

# In vivo dosimetry using MOSFET detectors in radiotherapy

Citation for published version (APA):

Bloemen - van Gulp, E. J. (2009). *In vivo dosimetry using MOSFET detectors in radiotherapy*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20091030eb>

## Document status and date:

Published: 01/01/2009

## DOI:

[10.26481/dis.20091030eb](https://doi.org/10.26481/dis.20091030eb)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## IN VIVO DOSIMETRY IN RADIOTHERAPY

In this thesis, an overview is provided of MOSFET applications in various fields of radiotherapy. The pilot studies described in this thesis resulted in the implementation of *in vivo* dosimetry in routine clinical practice. The various steps in this process starting with the calibration of the detector, the phantom measurements to test the procedure and finally the patient measurements were described for a wide range of applications in both internal and external beam radiotherapy.

### *In vivo* dosimetry as part of a routine quality assurance PROGRAMME

In **chapter 3** we describe the use of MOSFET dosimeters for entrance *in vivo* dose verification in electron beams. The goal of this study was to design a method for routine entrance *in vivo* dose verification, without build-up material on the detector, to prevent the target volume from shadowing effects of the build-up material. In this procedure, we convert surface readings of the detector to absolute dose values at depth of dose maximum, using conversion factors obtained by a comprehensive set of phantom measurements. In this procedure the MOSFET reading, converted to dose at depth of dose maximum, was compared to the dose prescribed at this depth. An additional correction for the distance between the surface and the applicator, a correction for fields having sides smaller than 6 cm and for irregular field shape is recommended in this procedure for accurate dose determination. The procedure was tested in clinical practice for 40 patients, mostly treated for breast tumours. The results demonstrated deviations from the prescribed dose with a mean difference of -0.7% and a standard deviation of 2.9%. From this study it can be concluded that performing dose measurements with MOSFET detectors placed on the patient's skin without additional build-up is a well suited technique for routine dose verification in electron beams if appropriate conversion and correction factors are applied.

### *In vivo* dosimetry as a tool to validate a new treatment technique

In **chapters 2** and **4** results are presented of studies of *in vivo* dose measurements to validate a new treatment technique in clinical practice.

The first goal of the study described in **chapter 2** was to determine the accuracy of MOSFET measurements for dose determinations in a junction field technique using half beams. The second goal was to evaluate the dose distribution across the split line using MOSFET dosimeters. The results obtained from a comprehensive set of phantom measurements using MOSFET detectors, were compared to the results of ionisation chamber and photographic film measurements. Next, the influence of factors related to the mechanical properties and QA procedures of the linear accelerator were discussed. These results were used to evaluate patient measurements, where the

accuracy of the junction was determined on 5 patients receiving loco-regional treatment of breast cancer during 10 treatment fractions. From this study we concluded:

- (1) significant dose deviations in the junction area average out over repeated treatments;
- (2) a single measurement in the junction area should not lead to any action;
- (3) the linac QA procedure to check the dose at the junction line should simulate the clinical situation as much as possible;
- (4) MOSFET dosimeters overestimate dose values in the penumbra region.

In the study described in **chapter 4**, *in vivo* dosimetry was used to verify a new 3-dimensional (3D)-dose calculation procedure of our Total Body Irradiation (TBI) technique. To obtain relevant dose calculation information, a total body CT scan was performed and loaded into our commercial Treatment Planning System (TPS). A 3D-dose distribution was generated, after the initial validation of this TPS for extended distance radiotherapy. To verify the new procedure in the clinic, *in vivo* dosimetry was performed for 5 patients, at five locations on the patient's body. Entrance and exit dose values were converted to midline doses, using conversion factors previously determined with phantom measurements. These measurements demonstrated that MOSFET and TLD dose values agreed within 3.0%, and MOSFET and TPS data even within 0.5%. The convolution algorithm of the TPS, which is routinely applied in the clinic, overestimated the dose in the lung region. Using a superposition algorithm reduced the calculated lung dose with approximately 3%. The dose inhomogeneity predicted by the TPS can be reduced by using a simple IMRT technique. From this chapter, we conclude that:

- (1) using a TPS for dose calculation of TBI gives good insight in over- and under-dosage in the patient and the influence of patient positioning on dose homogeneity;
- (2) MOSFETs are suitable dosimeters for *in vivo* dosimetry purposes during TBI if appropriate conversion factors are applied.

### ***In vivo* dosimetry to check the dose in organs at risk**

In **chapters 5** and **6** the application of MOSFET dosimeters for dose verification in organs at risk during brachytherapy is described.

In **chapter 5** results are presented of a study of a new linear 5-MOSFET-array dosimeter for *in vivo* dose verification of permanent prostate implants using <sup>125</sup>I. Phantom measurements were carried out to validate the measurement technique, to determine the measurement accuracy and to define action levels for clinical measurements. Patient measurements were performed directly after the implantation procedure. A MOSFET-array was placed in the urinary catheter, in order to provide useful information about the actual dose in the urethra, to evaluate the implantation

technique, to evaluate the accuracy of the TPS and to link dose distributions in OARs to clinical side effects. A CT-scan was made and dose values, calculated by the treatment planning system, were compared to *in vivo* dose values measured with MOSFET-dosimeters. The *in vivo* results were corrected for temperature dependence of the MOSFET-array response and photon attenuation in the catheter. *In vivo* dose values were obtained for 17 patients. In the high dose region (>100 Gy) calculated and measured dose values agreed within 1.7 %  $\pm$ 10.7 % (1SD). In the low dose region outside the prostate (<100 Gy) larger deviations occurred. From this study, we concluded that MOSFET-detectors are suitable for *in vivo* dosimetry during brachytherapy of prostate cancer using  $^{125}\text{I}$ . An action level of  $\pm 16$  % (2 SD) for detection of errors in the implantation procedure is achievable after validation of the detector system and measurement conditions.

The goal of the study described in **chapter 6** was to investigate the feasibility of a linear-MOSFET-array for real-time dosimetry during permanent prostate brachytherapy, to check the complete treatment chain and to prevent patients from getting urinary complications as a consequence of too high doses in this organ at risk. The results of phantom measurements, described in chapter 5, were used for this study. Additional phantom measurements were performed to determine the optimal conditions for clinical measurements. An overall validation of the measurement method was performed with a simulation of clinical practice in a phantom. Real-time measurements were performed for 5 patients during the implant. To evaluate if the real-time urethra dose with the ultrasound transducer in the rectum and the patient in treatment position is a reference for the total accumulated dose, additional measurements were performed in the recovery. Real-time measurements and measurements performed in the recovery agreed very well, illustrating that the ultrasound transducer in the rectum and patient positioning do not influence the dose in the urethra. Real-time *in vivo* dose values obtained during the implantation are therefore representative for the total accumulated dose in the urethra at these positions. For the 5 patients the dose-rates during and after the implantation were below the maximum tolerable dose-rate of the urethra and adaptation of the planned seed distribution was therefore not necessary. The conclusion of the study presented in this chapter is that real-time dosimetry using a MOSFET-array is a promising technique to evaluate the dose in the urethra during the implantation of using  $^{125}\text{I}$  seeds for prostate irradiation.

Finally, **chapter 7** gives general conclusions that can be derived from this thesis and a broad discussion of the results from our studies with regard to the use of *in vivo* dosimetry in radiotherapy. Furthermore future perspectives are provided.



# **Samenvatting**



## IN VIVO DOSIMETRIE BIJ RADIOTHERAPIE

In dit proefschrift wordt een overzicht gegeven van de mogelijkheden van *in vivo* dosisverificatie met MOSFET dosimeters op het brede toepassingsgebied van de radiotherapie. Verschillende pilot-studies, beschreven in dit proefschrift, hebben geresulteerd in routinematige uitvoering van *in vivo* dosimetrie in de klinische praktijk. De verschillende stappen in het acceptatie- en implementatieproces van een nieuwe dosimeter, met als doel geprotocolleerde *in vivo* dosimetrie in de dagelijkse praktijk, worden in dit proefschrift beschreven voor een breed scala aan toepassingen voor zowel inwendige als uitwendige radiotherapie. Kort samengevat bestaat dit proces uit het kalibreren van de detector, het verrichten van fantoommetingen voor het testen van het meetinstrument, het vaststellen van de procedure voor het verrichten van patiëntmetingen en het testen van deze procedure bij een geselecteerde patiëntengroep.

### *In vivo* dosimetrie als onderdeel van een kwaliteitsborgingprogramma

In hoofdstuk 3 beschrijven we het gebruik van MOSFET stralingsmeters voor intrede *in vivo* dosisverificatie bij elektronenbundels. Het doel van deze studie was het ontwerpen van een methode voor routinematige *in vivo* dosisverificatie bij elektronenbundels, zonder gebruik te maken van opbouw materiaal op de detector. Dit om dosisreductie achter het opbouw materiaal te voorkomen. In de procedure, beschreven in dit hoofdstuk, werden dosismetingen aan het oppervlak met behulp van omrekeningsfactoren omgezet naar absolute dosiswaarden op de diepte van het dosismaximum. Deze omrekeningsfactoren werden verkregen door een uitgebreide reeks van fantoommetingen. De MOSFET-waarneming, omgerekend naar dosis op diepte van het dosismaximum, werd vervolgens vergeleken met de voorgeschreven dosis op deze diepte. Een correctie voor de afstand tussen het oppervlak en de applicator, een correctie voor kleine velden met zijden kleiner dan 6 cm en een correctie voor onregelmatige veldvorm, worden aanbevolen in deze procedure voor een nauwkeurige dosisbepaling. De procedure werd getest in de klinische praktijk voor 40 patiënten, voornamelijk patiënten die werden behandeld voor borstkanker. De resultaten toonden een gemiddeld verschil van -0,7% en een standaarddeviatie van 2,9% ten opzichte van de voorgeschreven dosis. Uit deze studie kan worden geconcludeerd dat het uitvoeren van dosismetingen met MOSFET-detectors, geplaatst op de huid van de patiënt zonder extra opbouw materiaal op de detector, een geschikte techniek is voor routine dosisverificatie bij elektronenbundels, mits nauwkeurige conversie en correctiefactoren worden toegepast.



## ***In vivo* dosimetrie als instrument voor het valideren van een nieuwe behandelingstechniek**

In de hoofdstukken 2 en 4 worden de resultaten van studies gepresenteerd waarbij *in vivo* dosimetrie wordt toegepast voor het valideren van een nieuwe behandelingstechniek.

Het primaire doel van de studie beschreven in hoofdstuk 2 was het vaststellen van de nauwkeurigheid van MOSFET-metingen voor dosisverificatie in de regio waar twee halve bundels op elkaar aangesloten worden. Het uiteindelijke doel was om de dosisverdeling over het aansluitgebied te verifiëren met behulp MOSFET-stralingsmeters. De MOSFET-resultaten bij een uitgebreide reeks van fantoommetingen, werden vergeleken met de resultaten van ionisatiekamerdetectoren en fotografische filmmetingen. In dit hoofdstuk wordt tevens de invloed van factoren in verband met de mechanische eigenschappen en QA-procedures van de lineaire versneller besproken. Deze informatie werd gebruikt voor het evalueren van de meetresultaten bij een groep van 5 patiënten. Deze patiënten ondergingen een loco-regionale radiotherapie behandeling, waarbij met behulp van een halve bundeltechniek zowel het borstweefsel als de axillaire/supraclaviculaire klieren bestraald werden. Gedurende 10 behandelfracies werden MOSFET metingen verricht om de nauwkeurigheid van de dosis in het aansluitgebied van de bundels te bepalen. De conclusies van deze studie luiden:

- (1) significante dosisafwijkingen in het aansluitgebied middelen zich uit over herhaalde behandelingsfracies
- (2) een enkele meting in het aansluitgebied mag nooit leiden tot een actie
- (3) de linac QA procedure om de nauwkeurigheid van de aansluiting te bepalen moet de klinische situatie zoveel mogelijk benaderen
- (4) MOSFET stralingsmeters overschatten de dosiswaarden in het halfschaduw gebied.

In hoofdstuk 4 wordt *in vivo* dosimetrie toegepast om een nieuwe driedimensionale (3D)-dosisberekeningstechniek voor een totale lichaamsbestralingstechniek (TBI), te verifiëren en te controleren. Voor het verkrijgen van relevante dosisberekeningsinformatie, werd bij de patiënten in deze studie een totale lichaam CT-scan gemaakt. De beeldinformatie werd geladen in een commercieel Treatment Planning System (TPS), nadat dit systeem eerst gevalideerd was voor lange afstand radiotherapie. Een 3D-dosisverdeling werd daarbij gegenereerd. *In vivo* dosimetrie werd verricht bij 5 patiënten, op vijf locaties op het lichaam van de patiënt met zowel MOSFET als TL-detectoren. Intrede- en uittrede dosiswaarden werden omgerekend naar dosiswaarden midden in de patiënt, waarbij gebruik werd gemaakt van omrekeningsfactoren. Deze omrekeningsfactoren werden vastgesteld door middel van een uitgebreide set fantoommetingen. MOSFET en TLD dosiswaarden komen binnen 3,0% overeen. MOSFET en TPS dosiswaarden komen binnen 0,5% overeen. Het convolutie-algoritme van het TPS, dat routinematig wordt toegepast in de kliniek,

overschat de dosis in de longregio. Met behulp van een superpositie algoritme wordt de longdosis nauwkeuriger benaderd. De dosisinhomogeniteiten in het lichaam van de patiënt, zoals berekend met behulp van het TPS, kunnen worden verminderd door gebruik te maken van een eenvoudige IMRT-techniek. Uit dit hoofdstuk concluderen we dat:

- (1) het gebruik van een TPS voor dosisberekening bij TBI een goed inzicht geeft in de over- en onderdoseringen in de patiënt en inzicht geeft in de invloed van patiëntpositionering op dosishomogeniteit
- (2) MOSFET stralingsmeters zijn geschikt voor *in vivo* dosimetrie doeleinden tijdens TBI.

### ***In vivo* dosimetrie als instrument om de dosis in risico organen te bepalen**

In de **hoofdstukken 5 en 6**, wordt de toepassing van MOSFET stralingsmeters voor dosisverificatie in risico organen beschreven.

In **hoofdstuk 5** worden de resultaten van een studie gepresenteerd waarbij een nieuwe lineaire 5-MOSFET array-dosimeter toegepast wordt voor *in vivo* dosisverificatie bij permanente prostaatimplantaten met jodium-125 zaadjes. Fantoommetingen werden verricht voor het valideren van de meettechniek, voor het bepalen van de meetnauwkeurigheid en voor het testen van de detector voor de klinische metingen. Patiëntmetingen werden verricht bij 17 patiënten in de recovery, direct na de implantatieprocedure. Een MOSFET-array werd in de urinekatheter geplaatst, met als doel het verifiëren van de actuele dosis in de urineleider. Deze informatie werd gebruikt voor het evalueren van de implantatietechniek en het beoordelen van het TPS. Informatie over de ureterdosis geeft bovendien de mogelijkheid om actuele dosisinformatie te koppelen aan klinische bijwerkingen. Na de *in vivo* metingen werd een CT-scan gemaakt. Dosiswaarden berekend door het TPS op basis van de post-implant CT-scan, werden vergeleken met de *in vivo* dosiswaarden gemeten met de MOSFET-stralingsmeters, na correctie van de *in vivo* resultaten voor de temperatuursafhankelijkheid van de MOSFET-array respons en voor absorptie van de katheterwand. In het hoge dosisgebied ( $> 100$  Gy) komen berekende en gemeten dosis binnen  $1,7\% \pm 10,7\%$  (1SD) overeen. In het lage dosisgebied ( $< 100$  Gy), de regio buiten de prostaat, werden grotere afwijkingen gemeten. Uit deze studie hebben we geconcludeerd dat MOSFET-detectoren geschikt zijn voor *in vivo* dosimetrie na brachytherapie met jodium-125 bij prostaatkanker. Een actielevel van  $\pm 16\%$  (2 SD) voor het opsporen van fouten in de implantatieprocedure is haalbaar na validatie van de detector en meetomstandigheden. In het hoge dosisgebied zijn kleinere actielevels haalbaar.

In **hoofdstuk 6** wordt het gebruik van een lineair-MOSFET-array getest voor real-time dosimetrie tijdens brachytherapie van de prostaat. Het primaire doel van de real-time metingen gedurende de implantatie van de jodium-125 zaadjes, is het verifiëren van de

dosis in de urineleider. Dit geeft de mogelijkheid de verdeling van de zaadjes aan te passen op basis van de *in vivo* meetresultaten met als doel te hoge stralingsdoses en urinaire complicaties te voorkomen. Het secundaire doel is het controleren van de behandelketen en de implantatietechniek. De resultaten van fantoommetingen, beschreven in hoofdstuk 5, werden gebruikt voor deze studie. Aanvullende fantoommetingen werden verricht om de optimale omstandigheden voor de klinische metingen vast te stellen. Tevens werd een simulatiemeting verricht om de klinische praktijk na te bootsen. Real-time metingen werden verricht bij 5 patiënten in de operatiekamer tijdens de implantatie van de zaadjes. Om te beoordelen of de real-time dosis in de urineleider, met de echografie-transducer in de endeldarm en de patiënt in behandelpositie, een referentie is voor de totale cumulatieve dosis in de urineleider, werden aanvullende metingen verricht in de recovery. Real-time metingen en metingen verricht in de recovery kwamen goed overeen, hetgeen illustreert dat de echografie-transducer in het rectum en positionering van de patiënt geen aantoonbare invloed hebben op de dosis in de urineleider. Real-time *in vivo* dosiswaarden verkregen tijdens de implantatie, zijn dus representatief voor de totale cumulatieve dosis in de urineleider op deze posities. Voor alle 5 patiënten bleken de dosis-waarden tijdens en na de implantatie lager dan de maximaal toelaatbare dosiswaarde van de urineleider. Aanpassing van de geplande zaadverdeling in de prostaat was derhalve niet nodig. De conclusie van deze studie is dat real-time dosimetrie met behulp van een MOSFET-array een veelbelovende techniek is voor de evaluatie van de dosis in de urineleider tijdens de implantatie van jodium-125 zaadjes bij prostaat bestraling.

Tenslotte geeft **hoofdstuk 7** de algemene conclusies weer die kunnen worden afgeleid uit dit proefschrift. Er wordt een uitgebreid overzicht gegeven van de resultaten van de studies beschreven in dit proefschrift en het gebruik van *in vivo* dosimetrie in de radiotherapie. Bovendien worden mogelijke toekomstperspectieven beschreven, waardoor *in vivo* dosisverificatie in de toekomst verbeterd kan worden.