

TNO PUBLIEK

Defensie en Veiligheid
Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

TNO-rapport**TNO 2022 R12615****EMC problematiek bij de diathermie in het
HagaZiekenhuis**

Datum	Februari 2023
Auteur(s)	A. Anzellotti R. Smakman F. de Wolf
Aantal pagina's	19 (incl. bijlage)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	HagaZiekenhuis
Projectnaam	Onderzoek uitvallen monitoren OK / Raamovereenkomst Haga 2022
Projectnummer	060.52246

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2023 TNO

TNO PUBLIEK

Inhoudsopgave

	Afkortingen.....	3
1	Inleiding	4
2	Beeldvorming, verkennende experimenten en fenomenologie van het probleem.....	5
3	Karakteristiek van het EM spectrum.....	8
4	Hoofdoorzaakanalyse uitval van de monitoren	11
5	Conclusie en geadviseerde oplossingen	16
6	Ondertekening	18
	Bijlage(n)	
	A Meetapparaten gebruikt voor de metingen	

Afkortingen

AC	Alternating current
DC	Direct current
DVI	Digital visual interface
EM	Elektromagnetisch
EMC	Elektromagnetische compatibiliteit
KVM	Keyboard, video, mouse
LED	Light emission diode
OK	Operatiekamer
PC	Personal computer
RFID	Radio-frequency identification
STP	Shielded twisted pair
USB	Universal serial bus
UTP	Unshielded twisted pair

1 Inleiding

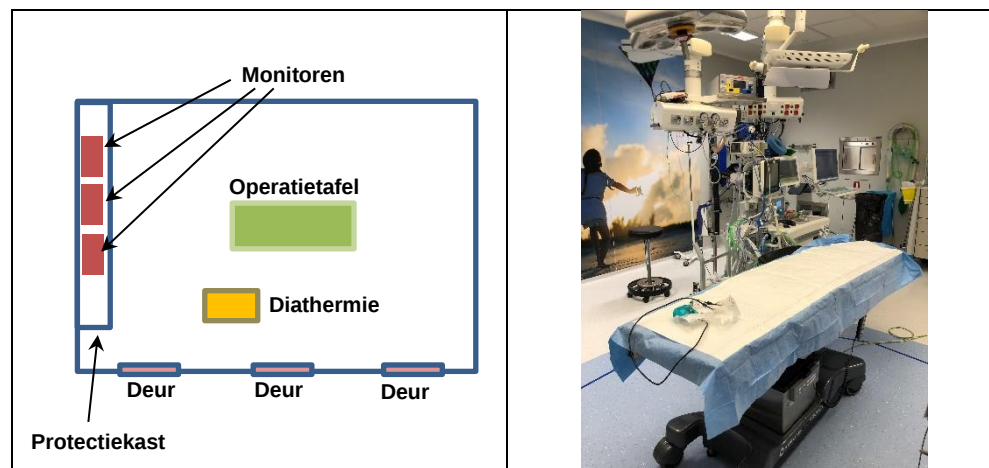
Binnen het HagaZiekenhuis treden problemen op in de operatiekamers wanneer daar apparatuur voor diathermie wordt gebruikt. Het komt regelmatig voor dat monitoren van het niet-diagnostisch systeem uitvallen. Er bestaat een vermoeden dat Elektromagnetische Interferentie (EMI) de oorzaak kan zijn voor het optreden van dit probleem. Om hier duidelijkheid over te krijgen en een oplossing te vinden voor de problematiek die optreedt bij het gebruik van diathermieapparatuur in de operatiekamers heeft het HagaZiekenhuis TNO benaderd met de vraag te ondersteunen door het uitvoeren van een Elektromagnetische Compatibiliteit (EMC) onderzoek.

In een overleg met het HagaZiekenhuis, 12 juli jl., is aangegeven wat de problemen zijn en heeft men geschetst wat de verwachting is voor wat TNO zou kunnen betekenen. Experts van TNO hebben een van de operatiekamers bezocht om een beeld van de situatie te krijgen. TNO heeft bezorgdheid geuit over de aarding van de apparaten en de bekabeling rondom de PC en de diathermie. Na het bezoek heeft TNO een plan opgesteld dat gericht is op het achterhalen van de oorzaak voor de problemen die optreden bij het gebruik van de diathermieapparatuur en het vinden van een praktische oplossing. Het onderzoek bestaat uit EMC-metingen en experimenten die zijn uitgevoerd op woensdag 21 september 2021 in operatiekamer 15.

De resultaten van het onderzoek en de aanbevelingen die daaruit volgen zijn in dit document weergegeven. In hoofdstuk 2 is een gedetailleerde beschrijving van de fenomenologie van het probleem beschreven; hoofdstuk 3 geeft de meetresultaten van de EMC-metingen weer. In hoofdstuk 4 worden de meetresultaten geanalyseerd om de oorzaak van de waargenomen problemen vast te kunnen stellen. Tenslotte worden in hoofdstuk 5 oplossingen voorgesteld.

2 Beeldvorming, verkennende experimenten en fenomenologie van het probleem

Het HagaZiekenhuis heeft tijdens de voorbereidingen aangegeven dat in operatiekamer 15 drie monitoren voor niet diagnostisch doelen¹ aanwezig zijn die met regelmaat uitvallen tijdens het gebruik van de diathermieapparatuur. Een schematische voorstelling van de operatiekamer, aangevuld met een foto van de situatie, is in bovenaanzicht weergegeven in figuur 1.



Figuur 1 Beeld van de operatietafel in operatiekamer 15. Het diathermiesysteem bevindt zich net buiten het beeld aan de rechterkant.

Figuur 2 geeft een overzicht van de drie monitoren die uitvallen met daaronder een ruimte waar de monitoren en computerbedieningsrandapparatuur aangesloten zijn via KVM-switches en USB-hubs. Het rechterdeel van de afbeelding toont het diathermiesysteem.



Figuur 2 Links: De monitoren voor niet-diagnostische informatie die met regelmaat uitvallen bij gebruik van diathermie. Rechts: Diathermiesysteem zoals in gebruik in operatiekamer 15.

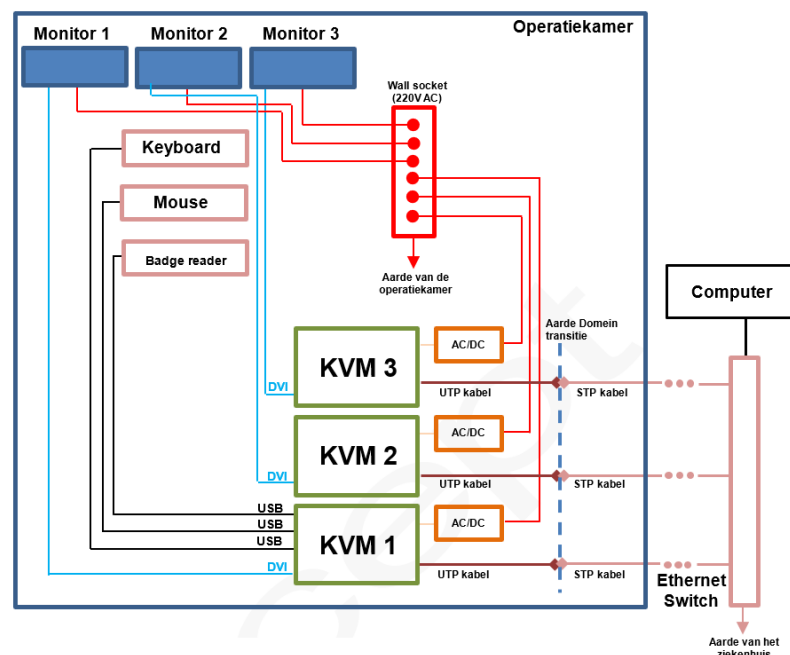
¹ Zoals het weergegeven van een patiëntendossier.

De monitoren zijn in een wand ingebouwd; elke monitor zit achter een houten of kunststof panel. Het is belangrijk op te merken dat deze panelen niet afschermen tegen elektromagnetische straling. De monitoren zijn via KVM-switches verbonden met de computer, die in de aparte serverruimte buiten de OK is geplaatst. Alle verbindingen bevinden zich in de wand onder de betreffende monitoren, wat een elektromagnetisch niet-afgeschermd compartiment is, zoals weergegeven in figuur 3.



Figuur 3 KVM-switches met voedingen aangesloten aan de monitoren van figuur 2.

De KVM-switches zijn via een ethernetswitch met de computer verbonden, die zich beide buiten de operatiekamer bevinden. De netwerkverbinding tussen de KVM- en de ethernetswitch bestaat uit twee ethernetkabels: een korte (ongeveer een meter lang), niet EM-afgeschermd, en een lange (tenminste 10 meter lang) met EM-afscherming. Tijdens de inspectie is door de begeleiders aangegeven dat de aarde binnen de operatiekamer galvanisch gescheiden is van de aarde van het ziekenhuis. Er bestaat dus een contactpunt waarbij de twee aparte aardedomeinen met deze de twee ethernetkabels samenkomen. Figuur 4 geeft het blokschema van de aansluitingen.



Figuur 4 Blokschema van de aansluitingen van niet-diagnostiek apparaten gebruikt in operatiekamer 15 die door de diathermie worden beïnvloed.

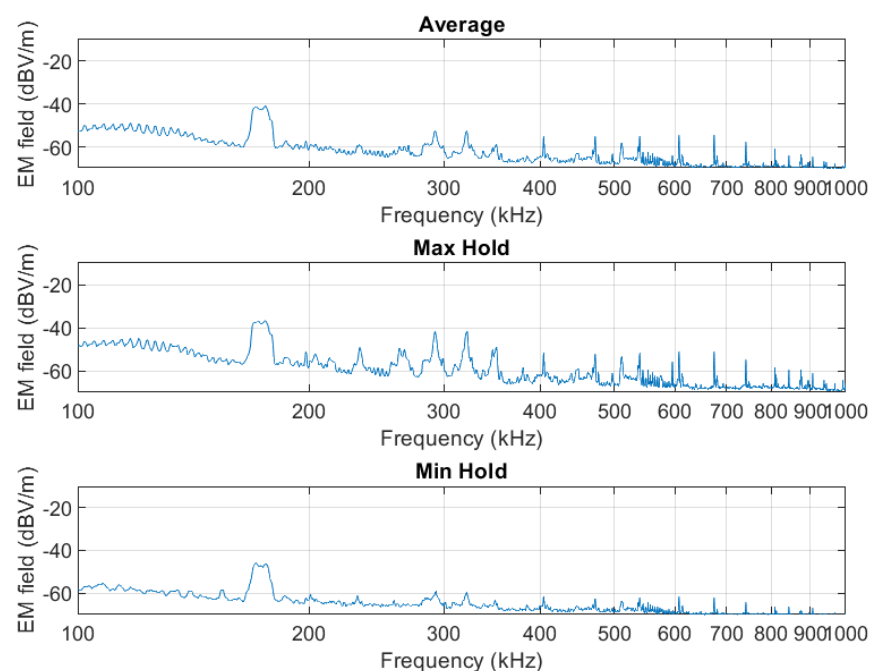
De begeleider van het HagaZiekenhuis heeft TNO tijdens de experimenten erop gewezen dat er een manier is om het probleem op te wekken; gesuggereerd werd om het diathermie-systeem op een afstand van een paar meter van de monitoren te gebruiken. TNO heeft in deze situatie het probleem ook reproduceerbaar kunnen vaststellen. Deze werkwijze is door TNO verder gebruikt als standaard werkwijze om zo een referentie te hebben om het EMC-probleem te reproduceren. In de rest van het document duiden we naar deze testprocedure onder de naam **“diathermietest”** aan.

Bij het uitvoeren van de diathermietesten bleek dat afstand een belangrijke rol speelt. De rechter monitor in figuur 2 bleek tijdens de diathermietesten minder vaak beïnvloedt te worden dan de twee andere monitoren. Voor de rechter monitor is de afstand tot het diathermie-systeem groter dan voor de andere twee monitoren. Een andere belangrijk observatie van het HagaZiekenhuis is dat, naast het uitvallen van de monitoren, ook de KVM-switches door de diathermie beïnvloed worden; de LED's² op het frontpanel van de KVM-switches vallen namelijk ook uit bij gebruik van de diathermie.

² Dit zijn de LED's die de status van de KVM-switch weergegeven en die aan staan als er een USB-connectie (met bij voorbeeld muis, keyboard, monitor etc.) gedetecteerd is.

3 Karakteristiek van het EM spectrum

Het EM-spectrum in operatiekamer 15 is met een Narda EM-veld probe (zie bijlage A) gemeten. Om een referentiebeeld³ van het EM-spectrum in de operatiekamer vast te stellen, is een meting uitgevoerd met het diathermiesysteem uitgeschakeld. Het gekozen frequentiegebied voor deze meting was 100 kHz tot 1 MHz, de meeste bijdragen van de emissies van het diathermiesysteem zijn in dit deel van het EM-spectrum aanwezig. De resultaten zijn weergegeven in figuur 5, waar blijkt dat het spectrum relatief schoon is. Sterkere signalen overal in de operatiekamer te meten zijn. Die zijn vooral tussen 170 kHz en 350 MHz te zien, maar vanuit de TNO EMC-expertise worden deze waarden niet als oorzaak voor de door de opdrachtgever gemelde problemen beschouwd.



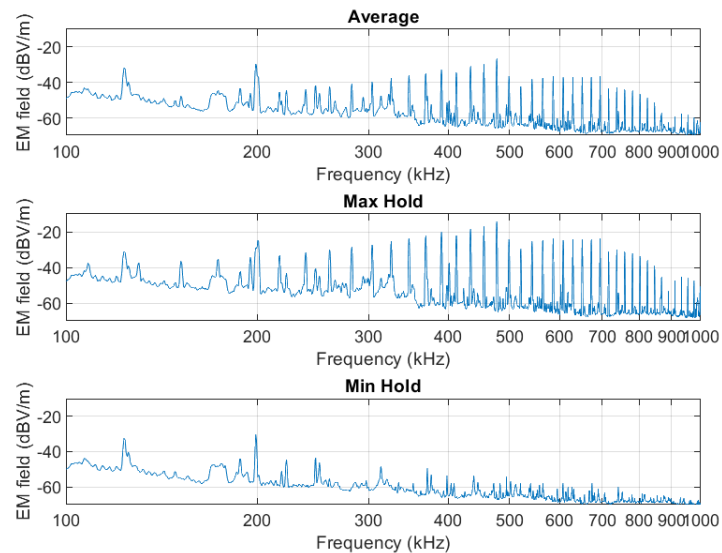
Figuur 5 Spectrum van het EM veld tussen 100 KHz en 1 MHz gemeten met een NARDA SRM-3006 met een universele E-veld antenne (die geschikt is voor een meetbereik tot 3 GHz three axis probe) met diathermie uitgeschakeld. De bovenste subplot laat het gemiddelde zien voor een tijdsduur waarna het gemiddelde stabiliseert. De maxima en minima zijn in de onderste twee plots te zien.

Om inzicht te krijgen in het effect van het diathermiesysteem is de meting van het EM-veld tijdens de diathermietest herhaald. De resultaten, weergegeven in figuur 6, tonen aan dat het diathermiesysteem in het EM-spectrum over een groot frequentiebereik stoorpieken veroorzaakt. Over het spectrum van 100 kHz - 1 MHz zijn deze stoorpieken ongeveer 20 kHz in frequentie van elkaar gescheiden; bovendien is de veldsterkte hoog (-40 tot -20 dBV/m peak) en sterk fluctuerend. Om een volledig beeld te krijgen van de storing die de diathermieapparatuur veroorzaakt in het EM-spectrum is het frequentiebereik vergroot naar het gebied van 100 kHz - 100 MHz. Deze resultaten zijn in figuur 7 weergegeven, waaruit blijkt dat het diathermiesysteem aanzienlijke (stoor)signalen tot 10 MHz veroorzaakt.

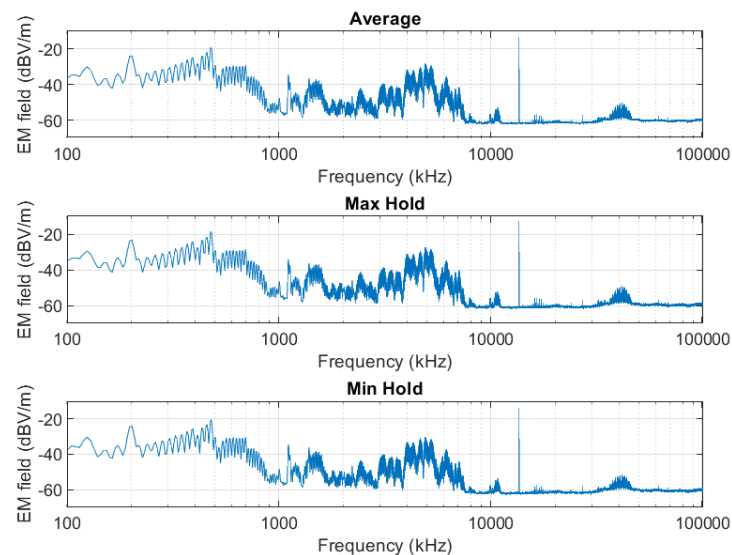
³ Aanwezige achtergrond elektromagnetische veld zonder dat de versturende bron ingeschakeld is.

Boven 10 MHz zijn de signalen zwakker dan het ruisniveau van het Narda meetsysteem (tussen 10 en 35 MHz). Rond de 40 MHz worden de signalen weer zichtbaar boven deze ruis (hoewel deze veel zwakker zijn dan voor frequenties beneden 10 MHz).

Opgemerkt wordt dat er een sterk constant signaal op 13.56 MHz aanwezig is. Nader onderzoek heeft uitgewezen dat dit signaal door een badge reader, aanwezig in de operatiekamer, wordt veroorzaakt (RFID).



Figuur 6 Spectrum van het EM veld tussen 100 KHz en 1 MHz gemeten met de Narda probe tijdens de “diathermie test”.



Figuur 7 Spectrum van het EM veld gemeten tussen 100 kHz en 100 MHz met de Narda probe tijdens de “diathermietest”.

Die resultaten tonen aan dat het diathermiesysteem verantwoordelijk is voor een serieuze bijdrage aan EM storingen in de omgeving van operatiekamer 15. Deze storingen kunnen bij apparaten in de nabijheid van het diathermiesysteem tot

verstoringen leiden, figuur 4. Deze resultaten worden gezien als een bevestiging dat het diathermiesysteem de oorzaak is voor de problemen met het uitvallen van de monitoren. Deze resultaten geven een goede basis voor het bepalen van potentiële oplossingen.

4 Hoofdoorzaakanalyse uitval van de monitoren

De configuratie van het systeem, waarin het probleem zich voordoet, is in hoofdstuk 2 beschreven. In hoofdstuk 2 is ook toegelicht dat niet alleen de drie monitoren, maar volgens de opdrachtgever ook de KVM-switches en alle aangesloten apparaten (te weten: muis, toetsenbord, en badge reader) uitvallen bij gebruik van de diathermie.

Daarom was de eerste stap in de analyse gericht op de identificatie van de oorzaak van het probleem. Met andere woorden: om te bepalen welke apparaten uitvallen ten gevolge van het gebruik van een bron die de verstoringen veroorzaakt.

De “diathermietest” is uitgevoerd waarbij de meest linkse monitor⁴ van figuur 2, op de Spanningsvoorziening (230V wandcontactdoos) na, geïsoleerd was van de rest van de opstelling. Dat wil zeggen niet aangesloten op de KVM-switch maar wel op een externe laptop. Deze test gaf een negatief resultaat, ondanks dat de mogelijke stoorbron heel dicht bij de monitor werd geplaatst (10 cm) viel de monitor niet uit. Dit betekent dat het uitvallen van een monitor, hoofdstuk 2, niet in de monitor zelf wordt veroorzaakt, maar waarschijnlijk doordat het videosignaal wegvalt als gevolg van verstoring van de werking van de KVM-switch.

Deze test wijst uit dat de monitoren voldoende bestand zijn tegen EM interferentie veroorzaakt door het diathermiesysteem en de oorzaak niet bij de monitoren zelf gezocht moet worden.

Het overige deel van het onderzoek heeft zich op de KVM-switches gericht. Omdat de KVM-switches niet aan strengere medische EMC-normen hoeven te voldoen, zijn de KVM-switches in de eerste beschouwing als mogelijke oorzaak voor de problematiek geïdentificeerd.

Er zijn twee propagatiepaden voor de stoorsignalen die het diathermiesysteem en de KVM-switches kunnen verstoren:

- 1 Uitgestraald via het lucht en dan koppelt op de KVM-switch(es);
- 2 Via geleiding door een van de aan de KVM-switch(es) aangesloten kabels.

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat de verdenking van de interferentieproblemen op de bekabeling lag. Daarom is besloten daar als eerste onderzoek naar te doen. Zoals het is weergegeven in figuur 3, heeft elke KVM-switch vier aansluitingen: de voeding, drie USB-aansluitingen (naar monitor, muis, toetsenbord en/of andere apparaten) en een ethernet aansluiting.

Door middel van een stroomklem (te zien in de groene cirkel in figuur 9) is de intensiteit van de geleide verstoringen in de DC-voeding en de ethernetkabel gemeten.

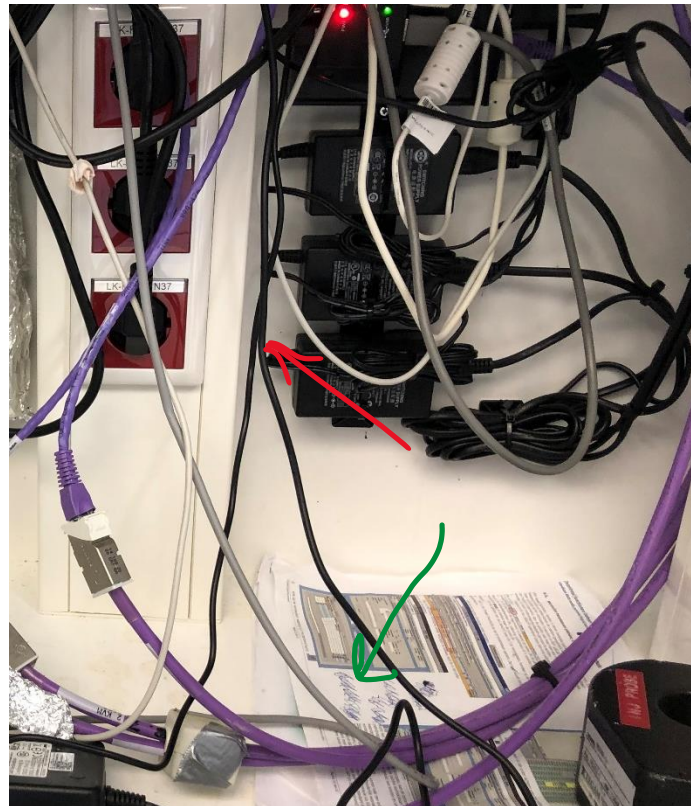
Uit deze metingen is geconstateerd dat de DC-voeding in voldoende mate vrij van storingen terwijl een hoge intensiteit aan stoorsignalen afkomstig van het diathermiesysteem meetbaar waren op de ethernetkabel⁵.

Het is dus aannemelijk dat de verstoring van de KVM-switches, door het diathermiesysteem via geleiding over de ethernet aansluiting wordt veroorzaakt. Ethernetkabels bestaan uit vier getwiste paren en kunnen als afgeschermd (STP) of niet-afgeschermd (UTP) zijn uitgevoerd. Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 bestaat de ethernet bekabeling in operatiekamer 15 uit deze twee soorten kabels. Een lange

⁴ Deze monitor is gekozen voor het experiment omdat deze het meest gevoelig blijkt. De monitor staat dicht bij het diathermiesysteem.

⁵ Door een bedieningsfout zijn deze meetgegevens helaas verloren gegaan en kunnen derhalve niet in een figuur worden getoond.

STP-kabel die van de computer switch (buiten de operatiekamer) tot nabij de KVM-switch (binnen de operatiekamer) loopt en een korte UTP-kabel die de KVM-switch verbindt met de lange kabel (zie schema in figuur 3 en figuur 8).



Figuur 8 Dunne paarse UTP (rode pijl) via metalen connector verbonden met de dikke lange STP kabel (groene pijl).

Het gebruik van een UTP-ethernetkabel in een omgeving met intense stoorsignalen wordt (in het algemeen) afgeraden. Hoewel de aangebrachte twist op de signaalparen een verminderde gevoeligheid voor verstoringen zal geven, kan dit onvoldoende zijn om de stoorsignalenvoldoende te verzwakken.

De UTP-kabel is gebruikt om de aarde van de operatiekamer galvanisch gescheiden te houden van de aarde van het ziekenhuis. De situatie met de twee verschillende aardingscircuits geeft in dit geval aanleiding tot EMC-problemen. Een oplossing kan bestaan uit het gebruik van galvanische ethernetisolatoren tussen de twee aardingscircuits.

In het geval van de EMC-problemen in operatiekamer 15 is het zeer goed mogelijk dat de stoorsignalen op de ethernetkabels het gevolg zijn van koppeling door een (of beide) van de volgende mechanismes:

- 1 Capacitieve koppeling tussen de aarddraden en de ethernetdraden;
- 2 Magnetisch koppeling door zogenaamde aardlussen.

Het gebruik van een ethernet-isolator, om de verschillende aardingscircuits te scheiden, en uitsluitend STP-kabels zal de mate van koppeling, en daardoor de ernst van de verstoringen, in positieve zin helpen door de effecten te reduceren.

Een test met een ethernetisolator tussen de twee ethernetkabels zou nuttig zijn geweest, maar kon niet worden uitgevoerd omdat de in het ziekenhuis beschikbare ethernetisolator niet bleek te functioneren.



Figuur 9 Metingen van de geleide stroom op een van de ethernetkabels met een stroomklem.

Er was ook geen STP-kabel beschikbaar met een geschikte lengte. Daarom is een afscherming geïmproviseerd met aluminiumfolie in een poging de UTP-kabel beter af te schermen (zoals weergegeven in figuur 10).

De folie werd zo goed als mogelijk verbonden met de aarde van de operatiekamer. Het bleek dat de KVM-switch nog gevoeliger⁶ werd voor de “diathermietest”. Ook verbeterde de situatie niet als de KVM-switch zelf werd afgeschermd met aluminiumfolie (zie figuur 10).

⁶ De extra gevoeligheid is het gevolg van een slechte aansluiting. Een niet goed geaard elektromagnetisch scherm gedraagt zich niet als een aardschermd maar als een antenne.

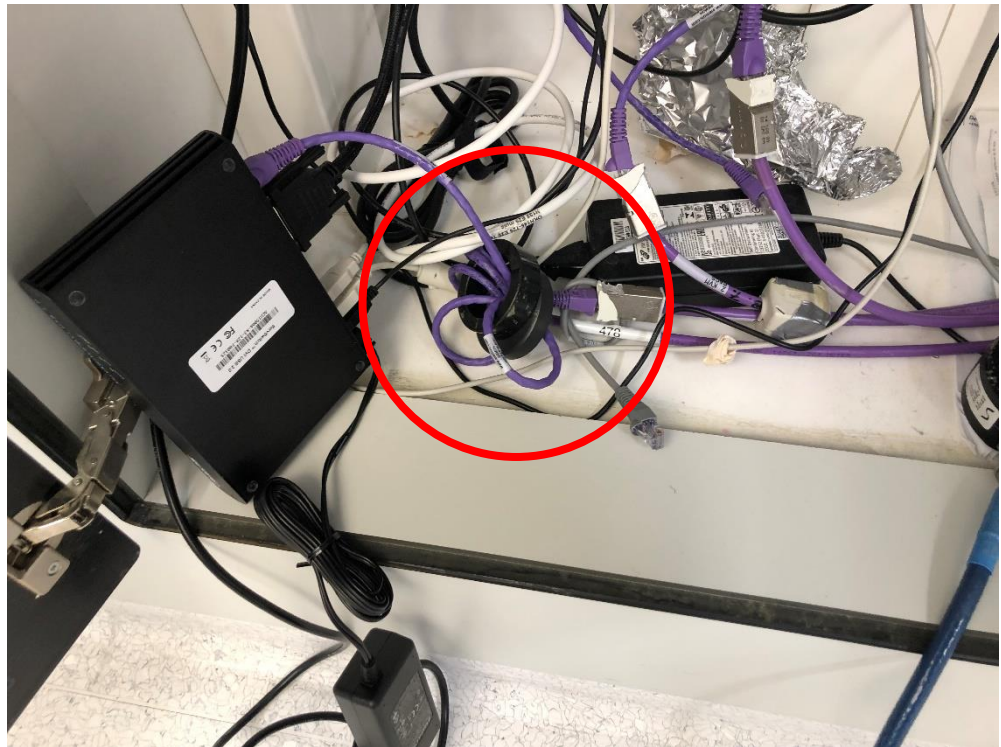


Figuur 10 Ethernet kabel en KVM-switch afgeschermd door een aluminiumfolie.

Tot slot zijn ferrieten⁷ aangebracht vanwege het vermoeden van de aanwezigheid van lussen door geleide (common mode) stromen. Na het aanbrengen werd de “diathermie test” herhaald, hierbij was de UTP-kabel van de opstelling meerdere keer rond een ferriet-kern, zoals weergegeven in figuur 11, gewonden. Met deze maatregel werd het gewenste resultaat verkregen en de KVM-switch bleek ongevoelig voor het diathermiesysteem. Zelfs als het systeem op slechts 10-20 cm afstand van de KVM-switch in gebruik was, was er geen verstoring van de KVM-switch.

Het is goed op te merken dat het aanbrengen van een enkele winding op een ferrietkern het probleem niet kon oplossen. Om het probleem op te lossen was het noodzakelijk om de kabel meerdere keren (zoveel keer als mogelijk en 4x in deze situatie) rond de ferrietkern te winden. Dit kan worden verklaard door het feit dat de demping van de ferrietring in het frequentiegebied van de diathermie interferentie niet zo hoog is. Daarom moeten meerdere lussen worden toegepast om de stoorstromen voldoende te kunnen verzwakken.

⁷ Het aanbrengen van ferrietringen is een van de standaard EMC-maatregelen tegen geleide verstoringen.



Figuur 11 Onbeschermd Ethernet kabel opgewonden rond een ferriet-kern om tegen common mode stromen en stralingen te gaan.

Dit resultaat toont aan dat het uitvallen van de monitoren wordt veroorzaakt door geleide stoorstromen op de ethernetkabels. Deze gevoeligheid kan worden opgelost door een zogenaamd common-mode filter (zoals een ferrietring) toe te passen.

5 Conclusie en geadviseerde oplossingen

Uit de metingen die geapporteerd zijn in sectie 3 en de analyse in sectie 4 wordt geconcludeerd dat:

- de interferentie Van een diathermiesysteem op monitoren voor niet-diagnostische toepassingen -, zoals gemeld door HagaZiekenhuis, reproduceerbaar is voor wat betreft de effecten;
- het diathermiesysteem flinke stoorsignalen veroorzaakt, vooral in het 200 kHz-10 MHz frequentiegebied, die overal in de operatiekamer te meten zijn;
- de monitor niet uitvalt door een directe invloed van het diathermiesysteem, maar uitvalt als gevolg van interferentie-effecten op de KVM-switch;
- de stoorsignalen van het diathermiesysteem via ethernetkabels op de KVM-switch koppelen.

In hoofdstuk 4 is aangetoond dat het probleem opgelost kan worden door het aanbrengen van een ferriering op de UTP-kabel door deze kabel meerdere malen om de ferriering te winden.

Hoewel deze maatregel voldoende was om het probleem op te lossen, is het toch verstandig om de gevoeligheid nog verder te verminderen door extra maatregelen te implementeren. Dit advies wordt gegeven met het doel om de kans op toekomstige problemen te kunnen reduceren.

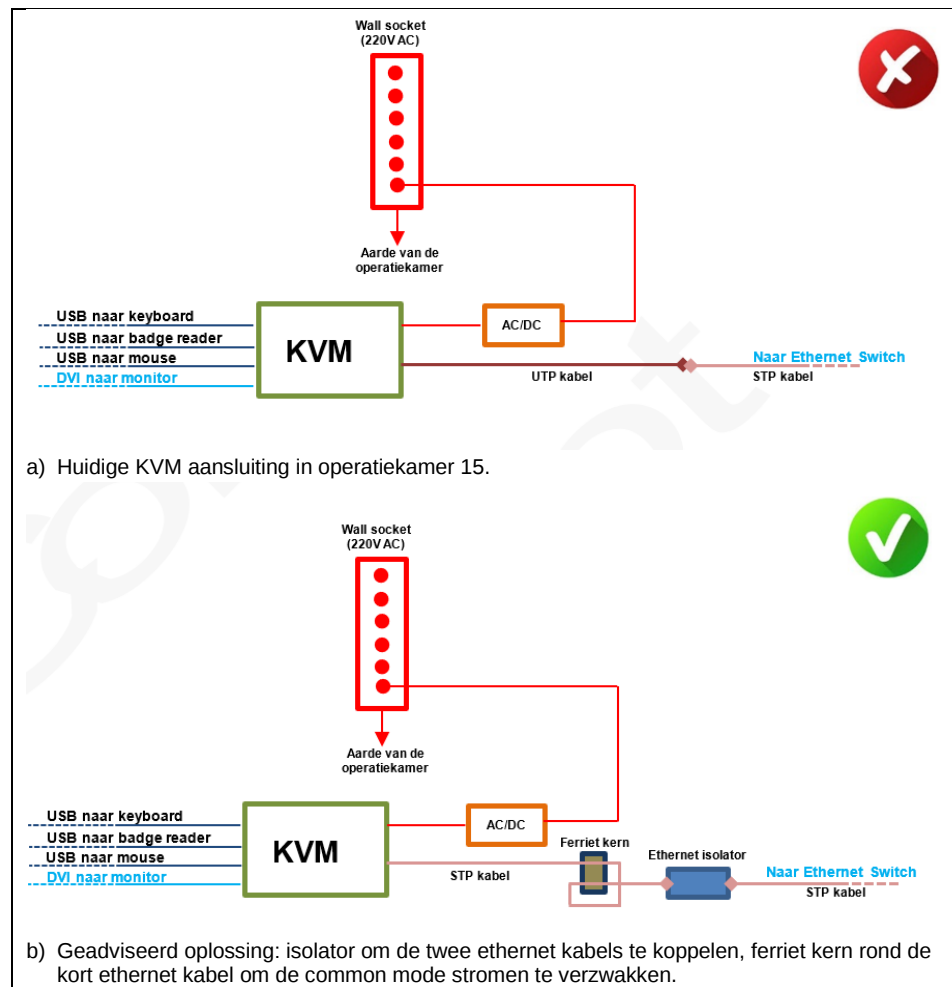
Daarom worden de volgende maatregelen geadviseerd:

- 1 Het vervangen van de UTP-ethernetkabel van figuur 12-a met een afgeschermde STP-kabel zoals in figuur 12-b.
- 2 Het gebruik van een ethernetisolator zoals in figuur 12-b om de twee kabels (lange en korte ethernet kabel) te koppelen en de beide aard-circuits te scheiden.
- 3 Het gebruik van ferrieringen zoals in figuur 12-b om de common-mode stromen langs de ethernetkabel te verzwakken.
- 4 Het gebruik van een KVM-switch die aan industriële of medische EMC-normen voldoet (i.p.v. een KVM-switch die bedoeld is voor consumenten toepassingen).

Maatregelen nummer 1, 2 en 3 worden met nadruk geadviseerd want dit zijn de EMC-maatregelen die effectief zijn tegen de geconstateerde verstoringen.

Oplossing nummer 4 wordt ter overweging gegeven, want het is meer gericht op het verlagen van de kans op EMC-problemen.

Maatregelen nummers 1, 2, 3 zijn weergegeven in het schema van figuur 12.



Figuur 12 a) Aansluiting van de niet-diagnostisch apparaten om die te beschermen tegen verstoringen van het diathermiesysteem, b) voorgestelde oplossing.

6 Ondertekening

Den Haag, februari 2023



P.J.O. Doets
Research manager

TNO
Electronic Defense



A. Anzellotti
Auteur

A Meetapparaten gebruikt voor de metingen

De metingen gerapporteerd in dit document werden uitgevoerd door middel van de meetapparaten aangemeld is de volgende tabel.

Tabel 1 Meetapparaten gebruik tijdens de testen bij HagaZiekenhuis.

Apparaat	Fabrikant	Model	Serial nummer	Calibratie datum
Spectrum analyser	Rohde&Schwarz	FSL	1250-307127479	06/05/2022
EM field probe	Narda SRM	SRM3006	R-0082	03-04-2020
	Kabel	RF cable SRM 9 kHz to 6GHz	AB-1988	30-03-2020
	Meetkop	Three Axis Antenna H-Field 9kHz to 250MHz	AA-0390	20-04-2020
Current clamp probe	TEGAM inc.	95242-1	10588	N/A
Current clamp probe	ETN Advanced Electronics	91550-1	416	N/A