

# Research between science, society and politics

Citation for published version (APA):

Linthorst, J. A. (2023). *Research between science, society and politics: the history and scientific development of green chemistry*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.20230209j>

## Document status and date:

Published: 01/01/2023

## DOI:

[10.26481/dis.20230209j](https://doi.org/10.26481/dis.20230209j)

## 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.

## Samenvatting

In de jaren 90 van de twintigste eeuw ontstonden er binnen de chemische wetenschap nieuwe initiatieven onder de noemer van “groene chemie” die streefden naar meer milieuvriendelijke en duurzame chemische processen. Sindsdien maakt dat nieuwe werkkterrein een spectaculaire groei door. Dit proefschrift, *Research between Science, Society and Politics: The History and Scientific Development of Green Chemistry*, probeert de drijfveren achter het ontstaan en de groei van groene chemie zichtbaar te maken en te verklaren.

Hiervoor kijk ik op het snijvlak van chemische wetenschap en samenleving naar de voorgeschiedenis, het ontstaan, en de institutionalisering van groene chemie. Daarbij is de aandacht in hoofdstuk 2 gericht op de Verenigde Staten (VS), in hoofdstuk 3 op het Verenigd Koninkrijk (VK) en, tenslotte, in hoofdstuk 4 op Nederland. Dit proefschrift laat zien dat de auteurs van de eerste invloedrijke boeken over groene chemie werkzaam waren in de VS en dat deze auteurs ook daarna dominant bleven in dit nieuwe veld. Het meest belangrijke wetenschappelijke tijdschrift voor de internationale groei van groene chemie – *Green Chemistry* – was echter van Britse makelij. Deze ontwikkelingen vormen een interessant vergelijkingsmateriaal voor de ontwikkelingen die op dit gebied in Nederland plaatsvonden. Bovendien biedt de vergelijking tussen die landen de mogelijkheid om meer zicht te krijgen op de algemene factoren die de opkomst van de groene chemie bevorderden, en de factoren die specifiek waren voor elk land afzonderlijk zodat uiteindelijk groene chemie beter kan worden gekarakteriseerd.

In hoofdstuk 1 laat ik zien dat de opkomst en de wetenschappelijke identiteit van groene chemie op verschillende – en soms tegengestelde – wijzen zijn gekarakteriseerd in de literatuur die tot nu toe over dit onderwerp is verschenen. In 2005 concludeerden Edward Woodhouse en Steve Breyman bijvoorbeeld dat de opkomst van groene chemie moet worden gezien als een ‘sociale beweging’, omdat die wordt gedreven door factoren buiten de muren van het laboratorium. In datzelfde jaar concludeerde Jody Roberts in zijn uitgebreide historische analyse *Creating Green Chemistry*, deels in reactie op Woodhouse en Breyman, dat groene chemie een ‘wetenschappelijke beweging’ is. Hij baseerde zich daarbij op de zogeheten “12 principes van de groene chemie” die in 1998 waren opgesteld door de Amerikanen Paul Anastas en John Warner. Deze principes bepalen, volgens Roberts, de identiteit van groene chemie als een interdisciplinair onderzoeksveld. Jesper Sjöström daarentegen laat alle beleids- en kennisgebieden die streven naar het “vergroenen” van de

scheikunde vallen onder de noemer van groene chemie. Hij stelde in 2007 dat groene chemie is ontstaan in reactie op het door milieuproblemen veroorzaakte negatieve publieke imago van de chemie. Volgens hem is groene chemie een ‘meta-discipline’ die ontstond om sociaal-culturele redenen. Marianna Epicoco en haar coauteurs probeerden in 2014 verschillende van de hiervoor genoemde visies te integreren door te stellen dat ‘groene chemici’ binnen de chemische wetenschap een ‘epistemische gemeenschap’ vormen die, gebruikmakend van de 12 principes, probeert door middel van toegepast onderzoek specifieke vraagstukken uit de samenleving op te lossen. Weer anderen zien het gebruik van de term groene chemie als een poging tot ‘greenwashing’ om het publieke imago van de scheikunde op te poetsen. Zover gaat Bernadette Bensaude-Vincent niet in *Public Understanding of Science* (2014), maar volgens haar is de term groene chemie wel een “buzzword” dat vooral de retorische functie heeft om onbegrip tussen, in dit geval, de chemie en samenleving te reduceren.

Om deze zes visies op hun merites te beoordelen, én om een dieper inzicht in de aard van de groene chemie als vakgebied en retorisch repertoire te krijgen, maak ik gebruik van een aantal theorieën en concepten over de ontwikkeling van wetenschapsgebieden. Bijvoorbeeld van het model van Nicholas Mullins, dat ervan uitgaat dat nieuwe paradigma’s een cruciale rol spelen bij de start van een wetenschappelijk specialisme. Verder gebruik ik het “parapluterm” concept van Arie Rip en Jan-Peter Voss. Zij beogen daarmee de opkomst en stabilisatie van nieuwe wetenschappelijke velden te karakteriseren op basis van zowel epistemische componenten alsook op basis van institutionalisering en het strategische gebruik van retorische instrumenten in relatie tot wetenschapsbeleid en tot zorgen die leven in de samenleving. Karakteristiek voor een parapluterm is dat deze zowel een inhoudelijke component heeft, die vaak ter discussie staat, alsook een retorische component. Tevens gebruik ik het model van Laurens Hessels en Harro van Lente dat zogeheten ‘contracten tussen wetenschap en samenleving’ op macroniveau beschrijft. Dit model gaat in op wat, en waarom, de wetenschap zou moeten doen en onder welke – vaak financiële – condities.

Met behulp van deze inzichten werpt de huidige studie een nieuw licht op de groei en identiteit van groene chemie. Een van de vragen waaraan ik in het bijzonder aandacht heb besteed is hoe milieuproblemen en het imago van de chemie het ontstaan en de ontwikkeling van groene chemie in de VS, het VK en Nederland hebben beïnvloed. Dit proefschrift onderzoekt deze maatschappelijke aspecten vooral op basis van een historische analyse van de betreffende ontwikkelingen in die drie landen, waarbij in het bijzonder wordt gekeken naar de rol en activiteiten van de nationale chemische verenigingen: de American Chemical Society (ACS), de Royal Society of Chemistry (RSC) en de Koninklijke Nederlandse Chemische

Vereniging (KNCV). Deze benadering leidt tot de identificatie van dominante actoren op het terrein van de groene chemie en tot meer inzicht in het retorisch gebruik van deze term in de dialoog tussen chemie en samenleving. De nationale ontwikkelingen worden besproken in de hoofdstukken 2, 3 en 4 in samenhang met de relevante politiek-culturele factoren uit de drie verschillende landen. Bij die analyse was Sheila Jasanoff's boek *Designs on Nature: Science and Democracy in Europe and the United States* zeer behulpzaam. Zij laat zien dat beleidsdoelen en de stijl van het wetenschapsbeleid sterk cultureel zijn bepaald, en onderscheidt daarbij drie typen politieke culturen: pluralisme, dat gepaard gaat met polarisatie; een op consensus gerichte politieke cultuur; en tenslotte een politieke cultuur waarin overheidsexperts een zeer actieve en dominante rol spelen. Deze indeling was ook voor mijn studie nuttig en ik neem die dan ook mee in mijn analyse van de ontstaansgeschiedenis van milieuchemie in de drie genoemde landen. Deze vormt tevens de voorgeschiedenis van de groene chemie.

In hoofdstuk 5 vindt vervolgens een conceptuele analyse plaats, in samenhang met een studie van chemische activiteiten die in het laboratorium plaatsvonden. Het doel hiervan is om groene chemie vanuit het perspectief van chemische grondslagen te begrijpen. Daarnaast kijk ik ook naar het retorisch gebruik van de term groene chemie. Het doel is om zo de balans te kunnen opmaken van de mate waarin het ontstaan van groene chemie in de jaren 90 verklaard kan worden door de rol van nieuwe chemische kennis, en de mate waarin louter retorische elementen daarbij een rol speelden. Hoofdstuk 6 voorziet in een comparatieve historische analyse waarin de resultaten van de hoofdstukken 2, 3, 4 en 5 worden besproken en met elkaar vergeleken om eindconclusies te trekken met betrekking tot het wetenschappelijk karakter en de drijfveren achter het ontstaan van groene chemie.

De hoofdstukken 2, 3 en 4 vormen het empirisch hart van dit boek. Hoofdstuk 2, over de VS, laat zien dat Amerikaanse chemici de eersten waren met diepgaande publicaties over groene chemie. Een dominante rol werd daarbij gespeeld door chemici werkzaam bij de US Environmental Protection Agency (EPA) en door een nieuwe milieuwet. Chemici van de EPA waren actief binnen de ACS Division of Environmental Chemistry (DEC). Deze milieuchemische sectie zag haar ledenaantal begin jaren 70 verdubbelen. In de jaren 80 zette de groei van dit sub-veld van de chemie verder door vanwege een toenemende vraag naar chemische kennis over het milieu. Er was in die jaren een sterke (juridische) polarisatie tussen de Amerikaanse overheid, de chemische industrie en milieu-gerelateerde ngo's. Tegelijk maakten de chemische industrie en de chemische wetenschap zich zorgen over het negatieve imago van de chemie. Mede vanwege de optredende polarisatie besloot de Amerikaanse

overheid, in samenspraak met de industrie en andere partijen, de regelgeving aan te passen. Het Amerikaans Congres accordeerde de Pollution Prevention Act (PPA) in 1990. In plaats van het louter opleggen en handhaven van milieustandaarden stond deze wet juist voor de preventie van milieuvervuiling.

Deze wet bleek een keerpunt, want hij legde de basis voor groene chemie in de VS. Diverse chemici verbonden aan de EPA begonnen met PPA in de hand actief de boodschap van afvalpreventie uit te dragen en dan wel met name die van giftig afval dat ontstaat bij chemische processen. Vooral Paul Anastas en Joseph Breen die belast waren met beleidszaken verzorgden tientallen lezingen en symposia op nationale congressen van de ACS, vooral binnen DEC. Deze inspanningen leidden tot de publicatie van de invloedrijke symposiumbundels *Benign by Design: Alternative Synthetic Design for Pollution Prevention* (1994) en *Green Chemistry: Designing Chemistry for the Environment* (1996). Vooral laatstgenoemde publicatie zette de term “groene chemie” op de kaart. Deze nieuwe ontwikkeling viel min of meer samen met het overheidsprogramma *Reinventing Environmental Regulation* (1995) van de regering van President Bill Clinton en Vice-President Al Gore. Afvalpreventie kreeg daarbij een hoge prioriteit, veelal onder het label van groene chemie. *Reinventing Environmental Regulation* legde ook de basis voor de Presidential Green Chemistry Challenge Awards die in 1996 voor de eerste keer werden uitgereikt, om nieuwe milieuvriendelijke chemische processen te belonen die een voorbeeldfunctie zouden kunnen vervullen om het onderlinge vertrouwen tussen de chemische industrie, de chemie en de samenleving te vergroten. De organisatie hiervan was in handen van de EPA, in samenwerking met de ACS.

In 1997 volgde institutionalisering van groene chemie in de vorm van het Green Chemistry Institute (GCI). Met financiële steun van de overheid, wetenschap en chemische industrie ging deze kleine organisatie de boodschap van groene chemie uitdragen onder chemici en beleidsmakers, en in de maatschappij. De ACS zag grote mogelijkheden om via het GCI het publieke imago van de chemie te verbeteren. Het maakte dit nieuwe instituut in 2000 onderdeel van de eigen organisatie. De ACS zag groene chemie als een veelbelovend instrument in de dialoog met politici en de samenleving om de relevantie van de chemie duidelijk te maken en onderzoeksgelden los te krijgen voor de chemie. De kans om een internationaal wetenschappelijk tijdschrift op het terrein van de groene chemie op te richten liet de ACS echter aan zich voorbij gaan. Het VK had de primeur.

Het tijdschrift *Green Chemistry* werd in 1999 opgericht door de RSC. In het VK volgde het ontstaan van groene chemie historisch gezien gedeeltelijk een andere route dan in

de VS. Hoofdstuk 3 van dit proefschrift onderzoekt die geschiedenis. Net als in de VS werden omstreeks 1970 ook in het VK nieuwe milieuwetten ingevoerd. Juridische en institutionele hervormingen van milieubeleid vonden echter tamelijk geleidelijk plaats. In vergelijking met andere Noord-Europese landen was de publieke aandacht voor het milieu in het VK geringer. Daarnaast waren milieuboetes relatief laag en was er op het niveau van milieuhandhaving een nauwe en weinig transparante samenwerking tussen industrieën en overheden. De vraag naar milieuchemische kennis nam wel gestaag toe in het VK. In 1972 werd binnen de Industrial Division van de Chemical Society, een voorloper van de RSC, de Environment Group opgericht. De nauwe banden met de Industrial Division bleven ook na de vorming van de RSC intact, toen het ledenaantal van de Environment Group wat terugliep. Maar vanaf de late jaren 80 schoot het ledenaantal van deze werkgroep sterk omhoog om vervolgens in 1994 zo groot te worden dat de groep formeel onafhankelijk kon worden van de Industrial Division, en als RSC Environmental Chemistry Group (ECG) verder kon gaan.

De groei in ledenaantal hing samen met de toegenomen publieke aandacht voor milieuvervuiling en volksgezondheid. Dat zag ook de regering van Margaret Thatcher, die aanvankelijk weinig ophad met strenge milieustandaarden omdat die slecht spoorden met haar economisch-industrieel beleid. Vanwege toegenomen druk vanuit de Europese Economische Gemeenschap, maar vermoedelijk ook om electorale redenen, veranderde haar conservatieve regering van richting. In 1990 publiceerde de regering het eerste milieu-gerelateerde witboek van het VK, *This Common Inheritance: Britain's Environmental Strategy*. Inzet was ook het transparanter maken van het milieubeleid en de milieuhandhaving. Wat bleef, was de bestaande sterke focus op het concurrentievermogen van de industrie. Die focus kwam ook terug in het nieuwe wetenschaps- en technologiebeleid dat medio jaren 90 werd ontwikkeld onder de benaming 'Technology Foresight' (TF), dat deels ontstond als respons op vergelijkbare ontwikkelingen in andere landen zoals Nederland. Dit beleidsprogramma voor toegepaste wetenschap was een novum in de Britse politieke cultuur, omdat anders dan in voorgaande decennia de dialoog over het wetenschapsbeleid breder werd georganiseerd dan binnen de gebruikelijke, kleinschalige overheidscommissies. De RSC raakte ook betrokken bij TF. Sommigen leden van de RSC waren voorstander van het bevorderen van toegepaste wetenschap, maar er waren ook leden die voor een verschraving van de fundamentele chemische wetenschap vreesden. Binnen die context van dit nieuwe overheidsbeleid ontstonden er binnen de RSC mogelijkheden om netwerken te vormen die konden inspelen op de veranderende vraag naar chemische kennis, waaronder de preventie van giftig afval dat ontstaat bij chemische processen. De oprichting in 1998 van het RSC Green Chemistry

Network (GCN) en van het internationale tijdschrift *Green Chemistry* het jaar daarop, moeten in dat licht worden gezien.

De GCN en *Green Chemistry* werden in het VK gecoördineerd vanuit York University, door chemici uit het laboratorium van professor James Clark, die onder de noemer “schone technologie” zich al enkele jaren richtte op de ontwikkeling van (industriële) chemische processen die minder (giftig) afval genereerden. Hij ruilde deze term eind jaren 90 in voor “groene chemie”. Clark beschouwde, net als leiders van de RSC, groene chemie als een geschikt instrument in de dialoog met de samenleving, mede om het publieke imago van de chemie te verbeteren. Dat verklaart ook de weloverwogen keuze voor de titel van het tijdschrift dat zich internationaal zou ontwikkelen tot het meest belangrijke wetenschappelijke tijdschrift op dit nieuwe terrein: *Green Chemistry*. Met de oprichting van dat tijdschrift, dat zich ook profileerde als magazine, kregen chemici de kans om te laten zien aan de samenleving dat ze goed gemotiveerd waren om milieuproblemen veroorzaakt door chemische processen aan te pakken en te voorkomen. De start van *Green Chemistry* bleek daarnaast een keerpunt in het gebruik van de term groene chemie in de wetenschap. Dit gebruik nam internationaal in de jaren daarna een grote vlucht, vooral in chemische kringen. In het begin verscheen *Green Chemistry* zes keer per jaar, maar door de toenemende internationale aandacht verdubbelde de verschijningsfrequentie in 2004.

Hoofdstuk 4 onderzoekt de ontstaansgeschiedenis van groene chemie in Nederland, die wezenlijk verschilde van die in de VS en het VK. In Nederland kwam in de jaren 90, anders dan in de twee genoemde landen, de term “duurzame chemie” namelijk meer op de voorgrond te staan dan de term “groene chemie”. Net als in de VS en het VK namen ook in Nederland in de jaren 60 en 70 de zorgen van burgers over milieuvervuiling toe. In het begin van de jaren 70 leidde dat tot de invoering van milieuwetten en hervormingen van de Rijksoverheid ter bescherming van de volksgezondheid. In die periode werd ook de Sectie Milieuchemie (MC) opgericht binnen de KNCV. De vraag naar chemische kennis over het milieu nam immers toe, bovendien waren chemici zelf gemotiveerd om bij te dragen aan de oplossing van milieuproblemen. Het ging daarbij onder andere om het in kaart brengen van de impact en verspreiding van toxische stoffen. Na de oliecrisis van 1973 maakte de aandacht voor het milieu tijdelijk plaats voor meer aandacht naar de toestand van de economie. In de jaren 80 keerde echter het tij en verbreedde de aandacht voor het milieu zich substantieel in vergelijking met andere landen. Relatief veel inwoners van Nederland werden donateur of lid van een milieu-gerelateerde ngo. De door de Rijksoverheid opgelegde milieustandaarden waren streng in vergelijking met andere Europese landen. Daarnaast had Nederland, anders

dan de VS en het VK, een leidende rol in de multilaterale *Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (LRTAP)* uit 1979, die vanaf 1983 van kracht werd.

In plaats van de polarisatie die in de VS optrad, ontwikkelde het milieubeleid zich, in lijn met de Nederlandse politieke cultuur, op basis van een breed gedragen consensus onder belanghebbenden. Het in 1988 gepubliceerde rapport *Zorgen voor Morgen: Nationale Milieuverkenning 1985-2010* van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) is hier een voorbeeld van, maar ook de door de Rijksoverheid geïnitieerde milieuconvenanten zoals “Koolwaterstoffen 2000” (1989). Het maken van nieuw beleid was er op gericht om uiteenlopende belangen en zienswijzen van chemische industrieën en milieu-gerelateerde ngo’s, met de hulp van actieve overheden, te bediscussiëren en te balanceren.

Deze sterk gedecentraliseerde stijl van beleid maken was, zoals Arie Rip en Barend van der Meulen in 1998 betoogden, in de jaren 90 ook van toepassing op het Nederlandse wetenschaps- en technologiebeleid. In deze periode nam de vraag naar toegepaste chemische kennis toe om de preventie van afval, een efficiënter gebruik van (bij voorkeur hernieuwbare) grondstoffen en een duurzame ontwikkeling te realiseren. Deze doelen beïnvloedden ook het chemisch onderzoek. Het programma Duurzame Technologische Ontwikkeling-Chemie (DTO-Chemie) is daarvan een illustratie. In dit beleidsprogramma van de Rijksoverheid waren tal van overheidsorganen, ngo’s, wetenschappers en bedrijven betrokken. Medio jaren 90 leidde dat op basis van milieuaspecten en economische overwegingen tot de formulering van veelbelovende wetenschapsgebieden die R&D-subsidies zouden moeten ontvangen. Oud-Kamerlid en chemicus Leo Jansen en voormalig KNCV-voorzitter Jan Mulderink speelden daarin een leidende rol. De KNCV bleef binnen DTO-Chemie echter wat op de achtergrond. De Rijksoverheid stuurde deels wel mee via vijf ministeries die dit beleidsprogramma financierden. Net als in de VS en het VK speelde de wens om het, betrekkelijk negatieve, publieke imago van de chemie te verbeteren een rol bij chemici die in DTO-Chemie participeerden.

Onder de vlag van DTO-Chemie kwam de term “duurzame chemie” naar voren in verschillende publicaties. Daarnaast was deze term prominent aanwezig in de institutionele opvolger van DTO-Chemie, de in 1997 opgerichte Stichting Duurzame Chemie Ontwikkeling (DCO). De keuze voor de term duurzame chemie was vooral ingegeven door het feit dat duurzame ontwikkeling een expliciet beleidsdoel van de nationale overheid was. Een term die daar bij aansloot had de voorkeur. Als gevolg hiervan trad in de jaren 90 de term duurzame chemie in Nederland meer op de voorgrond dan de term “groene chemie” (die beginjaren 90 vooral werd gebruikt in een context van hernieuwbare grondstoffen).



In hoofdstuk 5 wordt met behulp van een conceptuele analyse van groene chemie in de drie genoemde landen nader ingegaan op de chemische grondslagen van dit veld. Er wordt gekeken naar het retorisch gebruik van de term groene chemie en onderzocht in hoeverre “groene chemici” bijeen worden gehouden door hetzelfde chemische paradigma. Daarnaast heb ik vooral de inhoud van het tijdschrift *Green Chemistry* en de daarin gepubliceerde artikelen onderzocht. Tevens heb ik de conceptualisering van groene en duurzame chemie door dominante actoren uit de VS, het VK en Nederland geanalyseerd.

Afgaande op de hoeveelheid publicaties en de weerklank daarvan, was Paul Anastas sinds het begin van de jaren 90 ongetwijfeld een van de meest productieve en invloedrijke groene chemici. Hij timmerde eerst aan de weg met *Benign by Design* (1994) en *Green Chemistry: Designing* (1996). Katalyse kreeg daarbij een prominente plek. Het concept “atoomeconomie” – dat erop gericht is zoveel mogelijk atomen uit de reactanten terug te laten komen in het gewenste product – kwam uiteraard ook naar voren. In feite probeerde hij met zijn ‘groene chemie filosofie’ laboratoriumchemici te overtuigen om een aantal regels in acht te nemen, want dat zou meer milieuvriendelijke en duurzame resultaten opleveren. Hij vond hiervoor vooral weerklank nadat hij samen met John Warner in 1998 het handboek *Green Chemistry: Theory and Practice* had gepubliceerd. Dat boek werd een van de meest geciteerde publicaties over groene chemie ooit, vooral vanwege de definitie van groene chemie die erin wordt gegeven en het conceptuele raamwerk dat daarvoor wordt gepresenteerd bestaande uit de zogeheten “12 principes”. Groene chemie staat voor het gebruiken van een of meer van deze principes om de productie van afval en milieuvervuiling te voorkomen, door in te zetten op katalyse en atoomeconomie. Tevens vonden Anastas en Warner dat groene chemische processen bij voorkeur plaats moesten vinden op basis van hernieuwbare grondstoffen en voorts bij kamertemperatuur om de energieconsumptie te reduceren. De 12 principes zijn geformuleerd als vuistregels voor het werk in het laboratorium. Dat is de vorm waarin de ‘groene chemie filosofie’ van Anastas is uitgewerkt. Het karakter van deze principes is niet technisch-dwingend, in de vorm van bijvoorbeeld formules of harde normen, maar het zijn aanbevelingen om chemische processen duurzamer te maken. Anastas en Warner streefden ernaar om traditionele praktijken van de chemie bij te sturen, niet om ze radicaal te vervangen.

Iets soortgelijks zien we bij Clark die, naast hoofdredacteur van *Green Chemistry*, tevens een van de meest productieve groene chemici was. In zijn openingsartikel in *Green Chemistry* (1999), tevens zijn meest geciteerde artikel in dit tijdschrift, koppelde hij de term groene chemie aan de “ideale synthese”. Deze moest volgens Clark academisch

geloofwaardig en industrieel relevant zijn. In plaats van het formuleren van een nieuwe chemische theorie deed hij, net als Anastas en Warner, enkele aanbevelingen met betrekking tot veiligheid en het voorkomen van afval, om zo een ‘groenere scheikunde’ en een duurzame ontwikkeling na te streven. Het concept van ideale synthese illustreerde hij, anders dan Anastas, vooral met de door hem zélf ontwikkelde synthetische methodologieën, die vaak gebaseerd waren op katalyse en op zijn interesse voor toepassingen in de industrie.

Nederlandse chemici van het eerste uur die publiceerden in *Green Chemistry* waren Cees Okkerse en voormalig KNCV-voorzitter Herman van Bekkum, hoogleraar organische scheikunde in Delft. Aanvankelijk waren zij prominent betrokken bij beleidsprogramma’s gericht op “duurzame chemie”. Als onderdeel van DTO-Chemie publiceerden zij in *Duurzaamheid en Chemie: Een Bundel Essays* (1996) hun pleidooi voor het gebruik van biomassa en fotonvoltaïsche energie. Okkerse en Van Bekkum berekenden dat vanaf 2040 fossiele grondstoffen niet meer nodig zouden zijn voor industriële productie en energieconsumptie. Dezelfde berekeningen publiceerden zij in 1999 weer, maar dit keer in *Green Chemistry*, zonder overigens een chemische definitie van de term duurzame of groene chemie te geven. Ook door DTO-Chemie werd de term duurzame chemie niet zozeer chemisch-inhoudelijk gedefinieerd, maar gekoppeld aan onderzoeks-domeinen die volgens DTO-Chemie streefden naar ‘materiële duurzame ontwikkeling’ en die op steun van wetenschap en industrie zouden moeten rekenen. Daarnaast waren er milieugroeperingen die, deels ook betrokken bij DTO-Chemie, vonden dat duurzame chemie stond voor ‘werkstrategieën voor duurzaamheid’.

Het voorbeeld van Okkerse en Van Bekkum illustreert ook dat chemici die streefden naar meer milieuvriendelijke en duurzame chemische processen, een podium kregen in *Green Chemistry* zonder dat ze een nauwkeurig omschreven concept van groene chemie aanhingen. Hoofdstuk 5 laat zien dat vele auteurs, uit tal van landen, in het eerste jaar van *Green Chemistry* voortbouwden op totaal verschillende intellectuele bronnen. Heel verschillende onderzoeksproblemen kwamen in *Green Chemistry* aan bod. Veel chemici, met evident verschillende specialistische achtergronden, konden blijkbaar aanhaken bij groene chemie.

Vanaf de start van groene chemie in het begin van de jaren 90 waren er twee soorten gebruikers van de term groene chemie, die ik passieve en actieve gebruikers noem. Beide gebruikers hebben als overeenkomst dat ze streefden naar meer milieuvriendelijke en duurzame chemische processen. De passieve gebruikers hanteerden de term groene chemie voornamelijk terloops, zonder zelf de chemische betekenis ervan te specificeren of wezenlijk voort te bouwen op een bestaand concept van groene chemie. Ook verwijzen zij, vooral bij de

opkomst van groene chemie in de jaren 90, vrijwel nooit naar het werk van invloedrijke groene chemici zoals Clark, Warner en Anastas.

Actieve gebruikers van de term groene chemie gaven, met Clark en Anastas als de meest prominente voorbeelden, wel conceptuele betekenis aan groene chemie, maar dat was meestal in een vrij algemene zin, zoals in de vorm van vuistregels en richtlijnen en niet in de vorm van een specifieke chemische theorie. Deze gebruikers probeerden vervolgens andere chemici te overtuigen van de waarde van hun specifieke concept.

Hoofdstuk 5 laat tot slot ook zien dat steeds meer chemici kritiek hadden op de inhoud van groene chemie. Deze chemici probeerden te kwantificeren hoe schoon, of duurzaam, chemische processen in feite waren die van het label groene chemie waren voorzien. Het valt niet mee om een nieuw chemisch proces te ontwikkelen dat volgens milieuwetenschappelijke methoden zoals “life cycle assessment” daadwerkelijk meer milieuvriendelijk is. Dit maakt de wetenschappelijke status van groene chemie kwetsbaar. Kort samengevat komt het erop neer dat de revolutionaire groei in het gebruik van de term groene chemie, die startte in de jaren 90, niet verankerd is in een gedeeld, fundamenteel nieuw (scheikundig) paradigma. Van een wetenschappelijke revolutie in de zin van Thomas Kuhn is geen sprake.

Dit proefschrift besluit in hoofdstuk 6 met een comparatieve analyse van de bepalende factoren uit zowel de chemische wetenschap als de samenleving op het ontstaan van groene chemie in de drie onderzochte landen. De relevante ontwikkelingen in de VS, het VK en Nederland worden in dit hoofdstuk systematisch met elkaar vergeleken om na te gaan wat de overeenkomsten en verschillen zijn geweest in de ontwikkeling van de groene chemie. Ik concludeer in dit hoofdstuk dat “groene chemie” als een paraplueterm moet worden gezien.

De groeiende grootschalige industriële productie na de Tweede Wereldoorlog, zorgde, hand in hand met een toenemende democratisering, voor een sterker maatschappelijk milieubewustzijn. De opkomst van milieuchemie in de VS, het VK en Nederland moet vooral in dat licht worden gezien. Hoofdstuk 6 laat zien dat met name in Nederland dit vakgebied sterk opkwam, en dat dit samenviel met relatief grote zorgen omtrent het milieu onder de bevolking en binnen de politiek; veel sterker dan in het VK. Karakteristieke verschillen in politieke cultuur verklaren ook de verschillen in de ontstaansgeschiedenis van groene chemie in de VS, het VK en Nederland. De groene chemie ontstond in de VS, het VK en Nederland daardoor langs verschillende goeddeels politiek-cultureel bepaalde historische lijnen die duidelijk verband hielden met veranderend overheidsbeleid en sociale vraagstukken in deze landen.

In de VS bleek de milieuwet PPA een keerpunt, waardoor chemici van EPA de boodschap van afvalpreventie gingen verspreiden. Vervolgens werden in 1996 de Presidential Green Chemistry Challenge Awards ingesteld, nadat chemici van de EPA al enkele jaren deze boodschap hadden gepredikt binnen de ACS en dat dan vooral binnen DEC. In het VK en Nederland namen de milieuchemische secties van respectievelijk de RSC en de KNCV niet op die manier de leiding. De termen duurzame chemie en groene chemie werden vanaf midden jaren 90 in Nederland vooral gebruikt in een door de Rijksoverheid geïnitieerde nieuw wetenschapsbeleidsprogramma (DTO). Het was onderdeel van een sterk gedecentraliseerde beleidsproces en een breed gedragen consensus waarbij ook chemici waren betrokken. De milieuchemische sectie (MC) van de KNCV speelde daarin nauwelijks een rol. Ook in het VK speelde de milieuchemische sectie (ECG) van de RSC geen wezenlijke rol in de opkomst van groene chemie. In het VK kreeg eind jaren 90 een praktiserend synthetisch chemicus (Clark), met industriële en maatschappelijke interesse, het vertrouwen van de RSC om het tijdschrift *Green Chemistry* op te richten en te leiden. In feite was dit een respons van de RSC op nieuw wetenschapsbeleid (TF) dat sterk gericht was op industriële belangen.

Deze verschillende historische ontwikkelingen laten ook zien dat er sprake was van institutionalisering. Andere voorbeelden van institutionalisering betreffen GCI (in de VS) en GCN (in het VK). De institutionalisering droegen, in de zin van Rip en Voss, bij aan de stabilisatie van het veld van groene chemie en aan de spectaculaire groei ervan. Dat laatste kreeg ook vorm met de Presidential Green Chemistry Challenge Awards, maar vooral met het meest belangrijke wetenschappelijke tijdschrift voor de groene chemie: *Green Chemistry*.

De keuze voor de term groene chemie bleek binnen de ACS en RSC vooral een strategisch-retorische achtergrond te hebben, om in te spelen op een toenemend milieubewustzijn in de samenleving en een verslechterend imago van de chemie. Dit wordt geïllustreerd door de instelling van de Presidential Green Chemistry Challenge Awards, die overduidelijk bedoeld waren om de chemie in een positiever daglicht te zetten. Maar ook de keuze van de titel *Green Chemistry*, die volgens Clark vooral was ingegeven door het slechter wordende imago van de chemie, laat zien dat de term groene chemie een strategisch-retorische functie had ter bevordering van de legitimatie van de chemie in de samenleving.

Maar anders dan bij louter “greenwashing” of een “buzzword” had het label “groene chemie” ook epistemische waarde. Dat dubbele karakter van de groene chemie maakt het begrip bij uitstek tot een paraplu-terme. De chemische inhoud onder de noemer “groene chemie” stond voor meer duurzame en meer milieuvriendelijke chemische processen, al dan niet gestoeld op de vuistregels en chemische aanbevelingen van bijvoorbeeld Anastas en

Warner. Die inhoud kan alleen niet geformuleerd worden in termen van een gedeeld chemisch paradigma dat zorgde voor duidelijke demarcatie, zoals bijvoorbeeld Epicoco en coauteurs lijken te impliceren met hun begrip “epistemische gemeenschap”. Want in tegenstelling tot het model van Mullins voor het ontstaan en de groei van een wetenschappelijk specialisme, startte de opkomst van groene chemie begin jaren 90 niet met de vorming van een chemisch paradigma dat ontwikkeld werd door dominante actoren die onderling samenwerkten aan hetzelfde onderzoeksprobleem in een laboratorium. De door Clark, Anastas, en Warner geformuleerde vuistregels en principes, zoals atomeconomie, hebben echter wel een inhoud die aan de chemie zelf refereert. Deze set van regels had een open karakter waardoor ze, anders dan Roberts voorspelde, onvoldoende samenhang vertoonden om tot een paradigma te kunnen worden gerekend. Dat leidde soms ook tot kritiek.

De Britse chemicus Neil Winterton, bijvoorbeeld, beweerde in *Green Chemistry* (2001) dat de vuistregels van de 12 principes zo open waren dat het moeilijk was om er niet aan te voldoen. Enerzijds illustreert deze stelling van Winterton de open wetenschappelijke identiteit van groene chemie waardoor veel chemici konden aanhaken, maar anderzijds miskent deze stelling de epistemische waarde van de activiteiten in het laboratorium die plaatsvonden onder de noemer van groene chemie. Tal van chemici publiceerden nieuwe chemische syntheses als alternatief voor oudere methodes, met gunstige milieugevolgen. Het succes van de nieuwe chemische processen werd veelal gedemonstreerd op basis van gerealiseerde milieuwinst. Voor het vergelijken daarvan bestaan echter geen eenduidige milieunormen of gemeenschappelijke groene chemische kenmerken die zorgen voor intellectuele samenhang. Daardoor waren de chemische kennisroutes naar milieuwinst vanaf de jaren 90 niet alleen waardevol, maar vooral ook zeer divers, en dat allemaal onder een paraplu van groene chemie die steeds groter werd.