
Sonstiger Nadelforst (WZ)/Bosc de coníferes	808	623		185	27573,21	0,85	5,10	0,43
Total					3.243.713,01	100%	1.177,17	100%

La zona de bosc està composta per un total de 5 tipus de biòtops. Sobre la superfície de l'aqüífer es troben representats tots. Entre tres dels cinc biòtops existents, representen el 97,19% del total de la superfície forestal. La taxa de recàrrega d'aigua subterrània varia entre 62 mm/a per a la zona composta per pi i bedoll a la zona pantanosa fins a 226 mm/a a la zona de bedoll.

Taula 23: Taxa de recàrrega d'aigües subterrànies per a cada tipus de biòtop de la zona de bosc.

Zona de bosc	Precipitació (mm/a)	ET (mm/a)	Escorrentia sup. (mm/a)	Taxa de infiltració (mm/m ² /a)	Àrea (m ²)	Representació (%)	Taxa de infiltració Total (Mil l/m ² /a)	Rep total taxa infiltració (%)
Einzelbaum (HB)/ Arbres aïllats	808	623	0	185	4.633,15	2,27	0,85	2,66
Graudünen-Grasflur (KDG)/Vegetació de pastura	808	443	0	365	1.103,42	0,54	0,40	1,25
Birken- und Kiefern-Sumpfwald (WNB)/Bedoll i pi a Bosc pantanós	808	746	0	62	67.591,72	33,17	4,19	13,02
Sonstiger Nadelforst (WZ)/Altres boscos de coníferes	808	623	0	185	67.102,09	32,93	12,41	38,57
Birken- und Zitterpappel-Pionierwald (WPB)/Bedoll al Bosc	808	582	0	226	63.364,91	31,09	14,32	44,49
Total					203.795,29	100%	32,18	100%

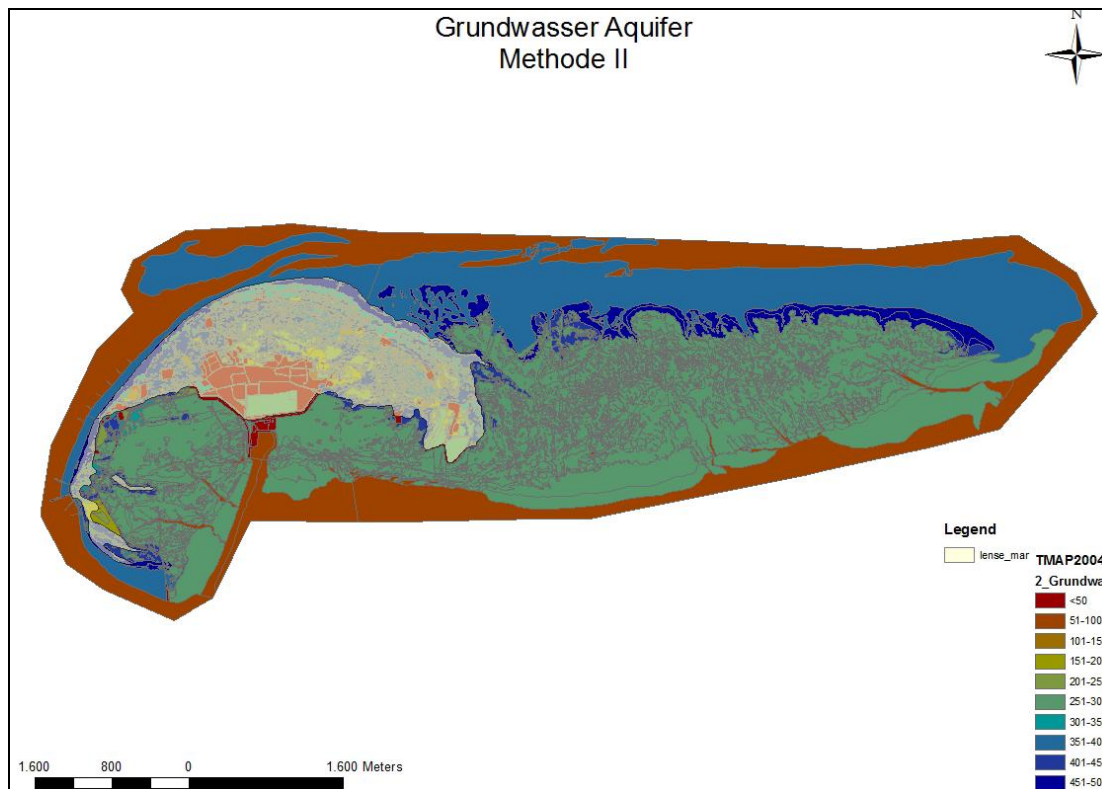
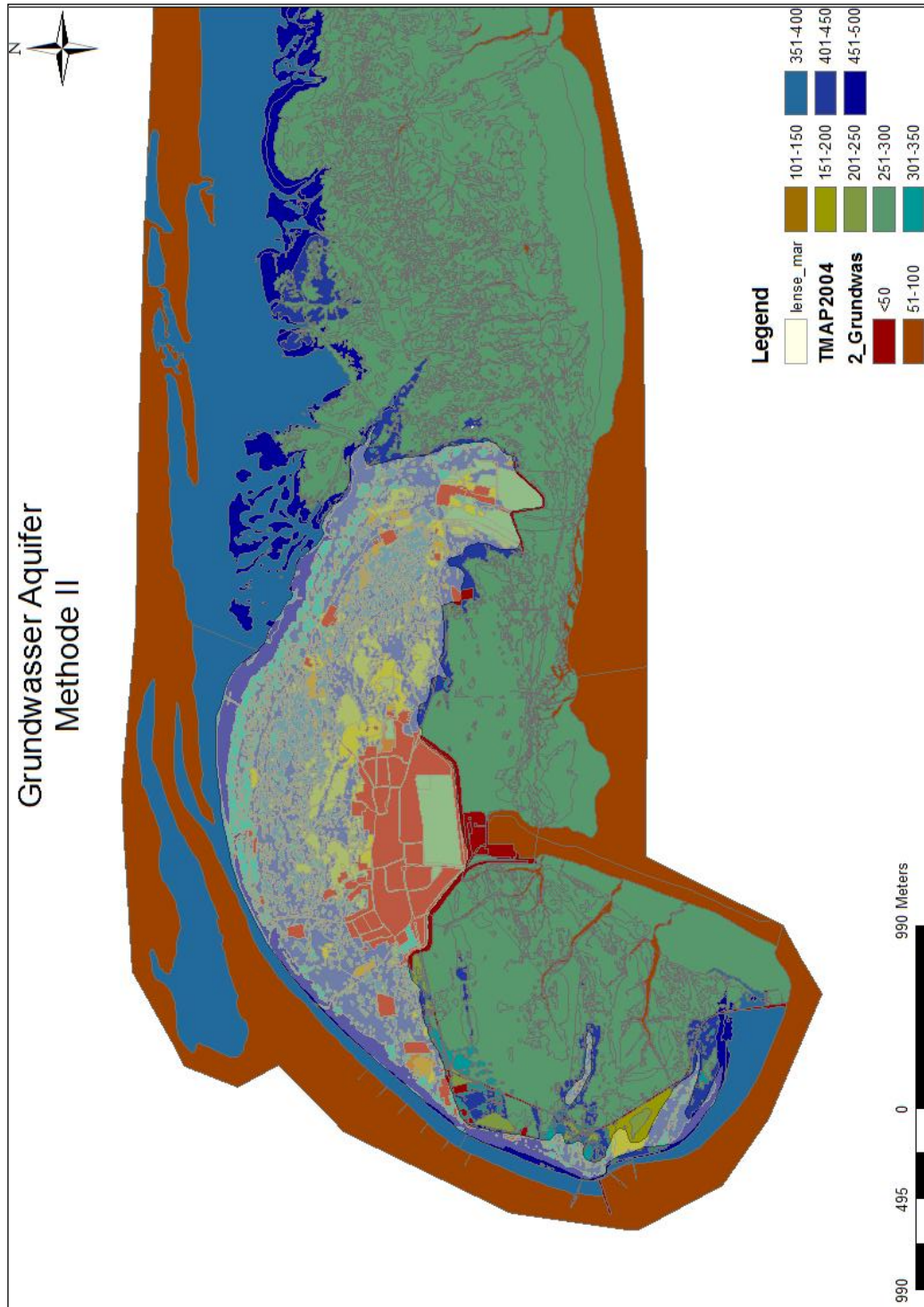


Figura 42: Mapa de taxa de recàrrega d'aigües subterrànies mètode II: Stuyfzand 1993.

Figura 43: Ampliació de la zona de l'aquífer del mapa anterior figura 40.



6. INTERPRETACIÓ I COMPARACIÓ DE MÈTODES

Spiekeroog té una superfície total de 22.525.125,42 m² i una precipitació mitjana anual de 808 mm/a, el que suposa una precipitació total de 18.180 milions de litres a l'any (18,18 Hm³).

La recàrrega total d'aigua subterrània per l'extensió total de l'illa, calculada utilitzant el mètode I és de 7.198,64 milions de litres anuals. Aquest valor representa el 39,60% de la precipitació total de l'illa.

La recàrrega total d'aigua subterrània per a l'extensió total de l'illa, calculada amb el mètode II és 7.178,98 milions de litres anuals. Aquest valor representa el 39,48% de la precipitació total de l'illa (sense comptabilitzar la zona urbana)

Aquest percentatge de la quantitat total de precipitacions són molt similars per als dos mètodes de càlcul per el conjunt de l'illa. No obstant això, si analitzem la taxa de recàrrega útil d'aigües subterrànies, és a dir, restringida a la superfície de l'aquífer es presenten diferències majors .

Amb el mètode I, el resultat és que s'infiltra el 51,27% del total de precipitacions anuals a la superfície de l'aquífer que són un total de 1.824,80 milions de litres anuals i amb el mètode II el 39,24% un total de 1.396,73 milions de litres anuals.

Les diferències es presenten per a les quatre zones. Amb el mètode II les taxes de recàrrega d'aigües subterrànies és inferior respecte al mètode I.

De menor a major la diferència de recàrrega d'aigües subterrànies a la zona urbana és de 8,79 punts percentuals inferior. A la zona dunar la diferència és de 11,71 punts percentuals inferior i de 17,57 i 22,4 punts percentuals respectivament a la zona de camps i pastures i al bosc.

Taula 24: Comparació dels mètodes I i II per al càlcul de la recàrrega de les aigües subterrànies per a les quatre diferents zones situades sobre l'aquífer de Spiekeroog.

Zones	Precipitació	Mètode I	Mètode I	Mètode II	Mètode II
	(Mil l/a)	Taxa de recàrrega (Mil l/a)	% de taxa de recàrrega del total de precip	Taxa de recàrrega (Mil l/a)	% de taxa de recàrrega del total de precip
Duna	2617,92	1483,92	56,68	1177,17	44,97
Zona de prats	182,608	103,508	56,68	71,416	39,11
Zona urbana	593,072	168,086	28,34	115,97	19,55
Bosc	165,64	69,29	41,83	32,18	19,43
Total	3.559,24	1.824,804	51,27	1.396,73	39,24

El mètode I presenta l'avantatge, que estableix una relació directa amb la mida del gra i el tipus de sòl. No obstant té l'inconvenient d'haver estat analitzat a escassos tipus d'ús del sòl (zona propera a aigües subterrànies, camp i prats, bosc i zona sense creixement) el que obliga a generalitzar com és el cas de la zona de duna i maresma a l'anàlisi de la taxa de recàrrega de l'illa en general i en particular a la zona de l'aquífer a la zona dunar.

El mètode II permet establir la taxa d'evapotranspiració de manera detallada per a la zona de dunes, degut a la varietat d'hàbitats vegetals que contempla i per tant és més precís que el mètode I. No obstant aquesta classificació per el sistema dunar s'ha utilitzat per al resta de les zones de l'illa. Per aquest motiu s'ha de tenir en compte a l'hora de interpretar els valors determinats per a la zona de maresma i platja, en el cas de l'anàlisi general de l'illa. El mètode II no contempla l'evapotranspiració de les zones urbanes i per tant es va assignar inicialment el 100% de la precipitació total.

Per comparar els nostres resultats amb la resta dels mètodes utilitzats per calcular la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies a l'illa s'ha utilitzat dada de taxa de recàrrega mitjana anual expressada en mm.

Amb el mètode I Dörhöfer & Josopait, el resultat és que la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies oscil·la entre el valor mínim de 229 mm/a a les zones urbanes i el valor màxim és de 458 mm a la zona dunar i a la zona de camps i prats, que conjuntament representen el 78,69% del total de la superfície. La mitjana total és 370,75 mm/a

Amb el mètode II el resultat és que entre la zona dunar i la zona de camps i pastures que representen el 78,69% del total de la superfície la taxa mitjana de recàrrega d'aigües subterrànies seria entorn de 355,5 mm/a. A la zona dunar la mitjana de taxa de recàrrega entre tres biòtops que ocupen el 80,82% del total de la superfície de la zona dunar és de 395 mm/a i la zona de camps i pastures la taxa de recàrrega d'aigües subterrànies és de 316 mm/a.

Els diferents mètodes utilitzats mostren oscil·lacions de taxa de recàrrega que van des de un mínim de 220 mm/a a 636 mm/a.

- El sistema Friedrich-Franzeon (OOWV, 2009), va calcular una taxa de recàrrega de 636 mm/a mitjançant la medició del lisímetre (1988-2006).
- Per el mètode Dörhöfer y Josopait, 1985 la taxa de recàrrega es troba situada entre 350 a 500 mm anuals.
- La taxa de recàrrega calculada per mitjà de les mesures de triti-heli és de 300 a 400 mm/any (Roper et al., 2012).
- Tronicke et al., 1999 una taxa de recàrrega mitjana anual de 370 mm.
- Beukeboom al 1976 una taxa de recàrrega de 220 mm/any.

El càlcul realitzat amb el mètode I dona un resultat que oscil·la entre el 229 i 458 mm/a, uns resultats semblants als establerts per Dörhöfer & Josopait al 1985, encara que al 78,69% de la superfície de l'aqüífer la taxa de infiltració és de 458 mm/a.

El càlcul realitzat amb el model II amb una mitjana de 355,5 mm/a al 78,69% del total de la superfície de l'aqüífer té resultats afins amb el model Dörhöfer & Josopait calculat al 1985 i amb el model de càlcul de mesures de triti-heli és de 300 a 400 mm/any (Roper et al., 2012).

7. CÀLCUL DE LES NECESSITATS D'AIGUA DE LA POBLACIÓ.

Spiekeroog el desembre de 2011 comptava amb una població de dret de 775 habitants.

L'any 2010 l'illa enregistrà un total de 94.229 visitants i 616.456 pernотacions i l'any 2011, 97.824 visitants i 608.468 pernотacions. L'estada mitjana dels turistes per a l'any 2006 fou de 5,8 dies i per a l'any 2010 de 6,5 dies. Compta amb un nombre total de places d'allotjament turístic entorn a les 3500. La modalitat d'establiment d'allotjament turístic que més predomina és el de casa de vacances, seguit per el lloguer d'habitacions privades. A més d'aquestes dues modalitats també es troben hotels, pensions, apartaments i un càmping.

La mitjana de consum d'aigua diari per habitant i dia de la regió de Niedersachsen és de 130 litres. Aquesta xifra varia d'un ciutat a una altra en funció de la importància del sector turístic. El mínim de consum d'aigua per habitant i dia s'enregistra a Büddenstedt amb 67,5 litres i el màxim consum s'enregistra a l'illa Norderney amb una mitjana de consum diari d'aigua per habitant i dia de 278,5 litres. No comptem amb dades específiques del consum mitjà diari per habitant de Spiekeroog no obstant, les estadístiques senyalen que el consum és d'un mínim de 135 litres o superior.

El càlcul de la mitjana de consum diari per habitant i dia s'ha realitzat en base, a la dada del consum total d'aigua per a l'any 2011 de 154.000.000 litres, el nombre total de pernотacions dels turistes, el nombre total de pernотacions dels habitants de dret per a l'any 2011 i el nombre total de visitants d'un dia. El resultat és que el consum mitjà d'aigua per habitant i dia és de 171,96 litres.

L'illa enregistrà l'any 2011 un total de 608.468 pernотacions i un total de 97.824 visitants. En funció del nombre de pernотacions i la mitjana de dies de 6,5 el nombre total de turistes que pernотaren a l'illa fou de 93.610 turistes. La diferència entre el total de visitants i el total de visitants que pernотaren a l'illa és de 4.214. Aquest nombre ha estat utilitzat com a visitants d'un sol dia a l'illa (anaren i tornaren el mateix dia).

El resultat és que el consum mitjà diari per habitant i/o turista és de 171,96 litres.

Taula 25. Consum mitjà per habitant i dia a l'illa Spiekeroog

Dades	Nombre total
Habitants dret	775
Pernoctacions total dels habitants de dret any 2011	282.875
Pernoctacions turístiques	608.468
Visitants (1 dia)	4.214
Total pernoctacions i visitants	895.557
Consum aigua total any 2011 (litres)	154.000.000
Consum mitjà hab/dia (litres)	171,96

El resultat és que el consum mitjà diari per habitant i/o turista és de 171,96 litres.

No ha estat possible calcular la mitjana de consum diari per habitant per a cada un dels mesos de l'any degut a la manca de dades de:

- Nombre exacta de les places d'allotjament turístic existent a l'illa.
- Percentatge dels establiments turístics que romanen oberts per cada mes de l'any,
- Taxa d'ocupació mitjana d'establiments turístics que romanen oberts per mesos.

8. CÀLCUL DELS LÍMITS DE POBLACIÓ

L'empresa OOWV, és l'encarregada de l'extracció, processament i subministrament de l'aigua potable a la xarxa de subministrament. L'estació es posà en funcionament l'any 1983.

L'extracció de l'aigua es realitza a través de sis pous verticals, situats a la zona de duna, al nord del nucli urbà. L'aigua extreta passa per un procés de ventilació, procés de floculació, un sistema de filtre per a l'eliminació del ferro i magnesi. L'estació compta amb una capacitat de processament màxima de 90 m³/h i la capacitat d'emmagatzematge del dipòsit és de 1.250 m³ d'aigua. L'estació compta amb un total de quatre bombes amb control de velocitat i potència de sortida entre 20 i 110 m³/h.

Donat que l'extracció de l'aigua subterrània és sostenible (OOWV, 2009), el nivell de les aigües subterrànies compta amb una desviació estacional entorn a 1 m. Amb l'objectiu d'evitar l'entrada d'aigua salada a l'aqüífer només s'extreu aigua de manera simultània de dos pous i un volum de 10 m³/h.

En base al càlcul realitzat de la quantitat d'habitants total per a l'any 2011 essent de 895.557 habitants, la mitjana diària d'habitants en un dia és de 2.453 habitants amb un consum mitjà de 171,96 litres. Al dia es necessiten un total de 421,92 m³ d'aigua.

Si l'extracció d'aigua és de 10 m³/h simultàniament a dos dels sis pous existents, la capacitat d'extracció diària (contemplant que funciona 24 hores al dia) és de 480 m³ diaris, que suposaria una màxim d'extracció d'aigua anual de 175.200 m³.

Considerant que el consum mitjà per habitant i dia es manté constant essent de 171,96 litres de mitjana, els sostre total de població total per a un dia seria de 2791 habitants. Aquest càlcul implica que l'illa pot créixer un màxim de 337 habitants diaris, si aquests es consideren turistes i/o visitants o un màxim permanent de 337 habitants de població de dret.

S'ha de tenir en compte que el càlcul s'ha realitzat en base a una mitjana constant de nombre d'habitants al dia.

9. BIBLIOGRAFIA

Lemke, D. & Elbracht, D. (2008). Grundwasserneubildungneubildung in Niedersachsen. Ein Vergleich der Methoden Dörhöfer & Josopait und GROWA06V2. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Hannover. ISSN 1864-7529, p.64.

Stuyfzand, P.J. (1993). Hydrochemistry and Hydrology of the coastal Dune Fläche of the western Netherlands. Diss. Vrije Universiteit of Amsterdam, published by KIWA N.V., p. 366.

Von Drachenfels, O. (2 Stuyfzand, P.J. (1993)011). Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen. ISSN: 0933-1247, p. 326.

Bartels, G. (2001). gekürzte Fassung der überarbeiteten Diplomarbeit, Lokale Versalzungsanfälligkeit auf Barriereinseln, am Beispiel der Insel Spiekeroog.

Bungenstock, F; Enters, D. The Watten Sea in <http://www.waddensea-secretariat.org/>

Giani, L; Masmann, G; Röper, T (2012). Landschaftsraum Spiekeroog Exkursionsführer.

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz. Jahresbericht 2011, Dienstleiter für Niedersachsen.

Röper, T; Kröger, K.F; Meyer, H; Sültenfuss, J; Greskowiak, J; Masmann, G (2012). Groundwater ages, recharge conditions and hydrochemical evolution of a barrier island freshwater lens (Spiekeroog, Northern Germany). Journal of Hydrology 454–455 (2012) 173–186.

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Geographisches Institut. Exkursion Nordsee – Ostsee – Rügen Brandenburg – Potsdam **20.8. – 14.9.1999** Leitung: Prof. Dr. E. Jordan, Dr. M. Fey, PD Dr. D. Knothe, Dr. Dr. W. Linder

Statistische Monatshefte Niedersachsen. Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen 5/2010.

Industrie- und Handelskammer für Ostfriesland und Papenburg. AUSGABE November 2012.

Spiekeroog Nordseeinsel natürlich. Ihre Insel Gastgeber 2013.

BACHELORARBEIT: Characterization and mapping of the freshwater-saltwater interface below the western part of Spiekeroog by means of stable isotopes and hydrochemical methods vorgelegt von: Stephan Seibert. Betreuende Gutachterin: Prof. Dr. Gudrun Massmann. Zweiter Gutachter: Dr. Janek Greskowiak. Oldenburg, 18.12.2012.

Compiled by Friederike Bungenstock .Dirk Enters Niedersächsisches Institut für historische Küstenforschung, Wilhelmshaven 2010.

Planes web

<http://www.nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH-GUEK500>

<http://www.nationalpark-wattenmeer.de/>

www.natosti.uni-oldenburg.de (Foto: H. Kolde, 2001)

www.escademic.com

<http://www.nationalpark-wattenmeer.de/nds/nationalpark/nutzungen/grundwasserentnahme>

http://www.natosti.uni-oldenburg.de/ostfriesische_inseln/09_inseln_spiekeroog.html

<http://www.nordwestreisemagazin.de/spiekeroog/duenen.htm>

<http://www.oowv.de/wissen/trinkwasser/standorte/>

<http://www.spiekeroog.de/inselinfo/inselgeschichte.html>