

RIVM rapport 610150001/2002

**Woningen bij bovengrondse  
hoogspanningslijnen in Nederland**

G Kelfkens, RMJ Pennders en MJM Pruppers

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, in het kader van project M/610150 'Niet-ioniserende straling', mijlpaal 'Velden onder/bovengrondse hoogspanningslijnen'.

## Abstract

With reference to several reports on the possible health effects due to overhead power lines, and in consideration of the precautionary principle, the Dutch government initiated research into costs and benefits of measures to reduce the population's exposure to magnetic fields encircling these power lines. In the framework of this research RIVM calculated the number of dwellings in the zones located in the vicinity of 10 to 200 m (measured bilaterally) from the power lines. On basis of these numbers the effects of the technical measures evaluated by KEMA can be assessed. This report describes the method for the counting of the dwellings and the results.

The results indicate that in the Netherlands over 120000 dwellings are situated within a distance of 200 m from an overhead power line. Of these dwellings about 75% are situated along the 150 kV power lines. Smaller zones contain lower numbers of dwellings. About 45000 dwellings are situated within 100 m, and 5000 within 30 m of a power line.

A spot check showed that inaccuracies in the locations of the pylons and the dwellings are small. Because the remaining inaccuracies become insignificant in averaging over large areas, the RIVM-method is not expected to lead to systematic under- or overestimation of the calculated number of dwellings.

A possible direction of a future policy is the reduction of the number of dwellings in those areas where certain levels of the magnetic field are exceeded. In this report a graphic method, which may be useful in evaluating costs and benefits of such a reduction, is proposed.

# Inhoud

## Samenvatting 4

### 1 Inleiding 5

- 1.1 Probleemstelling 5
- 1.2 Vraagstelling 6
  - 1.2.1 Algemene vraagstelling 6
  - 1.2.2 Vraagstelling vooronderzoek 6
  - 1.2.3 Vraagstelling RIVM-onderzoek 7
- 1.3 Leeswijzer 7

### 2 Beschikbare gegevens 8

- 2.1 Het bovengrondse hoogspanningsnet 8
- 2.2 Woningenbestand 8

### 3 Tellen van woningen 9

- 3.1 Standaard methode 9
- 3.2 Bijzondere situaties 12
- 3.3 Woningdichtheden 13
- 3.4 Onzekerheden in de woningaantallen 13
  - 3.4.1 Controle van de locaties van de lijnen 14
  - 3.4.2 Veldlengte 15
  - 3.4.3 Controle van de locaties van woningen 16

### 4 Resultaten 17

- 4.1 Landelijk totaalbeeld 17
- 4.2 Overzicht woningen nabij 150 kV-lijnen 18

### 5 Vergelijking met schattingen uit het verleden 22

### 6 Discussie 27

### 7 Conclusies 29

## Referenties 30

## Bijlage 1 Verzendlijst 31

## Bijlage 2 Resultaten voor alle spanningsniveaus 32

## Samenvatting

Internationale en nationale rapportages over mogelijke gezondheidseffecten van bovengrondse hoogspanningslijnen vormden voor de Nederlandse overheid aanleiding om op basis van het voorzorgprincipe te laten onderzoeken welke mogelijkheden er zijn om de blootstelling van de bevolking aan de magnetische velden rond deze hoogspanningslijnen te reduceren. In het kader van dit onderzoek heeft RIVM de aantallen woningen in zones van 10 tot 200 m aan weerszijden van de hoogspanningslijnen geteld. Deze aantallen zijn nodig om de effecten van de door KEMA geïnventariseerde technische maatregelen aan de hoogspanningslijnen te kunnen evalueren. Deze rapportage beschrijft de methode en de resultaten van de woningtellingen.

In Nederland blijken zich ruim 120.000 woningen binnen 200 m van een hoogspanningslijn te bevinden. Van deze woningen ligt ongeveer 75% rond de 150 kV hoogspanningslijnen. Smallere zones bevatten minder woningen. Binnen 100 m liggen circa 45.000 woningen en binnen 30 m nog ruim 5.000.

Op basis van een steekproef is geconcludeerd dat de onnauwkeurigheid in de locaties van de hoogspanningsmasten en van de woningen gering is. Omdat de resterende onnauwkeurigheden bij tellingen over grote gebieden uitmiddelen, is een systematische onder- of overschatting in de berekende aantallen woningen niet waarschijnlijk.

Een mogelijk beleidsdoel is het reduceren van het aantal woningen binnen bepaalde magneetveldzones. In dit rapport wordt een methode van presenteren voorgesteld die onderzoek naar een kosten-effectieve aanpak van zo'n reductie kan ondersteunen.

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

Door opwekking, transport en gebruik van elektriciteit ontstaan elektromagnetische velden met een extreem lage frequentie, de zogenaamde ELF-velden. In Europa gaat het vooral om elektromagnetische velden met een frequentie van 50 Hz, de basisfrequentie voor de elektriciteitsvoorziening. ELF-velden komen voor rond elektriciteitscentrales, bij verdeelstations, rond het transportnet van bovengrondse hoogspanningslijnen, rond ondergrondse hoogspanningskabels en in de buurt van transformatorhuisjes. Binnenshuis ontstaan ELF-velden door het gebruik van elektrische huishoudelijke apparaten, zoals het scheerapparaat, de televisie en de computer.

Al sinds de grootschalige toepassing van elektriciteit is rekening gehouden met de mogelijkheid dat blootstelling aan de bijbehorende ELF-velden nadelige gezondheidseffecten zou kunnen hebben. In 1979 publiceerden Wertheimer en Leeper een epidemiologisch onderzoek waarin een mogelijk verband tussen het wonen in de buurt van hoogspanningslijnen en het risico op kanker bij kinderen werd gevonden [1]. Sindsdien vormen de mogelijke gezondheidseffecten van ELF-velden onderwerp van internationaal wetenschappelijke onderzoek en inventariseren adviesraden in binnen en buitenland de eventuele implicaties voor het milieu- en gezondheidsbeleid. De mogelijke risico's van blootstelling aan ELF-velden geven aanleiding tot onrust bij mensen die in de buurt van hoogspanningslijnen wonen of gaan wonen.

In Nederland inventariseerde een commissie van de Gezondheidsraad in 1992 de mogelijke risico's van chronische blootstelling aan ELF-velden [2]. De commissie concludeerde dat er geen wetenschappelijke aanwijzingen zijn voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan ELF-velden en kanker, vooral omdat er geen plausibel mechanisme voor de inductie van kanker door chronische blootstelling aan ELF-velden bekend is en omdat niet duidelijk is welk aspect van het ELF-veld de eventuele veroorzaker zou kunnen zijn. Verder concludeerde de commissie dat er onvoldoende wetenschappelijke basis was om aan te nemen dat chronische blootstelling aan ELF-velden in woon- en werkomgeving nadelige gezondheidseffecten veroorzaakt. Tevens adviseerde de commissie na vijf jaar de resultaten van de lopende onderzoeksprogramma's en nieuwe wetenschappelijke inzichten te evalueren. Dit deed de commissie 'ELF elektromagnetische straling' in 1997. In 2000 verscheen het advies: 'Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz)' [3]. De commissie concludeerde daarin dat - op basis van de meest recente wetenschappelijke gegevens - niet kan worden vastgesteld dat er een relatie bestaat tussen blootstelling aan ELF-velden die samenhangen met de elektriciteitsvoorziening en het optreden van kanker. Maar, aldus de commissie, de totaliteit van epidemiologisch onderzoek wijst wel op een redelijk consistente associatie tussen het vóórkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspannings- en distributielijnen.

Het advies van de commissie van de gezondheidsraad was voor het ministerie van VROM (Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, afdeling Straling, Nucleaire en Bioveiligheid) aanleiding het RIVM te vragen uitgaande van de (statistische) associatie in kaart te brengen welke extra risico's kinderen die in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen wonen, in Nederland kunnen lopen. Het RIVM baseerde haar onderzoek op de veronderstelling dat de magnetische velden afkomstig van hoogspanningslijnen de veroorzakers van leukemie zijn. Onder deze veronderstelling bleek de blootstelling ten gevolge van het bovengrondse

hoogspanningsnet (alle 110 kV, 150 kV, 220 kV en 380 kV hoogspanningslijnen) jaarlijks maximaal één extra geval van leukemie bij kinderen op te kunnen leveren [4].

De hiervoor genoemde rapportages over de mogelijke gezondheidseffecten van hoogspanningslijnen waren aanleiding om op basis van het voorzorgprincipe te laten onderzoeken welke technische en ruimtelijke mogelijkheden er zijn om de blootstelling van de bevolking aan de ELF-velden rond bovengrondse hoogspanningslijnen te reduceren en welke kosten met deze maatregelen gepaard gaan (NMP4 [5]). In hoofdstuk 10.1 van het NMP4 staat: “Uitgaande van het voorzorgprincipe zijn de huidige signalen voldoende aanleiding tot het doen van verder onderzoek en het nemen van passende maatregelen mede in relatie tot de maatschappelijke kosten en baten”.

## **1.2 Vraagstelling**

### **1.2.1 Algemene vraagstelling**

De vraagstelling voor het onderzoek is direct ontleend aan de NMP-4 doelstelling: in kaart brengen welke technische en ruimtelijke maatregelen mogelijk zijn om de blootstelling van de bevolking aan ELF-velden te reduceren en welke maatschappelijke kosten en baten met deze maatregelen gepaard gaan. Het onderzoek omvat twee fasen. Allereerst worden in een vooronderzoek de ruimtelijke effecten en kosten van technische maatregelen verkend. Deze rapportage omvat de RIVM-bijdrage aan dit vooronderzoek. In de tweede fase, het eigenlijke onderzoek, zouden vervolgens de macro-economische gevolgen van alternatieve maatregelenpakketten in beeld gebracht moeten worden.

### **1.2.2 Vraagstelling vooronderzoek**

Doel van het vooronderzoek is het inventariseren van de kosten en baten van technische maatregelen om de blootstelling van de bevolking aan ELF-velden afkomstig van bovengrondse hoogspanningslijnen te verminderen. Dit vooronderzoek (project VoKoBaHos – Vooronderzoek kosten en baten van nader beleid rond hoogspanningslijnen) wordt uitgevoerd door KEMA. Binnen dit vooronderzoek berekent RIVM woningaantallen in zones rond hoogspanningslijnen. Het vooronderzoek gaat uit van de volgende referentie niveaus voor het magnetische veld rond hoogspanningslijnen: 0,2 , 0,3 , 0,4 , 0,5 en 100  $\mu$ T. De eerste vier waarden zijn ontleend aan de epidemiologische studies (zie [3], [4]). De 100  $\mu$ T grens is het door ICNIRP en EU aanbevolen referentie niveau voor blootstelling van de algemene bevolking [6]. Het vooronderzoek richt zich op het reduceren van het aantal woningen in gebieden waar de referentie niveaus worden overschreden. Deze reductie kan worden bereikt door het verlagen van het magnetische veld ter plekke en door het verplaatsen van bestaande of toekomstige bebouwing. Enkele mogelijke maatregelen zijn:

- 1 het aanpassen van de configuratie (bijv. fase verdelingen),
- 2 het verleggen van het tracé en
- 3 het onder de grond brengen van de bovengrondse lijnen;
- 4 het verplaatsen van bestaande woningen/gebouwen en
- 5 het kiezen van een alternatieve bouwlocatie voor geplande of nog te plannen nieuwbouw van woningen, scholen, etc.

Uitgangspunt is de actuele situatie in Nederland waarbij geadviseerd wordt niet binnen de zakelijk rechtstrook aan weerszijden van een bovengrondse hoogspanningslijn te bouwen

(‘meestal ongeveer 2 x 35 m’ [7]). De maatregelen 4 en 5 blijven in het vooronderzoek buiten beschouwing.

### **1.2.3 Vraagstelling RIVM-onderzoek**

De vraagstelling voor de RIVM-bijdrage aan het vooronderzoek is de aantallen woningen binnen bepaalde zones rond het hoogspanningsnet te bepalen. Deze informatie is nodig om de actuele situatie te kunnen beschrijven en om de effecten van de technische maatregelen te kunnen berekenen. De breedte van de zones is gevarieerd met stappen van 10 m en wel van 10 m tot 200 m aan weerszijden van de hartlijn.

## **1.3 Leeswijzer**

Het voorliggende rapport is op de volgende manier opgebouwd. Hoofdstuk 2 beschrijft de basisgegevens waarvan is uitgegaan, te weten de locaties van de hoogspanningslijnen en de locaties van de woningen. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van hoe deze gegevens worden gecombineerd, hoe de woningen zijn geteld en welke problemen zich daarbij hebben voorgedaan. Tevens bevat het een inschatting van de onzekerheden in de woningaantallen. Hoofdstuk 4 bevat een statistische analyse van de woningaantallen en de woningdichtheden in de verschillende zones, in relatie tot de afstand tot de hoogspanningslijn. Hoofdstuk 5 bevat een vergelijking van de resultaten van dit onderzoek, wat betreft woningaantallen en magnetische velden, met eerdere schattingen. In hoofdstuk 6 wordt tenslotte kort ingegaan op de mogelijkheden om de verzamelde gegevens zodanig weer te geven dat ze geschikt zijn voor het uiteindelijke doel van vooronderzoek, namelijk het reduceren van het aantal woningen bij hoogspanningslijnen. Hoofdstuk 7, tenslotte, bevat de belangrijkste conclusies.

## **2 Beschikbare gegevens**

### **2.1 Het bovengrondse hoogspanningsnet**

Het bovengrondse hoogspanningsnet in Nederland bestaat uit vijf spanningsniveaus: 380 kV, 220 kV, 150 kV, 110 kV en 50 kV. Een aparte groep vormen de combinatie lijnen. Bij deze combi-lijnen hangen geleiders van verschillende spanningsniveaus (380/220 kV, 380/110 kV of 220/110 kV) aan dezelfde hoogspanningsmast. Per spanningsniveau is het net verdeeld in lijnen. Een lijn begint en eindigt bij een onderstation. Elke lijn is weer onderverdeeld in 'rechtstanden' die beginnen en eindigen bij een hoekmast, of soms bij een eindmast of een fasewisselmast. Reeds tijdens het RIVM-onderzoek naar een mogelijke relatie tussen leukemie bij kinderen en het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen [4] bleek een actueel digitaal bestand met nauwkeurige locaties van alle hoogspanningslijnen te ontbreken. De woningtellingen in die studie waren gebaseerd op een digitaal lijnenbestand uit 1990, aangevuld met een correctie voor de toename in lengte over de periode 1990-1998. Voor een gedetailleerde studie naar het aantal woningen is dit onvoldoende. Daarom heeft KEMA binnen het vooronderzoek een nieuw digitaal bestand samengesteld met de locaties van alle hoogspanningslijnen en rechtstanden. De KEMA-rapportage [8] beschrijft hoe dit bestand met rechtstanden en lijnen is gegenereerd. Globaal komt de procedure op het volgende neer. Elke lijn wordt vastgelegd door het spanningsniveau en een geografische aanduiding van het begin en het eindpunt, die op de TenneT-kaart van 1 januari 2000 (schaal 1:350.000) vermeld staan. De lijnen worden gescand vanaf 1:25.000 kaarten, die door KEMA in het kader van het onderzoek zijn aangeschaft. Een lijnbestand bevat voor elke rechtstand in de lijn de Rijksdriehoekscoördinaten van het begin- en eindpunt en de lengte van de rechtstand. Een lijn die zich vertakt ('aflussing' of 'aftakking') wordt ter plekke van het knooppunt geknipt en als twee lijnen geregistreerd.

### **2.2 Woningenbestand**

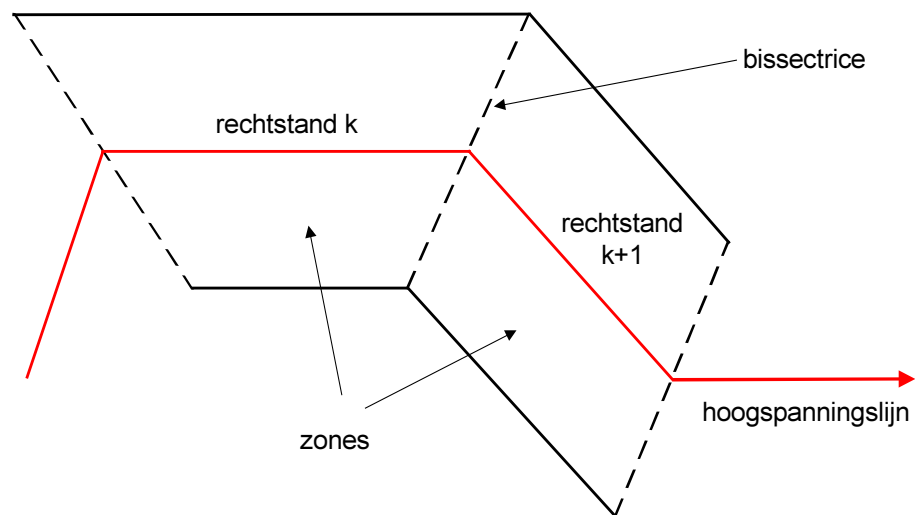
Het woningenbestand waarover RIVM beschikt, is gebaseerd op het Adres Coördinatenbestand Nederland (ACN) van het Kadaster. De firma Bridgis levert jaarlijks een update van het bestand. Voor het huidige onderzoek is het bestand met peildatum 1 november 2000 gebruikt. Het bestand bevat de Rijksdriehoekscoördinaten van alle adressen in Nederland, de gemeentenaam, woonplaatsnaam, huisnummer, huisnummertoevoeging en postcode. In totaal bevat het bestand 6,85 miljoen adressen met een woonbestemming. Als er bij een kadastraal perceel slechts één adres hoort, bevat het ACN-gegeven de zogenaamde perceelcoördinaat. Deze perceelcoördinaat wordt centraal in het kadastrale perceel geprikt en valt niet persé samen met het bebouwde gebied (de woning) zelf. Zijn er op een kadastraal perceel meer adressen geregistreerd, dan wordt elk adres apart van een pandcoördinaat voorzien. Pandcoördinaten vallen geografisch beter samen met de bebouwing dan perceelcoördinaten. In principe vallen ze binnen het bebouwde oppervlak (de flat of woning) zelf. Bij gestapelde bouw heeft ieder huisnummer zijn eigen pandcoördinaat. Perceelcoördinaten komen vooral voor in het landelijke gebied, waar zich veel grote percelen met geringe bebouwing zoals boerderijen bevinden. Overigens zal het verschil tussen perceelcoördinaten en de plaats van de feitelijke bebouwing, bij tellingen over grote gebieden naar verwachting geen belangrijke rol spelen. Momenteel ligt het percentage perceelcoördinaten in het ACN-bestand rond de 25%. Binnen enkele jaren zullen alle perceelcoördinaten naar pandcoördinaten zijn omgezet.



## 3 Tellen van woningen

### 3.1 Standaard methode

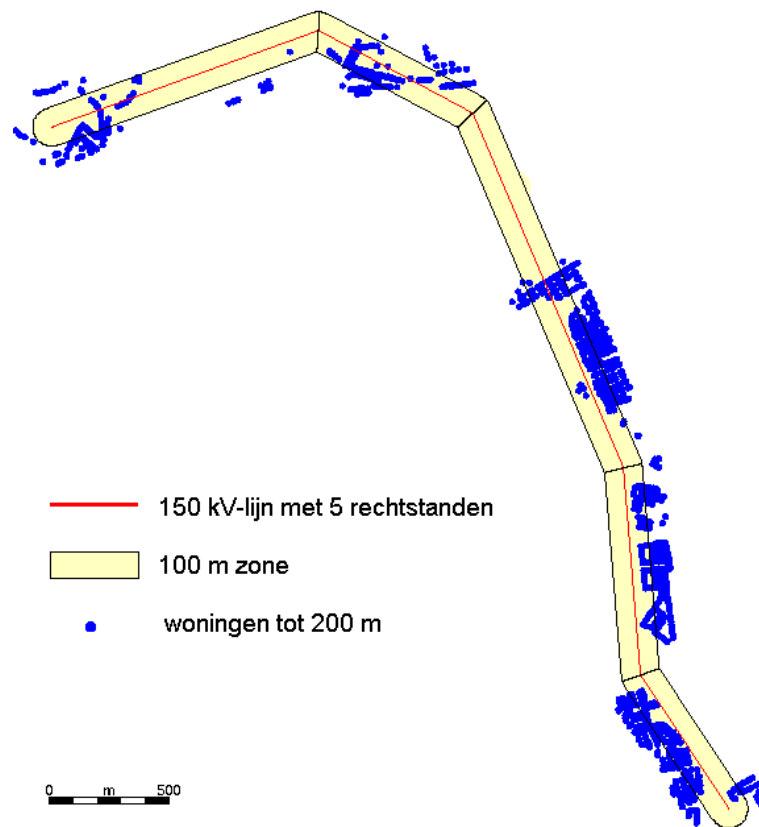
Het tellen van woningen in de nabijheid van hoogspanningslijnen is in een geografisch-informatiesysteem (GIS) uitgevoerd door het woningenbestand te combineren met het bestand met de gedigitaliseerde hoogspanningslijnen. De lijn met de coördinaten van de begin- en eindpunten van de rechtstanden vormt het startpunt. Bij elke overgang tussen twee rechtstanden wordt de bissectrice van de hoek tussen de twee rechtstanden bepaald (zie Figuur 1). Deze bissectrice bepaalt vervolgens aan welke rechtstand de woningen worden toegekend. Begin en eindpunt van de lijn worden afgesloten met een halve cirkel aansluitend op de zone (zie ook Figuur 2).



*Figuur 1* Gevolgde procedure bij de constructie van zones rond de rechtstanden van een hoogspanningslijn

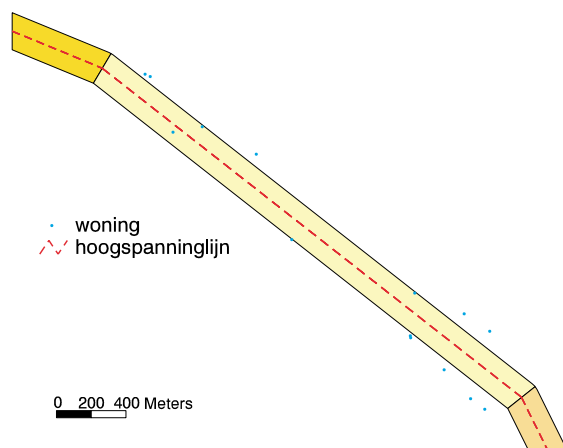
Op deze manier zijn voor elke rechtstand 20 zones gemaakt van 10 m, 20 m, 30 m, ..., 200 m breedte gerekend vanaf de hartlijn van de hoogspanningslijn. Een 200 m zone strekt zich dus 200 m aan weerszijden van de lijn uit. Het aantal woningen binnen de zone wordt geteld zonder onderscheid te maken tussen woningen ter linker- of ter rechterzijde. Voor een totaaloverzicht is dit een adequate benadering. Bij het eventueel in de toekomst inzoomen op actuele situaties en concrete delen van lijnen kan het nodig zijn de linker en rechter gebieden grenzend aan de lijn apart te tellen.

De zones rond de hoogspanningslijn zijn visueel op onregelmatigheden gecontroleerd.

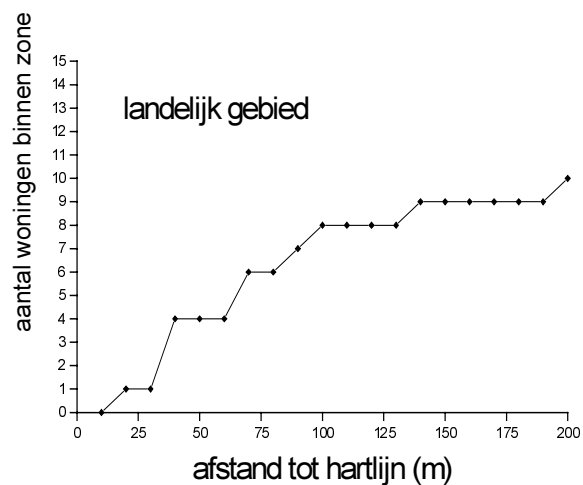


*Figuur 2 Voorbeeld van de ligging van woningen binnen 200 m van een 150 kV-lijn met vijf rechtstanden*

Uiteindelijk resulteert dit per rechtstand in het aantal woningen als functie van de afstand tot de hartlijn. Deze aanpak wordt geïllustreerd in Figuur 3 voor een 150 kV-lijn in het landelijke gebied en in Figuur 4 voor een 150 kV-lijn in het stedelijk gebied.



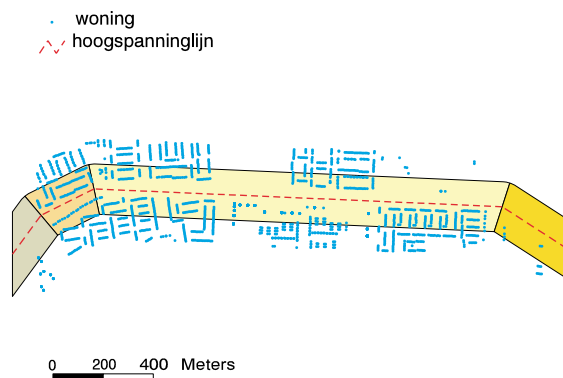
A



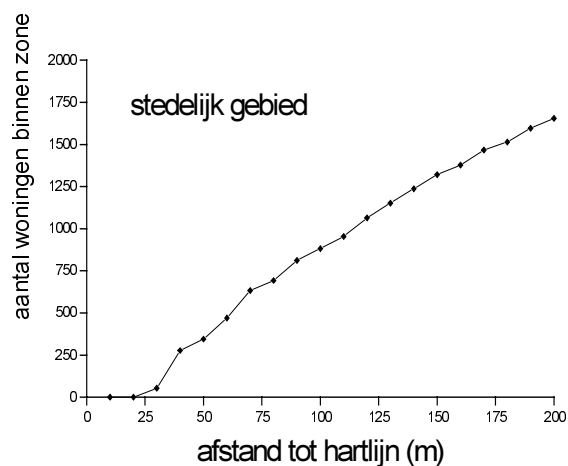
B

**Figuur 3** A Rechtstand van een 150-kV lijn in het landelijke gebied. De 100 m zone is gemarkeerd en de woningen zijn aangegeven tot 200 m aan weerszijden van de hoogspanningslijn.

B De getelde aantallen woningen binnen de zones van 10 m - 200 m voor de rechtstand in figuur A.



A



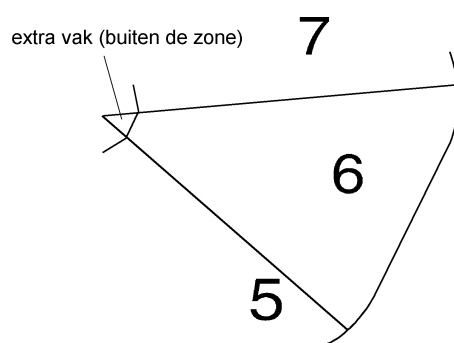
B

**Figuur 4** A Rechtstand van een 150 kV-lijn in het stedelijke gebied. De 100 m zone is gemarkeerd en de woningen zijn aangegeven tot 200 m aan weerszijden van de hoogspanningslijn.

B De geteld aantallen woningen binnen de zones van 10 m - 200 m voor de rechtstand in figuur A.

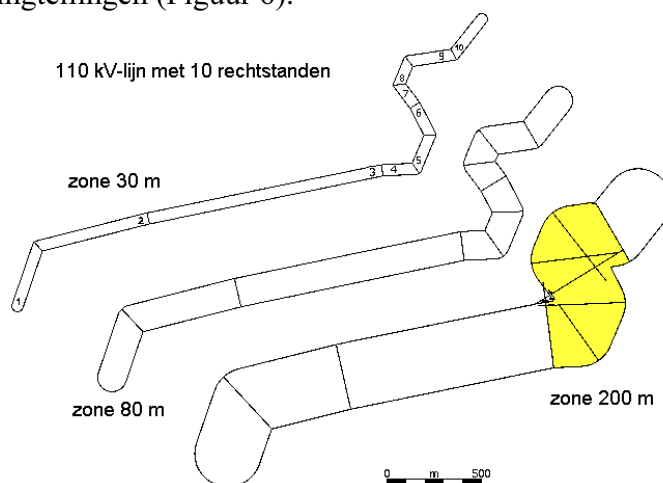
## 3.2 Bijzondere situaties

Voor meer dan 95% van de bewerkte hoogspanningslijnen levert de hiervoor geschetste standaard methode direct woningaantallen voor alle rechtstanden en zones. Bij grillig verlopende lijnen met korte rechtstanden kunnen extra vakken ontstaan omdat de bissectrices in deze situatie snijden en zo een nieuw vak definiëren. Dit gebeurt meestal buiten de zones (Figuur 5), maar kan ook daarbinnen optreden.



*Figuur 5 Bissectrices tussen de rechtstanden 5, 6 en 7 leiden onbedoeld tot een extra vak, waarin woningen kunnen liggen*

In deze situatie genereert de GIS-programmatuur een speciaal, herkenbaar label voor dit extra vak. Dergelijke vakken, geïdentificeerd binnen GIS, worden visueel beoordeeld. Als de extra vakken geen woningen bevatten is de woningtelling zonder meer valide. Ook in het geval dat de extra vakken wel woningen bevatten, maar buiten de beschouwde zone liggen is de GIS telling voor de beschouwde zone in orde. Een gecompliceerde situatie ontstaat als de bissectrices binnen de zones snijden. Bij smalle zones worden de rechtstanden nog wel door de bissectrices gescheiden en worden woningen op een juiste manier aan de zone rond de bijbehorende rechtstand toegekend. Bij brede zones kunnen extra vakken ontstaan en lopen de zones rond de rechtstanden in elkaar over (omdat de bissectrices de zone niet aan beide kanten snijden). In deze situatie wordt een te tellen woning soms aan de ene en soms aan de andere rechtstand toegekend. Dit leidt, op het niveau van deze rechtstanden tot onbetrouwbare woningtellingen (Figuur 6).

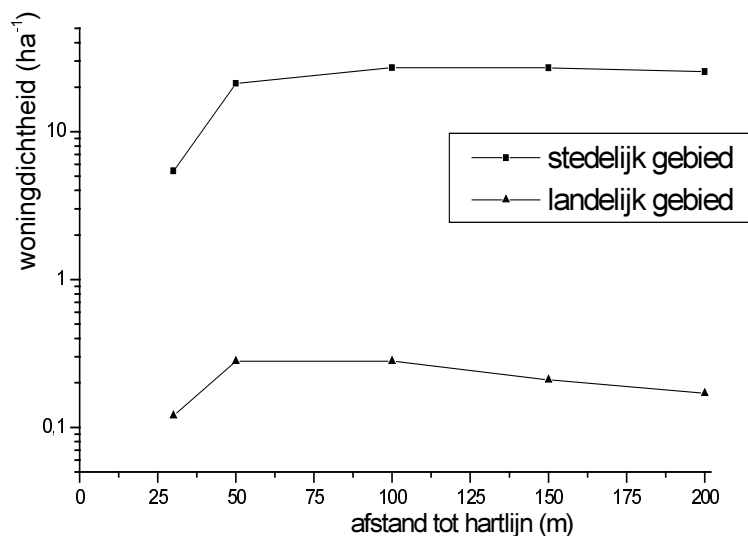


*Figuur 6 Zones en rechtstanden bij grillig verlopende trajecten binnen een hoogspanningslijn*

Om voor deze gedeeltes van de hoogspanningslijn tot een valide telling te komen, worden de rechtstanden, samengevoegd en voor de woningtelling als één geheel beschouwd. Het totale aantal woningen in deze ‘samengesmolten’ rechtstanden wordt aan de eerste rechtstand uit de serie (met het laagste nummer) toegekend. De overige rechtstanden uit de serie krijgen een error-code (99999) voor het woningaantal in alle zonebreedtes. Deze situatie treedt slecht op voor ongeveer 1% van de doorgerekende lijnen.

### 3.3 Woningdichtheden

Het aantal woningen per rechtstand zoals dat uit de primaire telling komt, hangt mede af van de lengte van de beschouwde rechtstand. Om een indruk te krijgen over de clustering van de woningen rondom de lijn is het aantal woningen per rechtstand en per zone omgerekend naar de woningdichtheid uitgedrukt in het aantal woningen per hectare. Deze woningdichtheid is uit de telling berekend door het aantal woningen binnen een zone te delen door het oppervlak van de zone. Figuur 7 geeft de woningdichtheden voor de rechtstanden uit Figuur 3 (landelijk gebied) en Figuur 4 (stedelijk gebied). In het landelijke gebied variëren de woningdichtheden tussen de 0 en 2 woningen per ha. Met groeiende verstedelijking loopt de woningdichtheid op tot waarden van 50-100 woningen per hectare in sterk verstedelijkt gebied.



Figuur 7 Voorbeelden van woningdichtheden in landelijke en stedelijke gebieden nabij 150 kV-lijnen

### 3.4 Onzekerheden in de woningaantallen

Onzekerheden in de aantallen woningen ontstaan door onjuistheden in het woningenbestand en in het digitale lijnenbestand.

In het woningenbestand kunnen woningen voorkomen die er inmiddels niet meer staan en kunnen bestaande woningen eenvoudigweg ontbreken. De grootte van deze onzekerheid is moeilijk te bepalen. Vergelijken van het in deze studie gebruikte ACN-bestand met het PTT-postcodebestand geeft aan dat het ACN-bestand gemiddeld over Nederland circa 5% minder adressen bevat. Maar van het PTT-postcodebestand is bekend dat het adressen bevat die niet of niet meer bestaan.

Het digitale lijnenbestand is gescand van de meest recente versie van de topografische kaarten (1998-2002). Bovendien is ter plekke gecontroleerd of de lijnen op de kaart (nog) werkelijk aanwezig zijn [8]. Het missen van lijnen, of het opnemen van niet bestaande lijnen zal vrijwel niet voorkomen. Hoe nauwkeurig de locatie van lijnen is vastgelegd is moeilijker te schatten. Een indicatie van deze onzekerheid heeft KEMA verkregen door de gescande coördinaten van enkele rechtstanden te vergelijken met GPS-metingen ter plekke. Op deze manier bleek de positie van de gescande mastcoördinaten binnen 10 m nauwkeurig overeen te stemmen [8].

### 3.4.1 Controle van de locaties van de lijnen

KEMA is bij het digitaliseren van de lijnen en rechtstanden uitgegaan van stafkaarten met een schaal 1:25.000. Om de vraag te beantwoorden hoe nauwkeurig het digitaliseren van de lijnen is gebeurd, is de ligging van de lijnen vergeleken met beschikbare gegevens over locaties van afzonderlijke masten. RIVM heeft in het verleden van TenneT de x- en y-coördinaten van de afzonderlijke masten van een aantal 220 en 380 kV-lijnen ontvangen. In het kader van deze studie heeft NUON de coördinaten (met een nauwkeurigheid van 8 tot 10 cm) van een aantal 50, 110, 150 en 220 kV-lijnen beschikbaar gesteld. NUON heeft in 1999 met laser-metingen vanuit de lucht een groot deel van zijn net in kaart gebracht, evenals de woningen in de onmiddellijke nabijheid. In Tabel 1 is per spanningsniveau weergegeven hoeveel masten in de controle zijn gebruikt en welk percentage van het totale aantal lijnen met deze hoeveelheid overeenkomt. Hoewel de steekproef niet aselekt is genomen, is deze zo groot dat de conclusies uit de vergelijking zeer waarschijnlijk voor het gehele hoogspanningsnet geldig zijn.

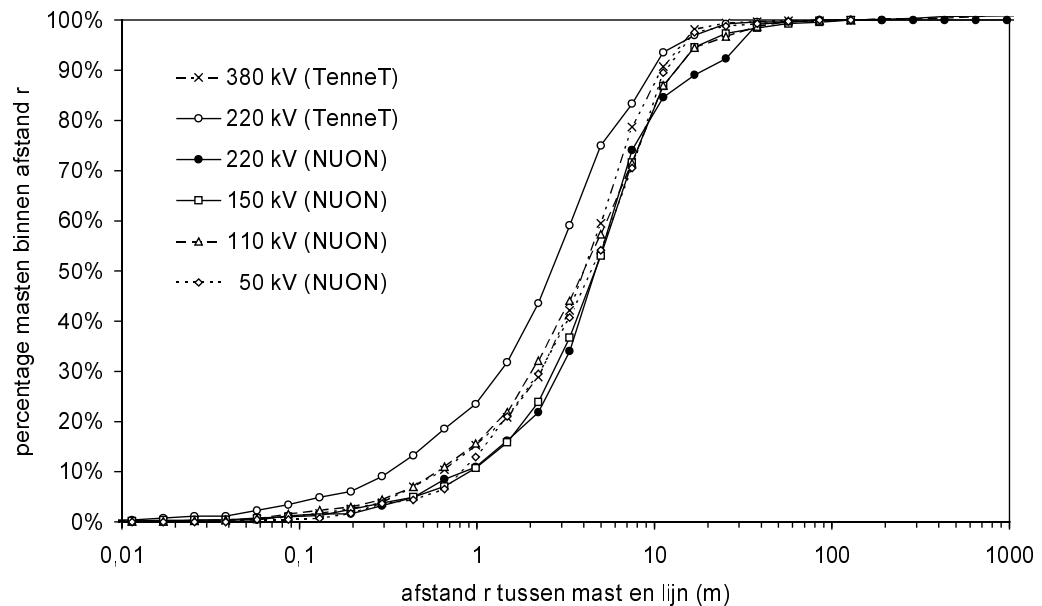
*Tabel 1 Aantal masten en percentage van de totale lijnlengte dat in de controle van de gedigitaliseerde lijnen is gebruikt*

spanningsniveau (kV)	aantal masten			percentage van de totale lijnlengte
	TenneT	NUON	totaal	
50	-	410	410	55%
110	-	946	946	30%
150	-	1719	1719	30%
220	264	247	511	60%
380	1670	-	1670	75%
alle niveaus	1934	3322	5256	42%

Voor elk van de masten is de afstand  $r$  tot de dichtstbijzijnde door KEMA gedigitaliseerde lijn bepaald. Vervolgens zijn deze afstanden per spanningsniveau tot een cumulatieve frequentieverdeling verwerkt. Een dergelijke verdeling geeft voor alle gevonden afstanden weer welk percentage van de masten zich dichterbij dan een afstand  $r$  van de lijn bevindt. De resultaten van de vergelijking zijn samengevat in Figuur 8.

Uit de vergelijking is naar voren gekomen dat voor één van de 220 kV-lijnen op een aanzienlijk deel van het traject de afstanden tussen masten en lijn tot 100 m bedroegen. Dit is gecorrigeerd door enkele rechtstanden in de lijn opnieuw te positioneren (hetgeen geen gevolgen heeft voor de woningtellingen aangezien zich maar enkele woningen in de buurt van de betreffende lijn bevinden).

Het percentage masten dat zich op minder dan 10 m van een lijn bevindt, bedraagt 82 tot 90%, afhankelijk van het spanningsniveau. Ongeveer 98% van de masten bevindt zich binnen 30 m van de lijn en 50% binnen 5 m.

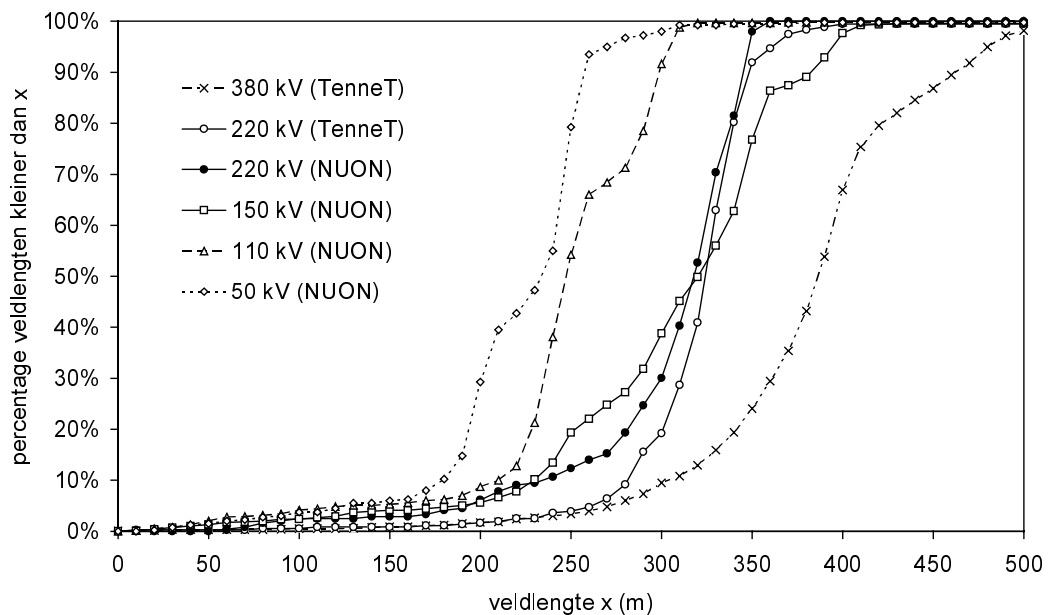


**Figuur 8** De resultaten van de vergelijking tussen de ligging van de masten en de ligging van door KEMA gedigitaliseerde lijnen

Overigens zullen onnauwkeurigheden in de precieze locatie van de lijnen, bij tellingen over grote gebieden naar verwachting uitmiddelen en geen systematische onder- of overschatting van de woningaantallen tot gevolg hebben.

### 3.4.2 Veldlengte

Uit de coördinaten van de masten die NUON beschikbaar heeft gesteld zijn tevens de waarden van de veldlengte bepaald. De veldlengte is gedefinieerd als de afstand tussen twee opeenvolgende masten. Deze veldlengten zijn belangrijk met het oog op mogelijk te treffen maatregelen. De veldlengte is namelijk de kleinste afstand waarover een maatregel zoals verkabelen getroffen kan worden. De cumulatieve frequentieverdeling van de veldlengten is per spanningsniveau in Figuur 9 weergegeven: per veldlengte  $x$  het percentage veldlengten dat korter is dan  $x$ . Als deze frequentieverdeling bij een bepaalde veldlengte snel stijgt, duidt dit op een groot aantal veldlengten met deze lengte. Zo blijken de veldlengten in 50 kV-lijnen voor de helft ongeveer 200 m en voor de helft ongeveer 250 m te zijn. In 110 kV-lijnen zijn de veldlengten meestal 250 of 300 m, terwijl in 150 kV-lijnen veldlengten van 200, 250, 300, 350 en 400 m voorkomen. De veldlengten in 380 kV-lijnen variëren tussen ongeveer 300 en 500 m.



**Figuur 9** Cumulatieve frequentieverdeling van veldlengten (afstand tussen twee opeenvolgende masten)

### 3.4.3 Controle van de locaties van woningen

De nauwkeurigheid van de locatiebepaling van de masten moet in samenhang met de nauwkeurigheid in de locatiebepaling van de woningen worden gezien. In stedelijk gebied zal de nauwkeurigheid van locaties in het gebruikte woningenbestand beter zijn dan in het landelijke gebied waar bij het vaststellen van de locatie van een woning veelal is uitgegaan van coördinaten van een perceel.

NUON beschikt naast de coördinaten van de masten ook over gegevens en videobeelden van de omgeving van de lijnen, waarop ook woningen te zien zijn. NUON heeft deze informatie ten behoeve van deze studie beschikbaar gesteld. Bij de controle van de ligging van woningen is als volgt te werk gegaan. Eerst zijn met behulp van het woningenbestand enkele lijnen geselecteerd waar volgens dit bestand woningen binnen 50 m van de hartlijn kunnen worden verwacht. Vervolgens is op de videobeelden gecontroleerd of deze woningen ook in de NUON-informatie zijn terug te vinden. De visuele controle is uitgevoerd over een totale lengte van ongeveer 100 km van de 150 kV-lijnen. Meer dan 99% van de woningen die door RIVM zijn geteld zijn ook op de videobeelden aangetroffen.

Tot slot wordt hier opgemerkt dat een woning typische afmetingen in de orde van 10 m heeft. Een blootgestelde persoon bevindt zich ook niet continu op dezelfde plek in de woning. Bovendien wordt een deel van de tijd buiten de woning doorgebracht. Het wordt daarom niet zinvol geacht om de locaties van masten en woningen met een veel betere nauwkeurigheid dan ongeveer 10 m te bepalen.



## 4 Resultaten

### 4.1 Landelijk totaalbeeld

In het kader van het vooronderzoek zijn alle Nederlandse bovengrondse hoogspanningslijnen gedigitaliseerd. Voor deze trajecten zijn, per rechtstand, woningtellingen gedaan. Deze tellingen resulteren in het landelijke overzicht in Tabel 2, Tabel 3 en Figuur 10.

*Tabel 2 Totaaloverzicht van lijnen en rechtstanden in het Nederlandse hoogspanningsnet*

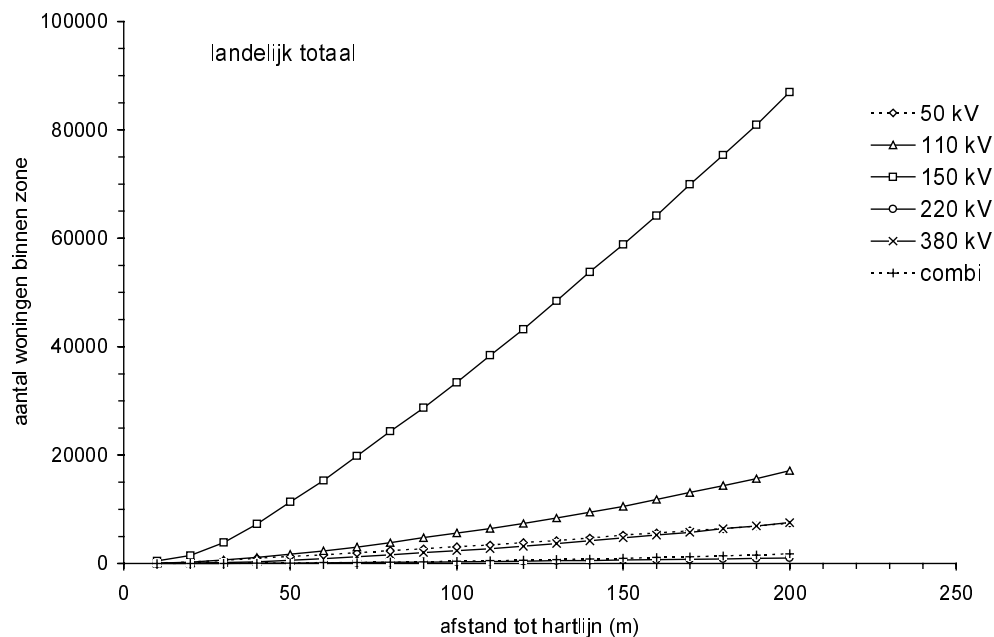
spannings-niveau (kV)	aantal lijnen	aantal rechtstanden	totale lengte (km)	totale lengte (km)	totale lengte (km)
			2002	RIVM, 1990	KEMA, 1998
50	15	93	164	-	-
110	76	448	778	1.044	904
150	165	1.136	1.781	1.846	1.872
220	9	105	249	420	320
380	23	430	840	618	990
combi	15	72	159	-	-
<b>totaal</b>	<b>303</b>	<b>2.284</b>	<b>3.971</b>	<b>3.928</b>	<b>4.086</b>

In Tabel 2 is zijn tevens de lengten vermeld die in voorgaande studies zijn gebruikt. De totale lengte gesommeerd over alle spanningsniveaus bedraagt ongeveer 4000 km. Per spanningsniveau zijn er duidelijke verschillen tussen de resultaten van de huidige studies en de schattingen uit het verleden. Ongeveer 45% van de totale lengte komt voor rekening van de 150 kV-lijnen. Voor de 220 en 380 kV-lijnen blijkt de lengte per lijn ongeveer 30 km te bedragen en voor de andere lijnen ongeveer 10 km. Voor de 220 en 380 kV-lijnen is ook het gemiddelde aantal rechtstanden per lijn groter dan voor de andere lijnen: ongeveer 15 tegenover ongeveer 6. De gemiddelde lengte per rechtstand is nagenoeg onafhankelijk van het spanningsniveau en bedraagt ongeveer 2 km.

*Tabel 3 Totaaloverzicht woningtellingen voor het Nederlandse hoogspanningsnet*

spannings-niveau (kV)	aantal woningen binnen 30 m	aantal woningen binnen 100 m	aantal woningen binnen 200 m
50	560	3.093	7.455
110	629	5.627	17.129
150	3.872	33.420	86.967
220	37	316	1.025
380	196	2.377	7.555
combi	39	415	1.819
<b>totaal</b>	<b>5.338</b>	<b>45.248</b>	<b>121.910</b>

Binnen 30 m van de hoogspanningslijnen bevinden zich iets meer dan 5000 woningen, waarvan 80% bij de 150 kV-lijnen ligt. Van de meer dan 100.000 woningen die binnen 200 m van een hoogspanningslijn liggen, bevindt zich ongeveer 75% bij een 150 kV-lijn.



**Figuur 10** Stijging van het landelijk-totale aantal woningen binnen de zone bij groter wordende afstand tot de hartlijn (=halve zonebreedte)

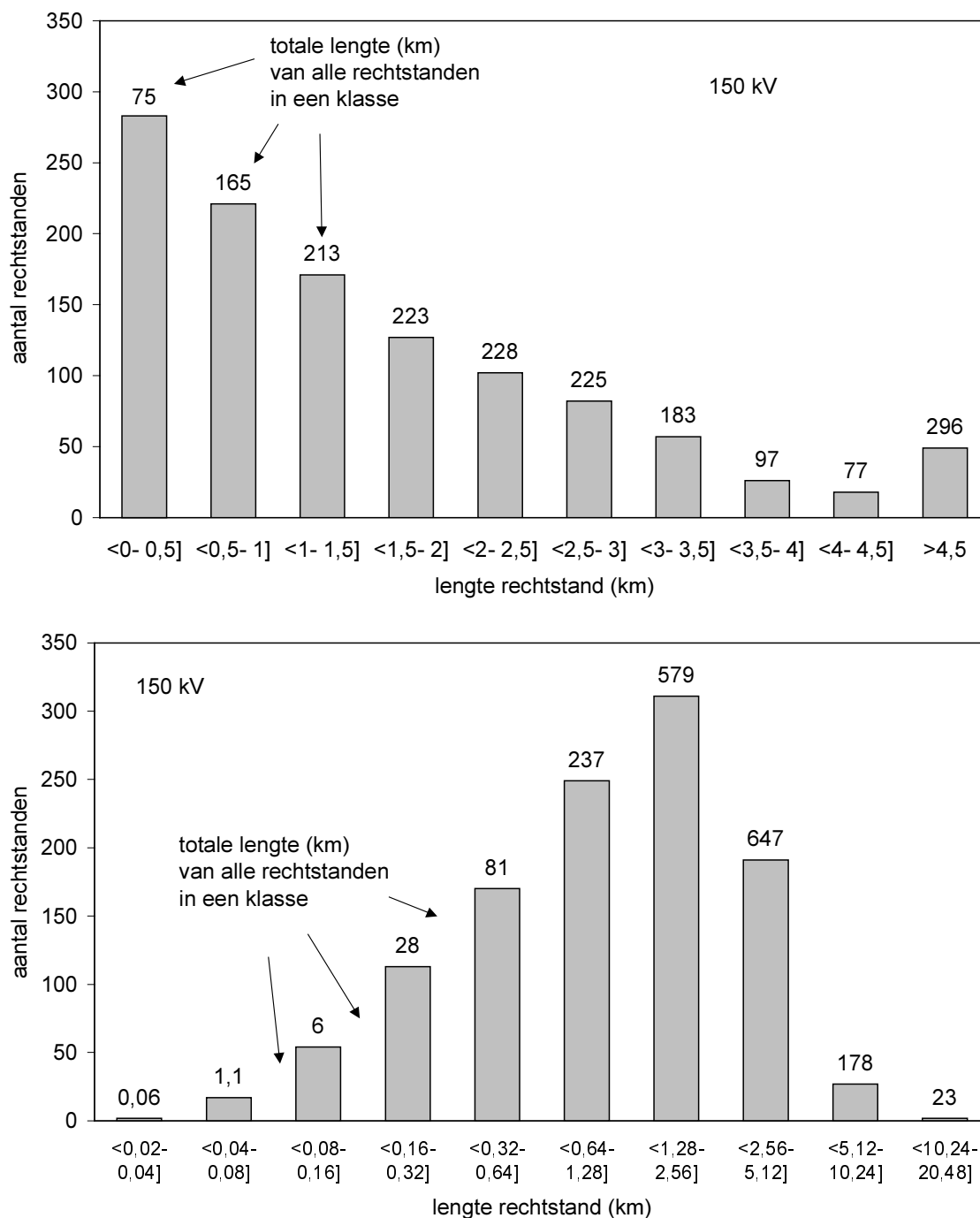
Uit Figuur 10 blijkt dat verreweg de meeste woningen zich bij de 150 kV-lijnen bevinden. De stijging met toenemende afstand verloopt niet lineair. Dit wijst erop dat het aantal woningen per oppervlakte-eenheid groter is op grotere afstand van de lijn.

## 4.2 Overzicht woningen nabij 150 kV-lijnen

Uit de resultaten van de tellingen is gebleken dat de meeste woningen (meer dan 75%) zich bij een 150 kV-lijn bevinden. In deze paragraaf wordt daarom alleen ingegaan op deze lijnen. Overeenkomstige gegevens voor de andere spanningsniveaus, en voor de 100 m zones rond de 150 kV-lijnen, zijn te vinden in Bijlage 2.

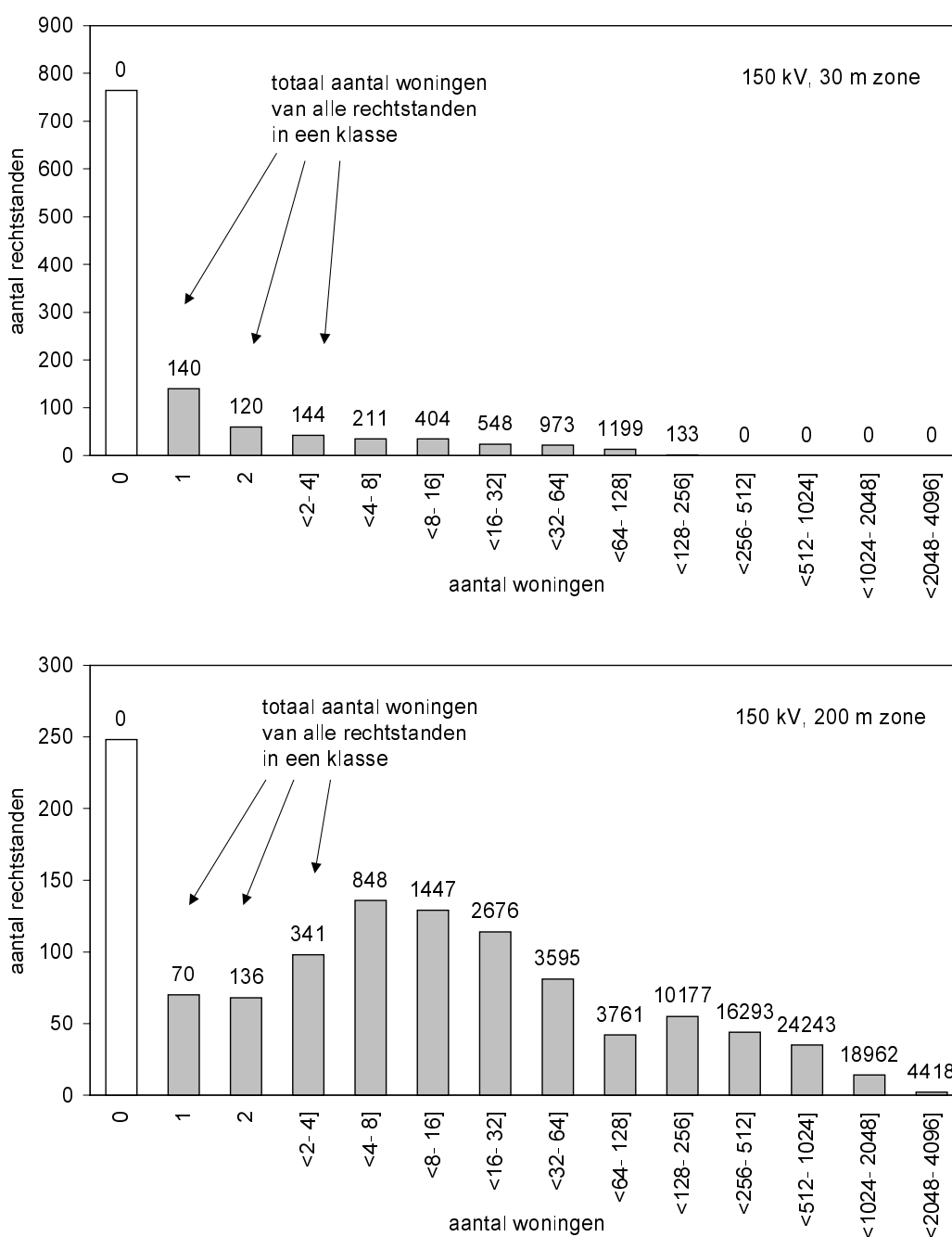
De 150 kV-lijnen hebben een totale lengte van bijna 1800 km. De 165 lijnen omvatten in totaal 1136 rechtstanden. De rechtstanden hebben een gemiddelde lengte van ongeveer 1,5 km (rekenkundig gemiddelde). De mediaan van de lengte van de rechtstanden bedraagt 1,14 km. Dat wil zeggen dat de helft van alle rechtstanden korter en de helft langer is dan 1,14 km.

Figuur 11 geeft de verdeling over de lengte van de rechtstanden. Per klasse is het aantal strekkende kilometers in de klasse aangegeven. Bij de lineaire klasse-indeling (boven in de figuur) vallen alle rechtstanden langer dan 4,5 km samen binnen een klasse. Uit het oogpunt van technische maatregelen is het belangrijk te weten hoe de lange rechtstanden zijn verdeeld. Daarom hebben we ook de logaritmische klasse-indeling opgenomen (onder in de figuur) die hier meer inzicht in geeft.



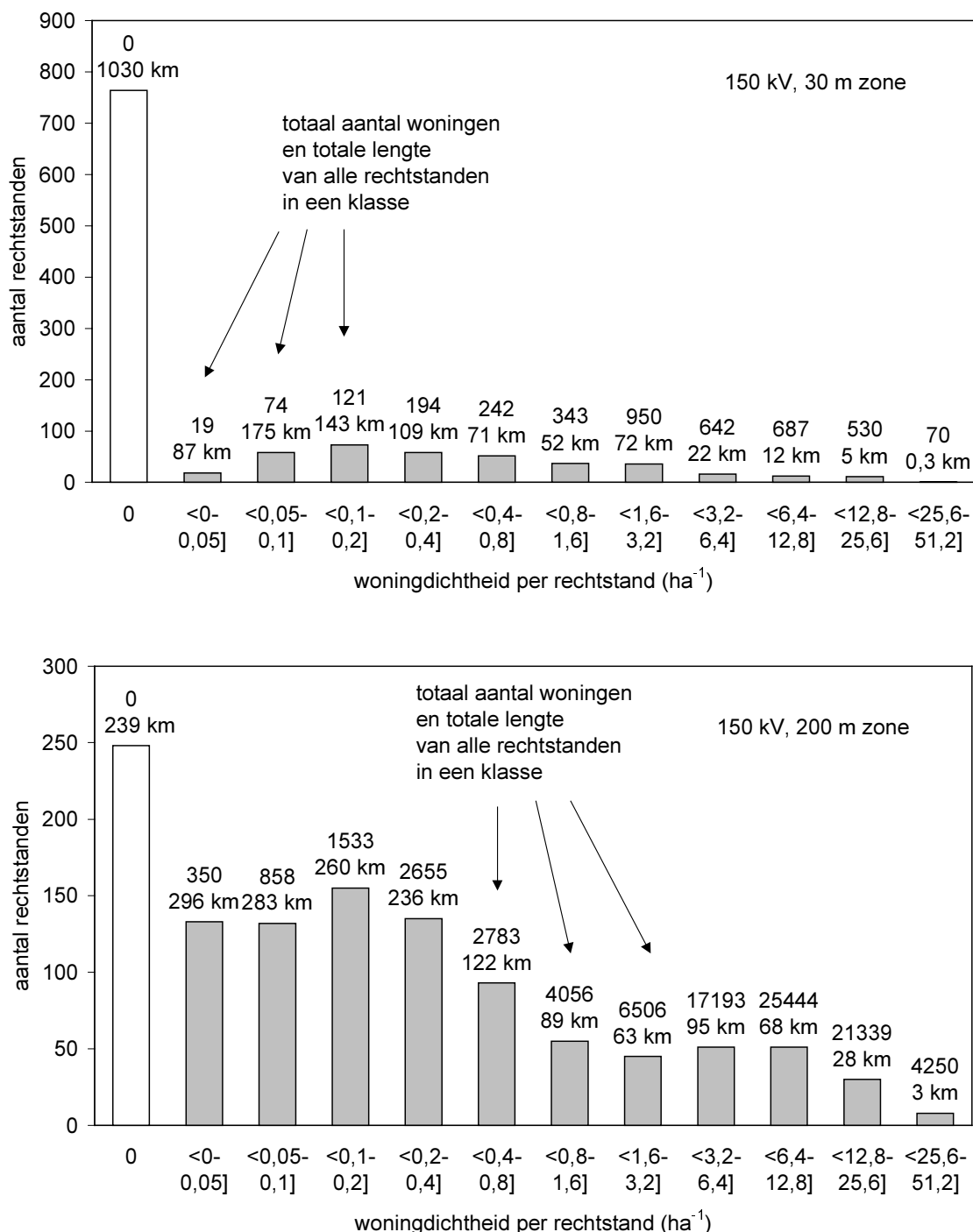
**Figuur 11** Verdeling van de lengte van de rechtstanden voor twee verschillende klasse-indelingen van de lengteschaal: lineair met stappen van 500 m (boven) en logaritmisch met een verdubbeling van de lengte (beneden)

Vervolgens zijn alle rechtstanden ingedeeld in klassen naar gelang het aantal woningen per rechtstand. Voor elke klasse zijn het aantal rechtstanden en het totale aantal woningen bepaald. Het resultaat is weergegeven in Figuur 12 voor zones van 30 en 200 m vanaf de hartlijn (halve zonebreedte). Bijlage 2 bevat overeenkomstige gegevens voor de 100 m zone. Een vanuit beleidsmatig oogpunt belangrijke grootheid die uit Figuur 12 is af te lezen, is het percentage rechtstanden zonder woningen. Bij een zone tot 30 m van de hartlijn is dit percentage 67% (764 rechtstanden) van alle 150 kV-lijnen. Bij bredere zones neemt het percentage rechtstanden zonder woningen in de zone af. Bij een zone tot 100 m van de hartlijn heeft 36% van het totaal (404 rechtstanden) geen woningen in de nabijheid (zie bijlage 2), bij 200 m 22% (248 rechtstanden). Voor de 200 m zone is dit percentage gedaald tot 21% (248 rechtstanden).



**Figuur 12** Verdeling van alle 150 kV-rechtstanden in klassen naar gelang het aantal woningen in de rechtstand

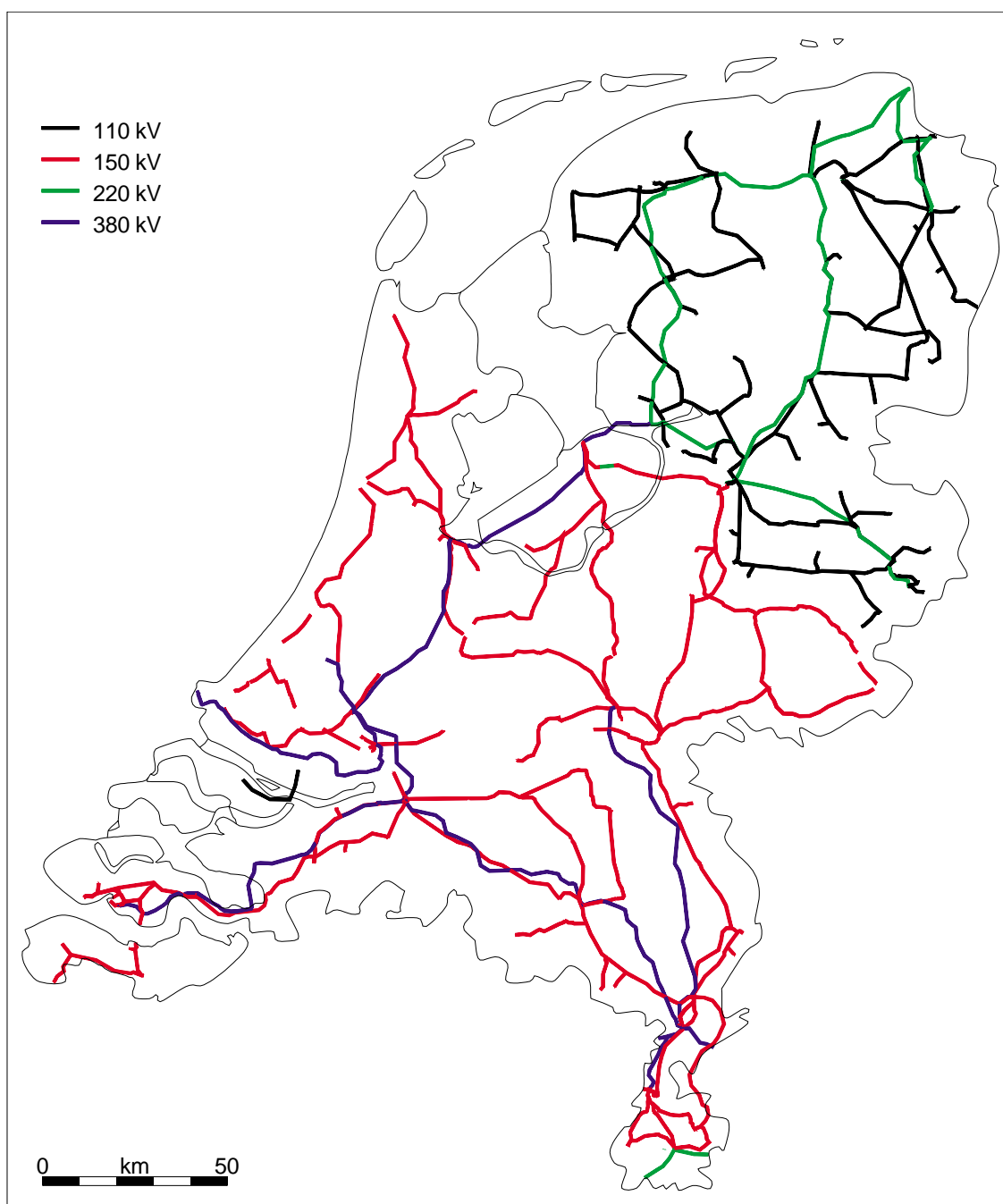
Tot slot zijn alle rechtstanden ingedeeld in klassen naar gelang de woningdichtheid per rechtstand. De berekende woningdichtheden geven aanvullende informatie over de clustering van woningen rond de hoogspanningslijnen. Figuur 13 geeft een overzicht van de verdeling van de woningdichtheid langs de 150 kV-lijnen voor de zones van 30 en 200 m van de hartlijn (voor de 100 m zone zie bijlage 2). Deze figuur geeft per woningdichtheidsklasse het aantal rechtstanden, het totale aantal woningen en de totale lengte.



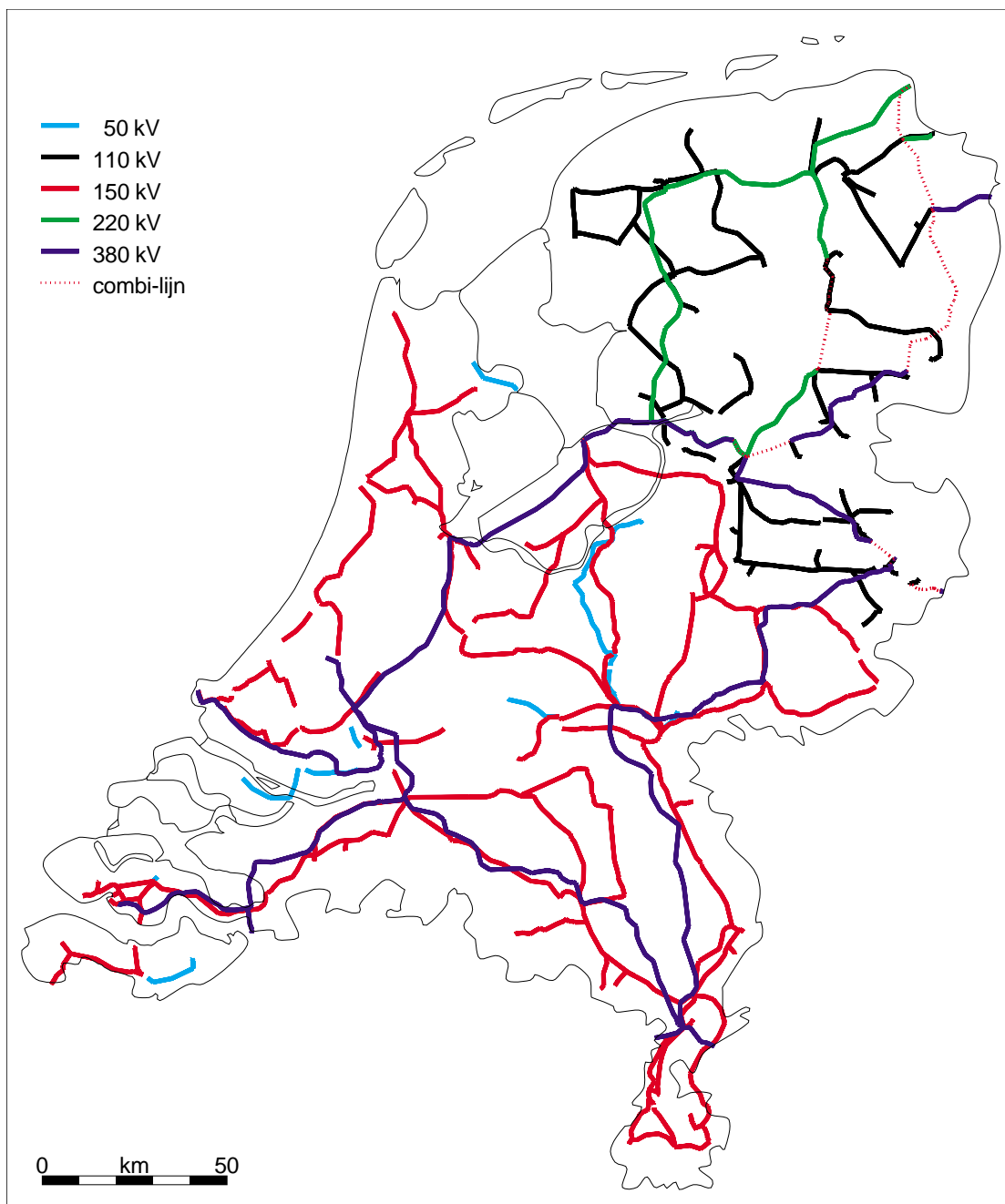
**Figuur 13** Verdeling van alle 150 kV-rechtstanden in klassen naar gelang de woningdichtheid in de rechtstand

## 5 Vergelijking met schattingen uit het verleden

In het RIVM-onderzoek naar een mogelijke relatie tussen leukemie bij kinderen en het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen [4] is op basis van gegevens voor het hoogspanningsnet in 1990 een extrapolatie gemaakt naar het aantal woningen (en aantal personen) binnen zones rond het hoogspanningsnet in 1998. In Figuur 14 en Figuur 15 wordt de situatie in 1990 vergeleken met de gegevens voor het hoogspanningsnet die nu door KEMA zijn opgesteld [8].

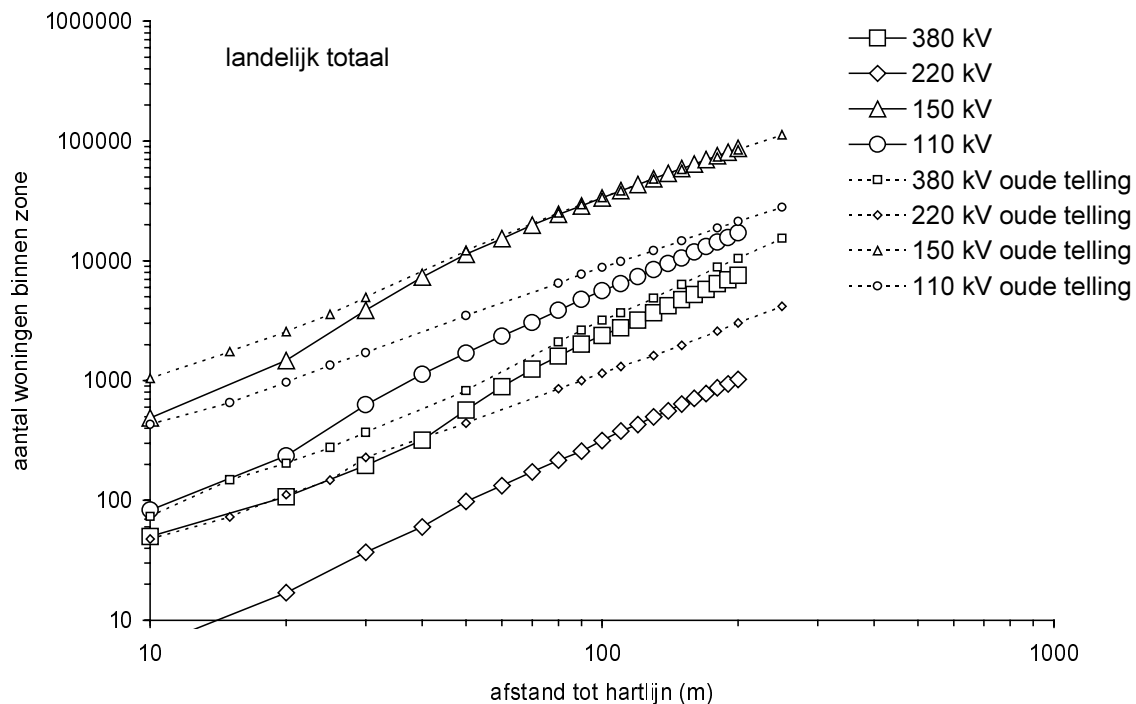


Figuur 14 De gegevens voor het Nederlandse hoogspanningsnet in 1990 [4]



*Figuur 15 Het Nederlandse hoogspanningsnet op basis van de in het kader van dit vooronderzoek gedigitaliseerde kaartinformatie [8]*

In Figuur 16 worden de resultaten van de huidige tellingen vergeleken met de resultaten van de tellingen die in het kader van het RIVM-onderzoek uit 2000 zijn uitgevoerd [4]. Het aantal woningen dat nu binnen de zone is geteld, blijkt vooral voor de 150 kV-lijnen goed overeen te komen met de oude tellingen.

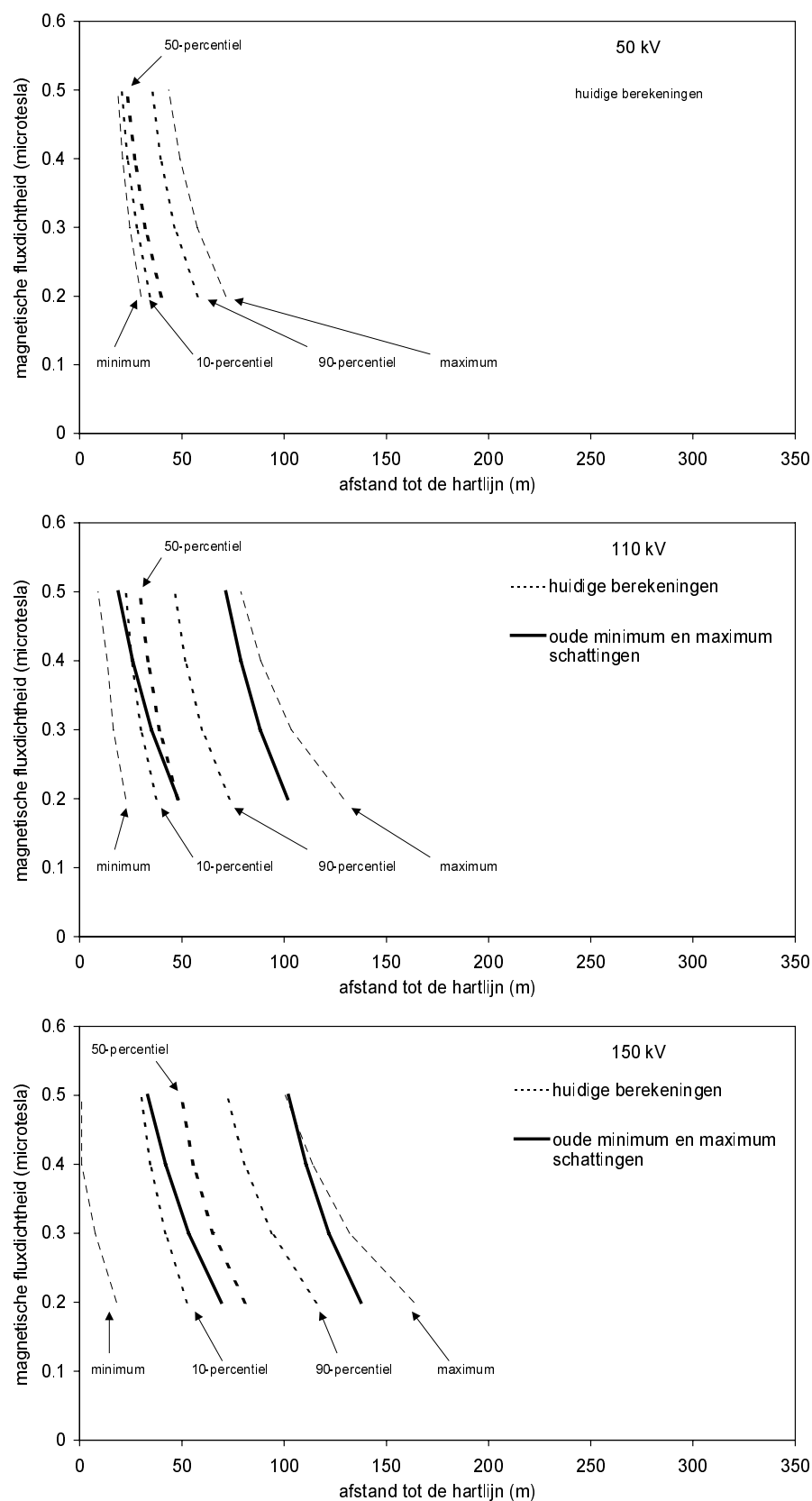


**Figuur 16** Woningtellingen in het kader van het huidige vooronderzoek vergeleken met die uit Van der Plas [4]

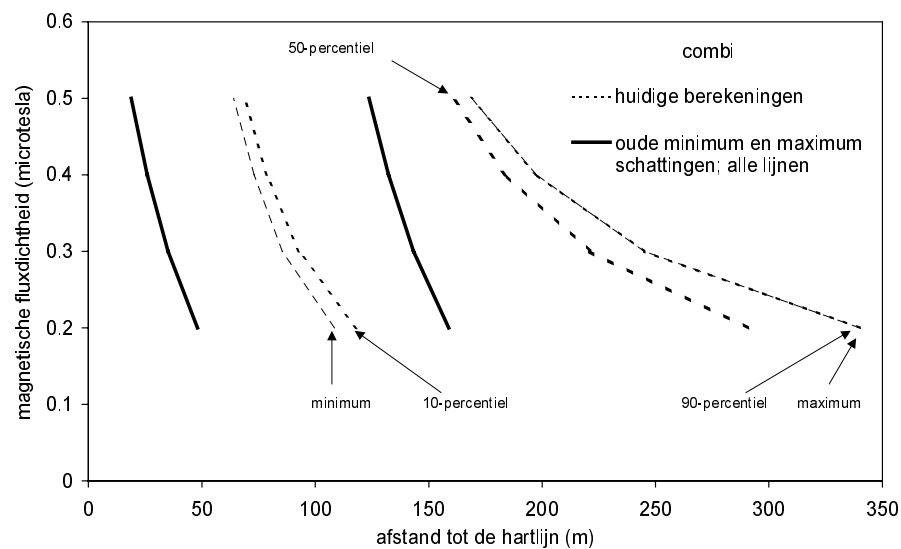
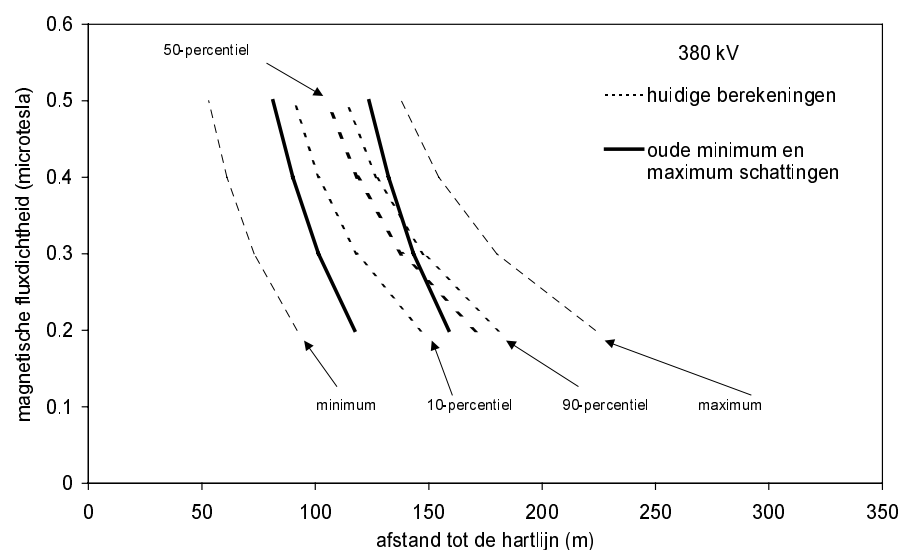
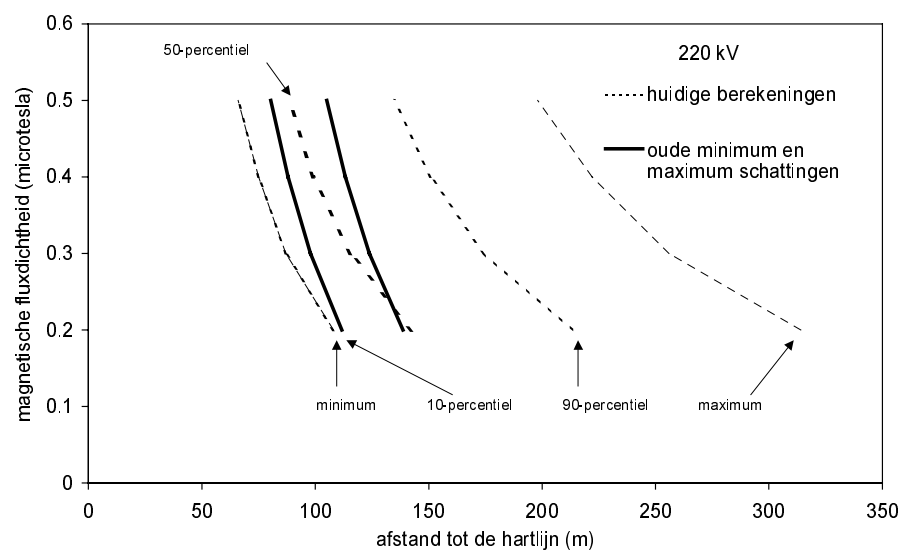
Verder is in het RIVM-onderzoek naar de relatie tussen leukemie bij kinderen en het wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen [4] de afstand tot de hoogspanningslijn gerelateerd aan de sterkte van het magnetische veld ter plekke. In het kader van het vooronderzoek heeft KEMA voor de meest voorkomende mastconfiguraties en voor een stroomsterkte gelijk aan de helft van het technisch maximum, de afstanden bepaald waarop het magnetische veld de waarden 0,2, 0,3, 0,4 en 0,5  $\mu\text{T}$  bereikt. Daarvan heeft RIVM per spanningsniveau en per waarde het maximum, het minimum en de 10-, 50- en 90-percentielwaarden bepaald. Figuur 17 geeft een vergelijking van deze waarden met de minimum en maximum schattingen die RIVM in het verleden heeft gehanteerd [4]. De mediane waarde (50-percentiel) van de huidige berekeningen blijkt in de meeste gevallen dichterbij de oude minimum schatting dan de oude maximum schatting te liggen. Voor de combi-lijnen ligt het 50-percentiel volgens de huidige berekeningen aanzienlijk hoger dan de oude maximum schatting. Ook waarden lager dan de oude minimum schatting zijn in enkele gevallen mogelijk.

Concluderend kan worden vastgesteld dat op basis van de update van de gegevens voor het hoogspanningsnet en de hernieuwde, meer gedetailleerde berekeningen van het magnetische veld door KEMA, geen grote verschuiving in de schatting voor het mogelijk aantal extra gevallen van leukemie bij kinderen [4] is te verwachten. Aan de ene kant wijst het feit dat in de meeste gevallen de mediane schatting dichterbij de oude minimum schatting ligt op een verlaging van het mogelijke extra risico. Aan de andere kant suggereert het feit dat de mediane schatting voor de combi-lijnen aanzienlijk hoger is, en de toevoeging van de woningen rond de 50 kV-lijnen een verhoging van het extra risico. Echter, hoe deze invloeden in het totaal aantal woningen in de magneetveldzones rond het Nederlandse hoogspanningsnet doorwerken hangt af van de lokale situatie rond de specifieke lijnen. Dit vergt nader onderzoek.





**Figuur 17** Het verband tussen de sterkte van het magnetische veld en de afstand tot de hartlijn: vergelijking van de huidige schattingen met de minimum en maximum schattingen die RIVM in het verleden heeft gehanteerd [4]



Figuur 17 (vervolg)

## 6 Discussie

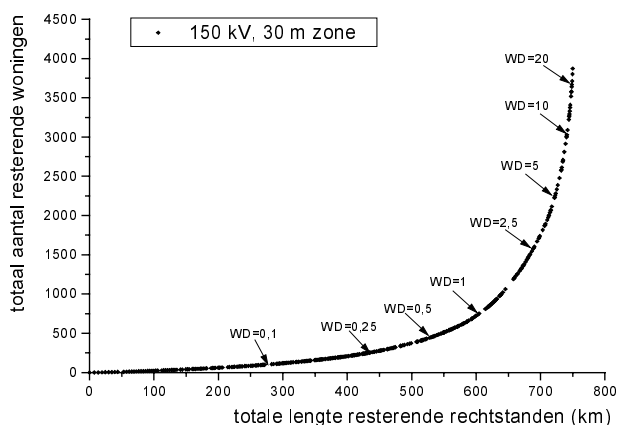
Het vooronderzoek is er op gericht hoe de aantallen woningen rond de bovengrondse hoogspanningslijnen in Nederland op een kosten-effectieve manier zouden kunnen worden gereduceerd. Als reductie van de blootstelling aan magnetische velden beleidsdoel is en er veel woningen langs een rechtstand staan (hoge woningdichtheid), dan is het vermoedelijk goedkoper de hoogspanningslijn aan te pakken. Staan er slechts enkele woningen langs de lijn (lage woningdichtheid) dan ligt verplaatsen van de woningen meer voor de hand. De volgende methode wordt voorgesteld om beter inzicht in deze mogelijkheden te krijgen. Vooralsnog beperkt de methode zich tot maatregelen die het aantal woningen langs de rechtstand effectief tot 0 terug brengen. Bijvoorbeeld verplaatsen van de rechtstand naar een traject zonder woningen, of verkabelen zodat er geen woningen meer aan magnetische veldsterkten boven de referentiewaarden worden blootgesteld.

Per spanningsniveau en per zone heeft elke rechtstand een lengte, een woningaantal binnen de zone en een woningdichtheid. Omdat voor rechtstanden zonder woningen in de zone reductie niet van toepassing is blijven deze buiten beschouwing. Alle overige rechtstanden zijn per spanningsniveau gesorteerd naar afnemende woningdichtheid. De laatste rechtstand in de gesorteerde reeks is meestal de langste rechtstand met één woning in de zone. Vervolgens is voor elke woningdichtheid in deze gesorteerde reeks rechtstanden de totale lengte van alle rechtstanden met woningdichtheid lager dan of gelijk aan de gekozen waarde bepaald. Deze totale lengte wordt de ‘totale lengte resterende rechtstanden’ genoemd. Tenslotte is bij de gekozen waarde van de woningdichtheid het totale aantal woningen binnen de zone voor alle rechtstanden met woningdichtheid lager dan of gelijk aan de gekozen waarde bepaald. Deze grootte wordt het ‘totale aantal resterende woningen’ genoemd.

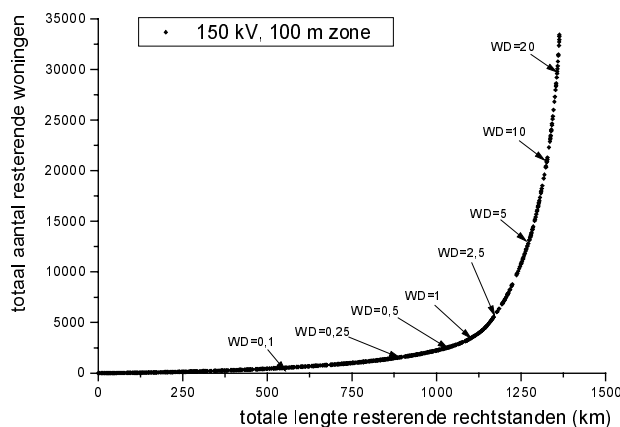
Figuur 18 tot en met Figuur 20 geven het verband tussen het resterende aantal woningen en de resterende lengte van de rechtstanden voor de 30, 100 en 200 m zones langs de 150 kV-lijnen. Figuur 27 tot en met Figuur 29 in Bijlage 2 geven hetzelfde verband voor de 100 m zone rond de 50, 110, 220 en 380 kV en de combi-lijnen.

Voor maatregelen aan een rechtstand waar de woningdichtheid hoog is, daalt het aantal resterende woningen sterk, terwijl de lengte van de resterende rechtstanden weinig afneemt. Voor de 100 m zone rond de 150 kV-lijnen bijvoorbeeld, is de woningreductie ruim 3600 woningen als 6 km rechtstand (de 10 rechtstanden met woningdichtheid >20 woningen per ha) wordt aangepakt. Voor een reductie met 10.000 woningen (startend bij de hoogste woningdichtheid) zijn maatregelen langs zo’n 25 km nodig. Als het resterende aantal woningen binnen de 100 m zone nog 10.000 is, moet 1250 km rechtstanden worden aangepakt om dit tot 0 te reduceren. Met andere woorden, de woningen zijn inhomogeen over de rechtstanden verdeeld. Zo bevindt zich bijvoorbeeld 50% van de woningen in de 100 m zone rond 150 kV-lijnen binnen 3,5% (62 km) van de totale lengte van het 150 kV net.

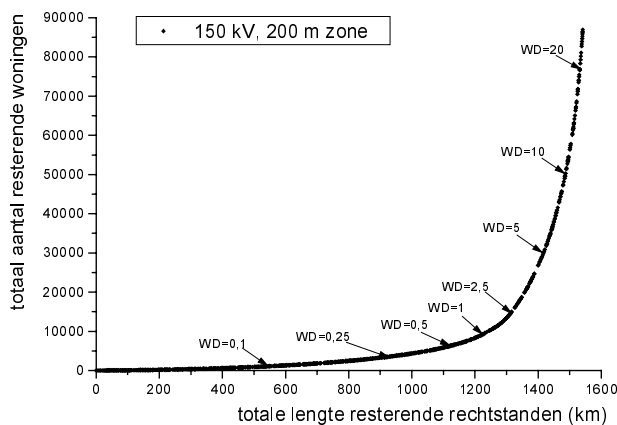
De geschetste benadering heeft wel beperkingen. Niet op elke locatie kunnen maatregelen worden getroffen zodat er geen woningen in de zone overblijven. In steden is er niet altijd een nieuwe plek voor de lijn beschikbaar waar geen woningen staan. Ook verkabelen van de rechtstand reduceert het aantal woningen in de zone niet altijd tot 0. De reductie zoals die bijvoorbeeld in Figuur 19 is geschetst, zal dus in feitelijke situaties minder kunnen bedragen.



**Figuur 18** Afname in aantal resterende woningen als functie van de totale lengte van de resterende rechtstanden, voor de zone tot 30 m van de hartlijn (de 1030 km rechtstanden zonder woningen zijn niet weergegeven; WD = woningdichtheid per hectare)



**Figuur 19** Afname in aantal resterende woningen als functie van de totale lengte van de resterende rechtstanden, voor de zone tot 100 m van de hartlijn (de 417 km rechtstanden zonder woningen zijn niet weergegeven; WD = woningdichtheid per hectare)



**Figuur 20** Afname in aantal resterende woningen als functie van de totale lengte van de resterende rechtstanden, voor de zone tot 200 m van de hartlijn (de 239 km rechtstanden zonder woningen zijn niet weergegeven; WD = woningdichtheid per hectare)

## 7 Conclusies

Binnen het vooronderzoek zijn woningaantallen in zones tot 200 m van de hartlijn, rond de hoogspanningslijnen bepaald.

- In Nederland bevinden zich ruim 120.000 woningen binnen 200 m van een hoogspanningslijn. Binnen een afstand van 100 m zijn dit er 45.000. De woningen zijn niet homogeen verdeeld, maar sterk geclusterd rond bepaalde trajecten van het bovengrondse hoogspanningsnet.
- De berekende woningaantallen vormen een geschikt uitgangspunt voor de beschrijving van de huidige situatie en voor de evaluatie van de effecten van technische maatregelen. Aangevuld met de magnetische veldsterktes rond de lijnen kunnen de woningaantallen als basis dienen voor nader beleid met betrekking tot gezondheidseffecten van magnetische velden rond bovengrondse hoogspanningslijnen.
- De onnauwkeurigheid in de locaties van woningen en hoogspanningsmasten is gering. Vergelijken van de hoogspanningslijnen uit dit onderzoek, met een selectie van masten waarvan de positie zeer nauwkeurig bekend is, gaf goede overeenstemming. Minimaal 80% - 90% van de masten (afhankelijk van het spanningsniveau) bevindt zich op minder dan 10 m van een hoogspanningslijn uit het bestand. Bij vergelijken van de posities van woningen in het woningenbestand met videobeelden (een traject van 100 km rond 150 kV lijnen) bleek meer dan 99% van de woningen op de berekende positie te worden aangetroffen.
- De gehanteerde methode resulteert op nationaal niveau in betrouwbare schattingen van de aantallen woningen rond bovengrondse hoogspanningslijnen. Dit komt enerzijds door de geringe onnauwkeurigheid in de locaties en anderzijds doordat locatie-onnauwkeurigheden bij berekeningen over grote gebieden uitmiddelen.
- De nieuwe gegevens voor het hoogspanningsnet, de nieuwe woningtellingen en de KEMA-berekeningen van het magnetische veld stemmen in grote lijnen overeen met resultaten uit het verleden. Daarom is het niet waarschijnlijk dat er grote veranderingen optreden in de schatting die RIVM in 2001 heeft opgesteld voor het mogelijk aantal extra gevallen van leukemie bij kinderen. Het verdient aanbeveling de invloed van de nieuwe gegevens op de risicoschatting nader te onderzoeken.
- Sorteren van rechtstanden naar afnemende woningdichtheid laat zien waar maatregelen over het kortste stuk hoogspanningslijn de grootste reductie in het aantal woningen rond de lijn opleveren.

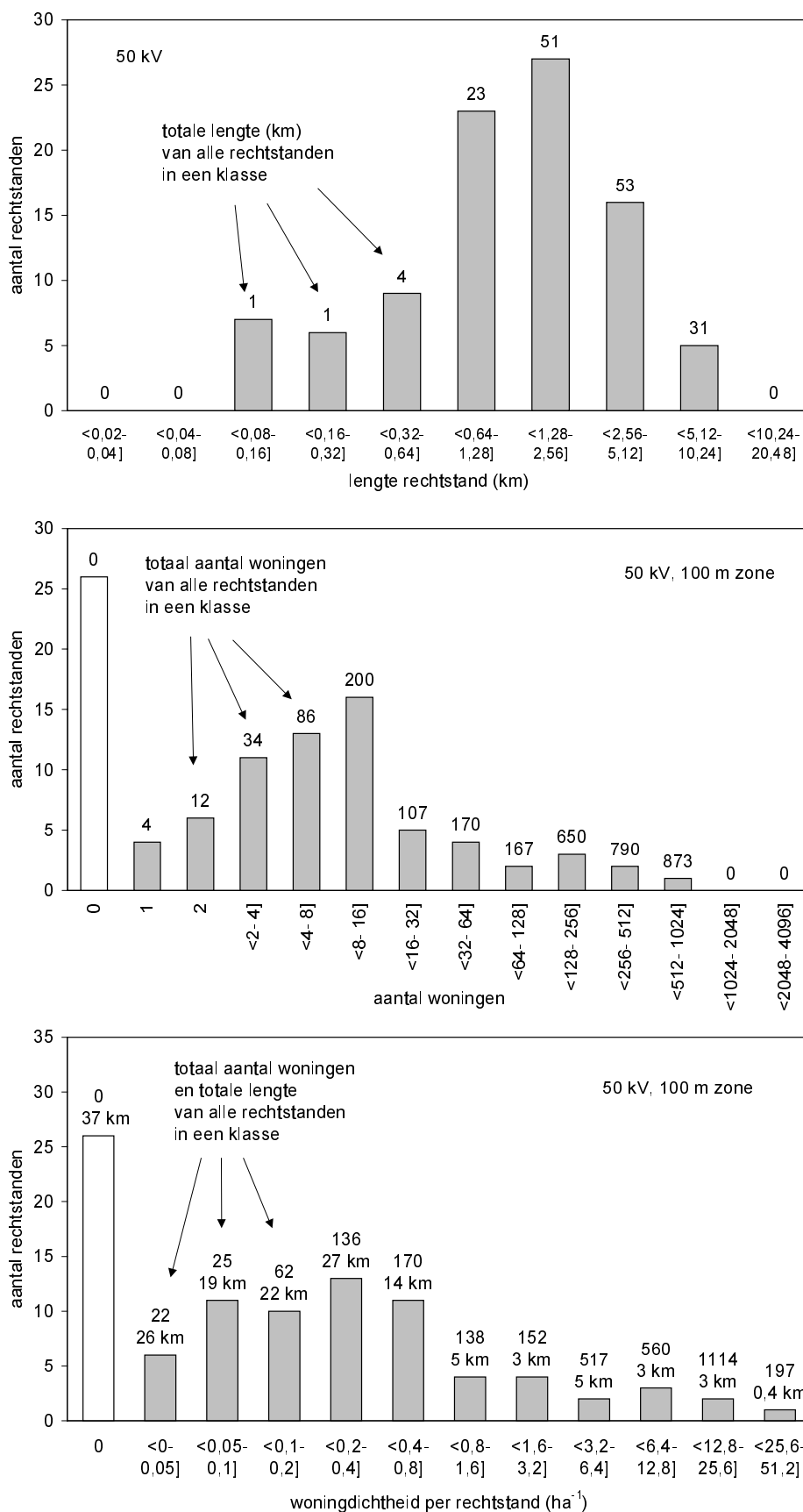
## Referenties

- 1 Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol. 1979; 109(3):273-84.
- 2 Gezondheidsraad. Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad, 1992; 1992/07.
- 3 Commissie ELF elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz). Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; 2000/6.
- 4 Van der Plas M, Houthuijs DJM, Dusseldorp A, Pennders RMJ en Pruppers MJM, Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen, RIVM rapport 610050007. RIVM, Bilthoven, 2001.
- 5 NMP4. Nationaal Milieubeleids Plan 4. Een wereld en een wil: werken aan duurzaamheid. Ministerie van VROM, Den Haag, september 2001.
- 6 Raad van de Europese Gemeenschappen. Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz - 300 GHz. Publicatieblad Van De Europese Gemeenschappen 1999; 1999/519/EG.
- 7 Circulaire inzake extreem laagfrequente elektrische en magnetische velden (ELF velden). Den Haag: Ministerie van VROM, publicatie nr 94661/h/1-95, 1 januari 1995.
- 8 KEMA. Kostenanalyse van de technische maatregelen ter beperking magnetische velden nabij bovengrondse hoogspanningslijnen (vooronderzoek). Deel 1 Samenvatting (40130074-TDC 02-25766A), Deel 2 Uitgangspunten voor magnetische veldberekeningen en inventarisatie beperkende maatregelen (40130074-TDC 02-25715A) en Deel 4 Kosten en baten analyse (40130074-TDC 02-25806A). KEMA, Arnhem, 2002.

## **Bijlage 1 Verzendlijst**

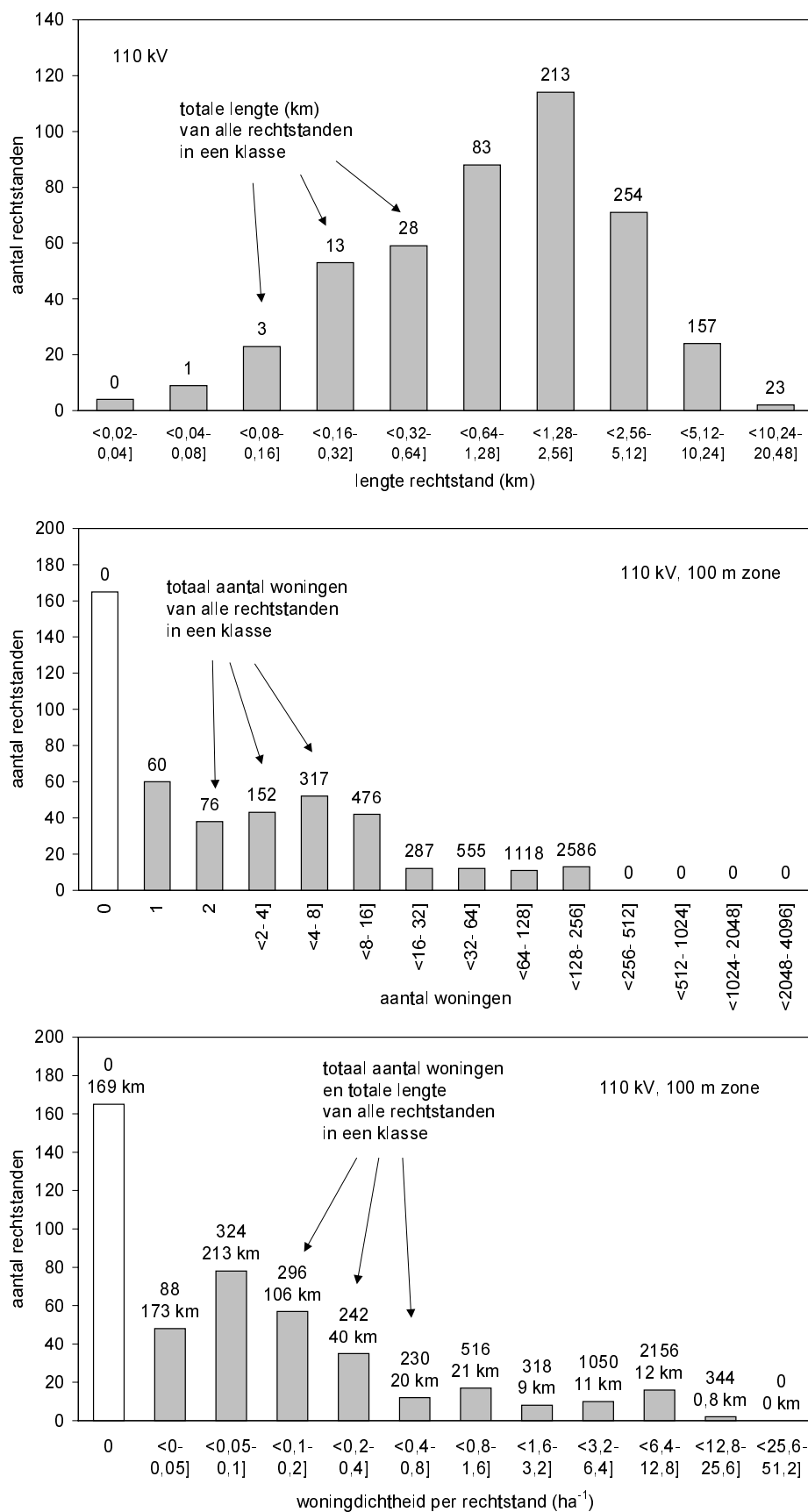
1-10	Directeur van de Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling
11	Plaatsvervangend Directeur-Generaal Milieubeheer
12-21	KEMA
22	Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
23	Directie RIVM
24	Directeur Sector Risico's, Milieu en Gezondheid
25	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
26	Hoofd van de LSO-afdeling Risicoanalyses en Modelonderzoek
27-29	Auteurs
30	SBC/Communicatie
31	Bureau Rapportenregistratie
32	Bibliotheek RIVM
33	Bibliotheek LSO
34-48	Bureau Rapportenbeheer
49-60	Reserve-exemplaren LSO

## Bijlage 2 Resultaten voor alle spanningsniveaus

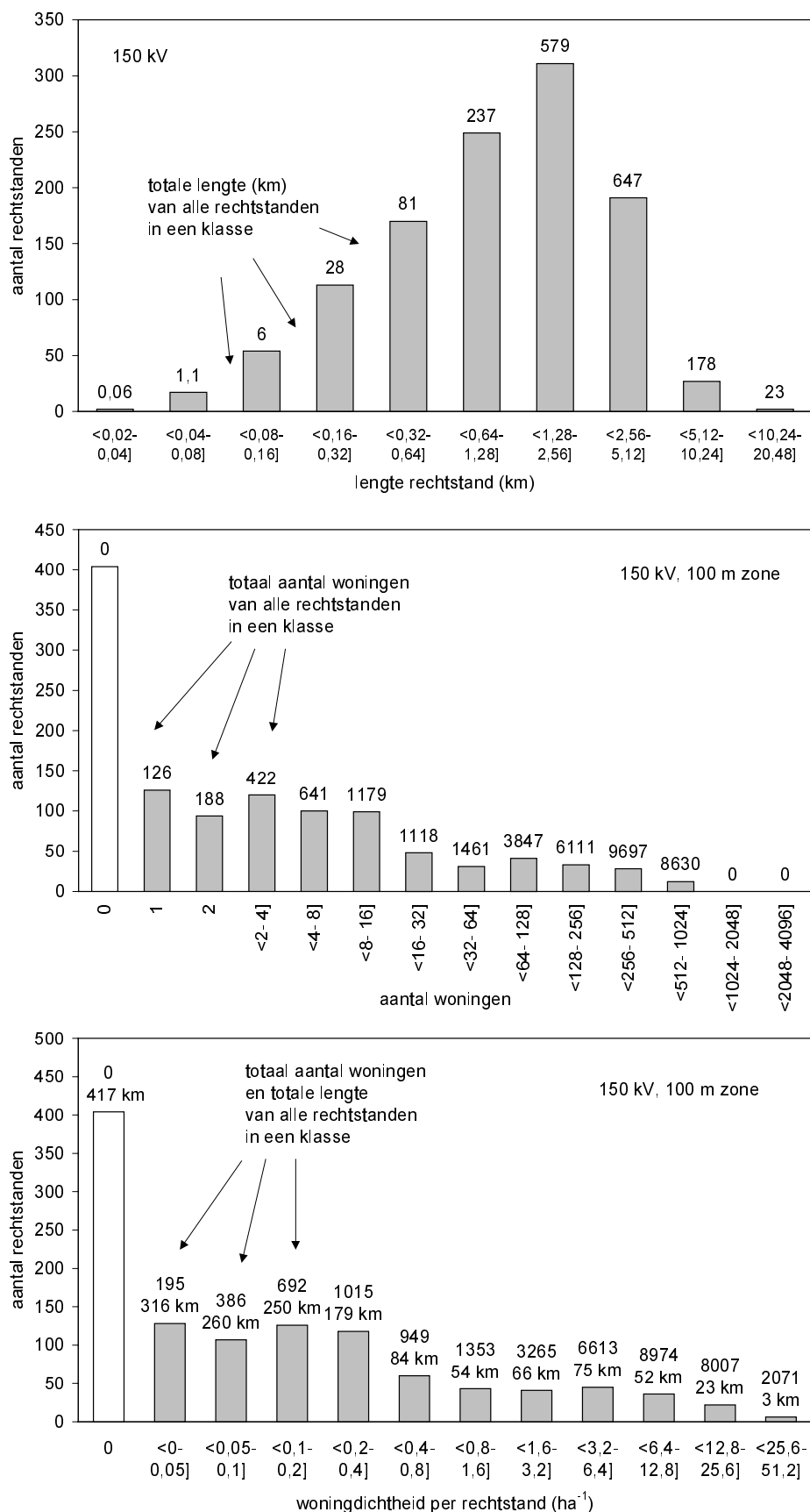


**Figuur 21** Verdeling van de 50 kV-rechtstanden naar gelang de lengte van de rechtstand, het aantal woningen per rechtstand en de woningdichtheid per rechtstand

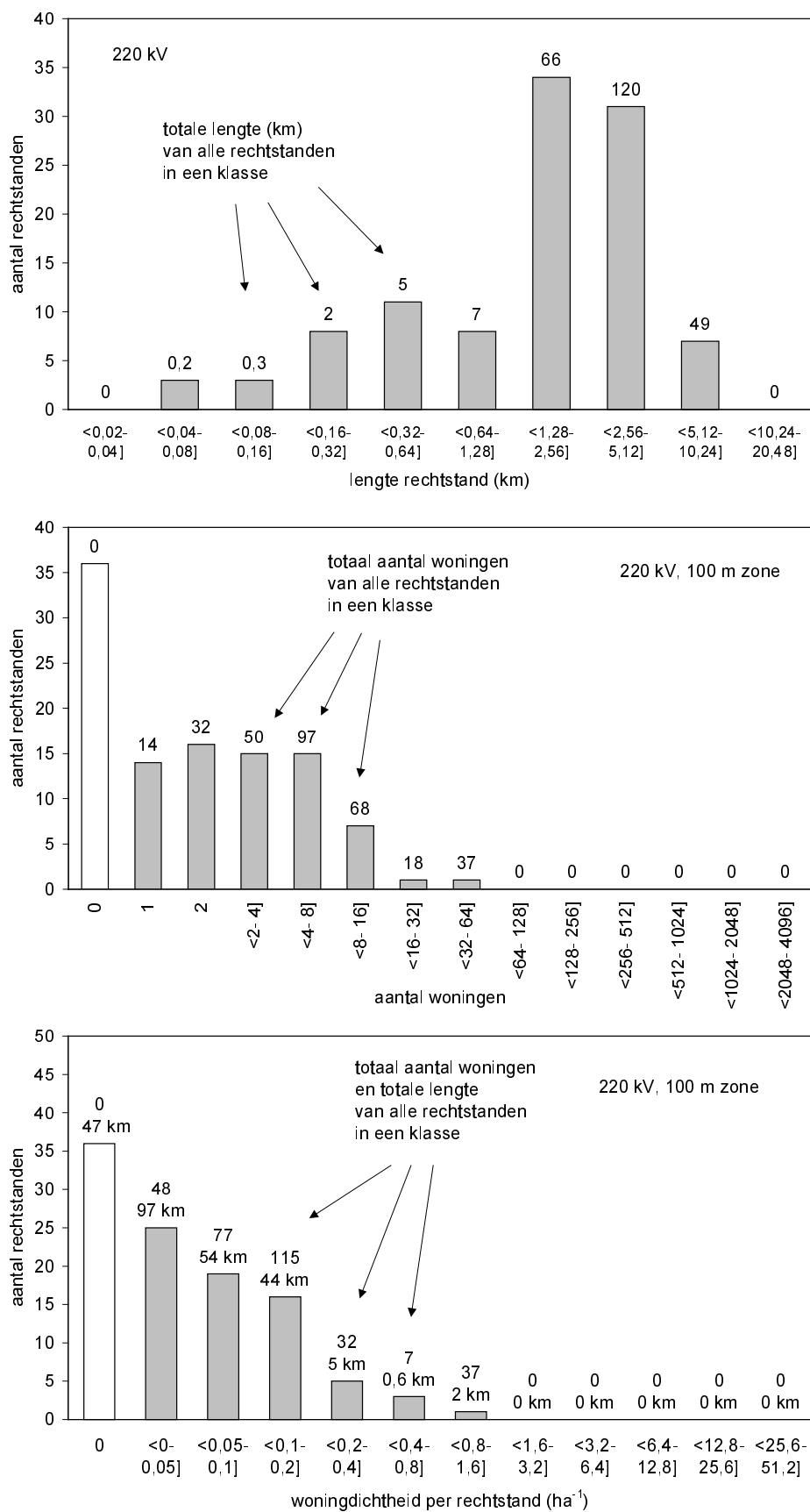




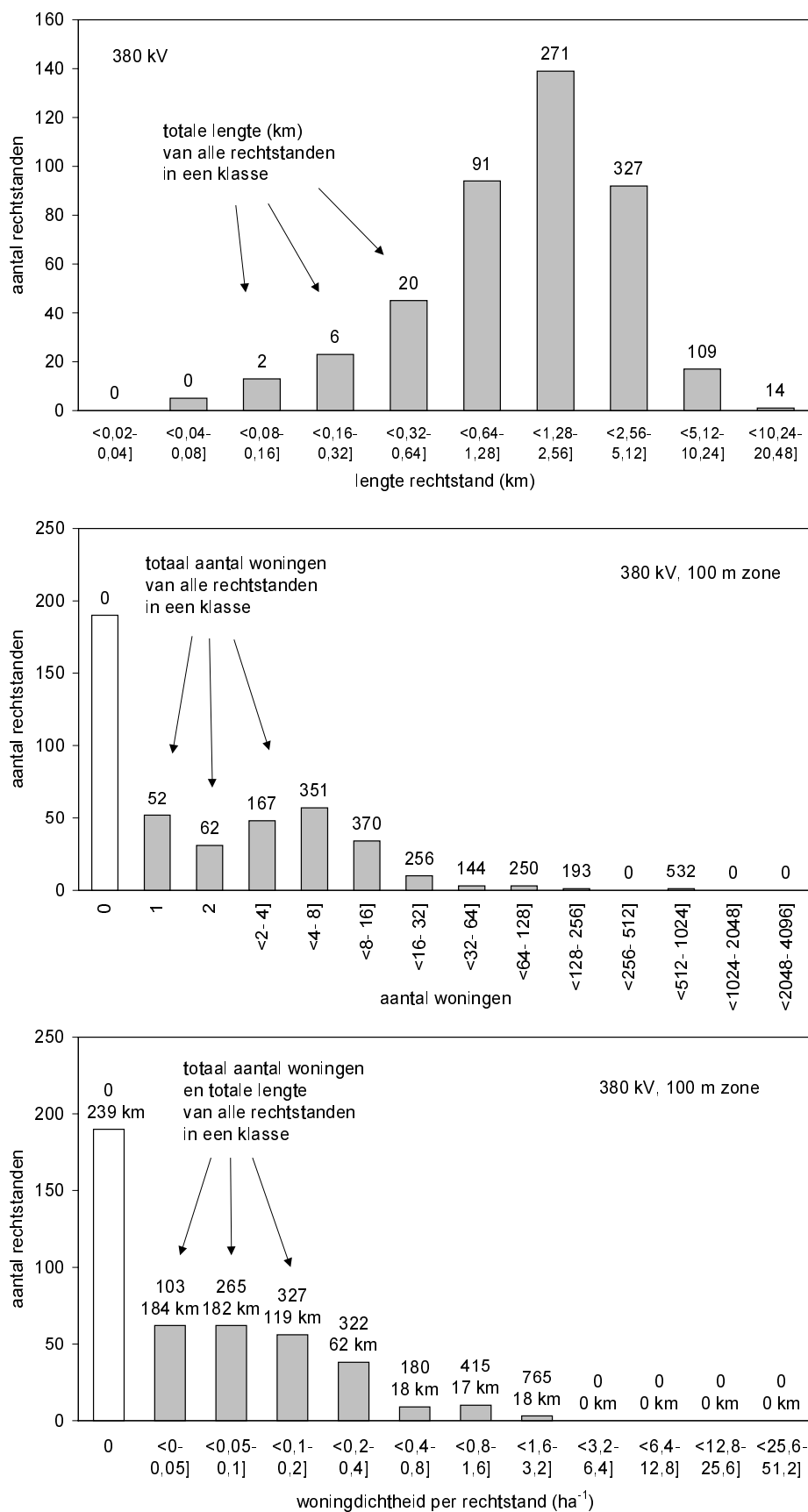
**Figuur 22** Verdeling van de 110 kV-rechtstanden naar gelang de lengte van de rechtstand, het aantal woningen per rechtstand en de woningdichtheid per rechtstand



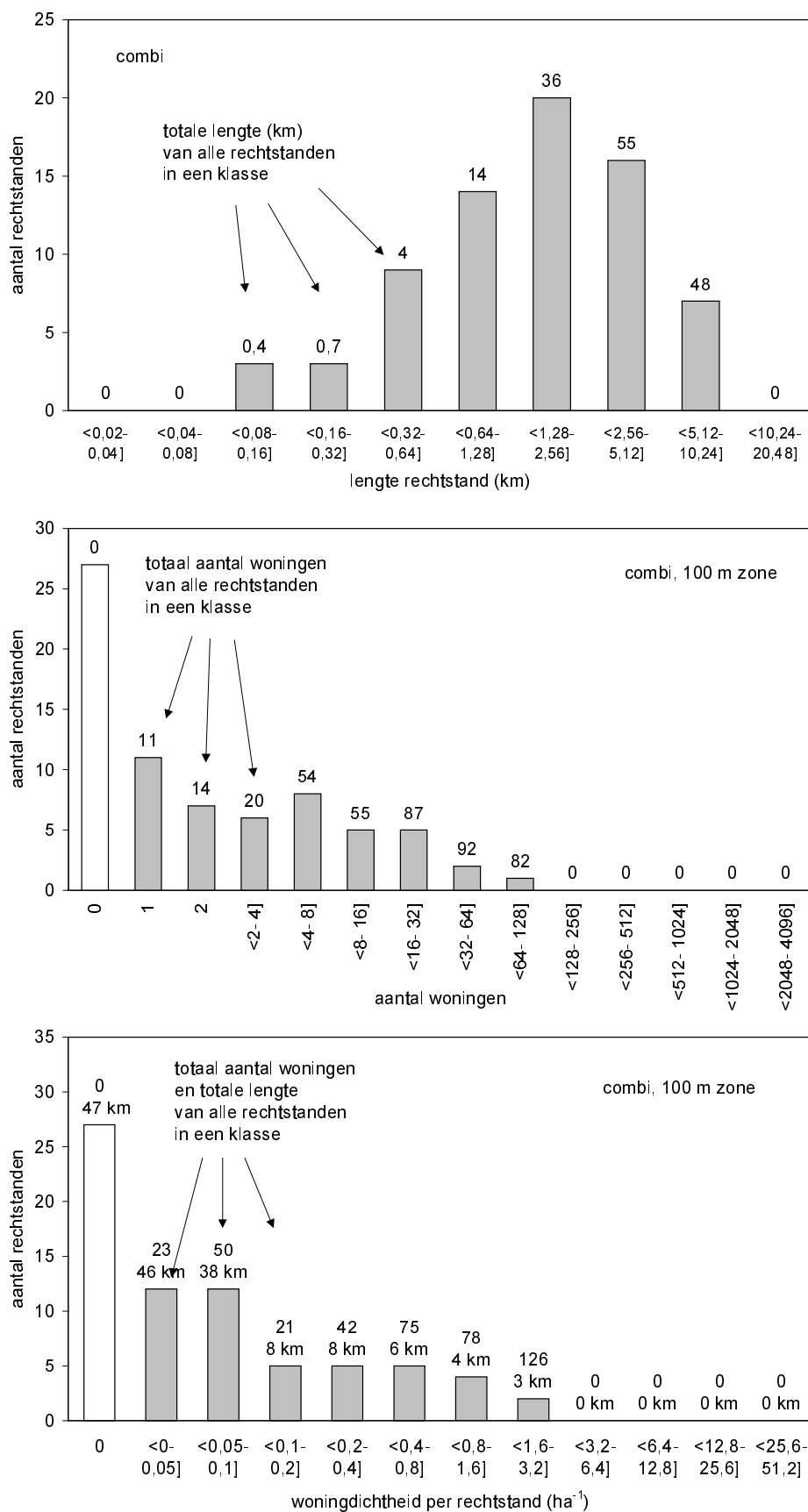
**Figuur 23** Verdeling van de 150 kV-rechtstanden naar gelang de lengte van de rechtstand, het aantal woningen per rechtstand en de woningdichtheid per rechtstand



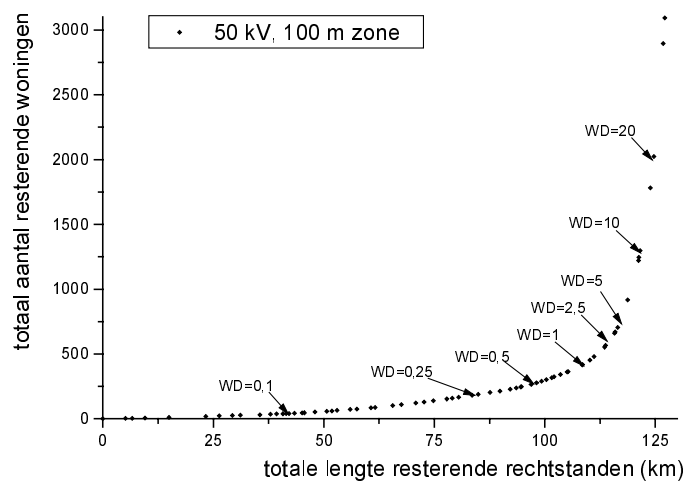
**Figuur 24** Verdeling van de 220 kV-rechtstanden naar gelang de lengte van de rechtstand, het aantal woningen per rechtstand en de woningdichtheid per rechtstand



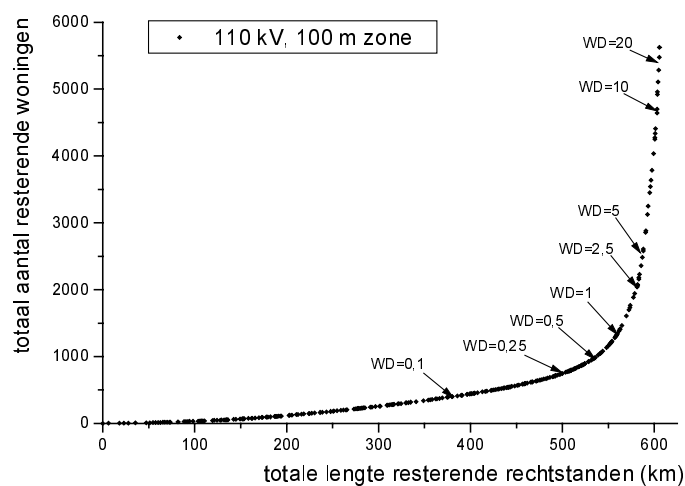
**Figuur 25** Verdeling van de 380 kV-rechtstanden naar gelang de lengte van de rechtstand, het aantal woningen per rechtstand en de woningdichtheid per rechtstand



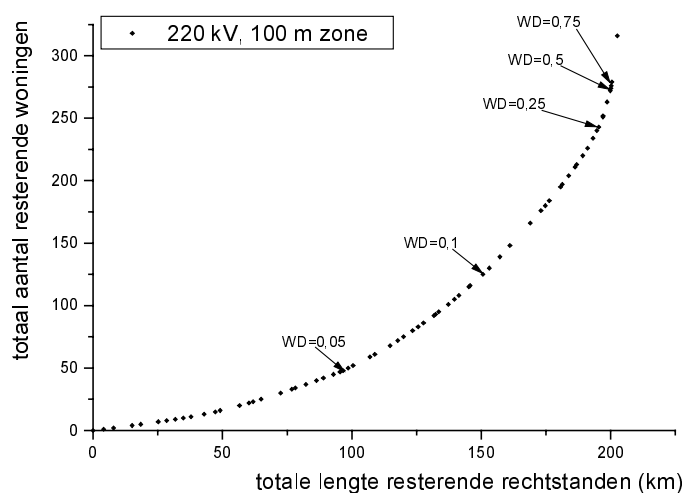
**Figuur 26** Verdeling van de rechtstanden in combi-lijnen naar gelang de lengte van de rechtstand, het aantal woningen per rechtstand en de woningdichtheid per rechtstand



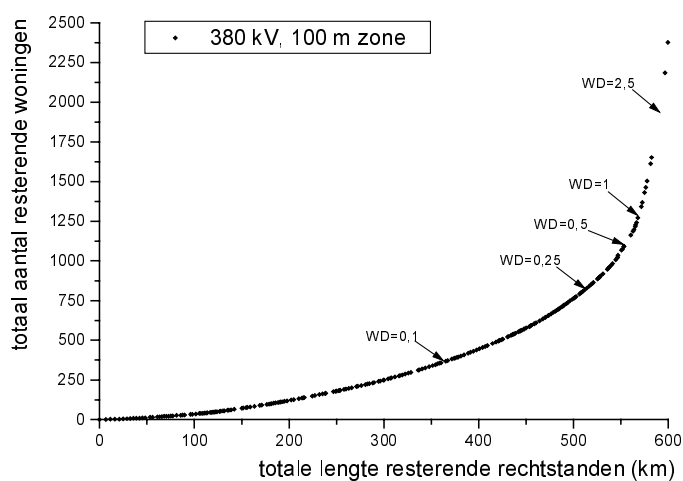
**Figuur 27** Afname in aantal resterende woningen als functie van de totale lengte van de resterende rechtstanden, voor de 100 m zone rond de 50 kV-lijnen (de 37 km rechtstanden zonder woningen zijn niet weergegeven; WD = woningdichtheid per hectare)



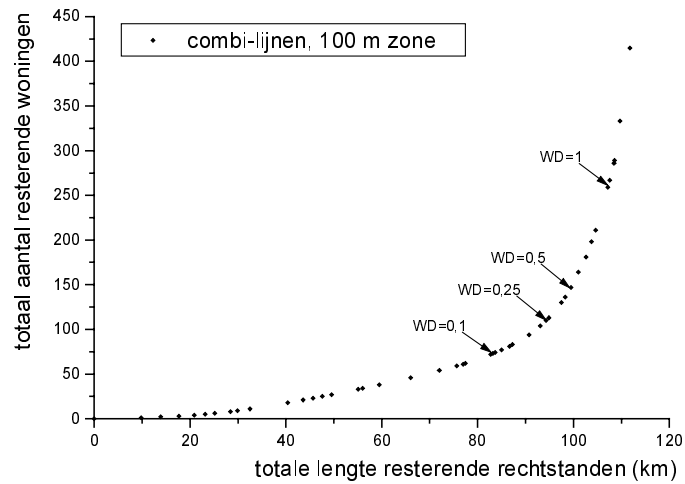
**Figuur 28** Afname in aantal resterende woningen als functie van de totale lengte van de resterende rechtstanden, voor de 100 m zone rond de 110 kV-lijnen (de 169 km rechtstanden zonder woningen zijn niet weergegeven; WD = woningdichtheid per hectare)



**Figuur 29** Afname in aantal resterende woningen als functie van de totale lengte van de resterende rechtstanden, voor de 100 m zone rond de 220 kV-lijnen (de 47 km rechtstanden zonder woningen zijn niet weergegeven; WD = woningdichtheid per hectare)



**Figuur 30** Afname in aantal resterende woningen als functie van de totale lengte van de resterende rechtstanden, voor de 100 m zone rond de 380 kV-lijnen (de 239 km rechtstanden zonder woningen zijn niet weergegeven; WD = woningdichtheid per hectare)



**Figuur 31** *Afname in aantal resterende woningen als functie van de totale lengte van de resterende rechtstanden, voor de 100 m zone rond de combi-lijnen (de 47 km rechtstanden zonder woningen zijn niet weergegeven; WD = woningdichtheid per hectare)*