

*Uit de Historische afdeling van
het Tandheelkundig Instituut der
Rijksuniversiteit te Utrecht.
Hoofd: F. E. R. de Maar.*

WIE WAS DE UITVINDER DER HOOGVACUÛM RÖNTGENBUIS?

G. J. VAN WIGGEN, student-assistent

In juni 1964 was het vijftig jaar geleden, dat de toen een-en-negentig-jarige Dr. WILLIAM D. COOLIDGE, destijds directeur van het Research Laboratorium van de General Electric Cy. te Schenectady N.Y. de eerste naar hem genoemde röntgenbuis vervaardigde.

COOLIDGE werd geboren in Hudson, Massachusetts, op 23 oktober 1873. Hij studeerde aan „The Massachusetts Institute of Technology” in Boston waar hij een grote belangstelling kreeg voor mechanische en elektrische apparaten. Als studievakken koos hij elektrotechniek en chemie. In die tijd maakte hij kennis met Prof. W. R. WHITNEY, die hem later zou overhalen om naar de General Electric Company in Schenectady te komen. Tijdens zijn studie aan het M.I.T., in 1895, ontdekte RÖNTGEN in Europa de naar hem genoemde stralen; dit zou later grote invloed hebben op het werk van COOLIDGE.

Nadat deze zijn studie had beëindigd, werd hij assistent bij het M.I.T. Dit gaf hem het voordeel dat hij de beschikking kreeg over een laboratorium waar hij zich kon wijden aan onderzoekingen.

In 1897 onderbrak hij zijn werk in Boston, om twee jaar colleges te lopen bij Prof. PAUL DRUDE in Leipzig en een studie te maken van de elektrische eigenschappen van vloeistoffen.

Nadat hij in 1899 zijn doctorstitel had behaald ging hij terug naar het M.I.T. om op de chemische afdeling assistent te worden van Prof. NOYES. Onder diens leiding werkte hij aan een project over de elektrische geleiding van waterige oplossingen bij hoge temperaturen, totdat hij door WHITNEY uitgenodigd werd naar de General Electric Company te Schenectady te komen waar hij in 1905 in dienst trad.

Op dit laboratorium kreeg hij tot taak te onderzoeken of er verbeteringen konden worden aangebracht aan de gloeilamp die door EDISON was uitgevonden. Zijn gedachten gingen daarbij vooral uit naar het gebruik van een ander materiaal voor de gloeidraad. Tot nu toe waren dit nog gloeidraden van koolstof; slechts experimentele types hadden osmium of tantalum gloeidraden, doch deze voldeden niet.

COOLIDGE kwam op de gedachte wolfram te gaan gebruiken, maar dit

stuitte op grote bezwaren omdat men niet wist hoe dit metaal moest worden bewerkt. Na diverse pogingen vond hij eindelijk de oplossing voor dit probleem, zodat hij als eerste een wolfraamlamp kon vervaardigen waarvan de gloeidraad niet bij de minste of geringste schok brak.

Hiermede won hij de wedloop met de Duitsers JUST en HANAMAN die in 1904 een wolfraamlamp hadden gemaakt, die echter te bros was om een normale levensduur te garanderen.

COOLIDGE beheerste nu de verwerking van dit metaal volledig en kwam door zijn interesse voor röntgenbuizen – hij had als student op het M.I.T. in 1896 al eens zelf een röntgenapparaat gebouwd – op het idee om dit metaal te gebruiken als bekleding van de anode, omdat het tot nu toe gebruikte metaal, platina, te vlug sleet onder het voortdurende elektronenbombardement. Na deze aanvankelijke verbetering werd COOLIDGE door een aanwijzing van LANGMUIR in de gelegenheid gesteld röntgenbuizen van een heel nieuw principe te bouwen.



Afb. 1. COOLIDGE-buis.

LANGMUIR zei hem namelijk dat verhit wolfram in hoogvacuüm een constante en reproduceerbare stroom elektronen uitzond. Om tot een juist begrip te komen van de ingrijpende veranderingen die COOLIDGE, en, zoals later nog duidelijk gemaakt zal worden, ook LILIENFELD en FÜRSTENAU in de röntgenbuizen en hun toepassingen aanbrachten, is het noodzakelijk, in kort bestek hier een overzicht te geven van de werking van de alleroudste types.

De eerste röntgenbuizen die in de praktijk bruikbaar bleken zagen er ongeveer uit als de buis in afb. 2, en bestonden uit een glaslichaam met drie ingesmolten elektroden. De lucht werd uit de buis gepompt tot de druk was gedaald tot ongeveer 0,01–0,001 mm Hg ($\pm 1/100.000$ van de atmosferische druk).

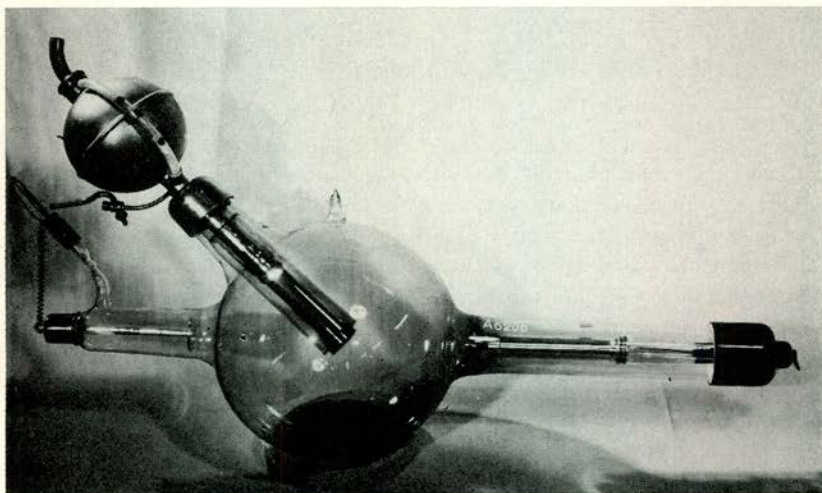
Voor de opwekking van röntgenstralen werd op de recht tegenover elkaar staande anode en kathode een spanning van ± 130 kV aangelegd. Deze gelijkstroom werd geleverd door een hoogspanningstransformator met een gelijkrichter, of door een inductor met een onderbreker.

Door het aanleggen van een spanningsverschil zullen aan de kathode enige elektronen worden vrij gemaakt, die zich, doordat ze worden afgestoten door de kathode, en worden aangetrokken door de anode, door de verdunde lucht gaan bewegen. Botsen ze echter op hun weg tegen een gasmolecuul, dan zal dit worden gesplitst in een negatief elektron en een positief gasrest-ion. Dit proces wordt stoot-ionisatie genoemd. De zo ontstane elektronenstroom botst nu op de schuin op de kathode staande antikathode.

Dit elektronen-bombardement heeft drie gevolgen: Ten eerste wordt de elektronenstroom, die een corpusculair karakter heeft, getransformeerd tot een straling die lijkt op U.V.-straling met een zeer korte golflengte, en die nog steeds een duidelijk golfkarakter heeft. (De golflengte van röntgenstraling is globaal genomen 1 \AA .)

Ten tweede zal de antikathode door de ontvangen negatieve ladingseenheden der elektronen zelf negatief worden geladen. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat ze de elektronen gaat afstoten, zodat het ontstaan van röntgenstraling op de juiste plaats wordt verhinderd. Dit wordt ondervangen door anode en antikathode buiten het glaslichaam geleidend te verbinden.

Ten derde zal door de botsingen, naast energie in de vorm van straling



Afb. 2. Gasbuis met waterkoeling van de antikathode. Onder het metalen waterreservoir (links boven) bevindt zich een gasbrandertje dat de platina stift, links boven de hulpanode, kan verwarmen. Hierdoor zal het gedeelte van de stift, dat zich binnen het glaslichaam bevindt, gasmoleculen afgeven. Dit is een van de oude regelingsmechanismen voor de hardheid van de buis, voordat het hoog-vacuüm principe werd toegepast.

met een golfkarakter, ook energie in de vorm van warmte worden geproduceerd die, wil men de buis niet oververhitten, zal moeten worden afgevoerd.

De gebruikelijkste methoden hiervoor zijn de koeling van de antikathode met water, of luchtkoeling van het koperen lichaam van de antikathode, dat buiten de buis uitsteekt, waarbij het koelend oppervlak kan worden vergroot door het gebruik van koelribben.

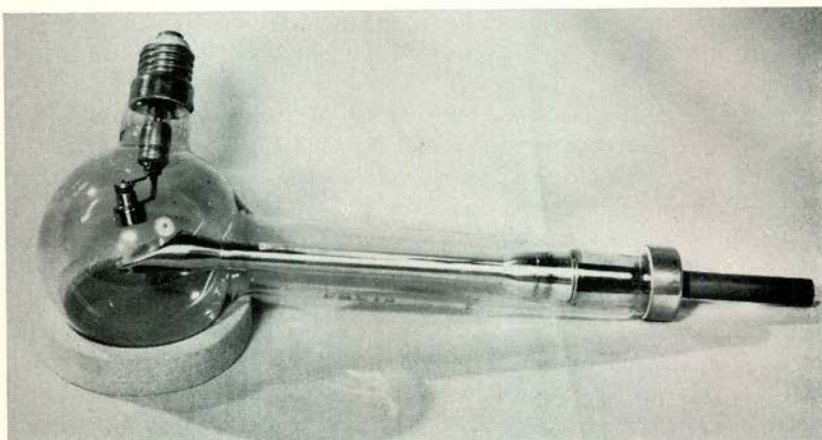
Als bijzonderheid van de technische uitvoering moet nog worden vermeld dat de aluminium kathode de vorm had van een holle spiegel, waardoor op de antikathode, die zich in het brandpunt hiervan bevond, slechts een puntvormig gebied werd blootgesteld aan de elektronen-stroom. Hierdoor ontstond er een radiaire bundel röntgenstraling die beter te gebruiken was dan een bundel ongeordend door elkaar lopende stralen, welke zou ontstaan als er een groot oppervlak door de elektronen zou worden getroffen, omdat het door de eerste soort straling ontstane beeld scherper is. Daar de warmte nu op een zeer klein oppervlak wordt opgewekt, moet de antikathode een hoog smeltpunt hebben. Ze werd dan ook vervaardigd uit een platina of wolfram plaat, gevat in koper.

Voor de praktijk was en is het echter nodig dat de gebruiker van een röntgenapparaat zowel de kwaliteit als de kwantiteit van de straling kan regelen en juist dit was het grote probleem bij het hierboven beschreven type buis. De kwantiteit van de opgewekte straling is namelijk evenredig met het aantal gasmoleculen in de buis, of juister, tussen de kathode en de antikathode. Immers, hoe vaker een elektron op de weg, die hij tussen deze twee punten moet afleggen, met een gasmolecuul in botsing komt, hoe meer elektronen er worden vrijgemaakt. In laatste instantie is namelijk het aantal elektronen dat tegen de antikathode botst, bepalend voor de hoeveelheid straling die wordt geproduceerd.

Aan de andere kant is de kwaliteit van de straling omgekeerd evenredig met het aantal gasmoleculen en evenredig met het potentiaal-verschil tussen kathode en antikathode. Het spanningsverschil geeft aan de elektronen een drijvende kracht en de hierdoor ontwikkelde snelheid kan in meerdere of mindere mate teniet worden gedaan door botsingen met gasmoleculen. Hoe minder hiervan er zich nu in de baan van het elektron bevinden, des te groter zal diens snelheid zijn en ook diens kinetische energie.

Het gevolg zal zijn dat, na de omzetting, de in de vorm van röntgenstraling en warmte vrijkomende energie ook groter zal zijn. Dit houdt wat betreft de röntgenstraling in, dat de golflengte kleiner zal zijn in vergelijking met de straling die opgewekt wordt als de snelheid van de elektronen kleiner zou zijn.

De straling met een korte golflengte staat bekend als „harde straling”, die met een langere golflengte, als „zachte straling”. Overigens moet wel uitdrukkelijk worden gesteld dat iedere straling bestaat uit een mengsel van



Afb. 3. COOLIDGE-buis. Deze buis werd speciaal gebouwd voor tandheelkundige doeleinden en werd o.a. gebruikt in het röntgentoestel, afgebeeld in afb. 4.

„hard” en „zacht” en van alle gradaties daartussen. Het geheel wordt genoemd naar de component die overheerst. De problemen die hiermee samenhangen en de oplossingen die hiervoor in de loop der jaren zijn gevonden worden hier buiten beschouwing gelaten.

Als consequentie van deze verschillen in hardheid moest iedereen die met röntgenbuizen werkte, hiervan een aantal exemplaren voorradig hebben, die alle een verschillend vacuüm hadden, om zodoende de hardheid van de gebruikte straling te kunnen variëren.

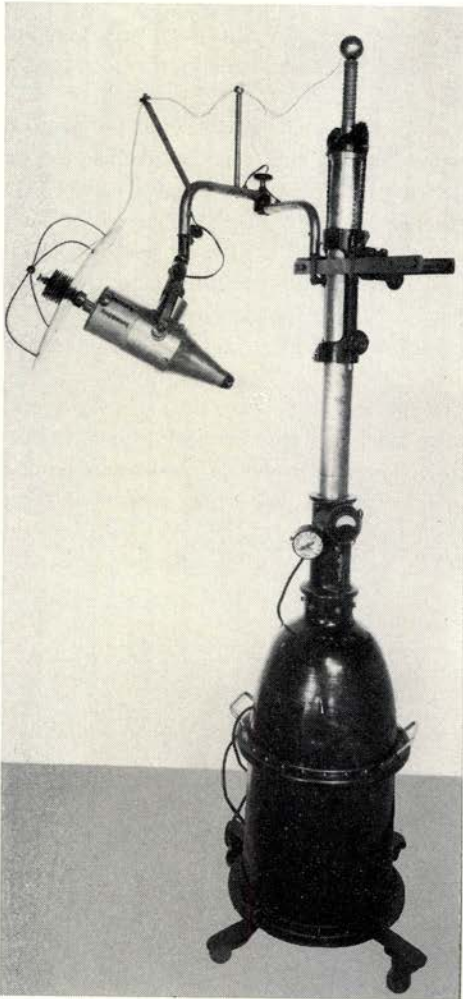
Een bijkomend bezwaar was nog dat door het verbruik van gasmoleculen bij botsingen en door absorptie van gas aan metaalpartikeltjes, die van de kathode en de antikathode in de loop der tijd vrijkwamen, de buis steeds harder werd.

Er zijn veel methoden ontwikkeld waardoor de practicus in staat werd gesteld om deze hard geworden buizen zelf te regenereren. Een paar van de meest gebruikte principes wil ik hier in het kort uiteenzetten.

Allereerst was er de platina stift, die zodanig in de buis was ingesmolten dat ze zich er half binnen half buiten bevond. Door verwarming van het uitstekende deel met een vlam werd de hele stift verhit en kwamen er in de buis gasmoleculen vrij, die bij het insmelten aan het platina waren gebonden en die door het evacueren niet daaruit konden worden losgemaakt. Een andere methode was het elektrisch verhitten van bepaalde stoffen die zich in een zijbuis bevonden. Hierbij veelvuldig gebruikte stoffen waren glimmer en grafiet. De verdere werking was analoog aan de eerstgenoemde methode. Deze twee manieren hadden echter het nadeel dat de regenerering niet ongelimiteerd kon plaatsvinden omdat de hoeveelheid gebonden gas

beperkt was. De zogenaamde BAUER-regenerering ondervangt dit bezwaar door het mogelijk te maken dat met behulp van een kwikventiel, gas uit de omringende lucht via een membraanfilter in de buis werd gebracht.

Ten einde al deze bezwaren tegelijk te ondervangen vervaardigde COOLIDGE een buis, waarbij zich in het centrum van een parabolische spiegel een wolfram gloeidraad bevindt die elektronen uitzendt. De z.g. gloeistroom



Afb. 4. Het eerste röntgentoestel dat uitsluitend voor tandheelkundige doeleinden werd vervaardigd door de Veifa Werke in Frankfurt am Main, daterend uit \pm 1926. Dit toestel is tot \pm 1956 in gebruik geweest bij tandarts J. HESKES te Apeldoorn.

van ongeveer 8 volt bepaalt de hoeveelheid uitgezonden elektronen, en daarmee de kwantiteit van de straling. Het spanningsverschil tussen anode en kathode bepaalt de hardheid van de straling. De buis worden hoogvacuüm gepompt omdat de aanwezigheid van gasmoleculen de bovengenoemde regulatie zou verstoren.

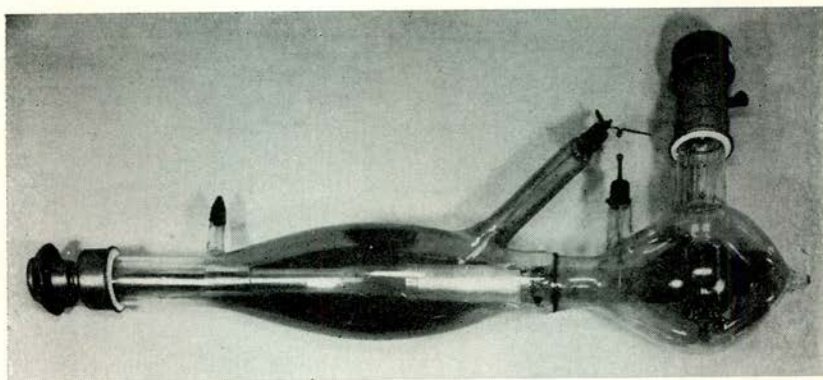
Het maximale spanningsverschil voor dit type buis was ongeveer 200.000 V. Later, omstreeks 1923, kon COOLIDGE, door gebruik te maken van het metaal Fernico, bestaande uit ijzer, nikkel en cobalt een buis ontwerpen volgens het cascade principe. Dit was een buisvormig geheel, afwisselend bestaande uit een ring glas en een ring Fernico, met aan het ene uiteinde een elektronenbron en aan het andere uiteinde een „target”, zoals ook bij zijn normale buizen.

Door het aanleggen van een potentiaalverschil van ± 200.000 V tussen deze twee punten, en door in iedere Fernico ring een elektro-magnetisch veld op te wekken, waarin de elektronen telkens weer werden versneld, kon deze buis een x-straling produceren die het effect had alsof ze in een normale buis met een potentiaalverschil van 400.000 V of meer was opgewekt.

Voor het American Institute of Electrical Engineers sprak COOLIDGE eens als zijn mening uit dat buizen, werkend volgens dit principe bij 3.000.000 V röntgenstralen zouden produceren, even doordringend als γ -straling van radium.

Als we nu nog even teruggaan tot omstreeks 1914, de tijd waarin COOLIDGE zijn eerste buizen ontwierp, dan zien we in de Europese, en vooral Duitse literatuur een paar namen verschijnen waaraan in de Angelsaksische landen nauwelijks of geen aandacht wordt besteed, namelijk LILIENFELD en FÜRSTENAU.

In het boek van Ir. F. DESSAUER (2) komt de volgende passage voor: „Die

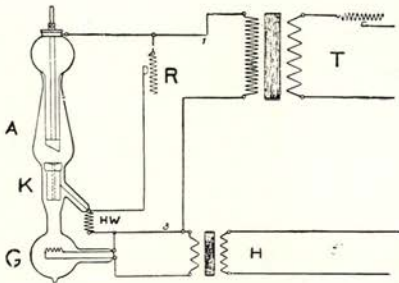


Afb. 5. Een LILIENFELD-buis zoals deze in het museum van het Tandheelkundig Instituut te Utrecht aanwezig is.

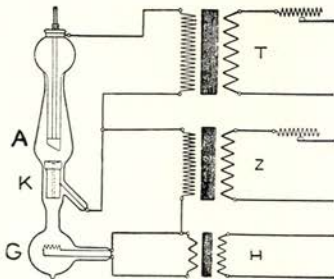
Erfindung LILIEFELD's liegt ziemlich lange Zeit zurück. Chronologisch folgte auf sie eine Erfindung von Dr. FÜRSTENAU in Berlin, die in Deutschland wenig bekannt wurde, bis sie von dem Amerikaner COOLIDGE eine verbesserte Form erhielt."

Bij de vergelijking van de schakelingsschema's van de COOLIDGE- en de LILIEFELD-buis bleek dat de laatste tamelijk ingewikkeld was. De LILIEFELD-buis (zie afb. 5 en 6 a en b) werkte als volgt. Door de kathode G tot gloeien te brengen worden elektronen geproduceerd; door het spanningsverschil tussen G en de eigenlijke röntgenkathode K worden de elektronen in de buis gebracht. Hierdoor kan een fijne regulatie worden verkregen zonder allerlei eerder genoemde bezwaren die het resultaat zeer twijfelachtig maken. De gloeikathode G is negatief geladen ten opzichte van de kathode K; deze is op haar beurt weer negatief ten opzichte van de antikathode A. Men kan dus zeggen dat A een grotere positieve lading heeft dan K.

Bij een constante gloeispanning van ca. 14 V en 4 A zal er dus een constante elektronenstroom ontstaan. Naarmate het potentiaalverschil tussen G en K (± 5.000 V) groter is zullen er meer elektronen door de holle kathode in de eigenlijke buis terecht komen, waar ze door het potentiaalverschil tussen A en K (± 150 kV) naar de anode gedreven zullen worden.



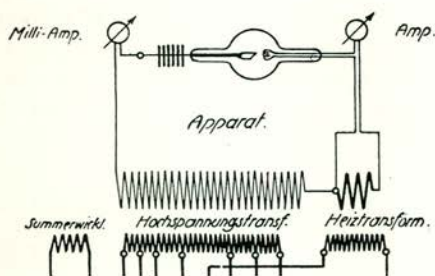
Afb. 6a.



Afb. 6b. In beide schema's is de LILIEFELD-buis met bijbehorende schakelingen weergegeven (uit: DESSAUER-WIESNER: Leitfaden blz. 203).

Door nu het potentiaalverschil tussen G en K groter te maken zullen meer elektronen K passeren met als resultaat een „zachtere” straling, en omgekeerd door de spanning te verlagen ontstaat een „hardere” straling.

Het beantwoorden van de vraag, wie nu de eerste hoogvacuümbuis ($\pm 10^{-5}$ mm Hg) heeft ontworpen levert mijns inziens weinig mogelijkheden op. Immers, op 30 april 1912 werd het Deutsches Reichspatent Nr. 271306 verleend aan FÜRSTENAU op een door hem ontworpen röntgenbuis, terwijl wij in het dagboek van COOLIDGE pas op 12 december van dat zelfde jaar kunnen lezen over een gesprek van hem met Dr. LANGMUIR, die hem wees op het feit dat de elektronenstroom in hoogvacuüm van een verhitte kathode vrij groot was. Als commentaar schreef COOLIDGE daaronder: „Ik zal dit direct in een röntgenbuis proberen waarin ik de kathode kan verhitten.” Het patent dat van deze arbeid het resultaat was werd pas op 9 mei 1913 verleend.



Afb. 7. Schakelingsschema voor de COOLIDGE-buis die in het toestel van afb. 4 werd gebruikt.

De veel gehoorde bewering dat COOLIDGE de eerste was die een hoogvacuümbuis ontwierp is dus niet juist, maar wel begrijpelijk omdat de Duitse buizen, die vrij ingewikkeld waren, spoedig werden verdrongen door de eenvoudiger COOLIDGE-buis. Hoewel COOLIDGE dus niet een geheel nieuw principe ontwikkelde maar voortbouwde op het werk van anderen, heeft de wetenschap veel profijt gehad van zijn werk op röntgengebied.

Naast de ontwikkeling van handzame röntgeninstallaties heeft dit onder andere ook geleid tot het ontwerpen van deeltjes-versnellers zoals Bètatron en Cyclotron, omdat we als voorloper hiervan de door COOLIDGE ontworpen cascadebuis kunnen zien.

Literatuur:

1. MILLER (1963): William David Coolidge, Mohawk Dev. Service, New York.
2. DESSAUER-WIESNER (1916): Leitfaden des Röntgenverfahrens. Nemann, Leipzig.
3. LEIX (1923): Einführung in die Zahnärztliche Röntgenologie. Bergmann, München.
4. DESSAUER-WIESNER (1915): Kompendium der Röntgenaufnahme und Röntgendurchleuchtung. Nemann, Leipzig.

5. BALTERS (1925): Leitfaden der Zahnärztlichen Röntgenkunde. Meusser, Berlin.
6. CIESZYŃSKI (1926): Zahnärztliche Röntgenologie und Klinische Zahnheilkunde im Röntgenbild. Barth Verlag, Leipzig.
7. WILLIAMS (1902): The Roentgen rays in medicine and surgery. Macmillan Company, London/New York.
8. RAPER (1918): Elementary and dental radiography. Consolidated Dental Mfg. Co. New York/Ash, Sons & Co. Ltd., London.

Jutfaseweg, 7,
Utrecht.