

# Transities vanuit sociotechnisch perspectief

Frank Geels and René Kemp<sup>1</sup>

Nov 2000

## 1. Inleiding

In het kader van het beleidsvoorbereidingsproces voor het Vierde Nationale Milieu Beleidsplan (NMP-4) heeft het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) besloten een studie te laten verrichten om het concept 'transities' uit te diepen en de mogelijkheden van 'transitiemanagement' uit te werken. De achterliggende gedachte was dat voor de zogenaamde hardnekkige problemen van milieubeleid zoals klimaatverandering, biodiversiteit en verzuring fundamentele veranderingen – systeeminnovaties – nodig zijn in de energiesector, vervoerssector en de landbouw.

Systeeminnovaties dragen de belofte om aanzienlijke verbeteringen in milieu-efficiëntie en trendbreuken in milieubelasting te realiseren. Het gaat hierbij niet om milieutechnieken maar om nieuwe systemen die inherent milieuvriendelijk zijn. Dergelijke systeeminnovaties hangen samen met veranderingen in maatschappelijke omgeving en moeten worden benaderd vanuit een brede optiek. De brede benadering waarvoor gekozen is is die van transities. Transities worden opgevat als grote veranderingen in de manier waarop maatschappelijke functies (zoals vervoer) vervuld worden.

Dit rapport beschrijft een conceptueel perspectief op het transitieproces en illustreert dat middels twee historische case-studies. Verder worden verschillende patronen en mechanismen geïdentificeerd die een rol spelen in transities en wordt een aanzet gegeven voor een typologie van transitiemechanismen. Het rapport is geschreven in het kader van de ICIS-MERIT studie naar transities en transitie-management onder leiding van Jan Rotmans. Het maakt deel uit van 3 rapporten. De twee andere rapporten zijn:

- Jan Rotmans, René Kemp, Marjolein van Asselt, Frank Geels, Geert Verbong en Kirsten Molendijk (2000) Transities & Transitie-management. De casus van een emissiearme energievoorziening, Okt 2000, ICIS & MERIT, Maastricht.
- Geert Verbong, (2000), De Nederlandse overheid en energietransities: een historisch perspectief, TUE, Sept 2000, Eindhoven.

Dat er sprake is van belangstelling van de zijde van beleid in transities en de mogelijkheden van transitie-management moge blijken uit het feit dat het nieuwe nationale milieubeleidsplan (NMP-4) de ontwikkeling van transitie-agendas aankondigt en de keuze van transitie-management als prioriteitsthema voor het jaar 2001 door het Directoraat-Generaal Milieubeheer van VROM.

---

<sup>1</sup> Frank Geels is onderzoeker bij de vakgroep Filosofie van Wetenschap en Techniek van de Universiteit Twente in Enschede. Tel 053 4893341, [F.W.Geels@wmw.utwente.nl](mailto:F.W.Geels@wmw.utwente.nl); René Kemp is hoofdonderzoeker bij MERIT, Faculteit der Economische Wetenschappen en Bedrijfskunde van de Universiteit Maastricht. Tel 043 3883864, [R.Kemp@merit.unimaas.nl](mailto:R.Kemp@merit.unimaas.nl)

## 2. Afbakenen van analyse-object en onderzoeksvragen

### Analyse-niveau: Maatschappelijke functies

Een transitie duidt op een *proces van overgang* van ene semi-stabiele situatie naar andere. Binnen deze algemene omschrijving kunnen transities voorkomen op allerlei schalen en aggregatie-niveau's, bijvoorbeeld:

- bedrijven
- sectoren of maatschappelijke functies
- maatschappij
- wereld-systeem.

Het is belangrijk om expliciet te zijn over het analyse-niveau, omdat dit consequenties heeft voor de conceptuele insteek en de soort beleidsaanbevelingen die eruit volgen. Dit rapport richt zich vooral op het niveau van maatschappelijke functies (zie Figuur 1), mede omdat dit een niveau is waarop VROM middels beleid enige invloed kan uitoefenen. Transities op wereld-niveau zijn ook interessant, maar dan vooral voor mondiale beleidsmakers (bv. VN). We besteden in deze notitie geen expliciete aandacht aan nationale en internationale aspecten van transities. Dergelijke aspecten komen aan de orde in de aparte notitie over transitie-management.

#### **Generieke functies**

Leverantie  
grondstoffen

Energie-  
leverantie

#### **Intermediaire functies**

Zakelijke  
dienstverlening

Verplaatsen

Communicatie

#### **Eindgebruiks- functies**

Huisvesten

Recreatie

Voeden

Verzorgen  
(gezondheid,  
persoonlijke  
verzorging)

*Figuur 1: Verschillende maatschappelijke functies (Wetering et al, 1997: 39)*

Gekozen is voor een indeling naar maatschappelijke functies, in plaats van naar bedrijfstakken, omdat dit beter de mogelijkheid biedt om recht te doen aan maatschappelijke dynamiek in de komende decennia. De functies als zodanig zullen niet snel wijzigen; wel de wijze waarop deze functies worden vervuld. *Transities worden dus opgevat als grote veranderingen in de manier waarop maatschappelijke functies vervuld worden.*

Verder is het begrip 'maatschappelijke functies' breed ingevuld. Zowel functievervulling van de finale consument als van industriële bedrijven is erin vervat. Naar analogie van de indeling van Porter (1990: 742) wordt onderscheid gemaakt tussen generieke functies, intermediaire

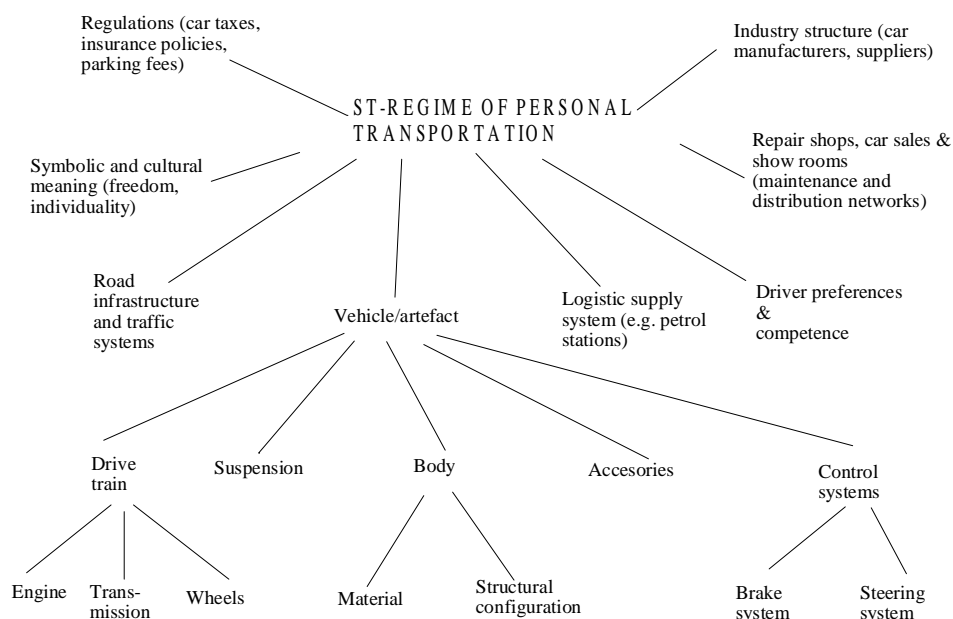
functies en eindgebruiks-functies. We kiezen er dus voor te focussen op functionele aspecten en niet op culturele aspecten. Hierbij willen we geenszins impliceren dat culturele aspecten onbelangrijk zijn. Producten hebben een culturele significantie. Zoals Mary Douglas ooit zei: food is not for eating. Wij kiezen ervoor de functionele aspecten van producten (product-dienst systemen) te prioriteren. In de discussies over sociotechnische regimes worden culturele aspecten een expliciete plaats gegeven, als een belangrijk, structurerend en mee-veranderend element. Producten hebben een culturele betekenis, daarnaast is er culturele verandering los van producten.

### Socio-technische systemen

De vervulling van maatschappelijke functies vindt plaats middels socio-technische systemen. Dit duidt op het hoogste aggregatieniveau van 'techniek'. Ook techniek kan namelijk worden beschouwd als bestaande uit verschillende niveau's. Disco, Rip en Van der Meulen (1992: 485) beschrijven de 'technische hiërarchie' middels de volgende niveau's:

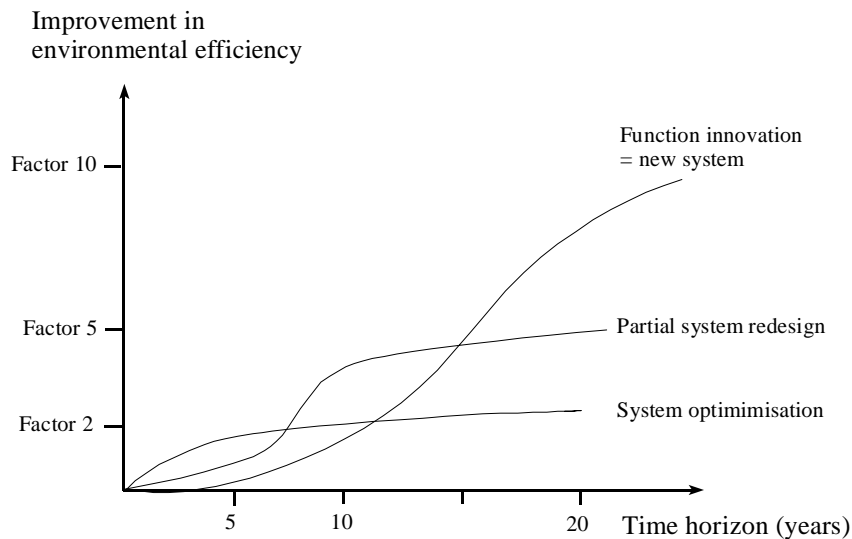
- *“components (e.g. materials, nuts and bolts, resistors and condensers, radio vacuum tubes) that do not ‘perform’ by themselves, but have to be assembled to do their job;*
- *devices (e.g. a pump, a switching circuit, a sensor) that are assembled sufficiently to show their primary effect;*
- *functional artifacts (e.g. a machine, a bridge, a radio), that work by themselves;*
- *systems (a plant, an electricity network, radio broadcasting plus receivers plus organizations to produce radio programmes) that fulfil a sociotechnical function.”*

Zoals het voorbeeld van radio-broadcasting aangeeft, zijn de systemen niet louter technische systemen, maar *socio*-technische systemen. Voor het functioneren van technische systemen zijn namelijk ook netwerken van organisaties nodig, alsmede regelgeving en infrastructuur. Figuur 2 geeft een illustratie van verschillende sociale en technische elementen die bij de maatschappelijke functie 'transport' een rol spelen. De technische hiërarchie is duidelijk te zien in de figuur. De keuze voor de term 'regime' in plaats van 'systeem' zal later worden toegelicht.



*Figuur 2: Socio-technische samenhangen voor de functie 'transport'*

Transities kunnen worden gezien als veranderingen van het ene sociotechnische systeem naar het andere sociotechnische systeem in een veranderende omgeving. In het VROM-rapport *81 mogelijkheden: technologie voor duurzame ontwikkeling* (Weterings *et al.*, 1997) wordt dit ook wel functie-innovatie genoemd of systeem-verandering. Systeem-veranderingen op het niveau van maatschappelijke functies zijn praktisch relevant voor duurzame ontwikkeling omdat ze de belofte in zich dragen dat ze kunnen leiden tot grote verbeteringen in milieuefficiëntie (zie Figuur 3).<sup>2</sup>



*Figuur 3: Technological change and sustainability (Weterings et al, 1997: 18)*

Figuur 2 en 3 behelsen onder andere de volgende implicaties voor transities. Ten eerste betreffen transities veranderingen op vele terreinen. Of zoals de NMP-4 tender (p. 1) zegt:

*“Een transitie kan aldus beschreven worden als een set van samenhangende veranderingen op meerdere terreinen: technologie, structuur, instituties, gedrag, cultuur en intenties.”*

Ten tweede gaat het wat betreft techniek meestal niet om één technologie maar om de koppeling van meerdere (nieuwe) technologieën. We hebben soms de neiging om (technische) transities te zien als één technologie die het wint of moet winnen. Bij elektrische voertuigen (EV) bijvoorbeeld, wordt de batterij al snel als ‘core-technology’ gezien. Hoewel batterijen zeker belangrijk zijn, worstelen auto-fabrikanten ook met andere technische aspecten. Vervanging van de benzinemotor door een batterij heeft namelijk ook consequenties voor de hele aandrijflijn. Verder zou de performance van een EV worden verhoogd door aanpassing van het rem-systeem, zodat rem-energie kan worden opgeslagen in batterij of vliegwiel. EV’s zouden ook baat hebben bij de toepassing van andere constructiematerialen die lichter zijn (bv. sterke plastics in plaats van staal). Behalve deze veranderingen in het voertuig zouden EV’s ook veranderingen vergen in tankstations, bijvoorbeeld de creatie van snellaad-stations om de batterij op te laden. Ook garages zouden nieuwe machine-tools moeten aanschaffen om elektrische voertuigen te kunnen repareren; en hun personeel opnieuw moeten trainen. Kortom, het punt is dat transities de samenkomst van meerdere technologieën behelsen.

<sup>2</sup> De duurzaamheidsvoordelen moeten blijken ook al lijken ze aanwezig zoals bij PVs of brandstofcellen. Een technologische monocultuur is vrijwel nooit duurzaam: maatwerk is niet goed mogelijk en er is weinig flexibiliteit.

Ten derde duren transitie-processen vaak lang. De voorbeelden die later besproken worden laten zien dat periodes van 20-30 jaar normaal zijn.

### Sociotechnische regimes

In plaats van de term sociotechnische 'systeem' wordt in dit rapport vanaf hier de term sociotechnisch 'regime' gebruikt. Hoewel beide concepten een focus delen op de koppeling(en) tussen verschillende elementen, heeft de term 'systeem' bepaalde ongewenste connotaties. Een eerste connotatie is dat systemen een strakke, vaste onveranderlijke structuur hebben. Regimes daarentegen duiden op een meer fluïde structuur die kan veranderen tijdens het transitieproces.<sup>3</sup> Een tweede connotatie is dat er verwarring kan ontstaan met een apart onderzoeksgebied, dat van Grote Technische Systemen (Mayntz and Hughes, 1988; La Porte, 1991; Summerton, 1994; Coutard, 1999). Hierbij gaat het om een specifieke selectie van technische systemen die enerzijds technisch gekoppeld zijn en anderzijds geografisch uitgestrekt zijn. Voorbeelden zijn elektriciteitssystemen, telefoonsystemen, treinsystemen. Een derde reden voor de keuze van het regime-concept is dat regimes beter aansluiten bij de onderzoekstraditie van de evolutionaire economie en techniek-sociologie. Dit zal hieronder nader aan bod komen.

### Enkele vragen

Na deze eerste afbakening van het analyse-object zal in de rest van dit rapport worden ingegaan op de volgende vragen

- Hoe kunnen we de overall-dynamiek van socio-technische transitieconcepten conceptualiseren? Zijn er deel-processen en/of fasen in het TT-proces? Zijn er misschien meerdere soorten transitie-routes? Typologie van transitieconcepten?
- Zijn er specifieke mechanismen of patronen in transitie-processen?
- Wat zijn mogelijkheden voor transitie-management?

### Verdere structuur van het rapport

In paragraaf 3 zal een evolutionair multi-level perspectief worden geschetst op transitieprocessen. Dit perspectief is gebaseerd op inzichten uit de evolutionaire economie, maar bouwt daar op voort door maatschappelijke, sociaal-culturele elementen toe te voegen. Verder zijn langzaam veranderende macro-elementen ook belangrijk voor het begrijpen van transitieprocessen. Paragraaf 3 zal uitmonden in een multi-level perspectief op transitieconcepten. Dit perspectief is ontwikkeld in Twente en Maastricht en gepubliceerd in de literatuur (Rip and Kemp, 1998; Kemp, Schot and Hoogma, 1998; Schot, Hoogma and Elzen, 1994; Van de Poel, 1998). Dat het perspectief robuust wordt blijkt ook uit het feit dat het de conceptuele leidraad vormt voor het tot 2002 lopende 4 jarige onderzoeksproject TIN-20 (Techniek in Nederland in de 20<sup>e</sup> eeuw), waarvan 13 miljoen gulden wordt gefinancierd door universiteiten en NWO en 7 miljoen door het bedrijfsleven.

In paragraaf 4 zal het transitie-perspectief aannemelijk en robuust worden gemaakt aan de hand van enkele korte historische voorbeelden. Binnen dit multi-level perspectief zullen vervolgens in paragraaf 5 specifieke transitiepatronen beschreven. In paragraaf 6 staat de vraag centraal of er één soort transitie-proces is, of dat er meerdere transitie-routes mogelijk zijn. Paragraaf 7 tenslotte eindigt met enkele korte beschouwingen over de (on)mogelijkheden van transitie-management.

---

<sup>3</sup> Vergelijk met neurale netwerken in de hersenen. De koppelingen tussen de verschillende zenuwcellen kan veranderen. De kracht van een bestaande koppeling kan veranderen, en er kunnen ook nieuwe koppelingen ontstaan (structural change).



### 3. Een multi-level perspectief op het overall transitie-proces

In deze paragraaf zal in opeenvolgende stappen een multi-level perspectief op transities ontwikkeld worden. Dit multi-level perspectief bestaat uit drie niveau's:

- a) micro-niveau van niches
- b) meso-niveau van socio-technische regimes
- c) macro-niveau van socio-technisch landschap.

Het is niet de bedoeling van dit rapport om diep in te gaan op de disciplinaire achtergronden en finesses van deze drie niveau's. Desalniettemin dienen de niveau's te worden toegelicht en beschreven. Dit zal op hoofdlijnen gebeuren met verwijzingen naar verdere literatuur. De beschrijving van de drie niveau's zal aanvankelijk statisch zijn. In een laatste stap worden ook dynamieken toegevoegd, en ontstaat een complex en dynamisch multi-level perspectief.

#### 3.1. Technologische trajecten en technologische regimes

In de evolutionaire economie wordt technologische ontwikkeling beschreven als een proces van variatie en selectie. Simpel gezegd duidt variatie op nieuwe technologieën en producten die ontstaan, en selectie op het proces waarin de variatie gereduceerd wordt tot er een 'winnaar' overblijft. Anders dan in de natuur vindt de generatie van technologische variaties niet op goed geluk of 'blind' plaats<sup>4</sup>. Bij het zoeken maken ingenieurs en R&D-managers namelijk gebruik van zoekregels of heuristieken. Dit zijn richtlijnen die succes beloven (maar niet garanderen) bij het zoeken naar oplossingen voor problemen. Heuristieken geven dus richting aan technologisch onderzoek.

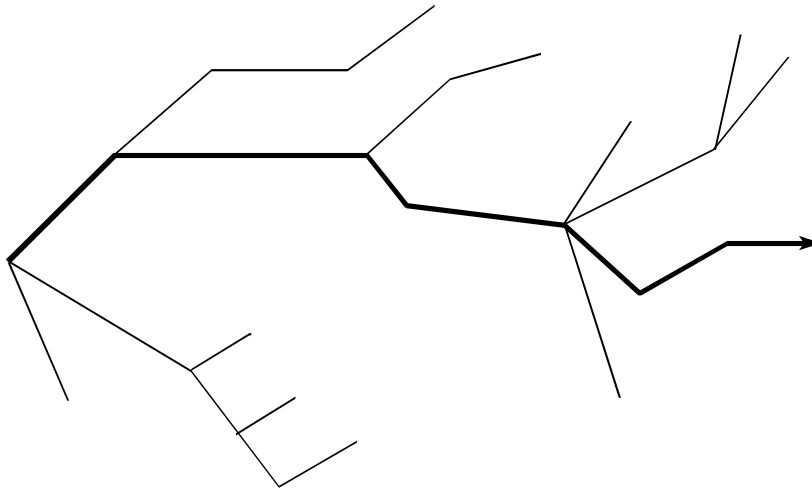
Selectie duidt op het proces waarin technologische variaties worden blootgesteld aan de tucht van de selectie-omgeving. Deze term selectie-omgeving omvat niet alleen 'de markt' maar ook verschillende institutionele factoren (overheidsregels, relaties tussen werkgevers en werknemers, politieke structuur) en zelfs brede maatschappelijke factoren (koopbereidheid en opinie van publiek).<sup>5</sup>

De interactie tussen variatie en selectie leidt tot het ontstaan van technische trajecten. Zolang namelijk bepaalde heuristieken door de meeste ingenieurs in een bepaalde sector gevolgd worden, gaat technologische ontwikkeling in een specifieke richting. In situaties waarin nieuwe problemen opdoemen of ander zins (maatschappelijke, politieke) veranderingen optreden, kunnen meerdere heuristieken naast elkaar bestaan, met als mogelijk resultaat dat meerdere technologische opties ontstaan. Van deze opties zal na enige tijd de meest levensvatbare dominant worden en verder richting geven. Op deze manier ontstaan technologische trajecten: cumulatieve ontwikkelingen in een specifieke richting (zie Figuur 4). De richting van technische ontwikkeling is dus doorgaans constant, maar wordt soms bijgesteld. Evolutionaire benaderingen zien technologische ontwikkeling dus als iets dat gekanaliseerd is. Er is sprake van voorstructurering van veranderingsprocessen. Op korte termijn is technologische ontwikkeling redelijk voorspelbaar op lange termijn niet. Processen van technologische voortgang hebben een open einde, je weet niet waar je uitkomt.

---

<sup>4</sup> Er wordt daarom soms ook wel over quasi-evolutie gesproken.

<sup>5</sup> Er is ook nog het aspect van inheritance: erfelijkheid ofwel overdraging en reproductie. Het gaat hierbij om de reproductie van productieroutines (ways of doing things) en kennis. De erfenis van kapitaalgoederen (machines) valt hier nog aan toe te voegen als erfelijkheidsfactor. Inheritance wordt meestal niet expliciet genoemd maar is wel onderdeel van het evolutionaire model van technologische en economische ontwikkeling.



*Figuur 4: Technische ontwikkeling als proces van variatie en selectie (Schot, 1991: 68)*

Het bestaan van technische trajecten wordt in innovatie- en techniekstudies al lange tijd onderkend. De vraag was echter hoe deze trajecten verklaard en begrepen konden worden. Hierop zijn verschillende antwoorden gegeven. Door te laten zien hoe de verschillende antwoorden op elkaar voortbouwden, komen we uiteindelijk uit bij socio-technische regimes. 1. De aartsvaders van de evolutionaire economie gebruikten de term ‘technologisch regime’ (Nelson and Winter, 1977, 1982). Zij observeerden aan de hand van case-studies dat de probleem-oplossingsactiviteiten van ingenieurs relatief stabiel waren en niet altijd in de pas liepen met de markt. Ingenieurs richtten zich op bepaalde problemen en werden geleid door bepaalde noties over oplossingsrichtingen. Een regime bestaat dus uit cognitieve regels en noties die gedeeld worden door ingenieurs. Op basis van hun case-studie naar het DC-3 vliegtuig in de jaren '30 schrijven ze de stabiele richting van ontwikkeling toe aan cognitieve noties:

*“Engineers had some strong notions regarding the potential of this regime. For more than two decades innovation in aircraft design essentially involved better exploitation of this potential; improving the engines, enlarging the planes, making them more efficient” (Nelson and Winter, 1977: 57).*

2. Een soortgelijk antwoord komt van Dosi (1982, 1988). Analoog aan Kuhn’s concept van wetenschappelijke paradigma’s spreekt Dosi over technologische paradigma’s. Een technologisch paradigma bestaat uit een exemplar (een reeds ontwikkeld artefact dat als leidend voorbeeld dient) en een set van (zoek)heuristieken, gebaseerd op de ideeën en verwachtingen van ingenieurs over de relevante problemen en beloftevolle oplossingen.

Zowel Dosi als Nelson en Winter zoeken de verklaring voor technische trajecten dus vooral in cognitieve aspecten. Deze benadering is sindsdien geaccepteerd in evolutionaire en innovatiestudies. Een voordeel van deze benadering is dat het goed aansluit bij de praktijk van ontwerpen, en ook als zodanig wordt herkend door ingenieurs. De benadering heeft echter ook de zwakte dat het voornamelijk kijkt naar *cognitieve* aspecten die gedeeld worden binnen een sociale gemeenschap van ingenieurs. Er is te weinig aandacht voor economische en technologische factoren die de richting van technologie-ontwikkeling beïnvloeden. De evolutionaire benadering moet dus verbreed worden.



3. Rip and Kemp (1998: 338) stellen daarom een bredere definitie voor, waar technische, economische, organisatorische en sociale aspecten een rol spelen. Zij definiëren een technological regime als:

*“the rule-set or grammar embedded in a complex of engineering practices, production process technologies, product characteristics, skills and procedures, ways of handling relevant artifacts and persons, ways of defining problems – all of them embedded in institutions and infrastructures.”*

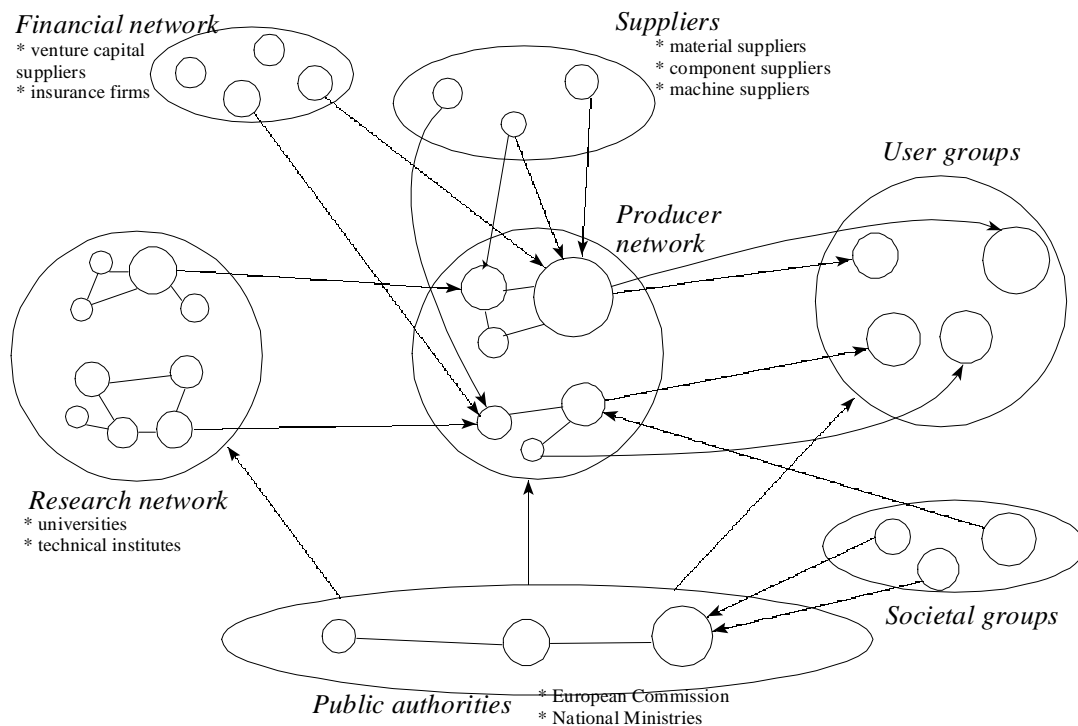
Een technologisch regime bestaat uit de regels, aannamen en rolverdeling die de interacties binnen een sociotechnische systeem beïnvloeden en determineren. In deze bredere definitie zitten nog steeds cognitieve regels, maar nu ook sociale en maatschappelijke regels (e.g. normen in sociale interactie, plichten van ingenieurs). Verder zweven de regels niet langer louter in de hoofden van ingenieurs, maar zijn ze ook verankerd en ingebed in praktijken, machines etc. Marketing afdelingen, bijvoorbeeld, definiëren productkarakteristieken waar ontwerpers aan moeten voldoen. De machine-tools van de auto-industrie kunnen heel goed benzine-auto's maken, maar geen elektrische auto's. Vanwege allerlei 'sunk investments' in de machine-tools zullen autobedrijven niet snel overschakelen, zodat een bepaald soort auto's nog lang gemaakt zal worden. De verschillende regels van het technisch regime zijn op elkaar afgestemd. Vanwege de sociale en materiële verankering zijn ze moeilijk te veranderen. Ze vormen het uitgangspunt bij interacties. We spreken van een regimeverandering bij een wezenlijke verandering van algemeen gedeelde aannamen en daarmee verbonden rolverdeling en praktijken. Een voorbeeld van een verandering van een algemeen gedeelde aanname is wanneer automobiefabrikanten zichzelf zien als aanbieders van mobiliteitsdiensten, en wanneer binnen de electriciteitsvoorziening demand side management een leidend principe wordt.

Hoewel deze nieuwe definitie van technisch regime breder is en meer aandacht geeft aan reële verankeringen, is de aandacht nog steeds vooral op de productie-kant van technologie-ontwikkeling gericht (bedrijven en ingenieursgemeenschappen).

4. Een verdere verbreding is nodig om ook de selectie-omgeving explicieter mee te nemen (markt, overheid etc). Daartoe wordt de term socio-technische regimes geïntroduceerd.

### **3.2. Sociotechnische regimes**

Behalve ontwerpers en managers hebben ook gebruikers, beleidsmakers en maatschappelijke groepen (bv. Greenpeace, consumentenbond) invloed op de richting van technische ontwikkeling. De regime-regels zijn dus wijder dan de zoekheurstieken en technische standaarden van ingenieurs, ze omvatten ook de geëvolueerde eisen van gebruikers (performance requirements), de regels van de markt, de regels en voorschriften van overheden, de procedures en opvattingen van verzekeringsmaatschappijen, banken en kapitaalverschaffers. De regels van het sociotechnische regime worden dus gedragen door een heteroog netwerk van sociale groepen (Figuur 5).



*Figuur 5: Het multi-actor netwerk van een sociotechnisch regime*

De verschillende regels van het sociotechnische regime vormen een semi-coherent geheel. Die coherentie is het gevolg van afstemming.<sup>6</sup> Het is juist deze afstemming die een bepaalde gevestigde technologie een stabiliteit en inertia geeft. Door de afstemming van de verschillende regels in het auto-regime hebben elektrische voertuigen het moeilijk om door te breken, ook al is er sinds begin jaren '90 serieus aan gewerkt (Hoogma, 2000). Belangrijke gebruikerspreferenties in verband met auto's zijn betaalbaarheid, meervoudige mogelijkheden van gebruik (vervoer van meerdere personen en van vracht, resulterend in een voorkeur voor een zogenaamd all-purpose voertuig voor minstens 4 personen met tenminste 2 m<sup>3</sup> laadruimte), hoge snelheid en acceleratie en grote actie-radius. De auto-industrie heeft deze gebruikerspreferenties als vaststaand genomen en geprobeerd een batterij te ontwikkelen met hoge energie-dichtheid en –ontlading. Dit streven naar de 'super-accu' is tot op heden niet gelukt. Verder heeft de auto-industrie veel competentie opgebouwd met massa-productie en veel geïnvesteerd in productielijnen voor zware metalen carrosserieën. Vanwege deze competenties en investeringen prefereert de auto-industrie om elektrische voertuigen (EV) met metalen carrosserieën te maken. Hierdoor worden de EV's zwaar en is een grote accu nodig. Elektrische voertuigen zouden hogere performance kunnen bieden als ze van andere materialen waren gemaakt, en anders ontworpen en gebouwd werden. Verder heeft de gebruikerspreferentie van hoge snelheid tot gevolg dat hoge veiligheidseisen moeten worden gehaald. Dit betekent dan weer dat grootte en gewicht van mogelijke elektrische voertuigen hoger zijn, waardoor de energie-efficiëntie omlaag gaat. Kortom, een transitie naar kleine licht-gewicht elektrische voertuigen zou veranderingen vereisen in de kennis en competentie van voertuig-ontwerp, veiligheidsconcepten en productiemethoden. De auto-industrie heeft veel van deze kennis op dit moment niet, en is niet erg happig om die wel te verwerven omdat ze twijfelen of er wel een markt voor is.

Dit voorbeeld laat zien dat een bestaande technologie wordt gestabiliseerd door een set van onderling afgestemde (gegroeide) regels en elementen. Het gaat niet om afzonderlijke

<sup>6</sup> Afstemming kan gebeuren via afspraken maar vaker gebeurt dit via wederzijdse aanpassing.

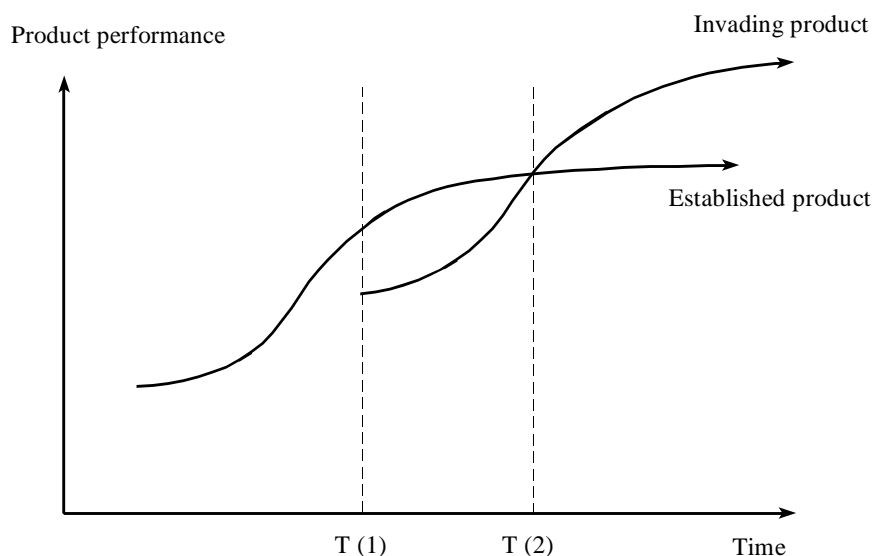
factoren, maar om een gekoppeld semi-coherent geheel. Dit geheel wordt aangeduid met de term socio-technisch regime. Ten gevolge van de verankering en stabiliteit van het socio-technische regime is de meeste technologie-ontwikkeling *incrementeel* en gericht op optimalisering en verdere verbetering. Bijvoorbeeld in de auto-industrie heeft technologie-ontwikkeling niet stilgestaan. De energie-efficiëntie van verbrandingsmotoren is aanzienlijk gestegen en de emissies per kilometer en per kilogram zijn gedaald. De innovaties zijn echter incrementeel en gericht op continuering van de verbrandingsmotor. Socio-technische regimes bieden dus een verklaring voor het ontstaan van technische trajecten. Radicale alternatieven en regime-shifts komen moeilijk tot stand.

### 3.2. Technologische niches

#### *De achtergrond van het bestaan van niches*

Nieuwe technologische opties ontstaan doorgaans als ‘hopeful monstrosities’ (Mokyr, 1990). Ze zijn ‘hopeful’ omdat ze in principe hebben laten zien dat ze een bepaalde (maatschappelijke) functie kunnen vervullen, maar ze zijn ‘monstrous’ omdat de performance karakteristieken (nog) laag zijn. Toen bijvoorbeeld de telefoon in 1876 door Bell was ontwikkeld moest de persoon aan de ene kant van de lijn hard in de hoorn schreeuwen terwijl de persoon aan de andere kant zorgvuldig moest luisteren. Auto’s met verbrandingsmotoren in de jaren ’90 van de 19e eeuw waren gevaarlijke en vieze machines die vaak gerepareerd moesten worden, en minder betrouwbaar waren dan elektrische en stoomauto’s. De ENIAC computer uit 1946 woog 30.000 kg and bestond uit 48.000 schakelingen (vacuumbuizen). Deze schakelingen gingen regelmatig kapot en moesten dan vervangen worden (Nijholt and Van den Ende, 1994).

Vanwege hun lage performance eigenschappen kunnen nieuwe technische opties vaak niet direct op de markt concurreren. Ze moeten aanvankelijk van de reguliere markt worden afgeschermd om zich verder te kunnen ontwikkelen. In Figuur 6 is deze afscherming nodig tussen T(1) en T(2). Ontwikkelaars van nieuwe technologie creëren daarom ‘beschermde ruimtes’. In de quasi-evolutionaire theorie van technologie-ontwikkeling worden dit ‘niches’ genoemd (Schot, 1991; Weber and Hoogma, 1998).



*Figuur 6: Competitie tussen een gevestigd en nieuw product (Utterback, 1994: 159)*

### *Twee soorten niches voor technologie*

Er zijn twee soorten niches voor nieuwe technologie: i) technologische niches en ii) markt-niches. Het verschil tussen beide is de vorm van bescherming voor de nieuwe technologie. In technologische niches is er nog nauwelijks sprake van markt-relaties. Wel is er sprake van *verwachtingen* dat de nieuwe technologie in de toekomst markt-potentieel heeft. Een netwerk van actoren is op basis van die verwachtingen bereid om tijd en geld te investeren om de nieuwe technologie te ontwikkelen. Hierbij kan het gaan om bedrijven die op basis van hun strategie investeren in R&D (interne projecten), maar ook om bredere netwerken die maatschappelijke experimenten ondernemen met nieuwe technologie. Een voorbeeld zijn de vele experimenten met elektrische voertuigen in Europese steden (bv. La Rochelle, Rugen, Gothenborg). De auto-industrie en overheden (nationaal en stedelijk) stelden geld en elektrische auto's ter beschikking waarmee consumenten een bepaalde periode konden rondrijden (Hoogma, 2000). Elektriciteitsmaatschappijen waren veelal verantwoordelijk voor oplaadinfrastructuur. Middels deze maatschappelijke experimenten kon geleerd worden over de techniek, gebruikerservaringen en –preferenties, en infrastructuur.

De tweede soort niches zijn markt-niches. Hier spelen markt-relaties een belangrijker rol, maar wordt de bescherming geboden door de specifieke aard van de markt-niche. Bepaalde markt-niches worden namelijk geconfronteerd met specifieke problemen, en/of hebben specifieke performance eisen waardoor ze bereid zijn om de gebreken van de nieuwe technologie op de koop toe te nemen. De mijnbouw, bijvoorbeeld, werd door het dieper graven geconfronteerd met grondwater. Vanwege dit specifieke probleem waren mijnbouwondernemers bereid om de Newcomen stoommachine aan te schaffen. Een andere specifieke markt-niche die vaak een belangrijke rol speelde bij radicale innovaties was de militaire sector. Performance eisen zijn in die niche vaak belangrijker dan kosten. Zo is bijvoorbeeld de computer in de Tweede Wereldoorlog ontwikkeld voor het maken van berekeningen aan de atoombom (in de VS) en het kraken van vijandelijke codes (in Engeland) (Van de Ende and Kemp, 1999). Evenzo was de straalmotor al begin jaren '30 ontwikkeld door Frank Whittle in Engeland. Omdat de straalmotor echter veel meer brandstof gebruikte dan zuigermotoren lukte het Whittle niet om een breder netwerk te bouwen voor de verdere ontwikkeling. Pas toen de oorlogsdreiging eind jaren '30 toenam en de militaire budgetten sterk omhoog gingen, was het Engelse leger bereid om te investeren in de straalmotor (Geels, 2000b). In 1942 resulteerde dit in het eerste Engelse straalvliegtuig. Na de oorlog werd de straalmotor nog lange tijd verder ontwikkeld in de militaire markt-niche, aanvankelijk voor jagers, maar later ook voor bommerwerpers. Commerciële luchtvaartmaatschappijen waren aanvankelijk niet geïnteresseerd in straalvliegtuigen. Pas rond 1954 veranderde deze houding toen één innovatieve luchtvaartmaatschappij (Pan American Airlines) een markt-niche zag voor straalvliegtuigen op transatlantische vluchten. In 1958 resulteerde dit in de eerste Boeing 707.

Naast de niches voor technologie vallen ook nog te onderscheiden: niches voor niet-technologische praktijken (zoals een sobere levensstijl), niches voor systemen van governance en ruil (zoals verhandelbare emissierechten, rekeningrijden, en ruilhandel van diensten) en niches voor samenlevingsvormen.

### *De functie van niches*

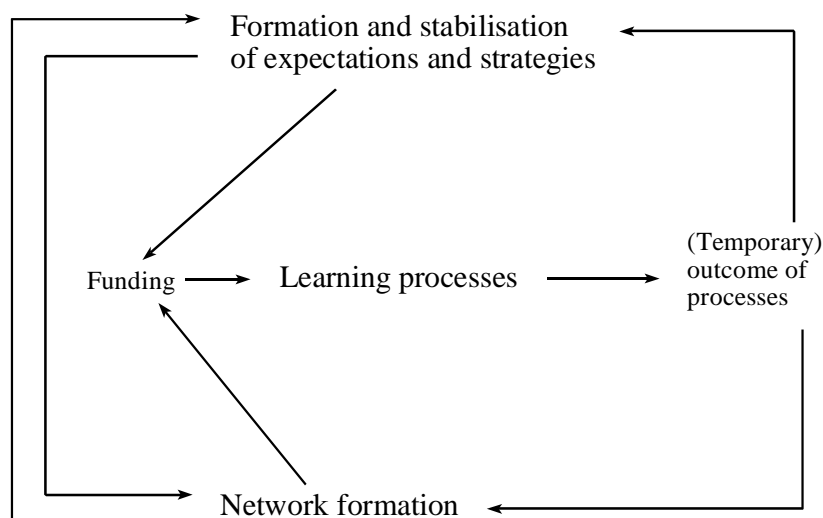
Er zijn twee manieren om te denken over de functies van niches voor 'novelties'. De eerste manier gaat uit van adagium 'ook technologie is mensenwerk', en kijkt naar de interne sociale processen die zich binnen niches afspelen. De tweede manier neemt een bredere blik, en kijkt meer naar de functies die niches voor 'novelties' spelen in transitie-processen, bijvoorbeeld als 'stepping stones' voor bredere veranderingen.

Aan de interne sociale processen van niches is al redelijk wat werk gedaan onder de noemer van Strategisch Niche Management (Schot *et al.*, 1994; Schot *et al.*, 1996; Elzen *et al.*, 1996, Kemp *et al.*, 1997; Kemp *et al.*, 1998; Weber *et al.*, 1999; Hoogma, 2000). In Strategisch Niche Management (SNM) wordt gebruik gemaakt van inzichten en empirische bevindingen uit innovatiestudies en sociologische techniekstudies. Een cruciaal concept hierbij is ‘stabilisering’. Hiermee wordt aangeduid dat van een nieuw opkomende technologie nog niet precies bekend is hoe het technische product eruit gaat zien, wie precies de gebruikers zijn en wat die willen, hoe het productionen netwerk eruit zal gaan zien, welke regelgeving de overheid zal maken etc. Anders gezegd, de dimensies van het socio-technische ensemble zijn nog niet uitgekristalliseerd of gestabiliseerd (zie ook Figuur 2). Het stabiliseren van nieuwe techniek, gebruikerswensen etc. is een geleidelijk proces dat plaatsvindt door *leren*. Dit leren over een nieuwe techniek is een belangrijke functie van niches. Dit leren is altijd gesitueerd, het vindt plaats in een specifieke context: een sociale netwerk van actoren dat bij de niche betrokken is. Bij hierboven genoemde elektrische voertuig-experimenten waren dat auto-fabrikanten, elektriciteitsmaatschappijen, stedelijk bestuur, consumenten. De actoren uit het sociale netwerk zijn allemaal betrokken bij de niche op basis van hun eigen strategieën. Deze strategieën zijn gebaseerd op inschattingen en verwachtingen.

Samenvattend vinden er drie constituerende processen plaats binnen niche:

- a) vorming en stabiliseringen van strategieën en verwachtingen
- b) leerprocessen (over techniek, gebruikerswensen, infrastructuur etc)
- c) vorming en stabilisering van een sociaal netwerk

Deze processen zijn niet onafhankelijk, maar beïnvloeden elkaar (zie Figuur 7).



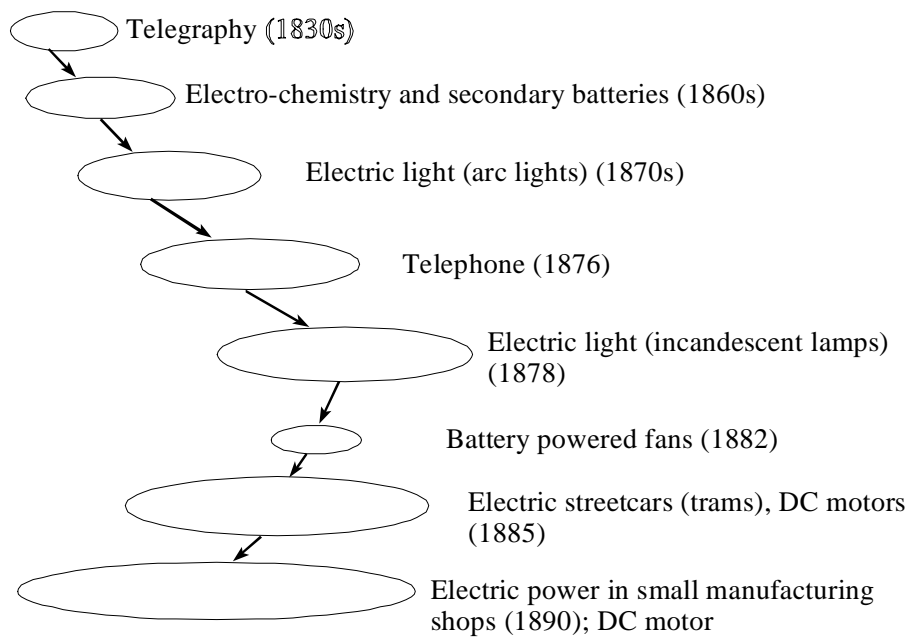
*Figuur 7: Koppelingen tussen de interne niche-processen (Geels, 2000a)*

Dit schema geldt voor niches van nieuwe technologie maar is ook van toepassing op niches voor nieuwe praktijken en arrangementen, zoals systemen van product sharing (zoals georganiseerd autodelen) en groene electriciteitspakketten. Ook binnen dergelijke niches treden leerprocessen op en processen van inbedding, in de vorm van acceptatie en wederzijdse aanpassing. Het tegenovergestelde is ook mogelijk: destabilisatie bij onvervulde verwachtingen of verschuivingen in de omgeving. De centrale gedachte is dat ook van niet-technologische initiatieven op lokaal niveau invloed kan uitgaan op de bredere maatschappelijke omgeving. Actoren kunnen zich daarvoor zeer nadrukkelijk inzetten. Dit gebeurt in het geval van de coalitie van autoluwe steden die een platform opgericht hebben en

andere steden vragen hen te volgen. Niches worden soms zelfs uitdrukkelijk gecreëerd vanuit een strategisch oogmerk. Dit is het geval bij een experiment met verhandelbare emissierechten in Nederland en bij rekeningrijden. Het gaat hierbij niet alleen om leerprocessen maar ook om het creëren van draagvlak. Soms wordt dat ook expliciet gezegd, soms houdt men dat verborgen.

Strategieën en verwachtingen veranderen door de tijd heen, onder andere door veranderingen in het sociale netwerk. Als het netwerk verandert, zullen actoren zich anders gaan positioneren ten opzichte van elkaar en hun strategieën aanpassen. Strategieën en verwachtingen veranderen ook door de uitkomsten van leerprocessen. Als uit experimenten blijkt dat een bepaalde technologie het goed doet en gebruikers tevreden zijn, zullen de verwachtingen rond deze technologie sterker worden. Dit zal het dan ook makkelijker maken om het sociale netwerk uit te breiden. Vanwege de hogere verwachtingen en het bredere netwerk zal er dan meer geld ter beschikking komen voor verdere leerprocessen. Er kan dan een zelfversterkende spiraal ontstaan. Door opeenvolgende cycli van leerprocessen, uitbreidende netwerken en strategie-vorming ontstaat geleidelijk een nieuw stabiel socio-technisch regime. Door cycli van interne niche-processen ontstaan stabiele netwerken en stabiele regels rond productspecificaties, gebruikerswensen, technische standaarden etc. Een eerste functie van niches is dus het faciliteren van de sociale processen en leerprocessen die nodig zijn voor het stabiliseren van een nieuwe techniek.

Wanneer we niet alleen *in* de niche kijken, maar ook naar relaties *tussen* niches dan wordt ook een tweede functie van niches zichtbaar. Niches kunnen namelijk ook functioneren als 'stepping stones' voor de diffusie van een nieuwe technologie. Nadat een nieuwe technologie eerst in een bepaalde niche is ontwikkeld, is het mogelijk dat de technologie daarna ook voor andere toepassingen, in andere niches, gebruikt kan worden. De technologie maakt dan als het ware een 'innovation journey' door verschillende niches. Figuur 8 geeft schematisch de 'innovation journey' van elektriciteit weer. Elektriciteit werd eerst gebruikt voor het verzenden van berichten (eerst telegraaf en later telefoon), daarna werd de mogelijkheid van licht onderkend (eerst booglampen, later gloeilampen). In de jaren '80 wordt een nieuw soort toepassing onderkend, namelijk als krachtbron. Elektrische motoren worden eerst gebruikt voor trams, en pas daarna geleidelijk in fabrieken ter vervanging van stoommachines.



*Figuur 8: Innovation journey van elektriciteit (Geels, 2000c)*

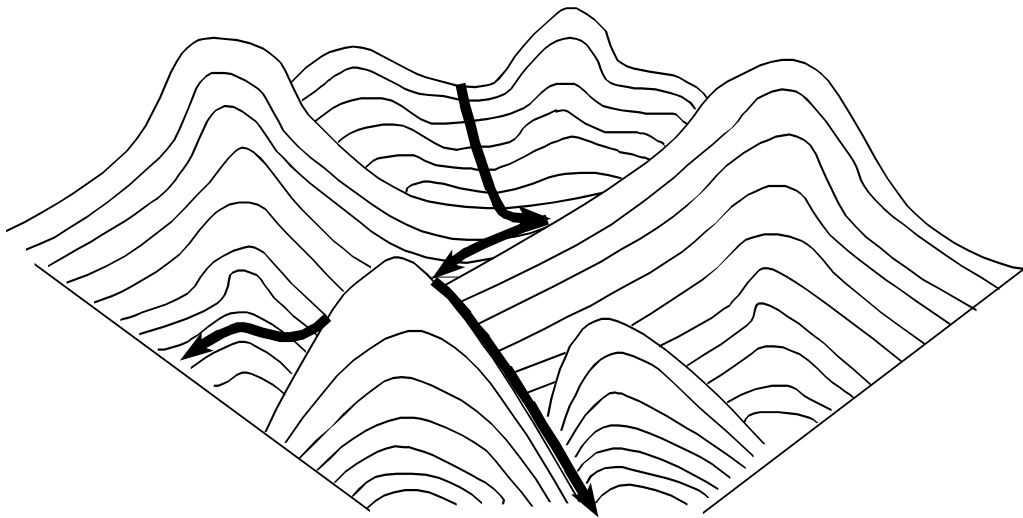
Vanuit dit bredere perspectief hebben verschillende niches de functie van ‘stepping stones’, ze schragen het proces van verandering. Een transitie in de krachtvoorziening van fabrieken kon pas plaatsvinden nadat elektriciteit in eerdere niches was ontwikkeld en toegepast (Geels, 2000c). Er vindt dus cumulatie van niches plaats. In de achtereenvolgende niches worden steeds leerervaringen opgedaan en netwerken gebouwd. Deze leerervaringen en netwerken vormen dan vaak weer de springplank voor toepassingen in een nieuwe niche. In paragraaf 5 zal dit nader worden uitgewerkt als een belangrijk patroon voor socio-technische transitie.

### 3.4. Socio-technisch landschap

Het derde niveau van het multi-level perspectief is dat van het socio-technisch landschap. Dit is het macro-niveau dat de brede context vormt voor het regime en de niches. Het gaat om ontwikkelingen en factoren die extern zijn aan het regime en de niches, maar daar wel invloed op hebben. De metafoor ‘landschap’ is gekozen om ook recht te doen aan materiële aspecten van de maatschappij, die invloed hebben op toekomstige ontwikkelingen (Rip and Kemp, 1998). Voorbeelden zijn snelwegen, hoogspanningsnetten, ruimtelijke ordening, stedenbouw. Juist vanwege hun materiële verankering vormen deze aspecten een tamelijk stabiele context.

Een ander voordeel van de term ‘landschap’ is dat het goed aansluit bij de term ‘technologische trajecten’. Die trajecten kunnen makkelijk worden begrepen als paden door een landschap. Het landschap vormt als het ware de *gradiënten* die bepaalde technische paden makkelijker of moeilijker maakt. Aan het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw was er een cultuur van technisch optimisme en technische uitdaging. In deze cultuur maakten de mankementen van de benzine-auto van 1890 deze juist aantrekkelijk. Rijke en technisch ingestelde avonturiers vonden de explosie-motor die met hand moest worden aangezwengeld, die soms ontplofte en die regelmatig onderweg gerepareerd moest worden, juist een spannend artefact. Het was een ‘avonturenmachine’ die goed aansloot bij de heersende cultuur (Mom, 1997). Die heersende cultuur *veroorzaakte* niet dat de benzine-auto het won van de veel eenvoudiger te bedienen elektrische auto, maar vormde wel een gradient die invloed had op de concurrentie tussen benzine en elektrische auto. Kortom, we kunnen de technische trajecten dus situeren binnen een landschap bestaande uit materiële en immateriële elementen (zie Figuur 9). De materiële aspecten zijn eerder genoemd. De immateriële elementen zijn cultuur, levensstijl,

samenlevingsvormen en algemeen gedeelde opvattingen (de maatschappelijke en managerial 'common sense'). Ook prijzen en inkomens maken deel uit van het landschap.



*Figuur 9: Topografie van socio-technische evolutie (Sahal, 1985: 79)*

Typerend voor het landschap-niveau is dat het gaat om relatief langzaam verlopende trends en ontwikkelingen. Terwijl dit landschap voor vele soorten studies constant kan worden verondersteld, moet het voor het bestuderen van langlopende transitie wel worden meegenomen. Trends op landschapsniveau spelen namelijk vaak een belangrijk rol. Bijvoorbeeld voor de transitie van stoommachines naar elektromotoren in fabrieken waren de trends van industrialisering en mechanisering van belang. De fabriekstereinen werden hierdoor namelijk steeds groter, waardoor er steeds meer problemen ontstonden met de transmissie van energie via katrollen, assen, leren banden etc. Landschapsontwikkelingen leidden dus tot steeds meer druk op het bestaande energie-regime in fabrieken. Vanaf ongeveer 1880 werd daarom geëxperimenteerd met alternatieven (bv. hydraulische machines, stoomdistributie via pijpleidingen). De elektrische motoren die eerst ontwikkeld waren voor trams konden vanaf ongeveer 1895 goed aanhaken bij de problemen in het regime, en vonden daardoor snel ingang (Geels, 2000c).

Behalve relatief langzame ontwikkelingen kunnen zich op landschapsniveau ook plotselinge en onverwachte gebeurtenissen plaatsvinden die grote invloed hebben op niches en regimes, bijvoorbeeld oorlog, grote ongelukken (bv. Tsjernobyl) of een olie-schok doordat de OPEC de kraan dichtdraait. Eerder is al het voorbeeld genoemd van straalmotoren die al begin jaren '30 ontwikkeld hadden kunnen worden, maar als het ware moesten 'wachten' op de Tweede Wereldoorlog om verder ontwikkeld te worden.

Het landschapsniveau is tamelijk heterogeen, en is een soort vergaarbak voor ontwikkelingen en factoren die extern zijn aan het regime, maar daar wel invloed op hebben. Onder andere de volgende elementen spelen vaak een rol op het landschapsniveau:

- a) Material infrastructuur
- b) Politieke 'cultuur' en coalities
- c) Maatschappelijke waarden, leefstijlen

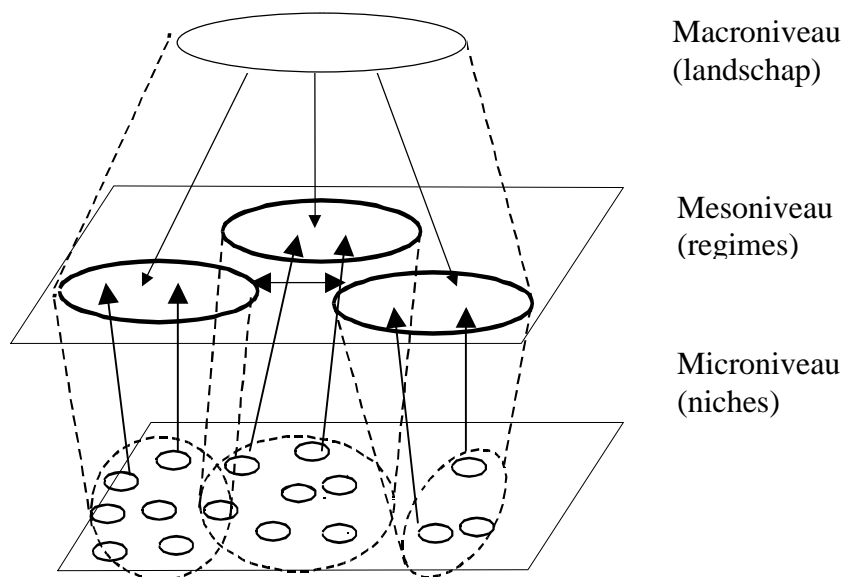


- d) Maatschappelijke en managerial ‘common sense’<sup>7</sup>
- e) Macro-economische aspecten (bv. olieprijs, recessie)
- f) ‘Pervasive technologies’ (e.g. ICT, elektriciteit, stoommachines)
- g) Demografie
- h) Natuurlijke omgeving (e.g. milieu, grondstoffen).

De mate waarin deze elementen een rol spelen bij concrete transitie zal verschillen per empirisch domein. Tot slot, hoewel trends en ontwikkelingen op het landschap-niveau invloeden hebben op regimes en niches is er niet altijd een één-op-één koppeling. Een recent rapport van het Sociaal Cultureel Planbureau, *Verspilde Energie: Wat Nederlanders doen en laten voor het milieu* (Steg, 1999), laat bijvoorbeeld zien dat Nederlanders milieu wel een belangrijke waarde vinden, maar dat ze zich daar in hun concrete gedrag weinig door laten leiden. Op landschap-niveau is MILIEU dus een belangrijke waarde geworden, maar op regime-niveau werkt dit niet altijd door in gedragspatronen.

### 3.5. Multi-level innovatie perspectief

De relaties tussen de drie niveau's kunnen als volgt gerepresenteerd worden (Figuur 10).



*Figuur 10: Statisch multi-level perspectief op innovaties (gebaseerd op Geels, 1997: 58)*

Het regime-niveau duidt op het gevestigde socio-technische systeem bedoeld om een bepaalde maatschappelijke functie te vervullen. De functie personenvervoer wordt bijvoorbeeld (voor het grootste deel) ingevuld middels het regime rond de auto met interne verbrandingsmotor. Dit regime heeft niet alleen betrekking op het artefact, maar ook op regelgeving (bv. emissies, belastingen, veiligheid), gebruikersgedrag en –voorkeuren, infrastructuur etc. De technische

<sup>7</sup> De huidige managerial common sense zegt dat productinnovatie en kennismanagement belangrijk zijn voor het voortbestaan van ondernemingen, dat bedrijven ‘lean’ moeten zijn, dat ze moeten overgaan op ICT en actief moeten zijn op internet. Een verdere specificatie van deze regels vindt plaats op het regime niveau. Een opkomende regel is dat bedrijven ‘green’ moeten zijn en moeten opereren conform maatschappelijk waarden. Naast de managerial common sense heb je op landschapsniveau zogenaamde ‘policy belief systems’: dominante overtuigingen tav beleid en de wenselijkheid van specifieke beleidsinstrumenten. Ook daarbij zie je verschuivingen in de tijd. De dominante opvatting tav de overheidsingrijpen op dit moment is dat meer gebruik moet worden van participatieve en interactieve vormen van beleidsvorming met daarbinnen een grotere rol voor convenanten en marktconforme instrumenten.

ontwikkelingen op regime-niveau zijn doorgaans incrementeel en gericht op systeem-optimalisatie. Dit geeft aanleiding tot eerder genoemde technische trajecten. Het landschap vormt de brede context voor het regime, of eigenlijk voor meerdere regimes. Sommige ontwikkelingen op landschapsniveau stabiliseren bestaande regimes, andere ontwikkelingen zorgen voor een druk. De klimaatveranderingsproblematiek, bijvoorbeeld, is een landschapontwikkeling die druk creëert op het bestaande auto-regime. Anderzijds zijn meer vrouwen buitenshuis gaan werken, waardoor de behoefte aan mobiliteit toeneemt. Ook de bestaande tank-infrastructuur werkt stabiliserend voor de benzine-auto. De niches vormen het niveau waar alternatieve technologieën ontwikkeld worden. Ook technologieën die aanleiding zouden kunnen geven tot een nieuw regime worden in niches ontwikkeld. Deze niches creëren als het ware een druk op het regime *van onderaf*. De niches proberen door te breken, maar dat blijkt moeilijk omdat het bestaande regime vaak tamelijk inert en verankerd is.

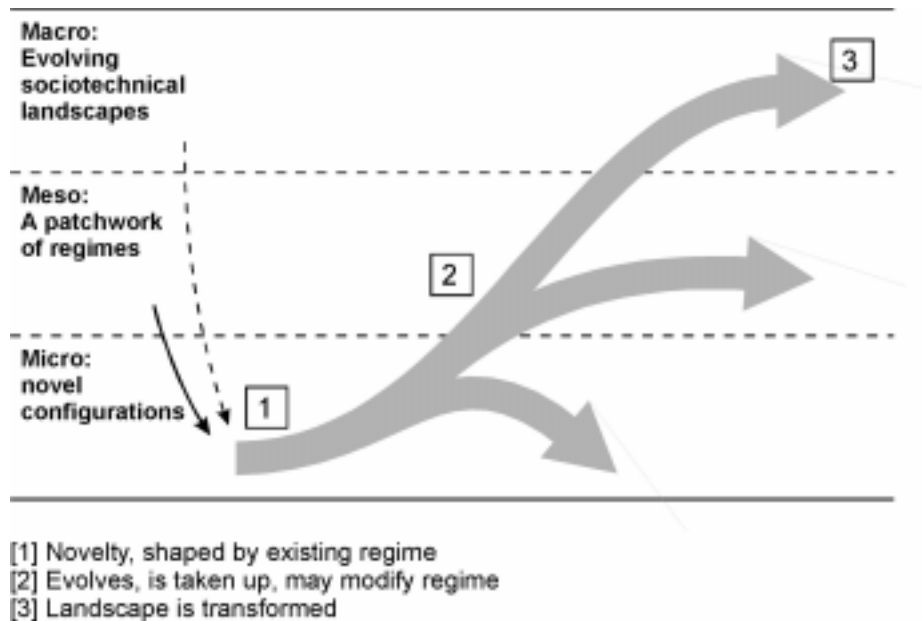
Een belangrijk verschil tussen regimes en niches is dat het op beide niveau's gaat om verschillende soorten sociale processen.

Op het regime-niveau is er sprake van relatief stabiele sociale netwerken (industriële netwerk met toeleveranciers en afnemers). Deze netwerken worden voortdurend gereproduceerd. Verder is de richting van (technische) leerprocessen tamelijk duidelijk. De zoekheuristicen zijn helder en het technische traject wordt verder afgelopen.

Op niche-niveau zijn de sociale netwerken veel hachelijker en instabieler. Zoals ieder handboek voor project-management leert, kost het veel tijd en werk om netwerken rond experimenten of projecten te vormen en in stand te houden. Tijdens experimenten stuit men voortdurend op onverwachte zaken die dan weer opnieuw onderhandeld moeten worden. Het bouwen en onderhouden van netwerken is dus een belangrijk proces op niche-niveau. Verder zijn de leerprocessen over techniek, gebruikerswensen etc. veel opener dan op regime-niveau. Er is nog geen 'dominant design' wat betreft de technologie en het leren gaat vooral via 'trial and error'. Leerprocessen zijn dus ook belangrijk op niche-niveau, alsmede het uitwisselen van leerervaringen met andere actoren.

### **3.6. Naar een dynamisch multi-level perspectief op innovatie**

Om het statische multi-level perspectief geschikt te maken voor het begrijpen van transitie moet dynamiek worden toegevoegd. Een eerste stap daartoe is gezet door Rip en Kemp (1996). Zij ontwikkelden een conceptueel schema dat een focus heeft op novelty en de diffusie daarvan (Figuur 11).



*Figuur 11: Ontstaan en diffusie van novelty (Rip and Kemp, 1996)*

In dit schema wordt nieuwe technologie ontwikkeld in niches. Deze niches zijn echter niet helemaal afgeschermd van de omgeving. De sociale processen in de niches (leerprocessen, stabiliseren van strategieën, netwerkbouw) worden namelijk beïnvloed door ontwikkelingen op regime- en landschap-niveau. Strategieën en verwachtingen *in* een niche zullen bijvoorbeeld versterkt worden als de overheid strikte wetgeving afkondigt op regime-niveau. Een voorbeeld is het zero-emission mandaat dat de staat California in 1990 afkondigde.<sup>8</sup> Dit mandaat had een enorm sterk effect op de verwachtingen die actoren hadden van elektrische voertuigen (Hoogma, 2000). Na 1990 gingen de investeringen in technische ontwikkeling van EV sterk omhoog en werden er uitgebreide netwerken gevormd.

Kortom, interne niche-processen worden beïnvloed door regime en landschap. Nieuwe technologieën in niches kunnen falen of doorzetten. Als zo'n technologie doorzet leidt dit tot transformatie van het bestaande regime of het ontstaan van een nieuw regime. Uiteindelijk kan dit zelfs leiden tot veranderingen op landschapsniveau (bijvoorbeeld nieuwe infrastructuur, nieuwe culturele waarden).

Het schema van Rip en Kemp (1996) is nuttig omdat het duidelijk aangeeft dat *elke transitie begint en gestalte krijgt in niches*. Verder laat het zien dat diffusie niet een simpel proces is, maar dat tijdens de verschillende fasen verschillende socio-economische processen een rol spelen. Het schema lijkt op een simpele diffusie-curve (waarbij doorgaans markt-aandeel op de Y-as staat). Het voordeel van het Rip/Kemp schema is dat duidelijk wordt dat er in vroege fasen allerlei precaire niche-processen aan de gang zijn. In latere fasen is er meer stabiliteit en spelen reguliere markt-mechanismen een grotere rol. Dit heeft ook implicaties voor beleid, namelijk dat vroege en latere fasen andere soorten beleid vereisen (zie ook paragraaf 7).

Een eerste nadeel van het Rip/Kemp schema is dat de enkele pijl de suggestie wekt dat het zou gaan om één core-technologie die zich doorzet. Bij de meeste transities gaat echter om meerdere technische ontwikkelingen die samenkomen en elkaar versterken.

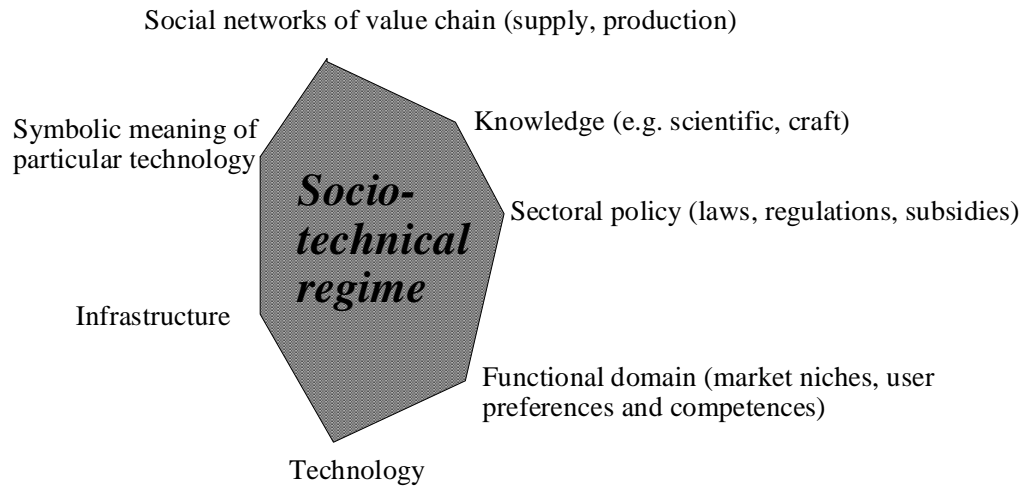
Een tweede nadeel is dat het vooral focust op de *nieuwe* technologie, en dynamieken op het bestaande regime- en landschapsniveau buiten beschouwing laat. Echter, voor het

<sup>8</sup> Volgens dit mandaat moest een steeds hoger percentage van de verkopen van autofabrikanten nul-emissie zijn: 2% in 1998, 5% in 2003 en 10% in 2010.

uitbreken van nieuwe technologie moet er wel een ‘window of opportunity’ zijn op regime-niveau. Er moeten dus extra dynamieken worden toegevoegd.

#### *Het toevoegen van regime-dynamiek*

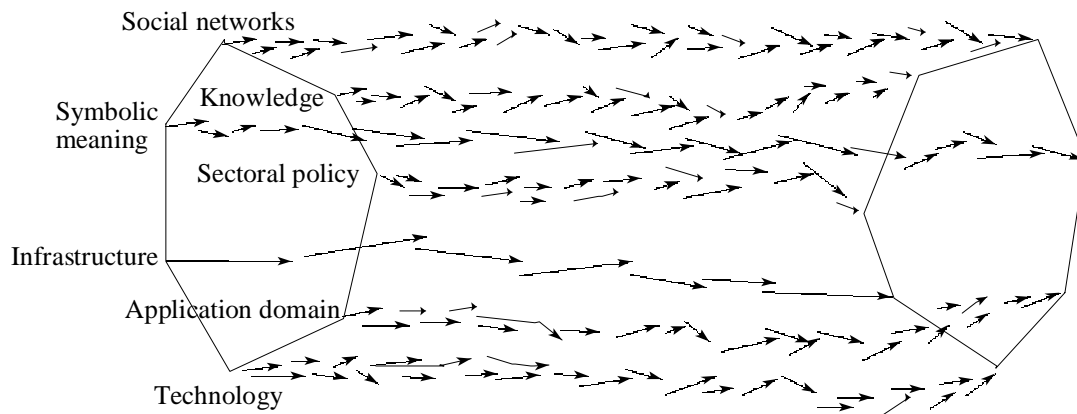
In Figuur 2 is de complexiteit van het sociotechnische transport-regime geschetst. In dat regime spelen zeven dimensies een rol. In Figuur 12 staan deze zeven dimensies weergegeven.



*Figuur 12: Dimensies van socio-technisch regime*

De elementen zijn met elkaar verbonden via een structuur van regels, aannamen en rolverdeling die uitgangspunt vormt voor de interacties van de actoren binnen een regime. Er valt te twisten over het exacte aantal en de preciese aard van de dimensies, maar dat is hier niet de bedoeling. In het VROM-rapport *Transities: Kunnen drie mensen de wereld doen omslaan?* (Te Riele *et al.*, 2000) worden bijvoorbeeld zes dimensies onderscheiden. Het belangrijke punt is dat samenhang is tussen verschillende soorten elementen.

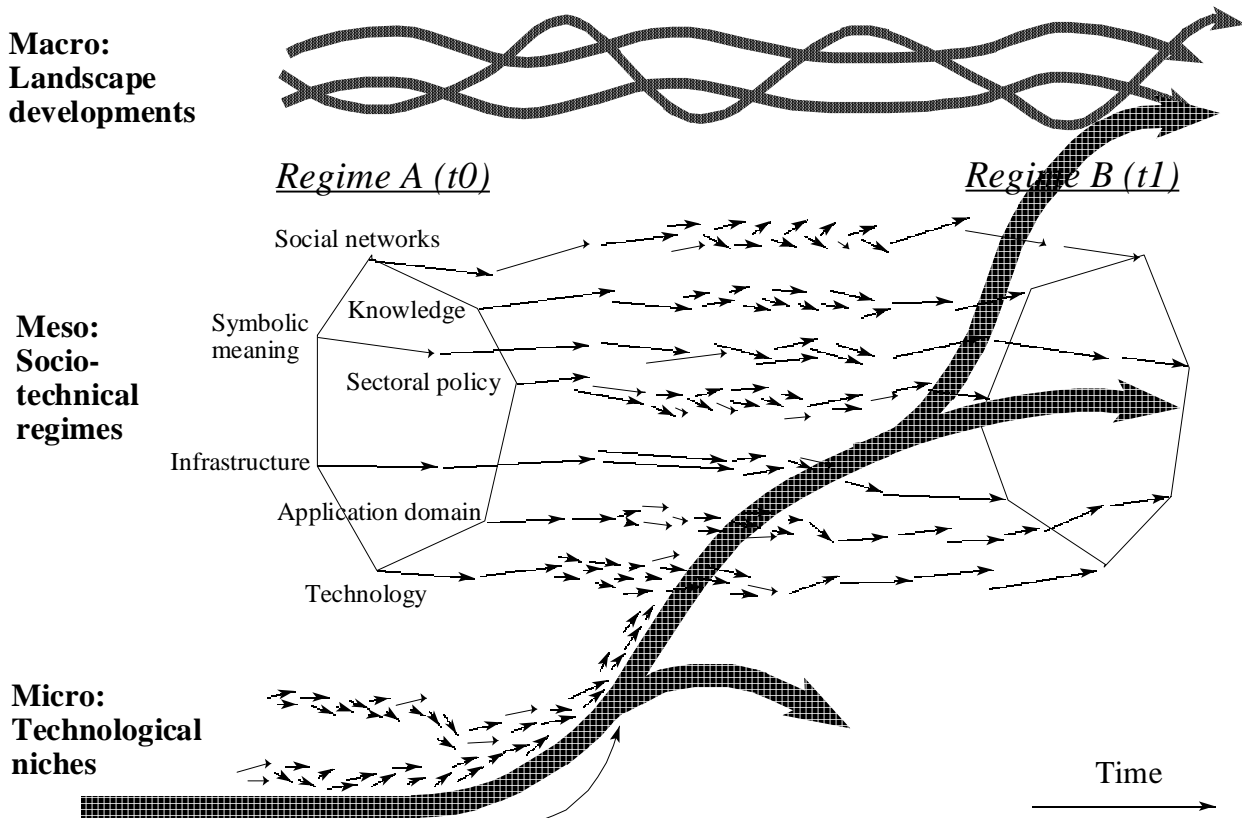
Een ander belangrijk punt is dat ontwikkelingen in deze zeven dimensies nooit helemaal stil staan. Er zijn altijd ‘ongoing dynamics’. Dit geldt niet alleen door de techniek, maar ook voor sectoraal beleid, waaraan voortdurend gesleuteld wordt. Ook markten zijn steeds in beweging, waarbij nieuwe markten kunnen ontstaan (bv. de tweede auto), of verschuivingen optreden in gebruikerswensen. Het sociale netwerk is ook dynamisch, bijvoorbeeld producenten ontwikkelen steeds nieuwe strategieën om zich ten opzichte van elkaar te positioneren. Dit punt van ‘ongoing dynamics’ is schematisch weergegeven in Figuur 13.



*Figuur 13: Ongoing dynamics op vele regime-dimensies*

Door de voortgaande ontwikkelingen kan een regime op tijdstip T(0) er heel anders uitzien dan op tijdstip T(1). De voortgaande ontwikkelingen kunnen ook punten bieden waarbij ontwikkelingen in niches kunnen aanhaken. Nieuwe markten met nieuwe gebruikerseisen bijvoorbeeld kunnen een goede ‘window of opportunity’ vormen voor nieuwe technologieën. De nieuwe elektromotoren werden rond 1900 niet toegepast als *vervanging* van stoommachines, maar vooral gebruikt in nieuwe sectoren die sterk groeiden (bv. auto-productie, tabak, elektro-technische sector) (Geels, 2000c). Evenzo werd het straalvliegtuig in de commerciële luchtvaart aanvankelijk niet toegepast als vervanging van propellorvliegtuigen, maar gebruikt in de nieuwe transatlantische markt die eind jaren '50 met 15% per jaar groeide (Geels, 2000b). Bij een regimeverandering transformeren dus de elementen.

Als we nu de voortgaande regime-dynamieken, alsmede landschapontwikkelingen, toevoegen aan het multi-level schema van Rip en Kemp (1996) dan krijgen we een dynamisch multi-level perspectief op transitie (zie Figuur 14).



Figuur 14: Dynamisch multi-level perspectief op transitie

In deze figuur zijn de volgende observaties over transitie verwerkt.

1. Innovaties kunnen erg lang op het niche-niveau blijven vóór ze uitbreken. In het eerder genoemde VROM-rapport (Te Riele *et al.*, 2000) wordt een case-study naar biologisch grondgebruik beschreven, onder de pakkende sub-titel '80 jaar treuzelen en dan ineens boom!'. Uit de case-study blijkt dat biologisch grondgebruik lang een kleine niche bleef, maar kon uitbreken doordat er een aantal elementen op regime- en landschapniveau veranderden (schandalen en prijsdalingen in reguliere landbouw, andere regelgeving van overheid, kritischer wordende consument, strategische positionering van supermarkten als Albert Heijn). De niche van biologische landbouw kon ineens aanhaken bij ontwikkelingen op regime- en landschapniveau en daardoor uitbreken. De multi-level conceptualisering van Figuur 14 is dus in staat om een verklaring te geven voor *vertraging of versnelling van (technische) ontwikkelingen*, door te kijken naar koppelingen tussen ontwikkelingen op meerdere niveau's.
2. Hoewel niet zo duidelijk, beoogt Figuur 14 aan te geven dat vaak meerdere technologieën op niche-niveau samenkomen voor een transitie plaatsvindt. De doorbraak van stoomschepen naar het goederenvervoer (vanaf 1870) gebeurde pas nadat eerst drie belangrijke innovaties gekoppeld waren geraakt: i) overgang van schoepraders naar schroef, ii) overgang van hout naar ijzer als bouw materiaal, iii) sterke verbetering in de kolen-efficiëntie van stoommachines (de compound engine).
3. Het belangrijkste punt van Figuur 14 is dat innovaties pas uit niches breken als ze kunnen aanhaken bij en koppelen aan 'ongoing dynamics' op regime- en landschap-niveau. De innovaties moeten bijvoorbeeld een oplossing bieden voor persistente problemen in het bestaande regime. Hierboven is al genoemd dat elektromotoren konden doorbreken omdat ze een oplossing beloofden voor de frictie-problemen en inflexibiliteit van het bestaande

energie-regime rond stoommachines en banden, katrollen etc (Geels, 2000c). Deze problemen in het bestaande energie-regime werden steeds groter door de voortgaande industrialisering en mechanisering. Nieuwe technologieën kunnen ook uit niches breken door aan te haken bij markt-dynamieken, zoals straalvliegtuigen eerst gebruikt werden in de sterk groeiende intercontinentale markt.

4. Het uitbreken uit een niche en de intrede in het regime gaat gepaard met aanpassingen en leerprocessen op velerlei dimensies. In Figuur 14 is dat weergegeven met de grotere dichtheid van pijltjes rond het moment van uitbreken. De doorbraak van straalvliegtuigen betekende bijvoorbeeld dat landingsbanen moesten worden verlengd, dat start- en landingsprocedures werden aangepast (zodat de veel duurere straalvliegtuigen zo kort mogelijk aan de grond bleven staan), dat nieuwe radar-installaties werden geïnstalleerd om de navigatie vanuit de verkeerstoren te verbeteren (straalvliegtuigen vlogen namelijk sneller en moesten dus vanaf grotere afstand opgemerkt worden). Verder waren straalvliegtuigen ook groter en konden meer passagiers vervoeren. Gekoppeld aan lagere tarieven vormde dit een grote stimulans voor gebruikers. Na 1960 komt het vlieg-toerisme als nieuw gebruikscategorie op. Door de vele aanpassingen op allerlei dimensies is er niet slechts sprake van technische substitutie, maar ontstaat er ook een nieuw socio-technisch regime. Nieuwe technologie is maar één element in het nieuwe regime. Andere elementen zijn: nieuwe actor netwerken, nieuwe kennis, nieuwe praktijken en instituties, en nieuwe richtinggevende principes binnen een bepaald domein die resulteren in een nieuwe managerial en engineering common sense. Wanneer er sprake is van een nieuw, dominant leidinggevend principe spreken we van een regime-verandering. Een voorbeeld is het standaardgebruik van genetisch gemodificeerde gewassen. Deze komen tot stand via allerlei afstemmings- en leerprocessen, en gaan gepaard met weerstand en destructie.

In de hele discussie is er een sterk focus op technologie. Dat is een bewuste keuze. Technologische verandering is een wezenlijk onderdeel van transitie in functionele domeinen. Technologie op zichzelf is echter niet een 'driver' maar een uitkomst: het zijn problemen binnen bestaande regimes en de inzet van actoren om daar iets aan te doen-- resulterend in markten en processen van maatschappelijke aanpassing--die de 'driver' zijn. Technologie is mensenwerk en de toepassing gebeurt in een economische en maatschappelijke omgeving. Technologie-ontwikkeling en toepassing moet dus nooit losgezien worden van de omgeving waarin zij optreedt. Veranderingen in de olieprijs en energie-efficiëntie normen hebben invloed op onderzoeksinspanningen, leerprocessen en op investeringen in energietechnieken, en daarmee invloed op technologische ontwikkeling die op haar beurt weer invloed heeft op de olieprijs en energiebeleid. Met andere woorden, er is sprake van een meervoudige causaliteit en van co-evolutie. Er is sprake van wisselwerking én eigenstandige ontwikkeling. Er zijn stromen die elkaar beïnvloeden en er is kanalisering en stabilisering. Systeemperspectieven helpen de structuur te zien en evolutionaire perspectieven de beweging.

In dit hoofdstuk is gesproken over de rol van niches als stepping stone voor verandering. Niches geven voeding en richting aan veranderingsprocessen. Niches zijn op zichzelf zijn geen transformer, net zo min als technologie dat is. Het zijn de onderliggende processen binnen een niche, de leerprocessen, investeringsbeslissingen, processen van netwerkvorming, die fungeren als transformer, tegen de achtergrond van of in interactie met processen die optreden op regime- en landschapsniveau.

Niches zijn in onze ogen belangrijk maar ook buiten niches treden allerlei veranderingsprocessen op die belangrijk zijn bij transitie. Er is culturele verandering,

demografische verandering, en er zijn veranderingen in regimes die niets met niches te maken hebben, zoals verandering in marktorganisatie. Niet elke veranderingsproces is gesitueerd rond technologie. Wel is het zo dat substantiële reducties in broeikasemissies niet te verwachten zijn langs de weg van gedragsverandering bij gelijkblijvende technologie. Gedragsverandering komt makkelijker tot stand bij veranderende technologie. Een innovatie met een hoog gedragsmatige component zoals georganiseerd autodelen heeft ook een technologische component, in de vorm van boekings- en reserveringssystemen en de financiële afhandeling van het gebruik van een deelauto. In Nederland hebben we een prima infrastructuur voor fietsen. Deze ontbreekt in veel andere landen waardoor fietsen een gevaarlijke zaak is voor de fietser zelf. Het risico op een dodelijk ongeval als fietser in de VS is drie maal zo hoog als dat van een automobilist (checken). Het gebruik van de fiets is dus niet uitsluitend een culturele zaak. Technologie en gedragsverandering zijn dus geen uitsluitende opties, maar met elkaar verbonden. Technologie kan helpen bij gedragsverandering en zelfs nodig zijn. Zonder technologische verandering en verandering in materiële systemen komt gedragsverandering moeilijk van de grond. Er is voorsnog weinig draagvlak voor sobere levensstijlen vandaar dat het verstandig is om in te zetten op technologie. Er moet echter niet van uitgegaan worden dat de mensen over 10 jaar hetzelfde zijn als de mensen nu.

Naast technologie, gedrag en levensstijl vallen nog een aantal andere zaken te noemen die invloed hebben op energiegebruik: bevolkingsgroei, vergrijzing, levensverwachting, en klimaat- en milieuverandering. Toe te voegen zijn: gezondheid en eetpatronen (de productie van biologisch en vegetarisch voedsel vergt aanzienlijk minder energie, direct en indirect door het gebruik natuurlijke mest ipv kunstmest).

Er is dus een veelvoud van factoren en processen die op elkaar inwerken. Het evolutionaire multi-level perspectief brengt hierin structuur. Dit wordt gedaan aan de hand van de niveaus van niches, regimes en landschap. Het is een specifieke invulling van een systeemdynamische benadering. Een voordeel van de multi-level benadering is dat er een duidelijke focussering is op technologie en functies. Dat is een nuttige insteek voor transitie met een duidelijke technologische component, zoals verandering in de energievoorziening en huishouding. De twee historische voorbeelden, beschreven in het volgende hoofdstuk, laten dit zien.



## 4. Twee empirische voorbeelden

In deze paragraaf zullen twee empirische voorbeelden van transitie worden besproken om bovenstaande multi-level perspectief te illustreren. Het eerste voorbeeld gaat over een transitie in het regime van opwekking en gebruik van energie in de maak-industrie: de overgang van stoommachines naar elektromotoren. Het tweede voorbeeld handelt over de transitie in oceanvaart, van zeilschepen naar stoomschepen. De relevantie van beide voorbeelden ligt vooral in de algemene transitie-processen en –patronen die optreden. De beschrijvingen zijn gebaseerd op uitvoerige case-studies (Geels, 2000c; Geels, 2000d).

### 4.1. De transitie van stoommachines naar elektromotoren in de maak-industrie (1850-1920)

De ‘normale’ weergave van transitie is dat het oude technische regime markt-aandeel verliest en nieuwe regime aandeel wint. In Figuur 15 gaan stoommachines omlaag terwijl elektromotoren omhoog gaan. Verder had men tot 1895 grote verwachtingen dat gasmotoren (interne verbrandingsmotoren) de stoommachines zouden gaan vervangen. Zoals hieronder nog duidelijk zal worden waren er namelijk al lange tijd problemen in het stoommachine-regime. Vanaf 1870 werden er daarom in technologische niches verschillende nieuwe technologieën uitgetoet. Gasmotoren veroverden zelfs aanzienlijke marktniches maar braken toch niet helemaal door. Interne verbrandingsmotoren braken later wel door voor de aandrijving van auto's.

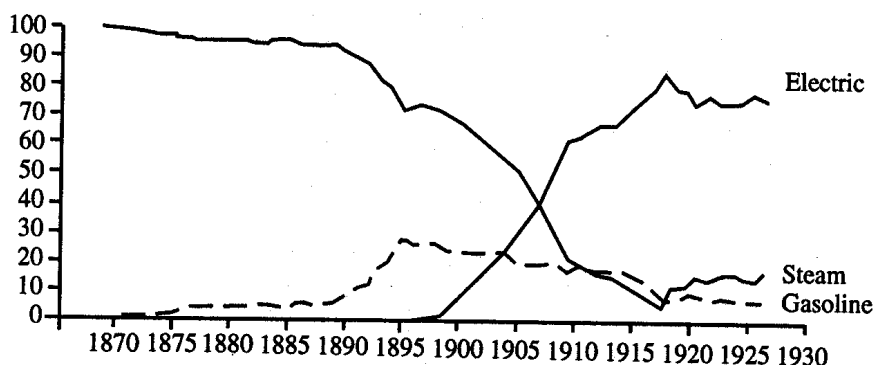
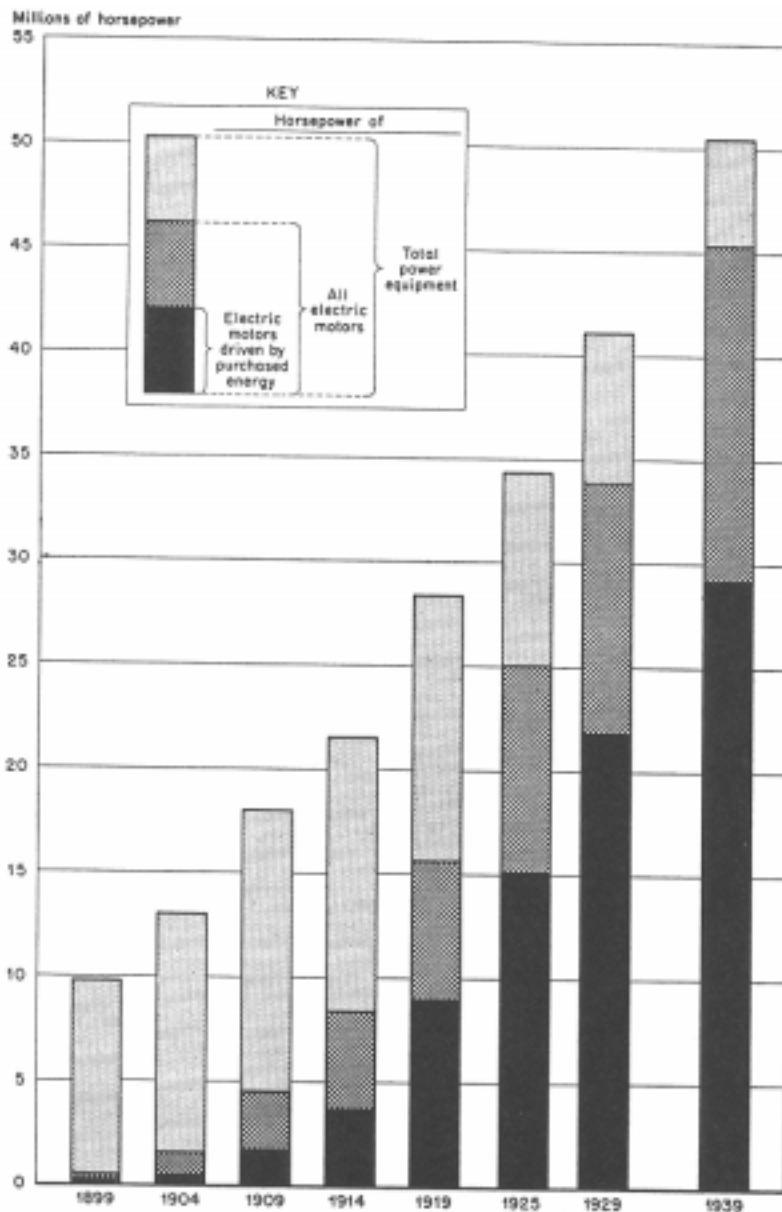


Figure 15: Aandeel van verschillende typen energie-machines in de totale capaciteit van Antwerpen (Freeman and Soete, 1997: 77; gebaseerd op Delbeke, 1982)

#### a) Het belang van markt-dynamieken

Weergaven als Figuur 15 suggereren dat de nieuwe technologie direct *ten koste* gaat van de oude technologie, dat het gaat om substitutie en vervanging. Bij nadere beschouwing van markt-dynamieken blijkt dit echter een te simpel beeld te zijn, vooral gecreëerd door de *relatieve* weergave. Als we in absolute termen kijken, dan blijkt dat de totale markt van energie-gebruik sterk groeide, en dat elektromotoren aanvankelijk niet ten koste gingen van stoommachines (Figuur 16).



Figuur 16: Stoom en elektriciteit in Amerikaanse maakindustrie (Hunter and Bryant, 1991: 308)

Het totale energie-regime voor de maakindustrie groeide dus sterk, hetgeen stimulerend werkte voor zowel stoommachines als elektromotoren. De nieuwe technologie kon goed bij de regime-dynamiek aanhaken en groeide sneller dan stoommachine. Elektromotoren werden vooral toegepast in groei-sectoren als tabak, metaal-productie, auto-productie, elektro-industrie.

#### b) Niche-trajecten

Een tweede nadeel van de 'simpele' weergave van transitie als in Figuur 15 is dat het weinig inzicht biedt in het groei- en diffusie-traject van de nieuwe technologie. Om daar beter zicht op te krijgen dienen we verschillende toepassingsdomeinen te onderscheiden, bijvoorbeeld op basis van hun energie-behoeften (DuBoff, 1979):

- 1) Kleine energie-gebruikers: Midden en kleinbedrijf, bijvoorbeeld winkels met workshops (schoenmakers, smeden, kleermakers) en kleine industrie (drukkerijen en

uitgevers, brouwerijen, confectie). De workshops hadden veelal behoefte aan ‘fractional horsepower’ (< 1 paardekracht), terwijl de kleine industrie tussen de 1 en 5 pk. nodig had.

- 2) Gemiddelde energie-gebruikers, bijvoorbeeld textielproductie, voedingsindustrie, meubelproductie.
- 3) Grote energiegebruikers, bijvoorbeeld metaalproductie, papierproductie, auto-industrie, scheepsbouw, mijnbouw.

Door landschapsprocessen als mechanisering, industrialisering, schaalvergroting namen voor twee toepassingsdomeinen de problemen met stoommachines steeds meer toe.

1. Voor de kleine energiegebruikers hadden stoom-machines de volgende problemen: hoge aanschafkosten, veel ruimtegebruik, explosie-gevaar, overlast van warmte en kolenstof, veel onderhoud. Stoommachines waren ook minder efficiënt bij kleine energie-behoeften (< 5 pk). In de tweede helft van de 19<sup>e</sup> eeuw nam de mechanisatie sterk toe. Het MKB schafte steeds meer machines en hulpmiddelen aan, en had toenemende behoefte aan een meer geschikte energiebron.

2. Voor de grote energiegebruikers lag het probleem niet zozeer in de stoommachines zelf, maar in de *distributie* van de energie door de fabriek. De heen-en-weer-gaande beweging van de stoommachine werd namelijk via een uitgebreid systeem van katrollen, banden, vliegwielen etc. overgebracht naar de machines en apparaten. Het eerste probleem was dat in dit transmissie-systeem veel energie verloren ging door wrijving en frictie. Het tweede probleem was dat het systeem inflexibel was. De machines konden niet flexibel georganiseerd worden en waren gebonden aan het transmissie-systeem. Dit werd steeds meer als een dwangbuis ervaren. Bovendien kon alleen *hele* systeem aan worden gezet, ook als er (bijvoorbeeld in de avonduren) maar één machine nodig was. Beide problemen namen toe door de industrialisering aan het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw. Hierdoor werden bedrijfsterreinen steeds groter en uitgestrekter wat de problemen met energie-distributie versterkte.

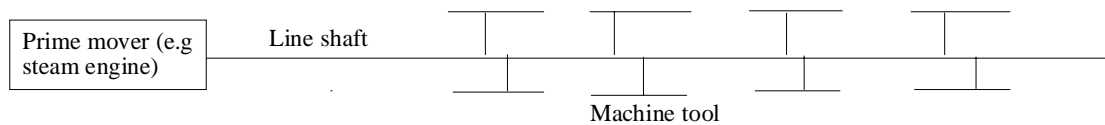
Het gebruik van elektriciteit in de maak-sector verliep via verschillende achtereenvolgende en soms parallelle niches.

Elektriciteit werd al sinds 1830 voor verschillende toepassingen gebruikt, maar pas rond 1880 begon de toepassing voor kracht van de grond te komen (zie Figuur 8). Elektrisch aangedreven ventilatoren waren één van de eerste toepassingen, gebruik makend van kleine gelijkstroom-motoren (DC). Vanaf midden jaren '80 werd ook geëxperimenteerd met elektrische trams (Siemens, Sprague), gebruik makend van grotere DC-motoren.

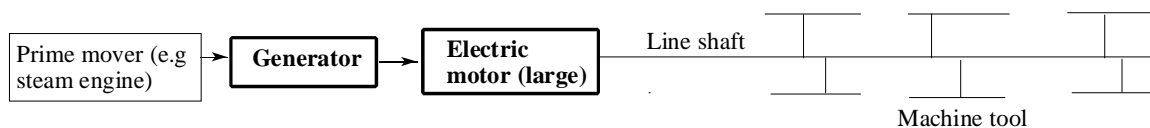
#### *Eerste niche*

Het gebruik van de eerste DC-motoren in de maak-sector betrof kleine motoren. Deze werden vanaf ongeveer 1883 het eerst gebruikt in het MKB. In kleine workshops werden de elektromotoren gebruikt voor apparaten als tandarts boor, naai-machines, ventilatoren etc. Ook de kleine industrie hoorde tot de eerste niche. Uitgevers en drukkerijen alsmede confectie-productie hoorden tot de voorlopers. In deze markt-niches werden de volgende voordelen van elektromotoren hoog gewaardeerd: schoon (weinig vervuiling), gelijkmatige werking, makkelijk bedienbaar en op te starten. In deze kleine industrie ging de introductie van elektromotoren niet ten koste van stoommachines. Bijvoorbeeld in drukkerijen en weverijen werden een generator en elektromotor *tussengeschakeld*. Zowel de stoommachine als het transmissie-systeem werden dus gehandhaafd, onder andere vanwege ‘sunk investments’. Figuur 17 laat zowel het ‘oude’ systeem zien (direct drive) als de eerste toepassing van elektromotoren (‘electric line shaft drive’). Deze eerste toepassing zou later een tussenstap blijken te zijn.

## 1. Direct drive (traditonal)



## 2. Electric line shaft drive (add-on)



*Figuur 17: Eerste introductie van elektromotoren als 'add-on'*

Behalve de voordelen, waren er ook verschillende problemen verbonden aan elektromotoren:

- Er was aanzienlijke variatie in soorten DC-motoren. Er was nog geen dominant design en geen massa-productie. De motor-producenten waren klein en maakten de motoren met de hand. De kosten van de motoren waren dan ook nog hoog. Er was nog geen stabiel sociaal netwerk van producenten.
- De beschikbaarheid van elektriciteit was een probleem. Het eerste elektriciteitsbedrijf was pas in 1882 opgericht door Edison. De uitbreiding van elektriciteitsnetten was een geleidelijk proces dat nog decennia zou duren. Het meeste elektriciteitsgebruik was rond 1890 dan ook gebaseerd op zelf-opwekking, waarbij stoommachines en een generator werden gebruikt. In Figuur 16 is ook te zien dat slechts een klein deel van de eerste elektromotoren werkte op basis van ingekochte elektriciteit. Zelf-opwekking van elektriciteit was echter te duur voor het grootste deel van het MKB. Sommige kleine bedrijven kochten daarom elektriciteit van nabij gelegen grotere fabrieken (die al wel elektrisch licht hadden); anderen konden zich aansluiten bij elektriciteitsbedrijven. Veel kleine bedrijven wilden misschien wel overschakelen op elektromotoren, maar moesten wachten op de uitbreiding van de infrastructuur. Deze uitbreiding kon echter pas goed plaatsvinden na de omschakeling van gelijkstroom (DC) op wisselstroom (AC). Gelijkstroom heeft namelijk veel grotere energieverliezen bij transport over grotere afstanden dan wisselstroom. Deze 'battle of the systems' liep in Amerika van 1890 tot 1895. De onzekerheid over de soort elektriciteit had een remmend effect op de diffusie van elektromotoren, vanwege het risico de 'verkeerde' soort motor aan te schaffen.

### *Tweede niche*

De grote industrie was afwachtend in het gebruik van elektromotoren voor de directe productie. Elektromotoren werden echter wel gebruikt voor *additionele functies*. Vooral elektrische kranen werden veel gebruikt. Deze waren aan het plafond bevestigd en konden in drie richtingen bewegen. Hiermee konden zware objecten door een fabriek verplaatst worden, hetgeen iets meer flexibiliteit aan het productieproces gaf. Elektromotoren werden dus gebruikt om het bestaande regime te verbeteren. Door deze eerste toepassingen konden veel bedrijven leerervaringen opdoen met elektromotoren en kennis maken met de mogelijkheden. Ook was het hiertoe nodig om een eerste rudimentair elektriciteitsnetwerk in de fabriek te maken. Latere toepassingen van elektromotoren konden hierop voortbouwen.

### *Derde niche*

Na 1895 was het duidelijk dat wisselstroom (AC) de toekomst had. Tesla had in 1888 belangrijk werk verricht aan een AC-motor, en rond de eeuwwisseling begon de technologie gestandaardiseerd te raken. Ook het sociale productienetwerk begon te stabiliseren met het ontstaan van enkele grote elektrotechnische bedrijven (General Electric, Westinghouse, Siemens).

De derde niche bestaat uit verdere diffusie van de elektromotor in het MKB. Na de voorlopers (drukkerijen, confectie) begonnen andere kleine industrieën te volgen, bijvoorbeeld tabak, machine-tool productie. Het percentage elektrische aandrijving was echter nog klein. Rond 1900 was ongeveer 5% van de totale energie-behoefte in de Amerikaanse maak-industrie elektrisch. Hiervan werd 66% zelf opgewekt (Hunter and Bryant, 1991: 283).

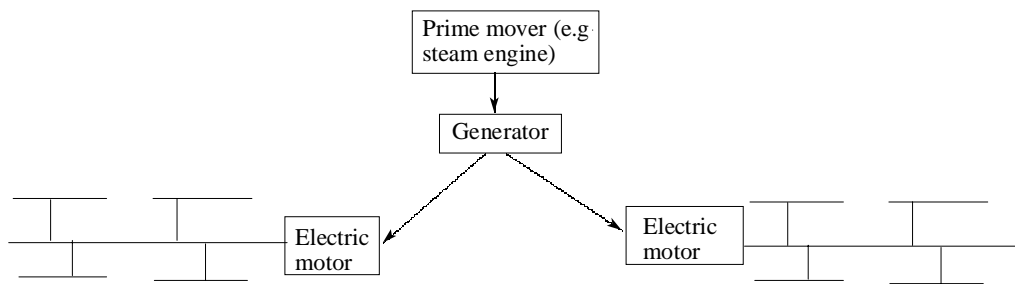
Aan het eind van de jaren '90 werden nieuwe toepassingen van elektromotoren uitgetoetst en in ingenieurskringen bediscussieerd. Deze nieuwe toepassingen waren mogelijk geworden door de betere performance van elektromotoren. Er vond een omslag plaats in de perceptie van het bestaande transmissie-systeem. Het transmissie-systeem was steeds incrementeel verbeterd (betere banden, smeermiddelen). Aan het eind van de jaren '90 werd steeds meer gesproken over het opknippen van dit transmissie-systeem in kleinere delen die dan apart zouden worden aangedreven door een elektromotor ('group-drive'). Reeds in 1892 experimenteerde General Electric Company met 'group-drive' in een fabriek in New York. 'Group-drive' gaf meer flexibiliteit in het organiseren van de machine-tools, en het verminderde de energie-verliezen door frictie. Bovendien konden de verschillende groepen apart functioneren. De energiebesparingen bleken tussen de 20 en 25% te liggen (Devine, 1983: 360), hetgeen overigens niet altijd belangrijk was aangezien energie-kosten meestal tussen de 2 en 3% van totale kosten lagen.

Er werd in ingenieursdiscussies ook wel gesproken over 'unit-drive', dwz. dat elke machine-tool door een eigen elektromotor wordt aangedreven. Ingenieurs zagen dit als de ideale oplossing voor de bestaande problemen, maar de meeste bedrijfsmanagers vonden dit nog een te dure en experimentele optie (zeker omdat elektromotoren nog steeds relatief duur waren).

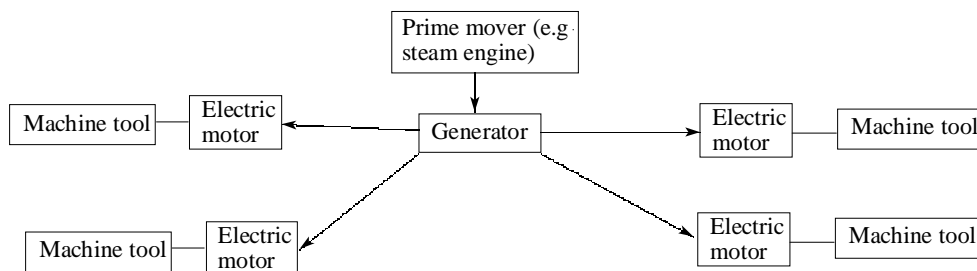
### *Vierde niche*

Na 1900 begonnen enkele industrieën flink te groeien (bv. auto-productie, metaal-productie), waardoor de problemen in deze industrieën met stoommachines toenamen. Na 1900 gaan dan ook steeds meer grote industrieën over op elektromotoren. Tussen 1899 en 1909 steeg de totale capaciteit voor machine-aandrijving in de VS van 5% naar 25%. Een groot deel van deze groei vond plaats in fabrieken die *nieuw* gebouwd werden. Het gaat dus om uitbreidings-investeringen in plaats van vervangingsinvesteringen. De nieuw gebouwde fabrieken maken vooral gebruik van de 'best practice' op dat moment. Vóór 1905 betrof dit vooral 'group-drive', daarna begint ook 'unit-drive' op te komen. Het verschil tussen beide staat schematisch weergegeven in Figuur 18.

### 3. Electric group drive



### 4. Electric unit drive



Figuur 18: Verdere evolutie van elektromotoren in het productie-systeem

Tot 1905 was de belangrijkste reden voor het omschakelen naar elektromotoren gelegen in directe (kosten)voordelen, vooral de lagere energie-kosten en (iets) meer flexibiliteit.

Tussen 1905 en 1915 vindt een aantal processen en ontwikkelingen plaats op regime- en niche-niveau die samen optelden tot een regime-shift.

Ten eerste, na 1905 wordt 'unit-drive' meer populair. Aanvankelijk spelen ook hier directe (kosten)voordelen de hoofdrol. Door 'learning by doing' en 'learning by using' ontdekte men echter steeds meer indirecte en kwalitatieve voordelen:

- a) meer flexibiliteit in factory lay-out; de machine-tools kunnen zo worden opgesteld dat materiaal-stromen en arbeidshandelingen gerationaliseerd worden. De leerprocessen rond flexibiliteit zorgden uiteindelijk voor een grote transformatie van het productie-regime, in de vorm van de lopende band. De lopende band werd niet *veroorzaakt* door elektromotoren en 'unit-drive', maar was niet mogelijk zonder. De lopende band moet worden begrepen als de uitkomst van verschillende processen op regime-niveau die door de elektromotor gecombineerd konden worden.<sup>9</sup> Tussen 1910 en 1914 experimenteerde Ford met de verschillende

<sup>9</sup> Volgens David Nye (1990: 223-225) gaat het om de samenkomst van de volgende elementen die allen hun eigen ontwikkelingsgeschiedenis hebben:

- a) voortgaande arbeidsverdeling: taken worden steeds meer opgeknipt in subtaken. Arbeiders moeten steeds dezelfde taak verrichten
- b) verwisselbare onderdelen; dit was eerst ontwikkeld bij de productie van wapens voor het leger. Hiervoor waren zeer preciese machine-tools nodig
- c) één-functie machines: elke machine wordt voor slechts één taak gebruikt. AC motoren waren hiervoor zeer geschikt omdat ze zeer constante aandrijving hadden
- d) flexibele en rationele ordening van machine-tools. Machines werden niet per groep georganiseerd ('group-drive') maar afhankelijk van de volgorde van het werk. Dit werd mogelijk door 'unit-drive'.
- e) de lopende band: hiermee werden onderdelen getransporteerd tussen machine-tools en arbeiders. Dit werd vóór 1900 al toegepast in bakkerijen en brouwerijen.

elementen van een lopende band productie-systeem, en perfectioneerde dat in zijn River Rouge fabriek.

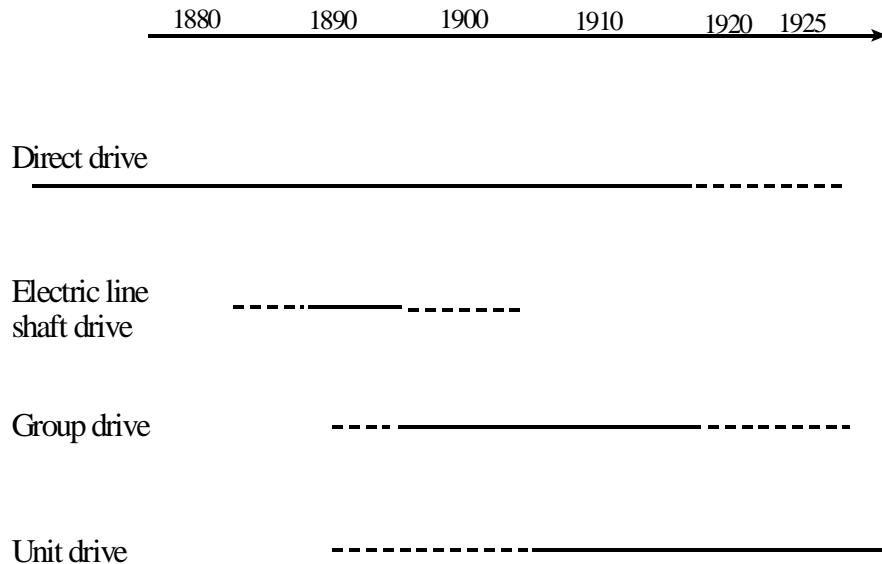
- b) betere productkwaliteit doordat elektromotoren gelijkmatiger werken (de banden van het oude transmissie-systeem verslapt en glipten)
- c) lichtere en schonere fabrieken, door eliminatie van de banden en stangen die veel stof creëerden
- d) minder brandgevaar en lagere verzekeringspremies
- e) minder risico's voor arbeiders door eliminatie van de banden en stangen.

Ten tweede vindt er in 1906 een omslag plaats in de houding en strategie van elektriciteitsbedrijven. Aanvankelijk hebben elektriciteitsbedrijven weinig interesse in industriële elektromotoren omdat hun grootste inkomsten komen uit verlichting. Ze waren aanvankelijk ook vooral opgericht als verlichtingsmaatschappijen (1882). De industriële kracht-markt is aanvankelijk klein. Bovendien wekten de meeste industriële gebruikers hun eigen elektriciteit op. Daarnaast hadden elektriciteitsmaatschappijen vele andere zaken aan hun hoofd. De uitbreiding van de elektriciteitsnetten, bijvoorbeeld, was een moeilijke kwestie. Na 1895 moesten ze ook omschakelen naar AC netten. Ook zaten ze met management-vragen als de prijs voor het gebruik van elektriciteit, het meten van de gebruikte hoeveelheid. Pas rond 1900 werd er een betrouwbare elektriciteitsmeter ontwikkeld. Wat betreft de opwekking van elektriciteit vond er tussen 1900 en 1910 een technische transitie plaats van stoommachines naar stoomturbines. In de geleidelijke professionalisering van elektriciteitsbedrijven speelden concepten als 'load management' en 'diversity factor' een belangrijke rol. Vanaf ongeveer 1902 leidden deze concepten tot het besef dat de belasting van elektriciteitsnetten vooral 's nachts plaatsvond voor verlichting. Overdag was er sprake van onderbenutting van de capaciteit. Het gebruik van elektromotoren in fabrieken zou echter vooral overdag plaatsvinden, zodat een betere 'load factor' kon worden bereikt. Vanaf 1806 gaan elektriciteitsbedrijven agressief hun best doen om industrieën te doen omschakelen van stoom naar elektromotoren. Dit wordt gestimuleerd door zeer lage tarieven aan te bieden. Hierdoor wordt het steeds aantrekkelijker om naar elektromotoren om te schakelen. Ten derde wordt omschakeling op elektromotoren aantrekkelijker omdat de performance omhoog gaat en de prijs omlaag, vanwege standaardisatie en schaalvoordelen in productie. Ten vierde blijven die markt-sectoren groeien waar elektromotoren goed kunnen worden toegepast (bv. auto- en metaalproductie). Ten vijfde worden de machine-tools steeds meer aangepast aan aandrijving door elektromotoren. Tot 1901 werden machine-tools vooral ontworpen voor aandrijving door stoommachines. Rond 1904 hadden grote producenten van apparaten en machine-tools reeds 30% van aanbod speciaal ontworpen voor elektromotoren (Devine, 1983: 369). Hierdoor ging de performance van deze apparaten omhoog, een trend die zich zou doorzetten.

Door onderlinge versterkingen tussen deze processen werd tussen 1905 en 1915 een nieuw regime gevormd. Dit productie-systeem gebaseerd op elektromotoren en lopende band was zowel technisch als kwalitatief anders dan het stoommachine-systeem.

### c) Verschillende technische tussenvormen in invoeringstraject

Zoals hierboven is aangegeven (Figuur 17 en 18), verliep de technische invoering van elektromotoren in productie-systemen stapsgewijs. Eerst werden elektromotoren toegevoegd als een soort ‘add-on’. Daarna vormde het ‘group-drive’ systeem een soort hybride fase waarbij delen van het oude en nieuwe vermengd zijn. Het ‘unit-drive’ systeem, tenslotte, is een heel ander technisch systeem dat veel flexibeler is. Hoewel de verschillende stappen soms naast elkaar bestaan, is er wel een duidelijk opvolging te zien (Figuur 19).



*Figuur 19: Chronologie van machine-aandrijving in Amerika (gebaseerd op Devine, 1983)*

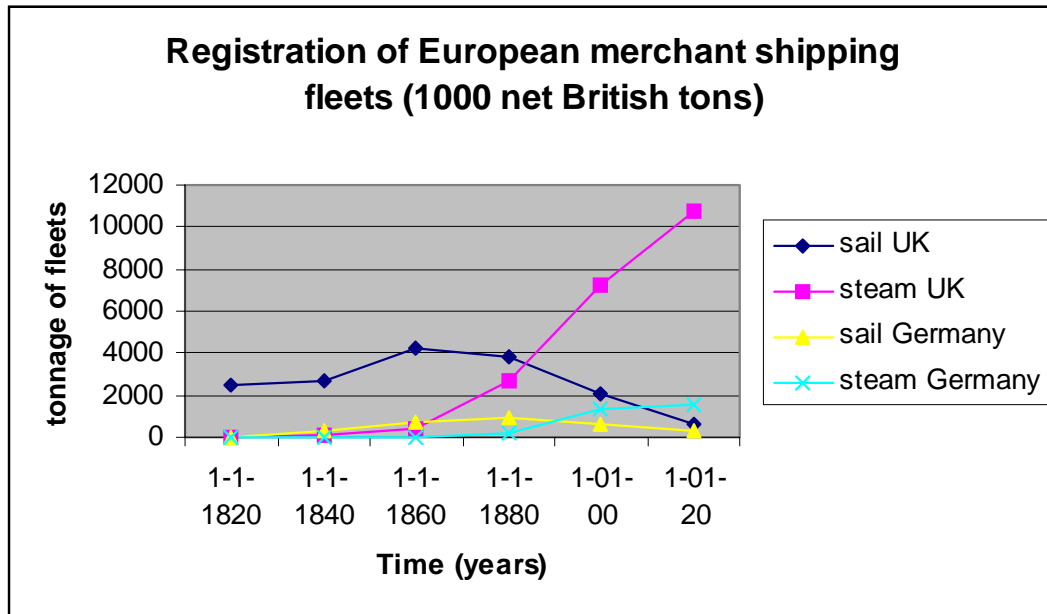
‘Direct drive’ met stoommachines blijft lang bestaan als levensvatbare optie. ‘Electric line shaft drive’ is een relatief korte tussenfase. ‘Group-drive’ en ‘unit-drive’ bestaan lange tijd naast elkaar, maar ‘unit-drive’ wint uiteindelijk.

Stoommachines en elektromotoren zijn dus niet twee strikt gescheiden technische opties die louter met elkaar concurreren. Hoewel dit wordt gesuggereerd door ‘simpele’ weergaves van transitie zoals in Figuur 15, blijken er in deze case-studie mengvormen en hybrides voor te komen tijdens het transitie-traject. Dit is een mechanisme dat vaker voorkomt, zowel in het verleden als in het heden (denk bijvoorbeeld aan de populaire hybride elektrische auto’s die zowel een verbrandingsmotor als een batterij en elektromotor hebben).



## 4.2. De transitie van zeilschepen naar stoomschepen in oceanvaart (1780-1890)

In absolute termen geeft Figuur 20 de overgang weer van zeilschepen naar stoomschepen in de oceanvloeden van twee landen (Duitsland en Engeland). Uit de figuur blijkt dat er verschillen zijn tussen landen wat betreft het jaartal dat het tonnage stoomschepen groter was dan van zeilschepen. In Engeland rond 1883, en Duitsland rond 1890. Engeland was in de 19<sup>e</sup> eeuw verruit de belangrijkste scheepvarende natie, met zowel de grootste vloot als de grootste scheepsproductie. In 1890 produceerde Engeland 80% van de wereld-scheepsproductie.



Figuur 20: Stoom en zeilaandrijving in de ocean-vloten van Engeland en Duitsland (gebaseerd op Ville, 1990: 68-71)

Behalve variatie tussen landen laat Figuur 20 ook twee andere zaken zien. Ten eerste hebben stoomschepen een lange voorgeschiedenis, een lang ontwikkelingstraject. In de oceanvaart blijven stoomschepen echter lange tijd in een kleine niche steken. Rond 1860 omvatten stoomschepen ongeveer 10% van de Engelse vloot (vooral voor passagiersvervoer). Daarna neemt het stoom-tonnage echter gestaag toe. In 1819 steekt het stoom-zeilschip *De Savannah* echter al voor het eerst in een experimentele vaart de ocean over. Bovendien gaat Figuur 20 alleen over de oceanvaart. In de binnenvaart (kanalen, rivieren) echter ontstaat in 1807 de eerste markt-niche voor stoomboten. En in die toepassingscontext wordt al sinds 1780 geëxperimenteerd met stoomboten. Om het hele niche-traject van stoomboten en stoomschepen te omvatten dienen we dus terug te gaan tot 1780.

Ten tweede blijkt ook deze transitie plaats te vinden in omstandigheden van sterke groei. Tussen 1820 en 1900 groeide de Engelse vloot met 380%. De sterke groei van de scheepvaart werd veroorzaakt door de sterke groei in de wereldhandel, vooral in de tweede helft van de 19<sup>e</sup> eeuw. Dit had in de eerste plaats te maken met het macro-proces van industrialisering, waardoor de vraag naar ruwe grondstoffen sterk toenam (kolen, metaalertsen, rubber, graan). In de tweede plaats wordt de koloniale handel geliberaliseerd tussen 1830 en 1848. Voordien hadden de meeste landen handelsmonopolies gecreeërd in hun kolonieën. Die monopolie-regels werden vanaf 1830 afgezwakt en in 1848 werden de laatste Britse Navigation Acts afgeschaft. De stoomschip-transitie vond dus plaats in periode van uitbreidende markten. De toenemende wereldhandel en de sterke groei van (financiële) belangen die daarmee gemoeid

waren, zorgde ook op twee punten voor een druk op het scheepvaart-regime. Ten eerste werd *snelheid* voor veel vrachten een belangrijker criterium, omdat er dan door rederijen meer verdiend kon worden. En in de tweede plaats oefende handelsmaatschappijen druk uit om te komen tot meer *regelmatigheid* in de scheepvaart. Voor actoren die bij de handel betrokken waren, was het belangrijk om te weten wanneer een schip vertrok, maar vooral wanneer het zou aankomen. Handelaren konden dan plannen maken voor goed aansluitend vervolgentransport, en garanties geven aan hun klanten. Veranderingen op het landschapsniveau creëerden dus druk op het scheepvaart-regime, waardoor regime-regels veranderden. Terwijl zeilschepen maar beperkt regelmatig waren (vanwege afhankelijkheid van wind) kon de aankomsttijd van stoomschepen veel beter voorspeld worden. Met de opkomst van stoomschepen ontstaat dan ook een nieuwe vorm van transport: de lijndienst. Stoomschepen bleken dus goed in staat om aan te haken bij de veranderende omstandigheden.

#### a) Niche-trajecten

Hoewel Figuur 20 een eerste indruk geeft van het verloop van de stoomschip-transitie, zegt het weinig over het concrete invoeringstraject. Achter Figuur 20 gaat echter een hoop complexiteit schuil, hetgeen veroorzaakt wordt door het feit dat de scheepvaartmarkt zeer heterogeen is en uit velerlei submarkten bestaat. Ten eerste zijn er verschillende geografische toepassingscontexten, waarbij het hoofdondercheid is tussen binnenvaart en oceaanovaart, met kustvaart als tussen-categorie. Ten tweede is er een verschil wat betreft de aard van wat vervoerd wordt. Belangrijke categorieën zijn:

- a) Passagiers transport. Snelheid is hierbij een belangrijk criterium, waarvoor veel reizigers zelfs bereid zijn wat meer te betalen. In deze markt-niche worden dan ook (eind jaren '40, als deze markt sterk toeneemt) veel nieuwe technologieën het eerst geïmplementeerd. Zekerheid wat betreft aankomsttijd is ook een belangrijk criterium, alsmede veiligheid, en ook luxe (na 1860).
- b) Post-vervoer. In de tijd dat er nog geen (internationale) telegraaflijnen waren, was post de enige manier om ambtenaren in de koloniën van instructies te voorzien. Snelheid en regelmatigheid waren ook hier belangrijke criteria. Als een koloniale ambtenaar instructies zocht van het thuisfront, wilde hij die niet alleen snel hebben, maar ook weten wanneer hij die ongeveer kon verwachten. Overheden met koloniën (zoals Engeland) gebruikten post-transporten om subsidies te geven aan stoomschepen. Na 1838 zette Engeland via deze post-subsidies een wereldwijd netwerk van stoombootdiensten op.
- c) Vracht-transport. Dit was de grootste markt voor de scheepvaart. In de tweede helft van de 19<sup>e</sup> eeuw groeide deze markt sterk. Vracht-transport is ook een zeer heterogene markt, bestaande uit velerlei marktniches met eigen selectie-criteria. Na 1870 nam deze diversiteit nog verder toe, waarbij ook enkele nieuwe bulk-markten ontstonden. Toen zeilschepen in bepaalde markt-niches door stoomschepen werden verdrongen, vonden ze alsnog emplooi in deze nieuw ontstane bulkmarkten (bv. nitraat, wol, graan, kolen). Diversiteit in vracht-transport heeft onder andere te maken met de volgende dimensies:
  - Bulkgoederen versus stukgoed. Veel bulkgoederen betreffen goedkope zaken. Snelheid is vaak minder belangrijk dan lage kosten. Zeilschepen hielden lang stand in bulk-markten.
  - Goedkope versus dure goederen. Zijde, thee en opium uit China waren duur en vormden één van de eerste markt-niches voor stoomschepen in de vrachtaart.
  - Houdbare versus niet-houdbare goederen. Niet-houdbare goederen moeten snel vervoerd worden, soms tegen hogere prijzen. Toen de kwaliteit van thee nog terugliep met de tijd, vormde het een belangrijke eerste niche voor stoomschepen.
  - Specifieke routes. Sommige routes hadden weinig of variabele wind, en daar hadden stoomschepen een voordeel (bv. vanaf 1830 op de Middellandse Zee). De

afstand naar India, Indonesië en China werd door het Suez-kanaal (1869) sterk verkort voor stoomschepen, terwijl zeilschepen er niet door mochten en om Afrika moesten varen. Dit gaf een sterk voordeel aan stoomschepen op deze route. Handel op deze route was dan ook één van de eerste massamarkten voor stoomschepen.

- d) Marine. Via de Marine was de staat de grootste enkelvoudige afnemer van schepen. Reeds in de jaren '20 financierde de Marine al experimenten met stoomboten. Hierbij ging het niet om slagschepen, maar op *additionele functies* binnen het bestaande regime. Stoomboten werden bijvoorbeeld gebruikt als sleepboot om zeilschepen havens binnen te slepen (verbetering van bestaande regime). En ze werden gebruikt als anti-piraten schepen. Door de Marine-contracten konden commerciële scheepswerven ervaring opdoen met het bouwen van stoomschepen, en in die zin heeft de Marine zeker bijgedragen aan de ontwikkelingen. De Engelse Marine was echter niet zo innovatief, en hanteerde bij de keuze van projecten enigszins conservatieve criteria (MacLeod *et al.*, 2000). De Nederlandse marine was innovatiever, mede omdat de koning via de Marine de Nederlandse scheepswerven het stoomtijdperk wilde binnenloodsen. De ingenieur Roentgen ontwikkelde bijvoorbeeld al eind jaren '20 een compound-engine voor zoetwaterschepen. Hoewel de innovatie op zo'n 30 schepen werd toegepast, raakte het in de vergetelheid. In de jaren '50 werd de compound-engine in Engeland opnieuw ontwikkeld (Verbong, 1994).

De 'innovation journey' van het stoomschip is tamelijk lang en complex, en zal niet in detail worden beschreven. Omdat het echter wel een duidelijk voorbeeld is van hoe een technologie achtereenvolgens verschillende niches doorloopt, zal de hoofdlijn van deze ontwikkeling hieronder beschreven worden.

#### *Eerste niche: Binnenwateren*

Aan het eind van de 18<sup>e</sup> eeuw neemt het belang van binnenwateren sterk toe. Deze binnenwateren spelen een belangrijke rol bij de totstandkoming van nationale economieën en handel op grotere schaal. Hoewel in verschillende landen op ietwat andere tijdstippen, vinden er rond 1780 op grote schaal verbeteringen plaats in binnenwateren. Rivieren worden beter bevaarbaar gemaakt en worden op grote schaal nieuwe kanalen gegraven om nationale waternetwerken te creëren. Er wordt dan ook wel gesproken over de 'canal-boom' (Ville, 1990).

In deze landschaps-context vinden ook de eerste experimenten plaats met stoomboten, eerst in Frankrijk (1776) en daarna ook in Engeland (1788) en Amerika (1885). Er is veel variatie wat betreft aandrijfsystemen. Er wordt geëxperimenteerd met de schroef, schepraderen, mechanische 'eende-voeten' en straalvoortstuwing. Schepraderen worden langzaam het dominant design. De Franse experimenten worden in de kiem gesmoord door de Franse Revolutie en de nasleep daarvan. In Engeland worden vooral sleepboten als mogelijke toepassing gezien. De *Charlotte Dundas* was de eerste experimentele sleepboot op het Forth and Clyde kanaal. De kanaal-autoriteiten waren daar echter niet zo gelukkig mee omdat het omgewoelde water de kanaalbanken beschadigde. Hoewel sommige experimenten technisch succesvol waren, zijn de commerciële vooruitzichten beperkt. Tussen 1804 en 1812 vinden er in Engeland geen experimenten meer plaats.

In Amerika leidden de experimenten in 1807 tot de eerste markt-niche voor stoomboten op de Hudson rivier. Tussen Albany en New York vervoerde Fulton met zijn stoomboten goederen en passagiers. Deze markt-niche kon in Amerika ontstaan omdat er, anders dan in Europe, nog nauwelijks een wegennetwerk bestond. Het landschap in fysieke zin hielp hier dus mee een niche te creëren. Amerikaanse autoriteiten stimuleerden dan ook innovaties die de binnenvaart vooruit konden helpen, en de stoomboot profiteerde hier ook van. Een andere belangrijke

Amerikaanse landschapsontwikkeling was de kolonisatie en de trek naar het Westen. Waterwegen waren in het begin van de 19<sup>e</sup> eeuw de belangrijkste transportroutes om contact met pioniers te onderhouden. Het rivierstelsel van de Mississippi ontwikkelde zich tot een cruciaal transportnetwerk. In 1811 werd de eerste stoomboot *New Orleans* op de Mississippi in gebruik genomen, daarna gevolgd door een snelle diffusie. Op deze ondiepe rivier



ontwikkelde zich een specifieke stoombootvorm (Figuur 21).

*Figuur 21: Mississippi stoomboot met schepraderen (uit Britannica Encyclopedia)*

Terwijl de diffusie van stoomboten op binnenwateren in Amerika voorspoedig ging (mede door specifieke landschapsontwikkelingen) ging dit in Europa langzamer. In Engeland werd de stoomboot in 1812 opnieuw geïntroduceerd en in Frankrijk in 1816. Transport van passagiers en goederen bleek ook hier de belangrijkste markt, alhoewel sleepboten ook gebruikt werden (in havens en om zeilschepen rivieropwaarts te slepen). Vanwege de concurrentie met wegtransport bleef de diffusie op rivieren achter bij die in Amerika. De belangrijkste expansie vond plaats in Engeland waar verbindingen tot stand kwamen op de Ierse Zee, de Noordzee en Het Kanaal. Rond 1850 werden op deze routes vrijwel exclusief stoomboten gebruikt.

#### *Tweede niche: de Marine op zee*

De Engelse Marine bouwde in 1820 zijn eerste, vrij kleine, stoomboot *The Monkey*. Anders stoomboten volgden in de jaren '20. Deze stoomboten werden niet gebruikt als slagschepen, maar voor additionele functies, zoals sleepboten, intern postvervoer en piraten-jager in de koloniën. Voor dit laatste doel bestelde de Nederlandse Marine in 1824 boten bij de nieuw opgerichte Nederlandse Stoomboot Maatschappij (NSBM).

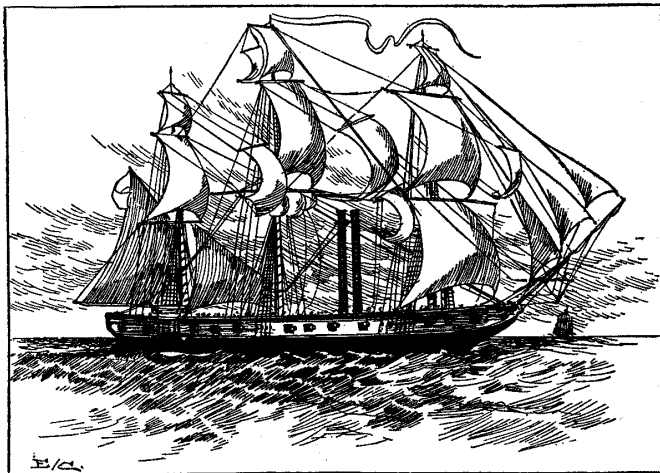
Lang niet alle projecten verliepen echter succesvol. Een groot probleem was het inbouwen van de zware stoommachines in de houten boten. De houten bodems verschoven of bogen na verloop van tijd door onder het zware gewicht. Dit zou een voortdurend probleem blijken te zijn. Dit probleem werd nog erger toen in de jaren '40 steeds meer weer geëxperimenteerd met schroefaandrijving. Doordat schroeven een hogere omwentelingssnelheid hadden dan raderen ontstond het 'vibratie-probleem'. De houten scheepshuid trilde als het ware langzaam uit elkaar. In de commerciële vaart stimuleerde dit een zoektocht naar oplossingen, hetgeen in de jaren '50 leidde tot de geleidelijke introductie van ijzer als bouw materiaal. Deze introductie ging gepaard met veel weerstanden, onder andere van scheepsbouwers die opzagen tegen de vele aanpassingen die ze zouden moeten maken (bv. nieuwe machine-tools,

werklieden met andere vaardigheden). Ook de verzekekeringsmaatschappij Lloyds was wantrouwig en eiste hogere premies. Pas in 1864 zou Lloyds zijn verzekeringsregels aangaande ijzer aanpassen. Het leger zag ook lange tijd niets in ijzer. Uit schietproeven was namelijk gebleken dat kogels grotere schade aanrichtten in ijzer. Pas toen rond 1859 een nieuw soort artillerie werd ontwikkeld, die grote schade aanrichtte in houten schepen (de granaat-kogel), begon de Marine met de bouw van pantserschepen.

Bovenstaande illustreert dus dat stoomschepen niet één enkelvoudige innovatie zijn, maar een knooppunt van allerlei soorten verbeteringen. Verder laat het ook zien dat allerlei actor-groepen (scheepsbouwers, verzekeraars, Marine) weerstanden kunnen hebben tegen bepaalde innovaties. En het laat zien dat toevallige innovaties elders (granaat) het ontwikkelingstraject kunnen versnellen.

#### *Derde niche: Passagiers en post over oceanen*

In 1819 was de *Savannah* het eerste zeil-stoomschip dat de Atlantische oceaan overstak. Het was eigenlijk een regulier zeilschip dat met een extra stoommachine was uitgerust, die gebruikt kon worden in perioden van windstilte. Andere schepen volgden, bijvoorbeeld de *Rising Star* in 1822 en de *Royal William* in 1831. Al deze schepen waren eigenlijk zeilschepen met een *additionele* stoommachine (zie Figuur 22). De stoommachine was in die tijd nog niet erg efficiënt en gebruikte veel kolen. Voor lange reizen zouden zoveel kolen mee moeten worden genomen dat er nauwelijks meer ruimte was voor lading of passagiers. De eerste schepen waren dan ook vooral experimenteel om de technische mogelijkheden uit te proberen.



*Figuur 22: De Rising Star (1822) (Fletcher, 1910: 130)*

De eerste markt-niche voor commerciële oceaانvaart ontstond pas in 1838. In dat jaar zeilden drie zeil-stoomschepen onder grote publiciteit van Londen naar New York. De eigenaren van deze schepen hadden al enkele jaren belangstellend de groeiende passagiersmarkt voor zeilschepen gevolgd. Toen de Engelse overheid in 1836 aankondigde dat ze stoomschepen wilde gaan gebruiken voor postvervoer, gingen de rederijen over tot de bouw van stoomschepen. De subsidies die middels hoge post-tarieven werden gegeven, maakten het mogelijk om dezelfde schepen ook commercieel te opereren voor passagiersvervoer. Twee van drie in 1838 gelanceerde schepen waren groot en luxueus ingericht, met mooie salons en bars aan boord. In de grote schepen was het makkelijker om zowel veel kolen mee te nemen als passagiers. Het transport was duurder dan met zeilschepen, maar (rijke) passagiers waren

bereid om meer te betalen voor snelheid en regelmatigheid. Voor het vrachtvervoer waren de zeil-stoomschepen echter nog te duur.

Het succes van de eerste schepen had een sterk demonstratie-effect, en er werden stoomschipmaatschappijen opgericht en meer stoomschepen in de vaart gebracht. De *Great Western Steamship Company* was al in 1836 opgericht, en profileerde zichzelf als pionier. Deze maatschappij ontwikkelde verschillende zeer geavanceerde schepen, de *Great Western* (1838), de *Great Britain* (1843) en de *Great Eastern* (1858). De laatste twee schepen staan in Figuur 23 en 24 weergegeven. De *Cunard Line* werd opgericht in 1840 en bracht vier schepen in de vaart die elk 115 passagiers konden vervoeren. De *Cunard Line* introduceerde ook lijndiensten als nieuw vervoersconcept in de oceaanvaart.

Omdat de vraag naar stoomschepen bleef groeien in de jaren '40 voegden stoomvaartmaatschappijen schepen toe aan hun vloot. Een pionierschip dat veel bekendheid kreeg was de *Great Britain* (Figuur 23). Het was het eerste schip met een ijzeren scheepshuid. Hoewel het schip goed functioneerde was het niet in staat om de achterdocht en weerstand tegen ijzer weg te nemen. Voor de aandrijving gebruikte het zowel zeilen als stoom. De bijdrage van stoom was al veel substantiëler dan in eerdere schepen, en niet louter meer additioneel. Het schip is een soort hybride tussen zeil en stoom.

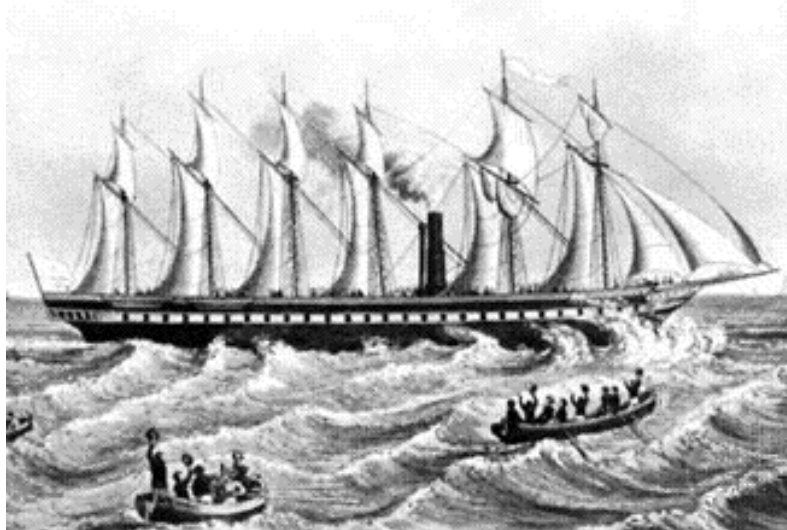


Figure 23: De Great Britain (1843) (uit *Encyclopedia Britannica*)

Het gebruik van stoomschepen expandeerde gestaag, zowel door de groeiende passagiersmarkt als door de uitbreiding van routes waarvoor de Engelse overheid postsubsidies verleende. Tabel 1 geeft hiervan een overzicht.

YEAR	ROUTE	COMPANY
1837	Portugal, Spain	Peninsular Steam Navigation Company
1839	Liverpool-Halifax-Boston (1848: New York)	Cunard Line
1839	Southampton-West Indies	Royal Mail Steam Packet Co.
1840	Britain-Egypt-India	Peninsular & Oriental Steam Navigation Company (P&O)
1844	India-Singapore-China	P&O
1845	Valparaiso-Callao-Panama	Pacific S.N. Co. (founded in 1840)
1850	Britain-Brazil-La Plata	Royal Mail
1852	Britain-West Africa	African Steamship Co.
1852	Singapore-Australia (1859 from Ceylon)	P&O
1856	Britain-Canada	Allan Line
1857	Britain-South Africa	Union Steamship Co.

*Tabel 1: Uitbreiding van Britse post-subsidies (Broeze, 1982: 83)*

Na 1848 expandeerde de passagiersmarkt snel, ten gevolge van landschapontwikkelingen. Na de Europese politieke revoluties van 1848 nam de emigratie naar Amerika sterk toe, hetgeen ook versterkt werd door de Californische gold-rush van 1848.

De sterke groei van deze markt-niche verschaftte ruimte voor experimenten met en de introductie van nieuwe innovaties.

1. Schroef-aandrijving maakte een come-back. Na allerlei experimenten door Ericsson en Smith sinds 1836 werd de schroef steeds efficiënter voor oceaانvaart. Schoepraderen hadden bij grote golven het nadeel dat de raderen soms het water niet raakten, waardoor niet alleen energie verloren ging, maar het schip ook een onregelmatige vaart kreeg. In de loop van de jaren '40 nam het gebruik van de schroef toe, maar pas na 1850 werd deze aandrijving dominant. Behalve allerlei technische problemen rond vorm en materiaal van de schroef, moest deze ook worden ingepast in het schip. Dit leidde tot het reeds genoemde 'vibratie-probleem' wat weer leidde tot een zoektocht naar nieuwe materialen.

2. Vanaf midden jaren '40 verschenen meer ijzeren schepen op de oceaan, maar brede overgang naar ijzer verliep langzaam. De aanpassing van de verzekeringsregels door Lloyds, pas in 1864, kan worden gezien als indicatie van brede acceptatie van ijzer. Een groot probleem bij ijzer was de aangroei van algen en schelpdieren waardoor 20-30% aan snelheid werd ingeboet. De zoektocht naar geschikte verfen en coatings resulteerde pas in 1860 in een goede coating (onder andere gebruik makend van kwik en arsenicum)

3. Het hoge kolenverbruik van stoommachines bleef lange tijd een cruciale beperking voor stoomschepen. Ten eerste namen kolen veel ruimte in, omdat schepen op slechts heel weinig plekken kolen konden inslaan. Pas in de jaren '70 zou een wereldwijd netwerk van kolenbunkers worden gecreeërd. Ten tweede waren kolen relatief duur, waardoor stoomschepen slechts in bepaalde markt-niches met zeilschepen konden concurreren (passagiers). In de vrachtvaart woog de hogere snelheid van stoomschepen nog niet op tegen hun hogere prijs. Er werd dus veel aandacht besteed aan verbetering van stoommachines. Dit gebeurde onder andere door de druk in boilers te verhogen. De vorm van de boilers veranderde, betere smeermiddelen werden ontwikkeld, en sterkere materialen werden toegepast. Eén van de belangrijkste innovaties was de 'compound-engine', reeds in de jaren '20 door Roentgen ontwikkeld en opnieuw 'ontdekt' in de jaren '50. In een compound-engine werd de hoge druk stoom twee keer gebruikt, eerst in een hoge en daarna in een lage druk cylinder. Na verdere verbeteringen leidde dit in de jaren '60 tot energiebesparingen van 60% (Graham: 1956: 83). De 'compound-engine' van Roentgen kon niet op de oceaan worden gebruikt, omdat de afkoeling van cylinders toen nog plaatsvond middels het inspuiten van

koud water. Gebruik van zout water leidde tot aanslag in de cylinder, wat de prestatie verminderde en zelfs tot explosies kon leiden. De toepassing van de 'compound-engine' op oceanen moest wachten op de ontwikkeling van de oppervlakte-condensor in de jaren '50. Hete stoom werd door dunne buisjes gevoerd en kon zo via het vergrote oppervlak warmte aan de lucht afgeven. Gekoppeld aan de nieuwe oppervlakte-condensor brak de 'compound-engine' snel door in de jaren '60.

Het samenkomen van al deze innovaties leidde in de jaren '60 tot een nieuw technisch regime, gebaseerd op hoge druk stoommachines, metalen huid en schroefaandrijving. Een voorloper van dit nieuwe technische regime was het schip de *Great Eastern* (1858). Zoals Figuur 24 laat zien was dit een stoomschip met additionele zeilen. Het schip had verder zowel schepraderen als schroefaandrijving, een indicatie van de onzekerheid over het beste ontwerp die toen nog heerste.



*Figuur 24: De Great Eastern (1858) (uit Encarta Encyclopedie)*

Rond 1870 waren stoomboten dominant geworden op vrijwel alle routes voor passagiers en postvervoer (Dirkzwager, 1978: 16). Alleen in de route op Australia en Oost-Indië hadden zeilschepen nog redelijke marktaandeelen.

#### *Vierde niche: Vrachtvervoer op oceanen*

In 1865 ontwikkelde Alfred Holt een verbeterde 'compound-engine' die hij toepaste in drie schepen. Met deze schepen kon hij de ruim 15.000 km tussen Liverpool en Mauritius kon afleggen zonder kolen bij te laden. Met deze schepen was Holt de eerste die zonder post-subsidies begon met commercieel vrachtvervoer op de China-route. De China-handel bestond voornamelijk uit dure goederen (zijde, thee), en daarmee kon de hoge kolenrekening betaald worden. De China-handel was de eerste substantiële markt-niche voor vrachtvervoer. Een tweede grote markt-niche ontstond na de opening van het Suez-kanaal (1869). Deze fysieke landschapsverandering verkortte voor stoomschepen de route naar India met 42% (zie Tabel 2).



ROUTE FROM LONDON TO:	DISTANCE ROUND AFRICA	DISTANCE THROUGH SUEZ CANAL	SAVING IN %
Bombay	19.800 km	11.470 km	42
Calcutta	21.700 km	14.600 km	33
Singapore	21.100 km	15.250 km	28
Shanghai	25.500 km	19.300 km	24

*Table 2: Effect van het Suez kanaal op Oost-Indische scheepsroutes (Broeze, 1982: 95)*

Omdat zeilschepen niet door het Suez-kanaal mochten, kregen stoomschepen een sterk concurrentie-voordeel, hetgeen tot vervanging van stoomschepen leidde. Deze nieuwe markt-niche gaf aanleiding tot de 'steamship mania' van 1869-1874 (Broeze, 1982: 89).

Voor deze nieuwe markten werden vele nieuwe stoomschepen gebouwd. Dit leidde tot allerlei verdere verbeteringen door 'learning by doing' en 'learning by using'. Hierdoor gingen de prijs van stoomschepen alsmede het kolenverbruik geleidelijk omlaag. Ook zeilschepen werden in dezelfde tijd verbeterd, en leverden dus betere prestaties voor lagere kosten (het 'sailing ship effect'). Maar de productiviteitsverbeteringen bij stoomschepen lag ongeveer twee keer zo hoog als bij zeilschepen, 1.26% per jaar voor stoomschepen en 0.63% voor zeilschepen (Harley, 1988). Hierdoor werden stoomschepen steeds concurrerender en konden ze nieuwe markt-niches veroveren. Vanwege de heterogeniteit van de vracht-markt was dit een geleidelijk proces, waarin niet één duidelijk keerpunt was. De diffusie in het vrachtvervoer duurde dan ook zeker 20 jaar (1770-1790).

Deze diffusie ging niet alleen geleidelijk vanwege markt-economische factoren, maar ook omdat er het hele shipping regime allerlei aanpassingen en veranderingen moesten worden doorgevoerd. Omdat bij deze aanpassingen velerlei actor-groepen betrokken waren en grote investeringen gedaan moesten worden, gingen deze aanpassingsprocessen geleidelijk en stapsgewijs. Net als vandaag de dag uitbreiding van vliegvelden veel tijd en overleg kost (bv. Schiphol) was dat ook zo bij uitbreidingen en verdiepingen van havens, scheepswerven, dokken etc.

Zonder op deze onderhandelings- en leerprocessen in te gaan, betrof het onder andere de volgende dimensies waar aanpassingen plaatsvonden:

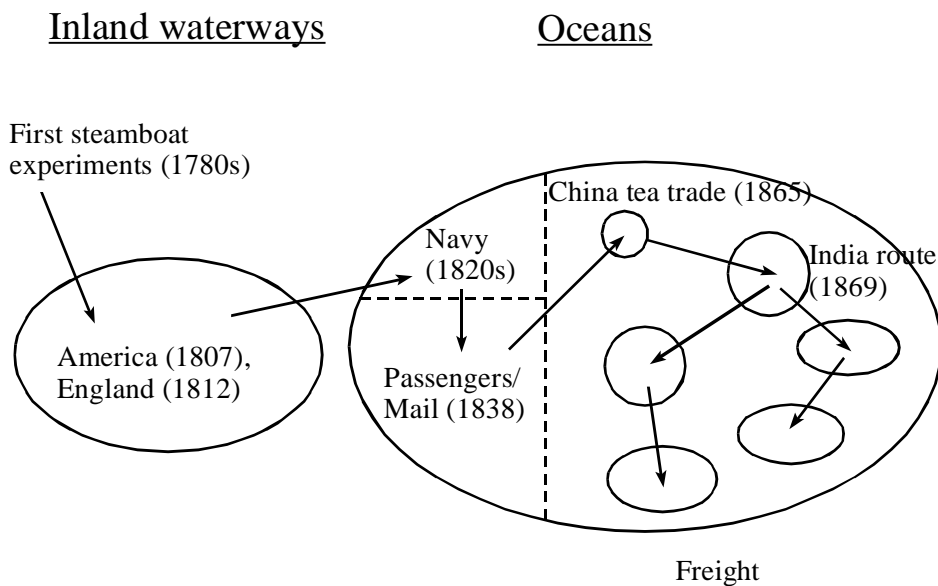
- Havens: Doordat de ijzeren stoomschepen steeds groter werden, moesten havens worden uitgediept en vergroot. Nieuwe aanlegkaden werden gebouwd, en daarop kwamen allerlei nieuwe machines voor het laden en lossen van schepen. De stoomschepen waren namelijk veel duurder dan zeilschepen. Om om hun investeringen zo goed mogelijk te benutten wilden scheepseigenaren de haventijd zo kort mogelijk maken. Zij oefenden daarom druk uit om te komen tot versnelling van het laden en lossen. Nieuwe machines waren grote kranen, lopende banden, elevatoren. Er werden ook nieuwe faciliteiten gebouwd voor de opslag en overslag van de goederen die in toenemende mate de havens binnenkwamen.
- Kolen infrastructuur: Een wereldwijd netwerk van kolenstations werd gecreeërd zodat oceaanschepen hun bunkers konden vullen (bv. Hong Kong, Singapore, Kaap Hoorn, Suez). Omdat Engeland in de 19<sup>e</sup> eeuw de grootste kolenproducent was, werd dit kolennetwerk in belangrijke mate vanuit Engeland van kolen voorzien. Deze kolentransporten werden verzorgd door zeilschepen, die in bulktransporten lange tijd goedkoper bleven dan stoomschepen. Paradoxaal genoeg leidde de groei van stoomschepen dus tot nieuwe markten voor zeilschepen.
- Scheepswerven: De gekoppelde overgang naar hout naar metaal en van zeil naar stoom ging gepaard met een diepgaande transformatie van de scheepsbouw-industrie. De grotere afmetingen van stoomschepen vergden aanzienlijke aanpassingen en vergrotingen van scheepswerven. Het transport op deze werven van materialen en zware tussen-producten

vereiste de introductie van grote kranen en takelinstallaties. De overgang naar metaal en stoom had ook grote consequenties voor de competenties van werklieden. Timmerlieden en zeilmakers moesten ofwel nieuwe vaardigheden leren of ze werden vervangen. IJzeren stoomschepen werden gemaakt door ijzeren platen met klinknagels aan elkaar te bevestigen. Dit vereiste vaardigheden om ijzeren platen te bewerken en op maat te maken. En vooral het kninknagelen was zwaar en moeilijk werk. Hiermee samenhangend kwamen allerlei nieuwe mechanische en hydraulische machine-tools op de scheepswerven. De klinknagel-machines, boor- en freesmachines, snij- en vijlmachines vergden behoorlijke investeringen en nieuwe vaardigheden. Veel traditionele scheepswerven waren niet in staat of niet bereid om al deze veranderingen te ondergaan. Zij bleven vasthouden aan houten zeilschepen, waarvoor nog lange tijd een aanzienlijke markt was. Maar zij verloren uiteindelijk de strijd van nieuwe scheepswerven die zich instelden op ijzeren stoomschepen. In de tweede helft van de 19<sup>e</sup> eeuw verschuift het zwaartepunt van de Engelse scheepsbouw-industrie dan ook van de Thames naar Glasgow (Harrison, 1990: 29).

De ontwerp-praktijk van schepen veranderde ook, onder de opkomst van zeevaart-wetenschappen. Scheepsbouw was altijd een ambachtvak geweest, waar vuistregels en ervaring richting gaven. In de jaren '60 begon de scheepsbouw geleidelijk te veranderen naar een toegepaste wetenschap, waar schepen door ingenieurs en ontwerpers van tevoren werden doorgerekend en uitgetekend. In 1860 begon Froude met empirische proeven in test-tanks om de best vorm van de romp te bepalen. In 1864 werd de Royal School of Naval Architecture and Marine Engineering opgericht. En in 1873 werd deze school opgenomen in de Royal Naval College (Pollard and Robertson, 1979: 143). Vooral de Engelse scheepsbouwers verzetten zich tegen deze verwetenschappelijking van de scheepsbouw. Duitsland en Amerika gingen eerder in deze ontwikkeling mee, hetgeen een deel-verklaring is voor verschuivingen in de mondiale scheepsbouw-industrie na 1914.

- Rederijen/scheepseigenaren: Stoomschepen waren veel duurder dan zeilschepen. Bovendien vergden de nieuwe lijndiensten dat er vloten werden opgezet. Dit betekende dat de kapitaal-investeringen vele malen groter waren dan in het zeilschip-tijdperk. Maar gedurende aanzienlijke tijd bleven scheepseigenaren financiële procedures en management-praktijken hanteren uit het zeilschip-tijdperk (Sloan, 1998: 94). Vooral op het punt van afschrijvingen van stoomschepen leidde dit tot problemen. Vooral in tijden van snelle technische veranderingen konden stoomschepen binnen enkele jaren verouderd en achterhaald zijn. Dit had tot gevolg dat de beloftes die in de jaren '50 en '60 naar investeerders werden gedaan om kapitaal aan te trekken, dan ook vaak overtrokken bleken. In de jaren '70 ontwikkelden rederijen echter professionele management-methoden en werden er aparte bestuurders aangesteld. Scherpe controle van kosten en aandacht voor inkomsten, gedetailleerde begrotingen en lange-termijn plannings waren nieuwe aspecten die rederijen al doende leerden. Om de risico's zoveel mogelijk af te dekken ontwikkelden grote rederijen ook een nieuwe sector-institutie, de zogeheten 'conferenties'. Dit waren formele onderlinge afspraken om al te sterke competitie en prijs-concurrentie te reguleren. In wezen waren dit cartels waarmee men zijn investeringen wilde veilig stellen. De eerste grote 'conferentie' in 1875 reguleerde de handel met Calcutta. Tegen 1900 werden bijna alle grote internationale routes in conferenties geregeld.

In Figuur 25 wordt het bovenbeschreven niche-traject van stoomschepen schematisch weergegeven. De jaartallen in de figuur duiden op de eerste markt-niches.



Figuur 25: Traject van eerste markt-niches tijdens de stoomschip transitie

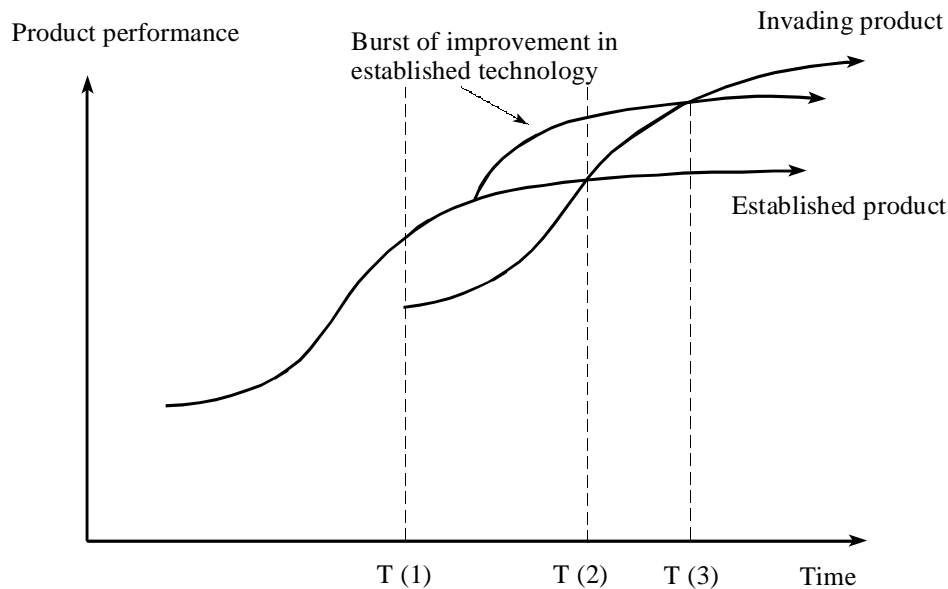
#### b) Het 'sailing ship effect' en het belang van markt-dynamieken

Tijdens de diffusie van het stoomschip in vrachtmarkten gaf het zeilschip zich niet zonder slag of stoot gewonnen. Zoals Figuur 20 namelijk aangeeft ging de stijging van het tonnage stoomschepen vanaf 1860 aanvankelijk niet ten koste van het tonnage zeilschepen. Pas rond 1880 zet de daling van zeilschip-tonnage in. Er waren twee hoofdstrategieën waardoor het zeilschip nog relatief lang kon handhaven.

De eerste verdedigingsstrategie bestond in technische verbeteringen die het functioneren van zeilschepen verbeterde. Deze verbeteringen hadden zowel betrekking op het zeilschip zelf als de bredere context.

In de jaren '60 en '70 ondergingen de klipper-schepen aanzienlijke veranderingen, voornamelijk gericht op verhoging van de snelheid en laadruimte, alsmede vermindering van de bemanning. Houten schepen konden vanwege 'natuurlijke' beperkingen niet langer worden gemaakt dan 80 tot 90 meter. Door ook ijzer te gebruiken voor zeilschepen konden langere zeilschepen worden gebouwd met meer laadruimte en plek voor meer masten. In de jaren '60 waren samengestelde zeilschepen populair, bestaande uit een ijzeren geraamte met houten beplanking. In de jaren '70 kwamen ijzer zeilschepen sterk op. Rond 1875 was ongeveer 30% van de Engelse zeilvloot van ijzer (Ville, 1990: 52). Deze ijzeren zeilschepen konden veel meer lading vervoeren en waren daardoor goedkoper. Bovendien was het met ijzer als bouwmetaal mogelijk om nog scherpere rompen te maken met minder weerstand. Hierbij profiteerden zeilschepen ook van de wetenschappelijke inzichten over rompen. Verder werden allerlei arbeidsbesparende machines op zeilschepen geïntroduceerd, bijvoorbeeld voor het hijsen en aanpassen van zeilen. Hierdoor was nog maar 30% van het aantal mensen nodig, vergeleken met de schepen uit de jaren '50 (Graham, 1956: 81). De snelheid van schepen hing vooral af van de hoeveelheid zeil, de vorm van de romp en de lengte. Om de snelheid te verhogen werden zeilschepen met meer masten gebouwd. Dit ging echter ten koste van de manoeuvreerbaarheid (Foster, 1986: 65). Rond 1880 werden de grenzen bereikt van de snelheid van zeilschepen (ongeveer 20 knopen).

Door deze verbeteringen bleef het zeilschip op lange oceaanroutes de voorkeur houden van veel handelaren. De bestaande technologie (zeil) werd dus aanzienlijk verbeterd toen het werd uitgedaagd door een nieuwe technologie (stoom). Dit is een vaak terugkerend patroon in transitie. Omdat dit patroon zo duidelijk optreedt bij zeilschepen en stoomschepen wordt dit patroon ook wel het ‘sailing ship effect’ genoemd. In Figuur 26 is dit patroon schematisch weergegeven. Figuur 26 is een aanpassing van Figuur 6.



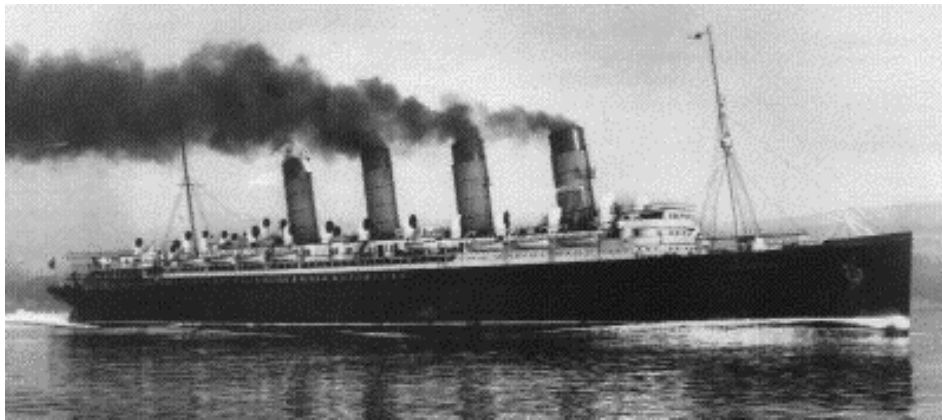
*Figuur 26: Interactie tussen een gevestigd en nieuw product (Utterback, 1994: 160)*

Behalve verbeteringen in het zeilschip vonden ook verbeteringen plaats in de bredere context. Ten eerste werden stoom-sleepboten gebruikt om de grote zeilschepen havens in en uit te slepen. Hiermee werd het probleem van beperkt manoeuvreerbaarheid in havens opgelost. Dit is dus weer een voorbeeld waar de relatie tussen stoom en zeil niet louter concurrerend was. Een tweede belangrijke innovatie was de toenemende kennis in de oceanografie. Op basis van vele metingen en data werden nauwkeurige kaarten samengesteld van stromingen en winden op verschillende plekken op verschillende tijden. Deze kennis en kaarten kwamen vooral zeilschepen op langere routes ten goede. De effecten waren tamelijk groot. In de vroege jaren '50 hielpen de kaarten van Maury om de reisduur naar de evenaar met 10 dagen te bekorten. De reis van Engeland naar Australië werd zelfs bekort van 125 naar 92 dagen (Graham, 1956: 54).

De tweede verdedigingsstrategie was dat zeilschepen uitweken naar nieuwe markten en daar meeliften op groeiende markt-dynamieken. Terwijl zeilschepen dus werden verdrongen uit bepaalde markten, vonden ze nieuw emplot in andere markten, daardoor hun bestaan verlengend. Deze strategie was mogelijk vanwege de sterke groei en diversificatie van de wereldhandel in de tweede helft van de 19<sup>e</sup> eeuw. Veel van deze nieuwe markten bestonden uit bulkgoederen, en daar waren lage kosten veelal een belangrijker criterium dan hoge snelheid. Voorbeelden van dergelijke markten waren ijzererts, kolen, jute en rijst uit India, wol uit Australië, nitraat voor kunstmest uit Chili. De sterke groei van de Amerikaanse export van tarwe en graan na 1874 was ook een belangrijke nieuwe markt voor zeilschepen. In sommige van deze nieuwe bulkmarkten waren zeilschepen zelfs in staat om zich tot in de jaren '90 of zelf de 20<sup>e</sup> eeuw te handhaven.

c) Verschillende technische tussenvormen in invoeringstraject

Evenals bij de transitie van stoommachines naar elektromotoren, verliep de transitie van zeilschepen naar stoomschepen via technische tussenvormen. Figuur 22, 23 en 24 laten zien dat er verschuiving optrad van zeilschepen met additonele stoommachine (Rising Star, 1822), naar hybride zeil-stoomschepen (Great Britain, 1843), naar stoomschepen met additionele zeilen (Great Eastern, 1858). Uiteindelijk werden ook de laatste zeilen verwijderd en ontstonden de 'pure' stoomschepen. Begin 20<sup>e</sup> eeuw ontstaan dan de enorm grote lijn-schepen die we kennen uit films. De *Lusitania* en *Mauretania* werden in 1906 in gebruik genomen. De *Mauretania* (zie Figuur 27) gebruikte stoomturbines in plaats van stoommachines, en kon een snelheid van 24 knopen bereiken. Andere bekende schepen van dezelfde categorie zijn de *Olympus* (1911) en de *Titanic* (1912).



*Figuur 27: De Mauretania, 1906 (Encyclopedia Britannica)*

## 5. Patronen en mechanismen

Een centrale conclusie uit het theoretische perspectief uit paragraaf 3, samengevat in Figuur 14, is dat innovaties pas uit niches breken als ze kunnen aanhaken bij en koppelen aan ‘ongoing dynamics’ op regime- en landschap-niveau. Het overall transitie-proces wordt dus gezien als het tegelijk optreden en koppelen van meerdere processen op verschillende niveau’s. Verder geeft het ook aan dat een innovatie uit kan breken uit een niche *onder bepaalde omstandigheden*, namelijk koppelen met bepaalde regime-ontwikkelingen. Binnen dit algemene proces-perspectief is het echter mogelijk om een aantal patronen en mechanismen te onderkennen die invloed hebben op het *proces van uitbreken*. Hoewel er nog niet veel systematisch onderzoek naar dergelijke patronen en mechanismen is gedaan, kunnen we, mede op basis van de empirische voorbeelden, drie patronen en mechanismen destilleren:

- Het uitbreken verloopt via niche-trajecten in een veranderende omgeving
- De relatie tussen ‘oude’ en ‘nieuwe’ technologie hoeft niet altijd louter competitief te zijn. Een nieuwe technologie kan ook uitbreken via mechanismen als ‘add-on’ en ‘hybridisatie’ met de oude technologie.
- Aansluiting bij markt-dynamieken (bv. nieuwe markten die zich openen) is vaak voorkomend patroon van uitbreken.

Deze patronen en mechanismen zijn zeker niet uitputtend. Het verdient aanbeveling om hier verder onderzoek naar te doen, mede ook omdat deze patronen en mechanismen beleidsrelevant lijken te zijn.

### 5.1 Niche-trajecten

Transities verlopen niet doordat innovaties in een keer doorbreken van het niche-niveau naar het regime-niveau maar doordat innovaties achtereenvolgens verschillende niches doorlopen. Het diffusie-traject verloopt doordat innovaties eerst in een specifiek toepassingsdomein worden ontwikkeld en gebruikt, en daarna ‘overwaaien’ naar andere toepassingsdomeinen. Door de ontwikkeling en toepassing in een specifiek toepassingsdomein kunnen leerprocessen plaatsvinden waardoor de innovatie verbeterd wordt, kunnen dragende sociale netwerken worden gebouwd, en kunnen schaalvoordelen plaatsvinden waardoor de prijs daalt. Door deze processen kan de innovatie na enige tijd uitbreiden naar een ander toepassingsdomein. Deze uitbreiding hangt overigens niet alleen van interne processen af, maar ook multi-level processen. In de case-studie over stoomschepen, bijvoorbeeld, leidden de politieke revoluties in Europa (1848) en de gold-rush in Californie (1848) tot een sterke toename van de emigratie naar Amerika. Hierdoor nam de passagiersmarkt sterk toe, en daar konden stoomschepen goed van profiteren. Investerings in stoomschepen namen toe, en nieuwe innovaties (bv. schroef, ijzer) konden makkelijker worden toegepast.

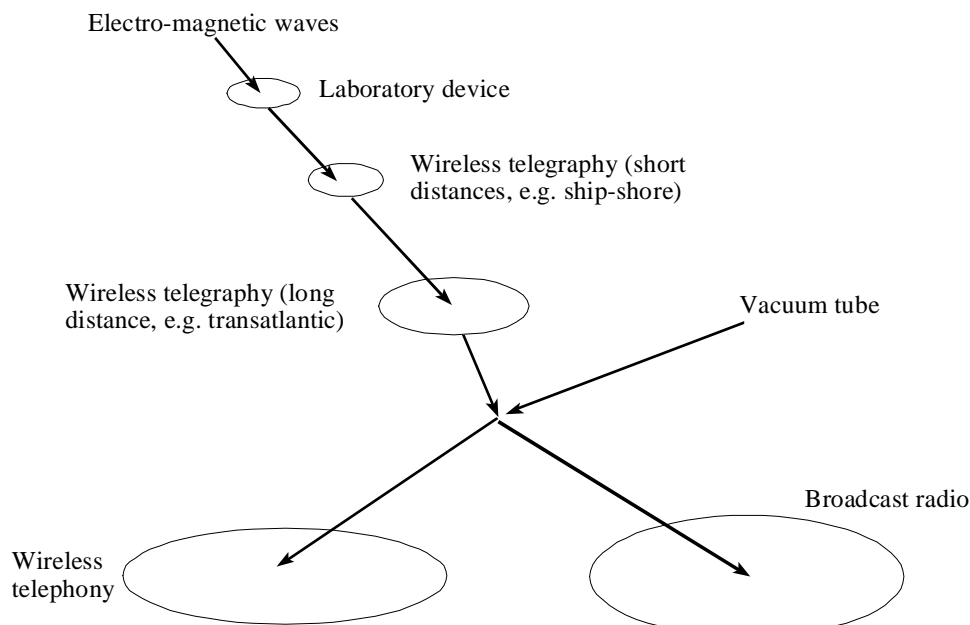
Door de stapeling of cumulatie van niches wordt de techniek steeds beter, gaat de prijs omlaag en ontstaan ‘vested interests’ in de nieuwe technologie: “product constituencies” met political en economic cloud. Afhankelijk van de potentie voor verbetering en de kracht van het ondersteunende netwerk kan de technologie dan in steeds grotere markten doorbreken en wordt een nieuw regime gevormd (of het bestaande regime getransformeerd).

Dit proces van niche-cumulatie is belangrijk voor transitie omdat op het niveau van maatschappelijke functies geen sprake is van een homogene markt, maar van een ‘*ecologie van markt-niches*’. Zoals de case-studie aangaf bestaat bijvoorbeeld het scheepvaart-domein uit transport van personen, post en goederen, waarbij vooral de goederenmarkt zeer heterogeen is en bestaat uit verschillende soorten goederen en verschillende routes. In al deze

markt-niches is sprake van een verschillende set van selectie-criteria, zodat het stoomschip in de ene niche al wel toepasbaar kan zijn, maar nog niet in de andere.

Figuur 25 gaf een schematische weergave van zo'n niche-cumulatietraject voor stoomschepen. In paragraaf 4.1. werd niche-cumulatie voor de transitie naar elektromotoren beschreven.

Een ander voorbeeld is het ontstaanstraject van de radio (Levinthal, 1998). Herz 'ontdekte' elektromagnetische golven toen hij het theoretische werk van Maxwell probeerde te verifiëren. Voor hem waren deze stralen een laboratorium-device. Het was de praktisch ingestelde Marconi die de toepassing van draadloze telegrafie ontwikkelde voor communicatie met afgelegen plekken (vuurtorens en schepen). Er bestond al telegrafie via vaste kabels. Maar lang niet alle plaatsen werden door deze kabels bediend. Voor deze niet verbonden plaatsen was draadloze telegrafie een uitkomst. Er was echter nog geen concurrentie tussen kabel-telegrafie en draadloze telegrafie, omdat draadloze telegrafie nog zwak was en een beperkte actie-radius had. De toepassingsniche gaf echter 'ruimte' voor technische verbeteringen, waardoor de actie-radius van draadloze telegrafie groeide. Na verloop van tijd kon draadloze telegrafie dan ook gebruikt worden voor trans-atlatische communicatie. Hierdoor ontstond concurrentie met de bestaande telegrafie die zwaar had geïnvesteerd in kabels over de oceaanbodem. Vanwege kostenvoordelen won draadloze telegrafie uiteindelijk, ook al liep de transitie langzaam vanwege de 'sunk investments' in de bestaande kabels. Draadloze telegrafie verliep via discontinue golven (Morse code). Na de ontwikkeling van de vacuum-buis konden echter ook continue golven verzonden en ontvangen worden. Hierdoor werd het mogelijk geluid te verzenden. Na veel ontwikkelingswerk leidde dit tot nieuwe toepassingen, namelijk als draadloze telefonie en radio-uitzendingen. De barrières voor brede toepassing van beide mogelijkheden lagen gedurende decennia niet in de techniek maar in politieke strijd en regelgeving. Deze strijd en het lobbywerk hadden betrekking op de verdeling van frequenties van het elektromagnetisch spectrum. Figuur 28 geeft het traject van niche-cumulatie schematisch weer.



*Figuur 28: Niche-cumulatie in de ontwikkeling van radio en draadloze telefonie (Geels, 1999)*

Enkele andere voorbeelden van niche-cumulatie trajecten, die hier niet uitgewerkt worden, zijn de gasturbine (Islas, 1997; Watson, 1997), de video (Rosenbloom and Cusumano, 1987), de personenauto (Mom, 1997), straalvliegtuig (Geels, 2000b).

## 5.2. Add-on en hybridisatie

In de twee historische voorbeelden was het erg duidelijk dat het transitie-traject verliep via technisch-hybride tussenvormen. Er waren zelfs verschillende fasen te onderscheiden. De eerste toepassing van de stoommachine in oceaan-zeilschepen was additioneel. De *Rising Star* (Figuur 22) was een zeilschip met extra stoommachine. De tweede stap was een meer hybride zeil-stoomschip (Figuur 23), terwijl de derde stap bestond uit stoomschepen met additionele zeilen (Figuur 24).

Hetzelfde patroon is zichtbaar bij de transitie naar elektromotoren. In de eerste stap werden elektromotoren in fabrieken niet gebruikt voor aandrijving van machine-tools, maar in de vorm van ventilatoren en kranen. Hiermee werden de werkomstandigheden wat verbeterd, en meer flexibiliteit toegevoegd. In de tweede stap werden elektromotoren in specifieke domeinen (drukkerijen, kleding) toegevoegd aan de bestaande stoommachine plus transmissie-systeem van banden en stangen. De derde stap leidde tot een hybride vorm waar het transmissie-systeem werd opgeknipt in deelgroepen die dan werden aangedreven door elektromotoren ('group-drive'). In de vierde stap was het transmissie-systeem overboord gezet en werden de machine-tools individueel aangedreven door elektromotoren ('unit-drive').

In beide voorbeelden werd de nieuwe techniek dus eerst toegevoegd om de bestaande techniek te verbeteren, c.q. specifieke problemen op te lossen. De eerste markt-niche ontstond dus door aanhaking bij het bestaande regime. Dit mechanisme noemen we 'add-on'. Dit mechanisme trad ook op toen vroege stoomboten werden gebruikt als sleepboot om zeilschepen de haven in en uit te trekken. Manoevreren in nauwe havens was altijd een probleem geweest, en sleepboten vonden een niche door aan te haken bij dit probleem. In beide voorbeelden gaat de 'add-on' na verloop van tijd over in een hybride tussenvorm, waarbij wij, als toeschouwers die de uitkomst kennen, de uiteindelijke vorm al zien ontstaan. Uiteindelijk wordt ook de hybride vorm verder getransformeerd, en ontstaat een heel nieuw technisch regime.

Dit patroon van technische 'add-on' en 'hybridisatie' hoeft zeker niet in *alle* transitie op te treden. Bij de transitie van gaslicht naar elektrisch licht bijvoorbeeld waren beide technische systemen vanaf het begin technisch onafhankelijk van elkaar, en ontstond scherpe concurrentie. Desalniettemin lijkt het een vaak voorkomend mechanisme.

Bij de transitie naar straalvliegtuigen, bijvoorbeeld, werden gasturbines ook eerst toegepast als 'add-on' in bestaande propellor-vliegtuigen (Geels, 2000b). Vooral op grote hoogte had de verbrandingsmotor namelijk problemen met de ijle lucht. Gasturbines werden toegevoegd en gebruikt als compressor om meer lucht en zuurstof aan de motor toe te voeren.

Hybridisatie is ook relevant wat betreft transitie naar duurzaamheid. Op dit moment hebben elektrische voertuigen hun momentum verloren, en winnen hybride elektrische voertuigen (met verbrandingsmotor en accu plus elektromotor) aan marktaandeel. Voor mogelijke toekomstige brandstofcel-auto's bestaat nog geen waterstof-infrastructuur. Een hybride (tussen)fase zou kunnen ontstaan door auto's uit te rusten met een extra reformer die benzine (of methanol) kan omzetten in waterstof. Op die manier kan gebruik worden gemaakt van de bestaande tankinfrastructuur. Om begrijpelijke redenen investeert onder andere Shell in deze optie.



Dit mechanisme van ‘add-on’ en hybridisatie kan om verschillende redenen voor actoren rationeel zijn. Ten eerste spelen vaak ‘sunk-investments’ in bestaande technologie een rol. Actoren hebben een voorkeur om hun investeringen in bestaande technologie (bv. competenties van personeel, productie-technologie, infrastructuur) niet overboord gooien, voordat ze afgeschreven zijn. Daarom zullen actoren genegen zijn om eerst extra technieken toe te voegen of hybride fasen te proberen, voordat ze een omschakeling maken. Ten tweede, is het vaak moeilijk om in vroege fasen van een transitie (wat eigenlijk alleen retrospectief kan worden vastgesteld) al de eind-uitkomst te zien. Door de het patroon van niche-cumulatie trajecten is het voor actoren op een bepaald moment moeilijk om de eindvorm en de eindtoepassing te voorzien. Actoren in 1822 konden niet voorzien dat er ooit grote ijzeren stoomschepen op de oceanen zouden varen. Tot 1840 werden ijzeren schepen op zee als hersenschim beschouwd. In fasen van dergelijke onzekerheden gaan veranderingen vaak stapje voor stapje. Actoren bouwen voort op wat ze al hebben of weten. Een cumulatie van leerervaringen kan dan leiden tot verdere transformatie. Hybride vormen zijn dan tussenfasen in geleidelijk transformatietraject, waarbij er niet een duidelijk omslagpunt is aan te geven.

### **5.3. Markt-dynamieken**

In beide historische voorbeelden konden nieuwe innovaties uitbreken door ‘aan te haken’ bij de groei in nieuwe markten. Na periodes van experimenteren en leren in specifieke niches konden de innovaties als het ware meeliften met de opkomst van nieuwe markten. Elektromotoren profiteerden van de sterke expansie in de auto-industrie, elektrotechnische industrie, metaal-productie aan het begin van de 20e eeuw. Stoomschepen staken tot 1838 op experimentele basis de oceanen over. Daarna werden ze op commerciële basis gebruikt voor passagiersvervoer, daarbij gesteund door post-subsidies. In deze markt vond grote uitbreiding plaats toen na 1848 de passagiersmarkt sterk groeide, door ontwikkelingen op landschapsniveau (politieke revoluties in Europa, gold-rush in Amerika). Door de groei in dit toepassingsdomein kwamen ook ‘resources’ beschikbaar voor nieuwe innovaties (schroef, ijzer).

De eerste toepassing van straalvliegtuigen in de burgerluchtvaart (1958) vond ook plaats in een sterk groeiende markt, namelijk die van lange-afstand transatlantisch verkeer. Deze toepassing ging niet direct ten koste van propellor-vliegtuigen, die nog lange gebruikt werden in markten voor korte en middenlange afstanden. Pas na allerlei verbeteringen van straalvliegtuigen begonnen deze door te dringen in andere markten, daarbij concurrerend met propellorvliegtuigen (Geels, 2000b).

Een bedrijfskundige reden voor dit mechanisme is dat het bij groeiende markten gaat om uitbreidingsinvesteringen in plaats vervangingsinvesteringen. ‘Sunk investments’ (machines, personeel, competenties) gaan dus niet direct verloren. Dit speelde duidelijk een rol bij de transitie naar elektromotoren, waar de stoommachine in veel sectoren nog lange tijd werd gebruikt. De nieuwe markten waar de elektromotor emploi vond groeiden echter zo snel dat de opgestelde capaciteit snel toenam.

Vanuit evolutionair perspectief kunnen nieuwe markten een belangrijke rol spelen bij transities als daarmee specifieke ‘performance requirements’ gearticuleerd worden die door de oude technologie moeilijk geleverd kunnen worden. De nieuwe selectie-criteria kunnen kansen creëren voor bepaalde variaties (innovaties). Dit was bijvoorbeeld het geval bij de gezamenlijke opkomst van lange-afstands vluchten en straalvliegtuigen.

Vanuit transitie-perspectief kan het verstandig zijn om gebruik te maken van ‘ongoing dynamics’ en nieuwe markten. De sterk toenemende markt van de ‘tweede auto’ zou bijvoorbeeld geschikt zijn voor het gebruik van elektrische auto’s, aangezien de tweede auto vooral wordt gebruikt voor kleine afstanden (bv. boodschappen). Er kunnen echter overwegingen zijn om dit niet te doen, bijvoorbeeld als de nieuwe markten om bepaalde redenen als ‘onwenselijk’ worden beschouwd. De ‘tweede auto’ kan bijvoorbeeld als onwenselijk gezien worden omdat het verder bijdraagt aan mobiliteit en ruimteproblemen. Deze discussie werd onlangs aangezwengeld door de VROM-raad, die stelde dat de overheidspogingen om de burger uit de auto en in het openbaar vervoer te krijgen weinig succesvol waren. De VROM-raad stelde voor om dit te erkennen, en de aandacht vooral te richten op stimuleren van schone auto technologie. Binnen een dergelijke optiek wordt de auto gezien als iets wat de maatschappij klaarblijkelijk wil. Nu heeft de auto ook ontegenzeggelijk een belangrijke culturele functie en vinden mensen autorijden plezierig, oa vanwege het van vrijheid en privacy. Maar auto’s hebben ook nadelen voor de gebruiker: je staat ermee in de file. Ipv automobilititeit te accepteren en dit te accomoderen kun je je ook afvragen wat de mogelijkheden zijn om OV aantrekkelijker te maken: welke veranderingen in het sociotechnische landschap en regime kunnen bijdragen tot openbaar vervoer. Dan zie je dat ICT in de vorm van OV informatie en -en boekingsystemen een belangrijke impuls kan geven. Mensen hebben een hekel aan wachten, en als ze wachten willen ze weten hoe lang het duurt. Informatiesystemen helpen hierbij. Ook het zelfstandig maken van OV bedrijven kan klantgerichtheid verbeteren. Een omgevingsanalyse kan laten zien dat er wel degelijk mogelijkheden zijn voor OV, vooral als onderdeel van een vervoerssysteem dat ingericht is op intermodaal vervoer: de combinatie van verschillende vervoersmodaliteiten met de bijbehorende instituties en organisaties. Het blijkt dat autofabrikanten de auto en automobilititeit veel minder als gegeven beschouwen. Ford voorziet een transformatie van het bedrijf: van auto-fabrikant naar mobiliteitsprovider. In de maatschappij leven volop gedachten over transformaties en transities. Hierop kan van de zijde van beleid worden ingespeeld, via de stimulering van articulatieprocessen omtrent die transformaties, en het actief inzetten op de realisatie van sommige transities, samen met maatschappelijke actoren. Het transitie-model kan hierbij een hulpmiddel zijn.

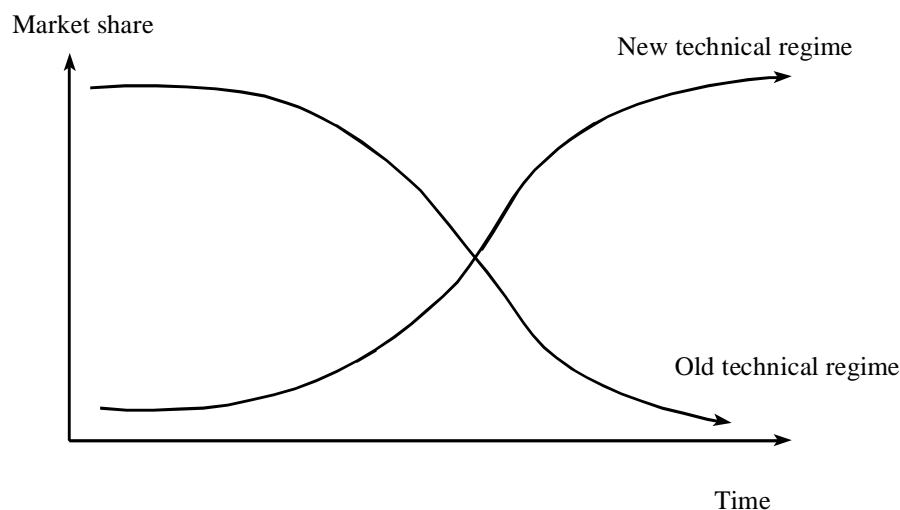
## 6. Transitie-routes

Verlopen transitie middels één algemeen proces, waarbinnen variaties optreden, of bestaan er verschillende soorten transitie? Het is moeilijk om deze vraag definitief te beantwoorden omdat er nog niet veel systematisch en vergelijkend onderzoek naar transitie is gedaan. Een voorlopig antwoord is dat er verschillende soorten transitie bestaan. Een tentatief onderscheid in transitie-routes bestaat tussen:

- a) Contestatie en substitutie
- b) Cumulatie en transformatie.

### a) Contestatie en substitutie

Contestatie is het meest gangbare beeld van transitie. Het betekent dat de nieuwe technologie moet vechten tegen de oude technologie om zich een plaats in de markt te veroveren. Figuur 29 geeft deze transitie-route schematisch weer.



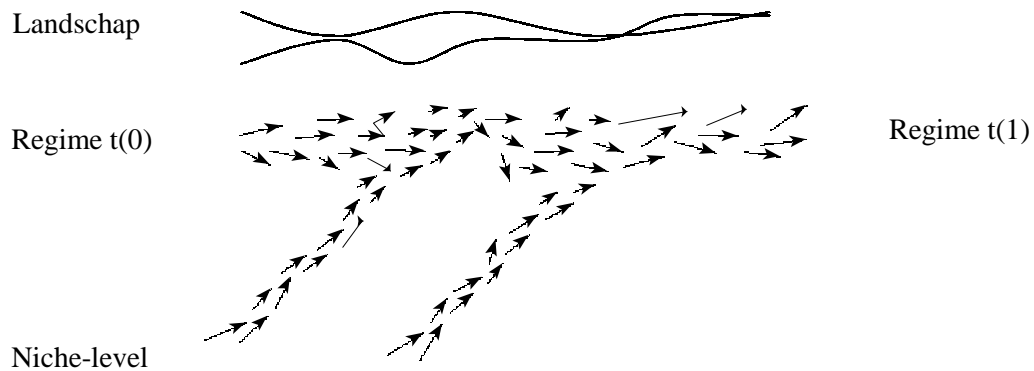
*Figuur 29: Transitie via contestatie*

De opkomst van de nieuwe technologie gaat ten koste van de oude technologie. Het verloop van de transitie heeft de vorm van een S-curve. In het begin gaat de transitie langzaam, daarna vindt een versnelling plaats, en uiteindelijk treedt stabilisering op. In dit beeld van transitie gaat het vaak om innovaties die technisch onafhankelijk van elkaar functioneren, bijvoorbeeld gaslicht versus elektrisch licht, elk met hun eigen infrastructuur. Verder spelen markt-prijzen en technische performance een hoofdrol in dit beeld.

### b) Cumulatie en transformatie

Contestatie is niet de enige route. Cumulatie en transformatie is een andere mogelijke route. Hierbij gaat het om een geleidelijk proces waarbij een bestaand systeem niet zozeer *vervangen* wordt door een nieuw systeem maar getransformeerd. In een bestaand systeem wordt bijvoorbeeld een nieuw element toegevoegd om een specifiek probleem op te lossen. De introductie van dit nieuwe element leidt tot aanpassingen en leerprocessen binnen het systeem. Door de aanpassingen komen nieuwe 'bottlenecks' naar voren waar dan na verloop van tijd weer een nieuwe innovatie bij kan aanhaken. Of de leerprocessen leiden ertoe dat men nieuwe mogelijkheden ontdekt voor het geïntroduceerde element. Door achtereenvolgende innovaties en leerprocessen wordt het bestaande systeem zodanig

getransformeerd dat er uiteindelijk een nieuw systeem ontstaat (zie Figuur 30). Van den Ende en Kemp (1999) beschrijven op deze manier hoe het *computer*-regime voortgroeide uit het ‘*computing*’-regime. De computer als artefact werd eerst gebruikt voor berekeningen, naast artefacten als ponskaart-machines. Pas na geleidelijke aanpassingen en additionele innovaties (bv. programmeer-talen) ontwikkelde de computer nieuwe specifieke kenmerken en ontgroeide de toepassing van het rekenen.



*Figuur 30: Cumulatie en transformatie als transitie-route*

Bij de cumulatie/transformatie-route hoeven nieuwe en oude technologieën niet technisch onafhankelijk en gescheiden te zijn. Mechanismen als ‘add-on’ en ‘hybridisatie’ (zie 5.2.) zullen in deze route een rol spelen. Hoewel prijs en performance ook in deze route een belangrijke rol spelen, staan aanpassings- en leerprocessen ook centraal. Het transitie-proces verloopt geleidelijk en stapje voor stapje. Voor de betrokken actoren kan dit tijdens het transformatieproces het gevoel geven van ‘muddling through’, mede omdat het einddoel niet vast staat, maar gaandeweg gecreëerd wordt.

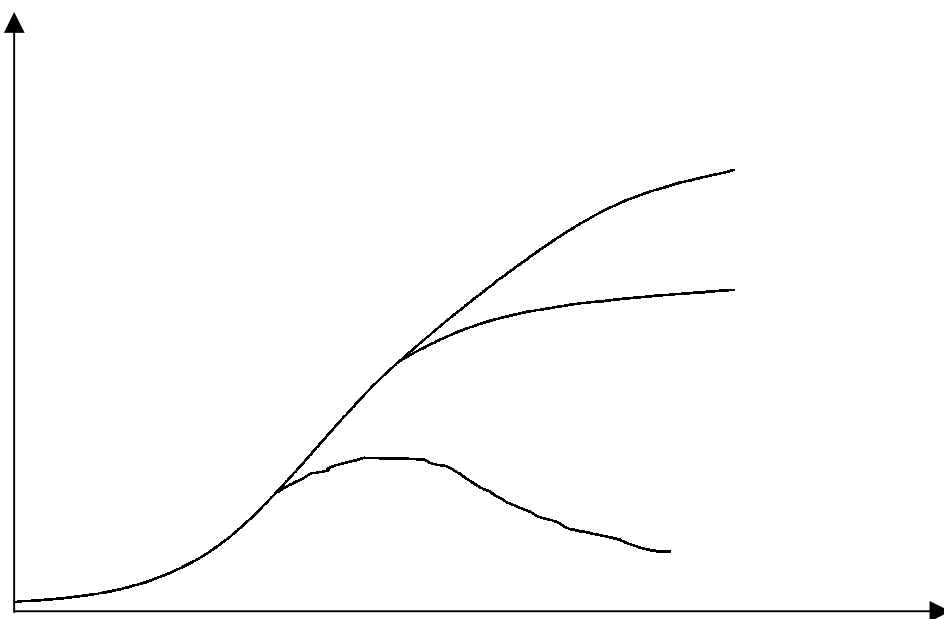
## 7. Transitie-management: wat ideeën

Het onderscheid tussen beide transitie-routes lijkt ook relevant voor de beleidsaanpakken van transities. Bij substitutie staat het stimuleren of ‘pushen’ van bepaalde innovaties voorop (‘silver bullet’). Die moeten dan wel beschikbaar zijn. En er moet zekerheid zijn dat dit de beste oplossing is. Die zekerheid is er bijna nooit.<sup>10</sup> Dat betekent dat beleidsmakers niet moeten proberen om een winner te kiezen en daar het beleid op richten. Beter is het om in te zetten op een veelheid aan opties en daarover te leren. Dit leren is een maatschappelijk proces.

Bij transformatie kun je nog veel minder dan bij substituties inzetten op een einddoel. Het alternatief is onbekend. Wellicht dat hier meer dan in het geval van substitutie ingezet moet worden op institutionele verandering, de vorming van boegbeelden van verandering op basis van wenselijkheden en mogelijkheden, aanhakend bij lopende dynamieken.

Je kunt ook inzetten op zowel substitutie en transformatie. De 2 routes sluiten elkaar niet. We hebben nog steeds zeilschepen naast schepen met tegenwoordig dieselmotoren.

Transities zijn onvoorspelbaar. Er zijn bewegingen en tegenbewegingen, waarbij onduidelijk is welke zal domineren. Het transitieproces kan stokken of zich in een andere richting voltrekken. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 31. De bovenste patronen geven een transitie weer, het onderste dat van een transitie die zich niet voltrekt, en waarbij sprake is van een terugval.



*Figuur 31: Verschillende patronen van verandering*

Binnen het transitieproces heb je verschillende fasen: een (lange) voorontwikkelingsfase, een take off fase, een versnellingsfase en een saturatiefase. Interventies hebben de grootste invloed in de vroege fasen. In latere fasen ligt de richting van ontwikkeling grotendeels vast.

<sup>10</sup> De zekerheid was er wel bij gas voor de warmtevoorziening van huizen. Dit bood zoveel voordelen boven het gebruik van kolen dat daar actief op ingezet kon worden. De substitutie voltrok zich betrekkelijk snel: in 6 jaar vanaf het moment van het besluit tot een dergelijke overgang (Verbong, 2000)

Dit suggereert dat transitiebeleid zich moet richten op de 1<sup>e</sup> twee fasen. Maar in de vroege fasen van veranderingsprocessen is het minst duidelijk of een transitie maatschappelijk gezien wenselijk is. Bij transities treedt een ‘dilemma of control’ op: de beïnvloedingsmogelijkheden zijn het grootst in fasen waarin je het minst weet, in latere fasen als je meer weet van maatschappelijke bij-effecten van een technologie, valt er niet veel meer te sturen. Je kunt wel bestaande technologieën buiten werking stellen maar dat is kostbaar. Bovendien verzetten de actoren die dergelijke investeringen gedaan hebben zich tegen een dergelijk kapitaalverlies. Collingridge heeft hierover geschreven in zijn boek “The social control of technology”. Als oplossing bepleit hij het gebruik van kleinschalige oplossingen met een korte levensduur. Een andere oplossing is het inzetten op meervoudige sporen en gaandeweg te meten en leren. Overigens is Collingridge iets te negatief als het gaat om de mogelijkheid van bijsturen. Kolencentrales vandaag de dag zijn een stuk schoner als gevolg van rookgasontzwapelingsinstallaties. CO<sub>2</sub> kan afgevangen worden en een vermindering van NO<sub>x</sub> emissies is technisch mogelijk.

De sturingsvraag is ingewikkeld. Er zijn in principe twee insteken mogelijk bij transities: een ontwerp-insteek die inzet op een voorafgeformuleerd doel (dat kan zijn een doel zoals een CO<sub>2</sub>-loze energievoorziening of een streefbeeld zoals geïntegreerd, intermodaal vervoer of biologische landbouw of precisie landbouw) en een ontwikkelings-insteek die uitgaat van dynamieken en minder van technieken en een einddoel. Bij het laatste heb je nog steeds een einddoel (zoals bijvoorbeeld een emissiearme energievoorziening) dat richtinggevend is voor handelen maar dat einddoel wordt in het proces voortdurend bijgesteld. Laatstgenoemde ontwikkelingsbenadering is ook minder technologiegericht. Het richt zich op knoopp bewegingen in netwerken en probeert deze te laten bewegen in de goede richting. In de TG studie “Transities: kunnen 3 mensen de wereld doen omslaan” staat de tweede insteek (die van beweging en fricties) centraal. Het berust op de gedachte dat kleine maar goed gerichte acties die de systeemdynamiek optimaal gebruiken, onverwacht grote gevolgen kunnen hebben.

Een algemene strategie voor transitie-management is: aan de ene kant de druk op het bestaande regime te verhogen, en aan de andere kant alternatieven stimuleren. Het eerste is vermoedelijk het beste te doen met generieke instrumenten, zoals verhandelbare emissierechten, emissienormen, het ontbinden van monopolieposities, het tweede via een meer technologie specifiek beleid gericht op concrete vernieuwing.

Transitiebeleid moet verder geconcretiseerd worden in termen van instrumenten, momenten van interventies, doelen, rolverdeling van relevante actoren etc.. De discussie over patronen en mechanismen bij transities kan hierbij helpen. Op basis van de discussie over transities kunnen de volgende concrete aandachtspunten voor beleid worden geformuleerd:

- Zet in op trajecten van niche-cumulatie: Innovaties kunnen doorbreken door een sequentie van niches te doorlopen. Voor niche-management is het dus belangrijk om de juiste toepassingsdomeinen voor experimenten te kiezen. Stimulering van niches dient plaats te vinden vanuit een strategische visie op mogelijke niche-trajecten.
- Zet in op hybride tussenvormen als tussenstappen: Een transitie kan makkelijker verlopen door eerst aan te haken bij dynamieken in het bestaande regime, en dan in te zetten op verdere transformatie. Hybride tussenvormen tussen oude en nieuwe techniek hoeven geen einduitkomst te zijn, maar kunnen ook een mogelijke tussenfase blijken voor verdere veranderingen.
- Sluit aan bij nieuwe markten of markt-eisen: Het ontstaan van nieuwe markten met nieuwe selectie-criteria kan goede mogelijkheden bieden voor de introductie van nieuwe

technologieën. Meeliften op ‘ongoing dynamics’ gaat vaak makkelijker dan forceren van veranderingen.

- Stimuleer in de breedte: Transitie verlopen door het samenkomen en wederzijds versterken van meerdere innovaties. Stimulering op niche-niveau moet dus niet op één innovatie gericht zijn, maar op meerdere innovaties en interessante combinaties (bijvoorbeeld een elektrisch voertuig met nieuwe kunststof-materialen en vliegwielen). Brede leerprocessen helpen ‘lock in’ in een suboptimaal traject voorkomen.

Centraal bij dit alles staat: het nadenken in termen van dynamieken en bouwstenen, het anticiperen van dynamische uitkomsten--hoe die het proces van verandering verder kunnen helpen--en nagaan welke mogelijke paden er zijn voor regimeveranderingen. Je maakt dus geen blauwdruk maar gaat op zoek naar acties die je dichterbij het doel brengen en die niet verstorend zijn. Je wilt fricties vermijden. Het gaat dus om geleidelijke veranderingsprocessen, geen sprongen.

Transities worden gaandeweg gecreëerd, ze zijn veelal niet gepland maar het gevolg van elkaar beïnvloedende ontwikkelingen. Zoals Bernhard Joerges schrijft:

“Retrospective studies of LTS [large technical systems] show that they never develop according to the designs and projections of dominant actors: *LTS evolve behind the backs of the system builders, as it were*. It has been shown, too ... that typically none of the agencies contained in LTS manage to form a somewhat complete picture of their workings. LTS seem to surpass the capacity for reflexive action of actors responsible for operating, regulating, managing and redesigning them in ways which, as social scientists, we understand poorly”. (Joerges 1988, p. 26)

Er zijn dus autonome en niet voorziene ontwikkelingen die bijdragen tot transitie en allerlei tegenbewegingen. Einduitkomsten zijn op voorhand niet voorspelbaar. De geschiedenis is geen lineair proces. Maatschappelijke prioriteiten en bestaande ordeningen veranderen, evenals probleempercepties en de oriëntatie van actoren. Technologie oefent op haar beurt invloed uit op structuren en cultuur. Je weet dus niet waar je uitkomt ook al zet je in op een bepaalde einduitkomst. Het is bijvoorbeeld heel goed mogelijk dat een emissiearme energievoorziening niet gerealiseerd wordt in de komende 100 jaar. Dat hoeft je niet te weerhouden daarop toch in te zetten. Maar die inzet moet wel op een bepaalde manier gebeuren: via *al-doende-leren* en *al-lerende-doen* vanuit een strategisch doel. Dat beperkt de kans op fricties en terugslagen.

Om te komen tot transitie of de kans daarop te vergroten moet er een actieve inzet zijn op vernieuwing. De overheid kan daarbij de rol spelen van initiator, als maatschappelijke actor die ervoor zorgdraagt dat er wat gebeurt, dat een maatschappelijk probleem op de agenda komt, dat er experimenten plaatsvinden en dat er geleerd wordt over oplossingen. Daarnaast heeft zij een taak als procesmanager en mediator, als actor die het proces van verandering op gang houdt via acties en het gebruik van instrumenten. Een belangrijke rol is weggelegd voor experimenten. Wat betreft experimenten met technologie, pleiten wij voor experimenten met echte gebruikers. Dergelijke experimenten vinden vaak ook al plaats. Er wordt volop geëxperimenteerd met nieuwe technologie, vooral op het lokale niveau. Voorbeelden binnen de vervoerssector zijn: experimenten met aardgasbussen, brandstofcelautos, elektronische zone toegangssystemen en fietsdeelsystemen. Maar dit zijn vooral lokale initiatieven waar weinig lijn in zit. Er wordt vaak alleen lokaal geleerd en geleerd over technische aspecten (Hoogma et al. 2001). De experimenten met duurzame technologie lopen vaak op tegen het probleem dat ze economisch niet rendabel zijn en daarnaast zijn er belemmeringen van

institutionele aard (bijvoorbeeld veiligheidsvoorschriften die een drempel opwerpen voor lichtgewicht elektrische voertuigen). Er wordt dus volop geëxperimenteerd maar in de experimenten zit vaak weinig lijn. Transitiebeleid kan gebruikt worden om meer lijn aan te brengen in experimenten, via bijvoorbeeld de strategische keuze van experimenten, en het stimuleren (faciliteren) van processen van maatschappelijke inbedding. Nu is het zo dat kennis die opgedaan is tijdens een experiment verloren gaat, andere actoren niet bereikt, en dat er geen follow up is. Dergelijke zaken kunnen georganiseerd worden in het kader van een transitiebeleid en meer concreet via strategisch niche management (SNM): *het managen van niches voor veelbelovende technieken*. De gedachte van strategisch niche management is afkomstig uit het bedrijfsleven. Het gaat om zogenaamde niche toepassingen voor breed toepasbare producten, om later de sprong naar massamarkt te kunnen maken. De term van SNM is afkomstig van Arie Rip en verder ontwikkeld en toegepast door Johan Schot, o.a. in het project “Strategic niche management as a tool for transition to a sustainable transport system” voor de Europese Commissie.

Bij SNM gaat het om de creatie van niches voor technologietoepassing. De technologie wordt toegepast door echte gebruikers die daarvoor betalen. Er wordt als het ware een quasi-markt gecreëerd. Er is weliswaar bescherming (via bijvoorbeeld subsidies) maar ook selectiedruk. De bescherming is belangrijk omdat nieuwe technieken in de bestaande context nog niet economisch zijn, de selectiedruk is belangrijk om er voor te zorgen dat rekening gehouden wordt met gebruikerseisen en te leren over de marktpotentie. De niches fungeren als een soort kweekvijver (en niet als een reservaat).

Over SNM is al veel nagedacht en geschreven. Er is een werkboek over SNM en binnenkort zal een wetenschappelijk boek hierover uitkomen (Hoogma, et al. 2001). Het voert te ver om de methode in detail te beschrijven. Dit is gedaan in de kernpublicatie Kemp et al. (1998). Doel van SNM is het stimuleren van articulatieprocessen over een nieuwe techniek en de afstemming van technologie op de gebruikcontext en omgekeerd de afstemming van de maatschappelijke omgeving op technologie. Een succesvolle innovatie vergt coördinatie van beslissingen en de bouw van een dragend actor netwerk (een zogenaamd ‘product constituency’). SNM maakt gebruik van de filosofie van learning by doing vanuit een strategische doelstelling. Dat leren moet zich niet beperken tot technische aspecten van nieuwe producten. Er moet ook geleerd worden over behoeften en aannamen. Dat laatste vergt een speciale opzet van experimenten, waarbij je uitgaat van een probleem en niet van een technologie en gebruikers actief betreft bij een project. Het werkboek voor SNM doet allerlei aanbevelingen over het doen van experimenten: waar je die het beste kunt doen, hoe je een experiment opzet (met wat voor actoren) en hoe je kunt zorgdragen voor leerprocessen die verder gaan dan het leren over technische aspecten. Een kernelement is het vinden van een balans tussen protectie (bescherming) en selectiedruk.

Voor wat voor soort technologie is SNM geschikt? Dat hangt af van het doel van het experiment: het vinden van een oplossing voor een lokaal probleem of het komen tot een maatschappelijke transitie. Als het gaat om het tweede dan is SNM met name geschikt voor zogenaamde ‘pathway technologies’. Dit zijn technologieën die een brug kunnen slaan naar een duurzame toekomst, die nu al toepasbaar zijn in speciale toepassingsdomeinen (niches) en een cascade van innovaties te weeg kunnen brengen. Pathway technologies zijn sleuteltechnologieën voor specifieke veranderingen. Ze zijn bouwstenen of pilaren van het veranderingsproces—wat niet louter technologisch is, maar ook bestaat uit de vorming van platforms, samenwerkingsverbanden, aanpassingen in regelgeving en stimuleringsacties, en aan de zijde van de gebruiker het opdoen van ervaring met nieuwe producten en systemen.



Voorbeelden van pathway technologies zijn openbaar vervoer (transit)informatiesystemen, de brandstofcel voor auto's, en biosensoren (nuttig voor afvalhergebruik). Pathway technologies zijn overigens niet noodzakelijk 'high tech'. Een voorbeeld van een belangrijke 'low tech'-innovatie is de meterkaart voor energiegebruik en groenestroompakketten.

Pathway-technologieën bieden op zichzelf geen oplossing voor de problemen. Ze helpen het proces van transitie dat verdere impulsen behoeft (en ook krijgt als een technologie zich voorspoedig ontwikkeld). De barrières voor radicale technologie, vooral technologie met duurzaamheidsvoordelen, zijn echter groot, zelfs ingeval van voordelen van gebruikers. Daarom heb je de andere soorten van beleid nodig, die niet expliciet gericht zijn op systeeminnovatie, zoals de MJA, ecotaxen en emissiehandel.

Hoewel transitie-management in onze ogen mogelijk is, past ook bescheidenheid. De overheid is namelijk maar één actor in complexe multi-actor regimes (zie Figuur 5). De interacties tussen de verschillende actor-groepen resulteren in 'ongoing dynamics' die niet alleen door de overheid worden beïnvloed. Het succes van transitie-management is dus mede afhankelijk van het meeliften op 'ongoing dynamics' en het benutten van 'window of opportunity'. Het vergt dus goed stuurmanschap, van de overheid en andere actoren die zich inzetten voor een transitiedoel. Een inzet op transitie kan behulpzaam zijn bij het komen tot een betere afstemming van beleid dat nu sterk verkokerd is en, wat betreft het technologiebeleid, teveel gericht is op demonstratie van technologie in plaats van exploratie van technologie. Op transitie-management wordt dieper ingegaan in hoofdstuk 2 van het hoofdrapport.

Wij besluiten met een aantal stellingen over de sturing van (energie)transities:

- Sturing van energietransities is mogelijk. Regie echter niet.
- Sturing van transities ten behoeve van duurzaamheid is wenselijk, ook al zijn de sturingsmogelijkheden beperkt.
- Transitie-management is gericht op vernieuwing én op verbetering. Wat betreft vernieuwing is de sturingsfilosofie die van 'al-lerende-doen' en 'al-doende-leren'.
- Transitie-management is anticiperend, reflexief en adaptief. Het vergt lerend, anticiperend stuurmanschap.
- Transities kunnen bereikt worden via 2 routes: substitutie en transformatie van een bestaand functiegericht systeem
- Transities hoeven niet noodzakelijk gerealiseerd te worden. Het kan zo zijn dat via systeemoptimalisatie (technical fixes) voldoende resultaten worden geboekt. Problemen kunnen meevallen of 'vanzelf' opgelost worden.
- Transitiebeleid zet actief in op vernieuwing (via leren en doen) maar pint zich niet vast op een technologische keuze.
- Naast transitieafspraken moet je nog een heleboel meer doen. Onderwijssysteem veranderen, de 'frame' condities veranderen, bijvoorbeeld via verhandelbare emissierechten.

- Voor transities moet je de tijd nemen. Geforceerde ontwikkelingen roepen weerstand af, vergen reparatiewerk en kunnen leiden tot verbrokkeling van draagvlak en het optreden van backlashes.

## 8. Nader onderzoek

Dit rapport is geschreven in het kader van een voorstudie naar transities, als onderdeel van het beleidsvoorbereidingsproces van het Vierde Nationaal Milieubeleids Plan (NMP-4). In het rapport is een zogenaamd multi-level perspectief gepresenteerd op socio-technische transities, en zijn verschillende mechanismen en patronen onderscheiden. Deze inzichten zijn aannemelijk gemaakt middels twee historische case-studies. Verder is een eerste stap gedaan in de richting van vertaling van deze inzichten naar beleidsaanbevelingen voor transitie-onderzoek.

Hoewel het overall-perspectief op transities tamelijk robuust is, zijn er verschillende deel-aspecten die nu nog tentatief of inductief geformuleerd zijn. Op deze aspecten zou nader onderzoek tot vruchtbare resultaten kunnen leiden. Enkele van deze aspecten zijn:

- De rol van de overheid in transities, zowel wat betreft historische transities als mogelijkheden voor transities naar duurzaamheid (instrumenten en tools).
- De manieren waarop multi-level dynamieken op elkaar inwerken en koppelen.
- Is het mogelijk om omslagpunten aan te geven, bijvoorbeeld in termen van indicatoren? Dit is een moeilijke kwestie omdat er niet bij elke transitie een duidelijk omslagpunt hoeft te bestaan (bijvoorbeeld bij cumulatie/transformatie routes).
- Mechanismen en patronen van transities. Reeds gevonden patronen zijn trajecten van niche-cumulatie, 'add-on' en hybridisering, en meeliften met markt-dynamieken. Behalve dat deze patronen verder kunnen worden onderbouwd, zouden verdere patronen geïdentificeerd kunnen worden.
- Naast conceptueel werk dienen meer empirische studies te worden gedaan. Hiermee wordt niet alleen het perspectief robuuster, maar kunnen ook verdere mechanismen worden gevonden.

## Literatuur

- Broeze, F.J.A., 1982, 'The international diffusion of ocean steam navigation: The myth of the retardation of Netherlands steam navigation to the East Indies', in: *Economisch- en sociaal-historisch jaarboek*, Vol. 45, pp. 77-95.
- Collingridge, David (1980), *The Social Control of Technology*, London: Pinter.
- Coutard, O. (ed), 1999, *Governing large technical systems*, Routledge, London and New York.
- Delbeke, J., 1982, *The mechanisation of Flemish industry, 1812-1930: The case of Antwerp*, Louvain, Centre for Economic Studies, Catholic University of Louvain.
- Devine, W. Jr., 1983, 'From shafts to wires: Historical perspective on electrification', *Journal of Economic History*, Vol. 43 (no 2), pp. 347-372.
- Dirkzwager, J.M., 'Schepen', in: Baetens, R., Bosscher, Ph.M. en Rechlin, H., *Maritieme geschiedenis der Nederlanden: deel 4: tweede helft negentiende eeuw en twintigste eeuw, van 1850-1870 tot ca 1970*, De Boer Maritiem, Bussum, pp. 13-52.
- Disco, C., Rip, A. and Van der Meulen, B., 1992, 'Technical Innovation and the Universities: Divisions of Labour in Cosmopolitan Regimes', in: *Social Science Information* Vol. 31, pp. 465-507.
- Dosi, Giovanni (1982), 'Technological Paradigms and Technological trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change', *Research Policy* 6, 147-162.
- Dosi, Giovanni (1988), 'The Nature of the Innovation Process', in Giovanni Dosi, Chris Freeman, Richard Nelson, Gerald Silverberg and Luc Soete (eds.) (1988), *Technical Change and Economic Theory*, London: Pinter Publishers.
- DuBoff, R., 1979, *Electric power in american manufacturing*, University of Pennsylvania Dissertation (1964), New York: Arno Press
- Elzen, B., R. Hoogma, and J. Schot (1996): *Mobiliteit met Toekomst – Naar een vraaggericht technologiebeleid* (Mobility with a Future. Towards a demand-oriented technology policy), report to the Ministry of Traffic and Transport (in Dutch).
- Fletcher, R.A., 1910, *Steam-ships: The story of their development to the present day*, Philadelphia: J.B. Lippincott
- Foster, 1986, *Innovation: The attacker's advantage*, Summit Books: New York
- Freeman, C. and Soete, L., 1997, *The economics of industrial innovation*, Third Edition, Pinter: London, Washington (first edition published by Penguin Books, 1974)
- Geels, F.W., 1997, *Met de blik vooruit: Op weg naar socio-technische scenario's*, Rapport voor Mumford-projecten, Enschede: Universiteit Twente
- Geels, F.W., 1999, 'Technological transitions and socio-technical scenarios', in: Dolfsma, W., Geels, F.W., Kemp, R., Moors, E. and Rip, A., 1999, *Management of technology responses to the climate change challenge: Theoretical elaboration of the co-evolutionary 'technology-in-society' Perspective*, Deliverable 1 for the Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Chapter 5, pp. 105-130

Geels, F.W., 2000a, 'Sociotechnical scenarios as a tool for reflexive technology policies: using evolutionary insights from technology studies', in: Sorensen, K. and Williams, R. (editors), *Concepts, spaces and tools: Recent developments in social shaping research*, Commissioned Report for the European Commission

Geels, F.W., 2000b, *Turbojet transition in commercial aviation systems: 1930-1960*, Working document, Universiteit Twente, 72 p.

Geels, F.W., 2000c, *A technological transition in generation, transmission and use of power: From steam to electricity (1850-1920)*, Working document, Universiteit Twente, 77 p.

Geels, F.W., 2000d, *A technological transition in oceanic shipping: From sail to steam (1780-1890)*, Working document, Universiteit Twente, 107 p.

Graham, C., 1956, 'The ascendancy of the sailing ship, 1850-1885', *Economic History Review*, Vol. 9, August, pp. 74-88

Harley, C. Knick, 1988, 'Ocean freight rates and productivity 1740-1913: The primacy of mechanical invention reaffirmed', in: *Journal of Economic History*, Vol. 48 (December), pp. 851-876

Harrison, R.T., 1990, *Industrial organisation and changing technology in UK shipbuilding: Historical developments and future implications*, Aldershot [etc.] :Avebury; Gower Publishing Company

Hoogma, R., 2000, *Exploiting technological niches: Strategies for experimental introduction of electric vehicles*, proefschrift Universiteit Twente

Hoogma, R., R. Kemp, J. Schot and B. Truffer (2001), *Experimenting for Sustainable Transport Futures. The Approach of Strategic Niche Management*, forthcoming.

Hunter, L.C. and Lynwood Bryant, L., 1991, *A history of industrial power in the United States, 1780-1930, Vol. 3: The transmission of power*, Cambridge, MA [etc.] : The MIT Press

Islas, J., 1997, 'Getting around the lock-in in electricity generating systems: The example of the gas turbine', in: *Research Policy*, Vol. 26, pp. 49-66

Janssen, M., 1996, *Meeting Targets: Tools to support Integrated Assessment Modelling of global change*, proefschrift Universiteit Maastricht

Joerges, B., 1988, 'Large Technical Systems: Concepts and issues', in R. Mayntz and T.P. Hughes (eds.) *The Development of Large Technical Systems*, Frankfurt: Campus.

Kemp, R., and L. Soete, 1992, 'The Greening of Technological Progress: An Evolutionary Perspective', *Futures* 24(5): 437-457.

Kemp, R., 1994, 'Technology and the Transition to Environmental Sustainability. The Problem of Technological Regime Shifts', *Futures* 26(10): 1023-46.

Kemp, R., J. Schot, and R. Hoogma, 1998, 'Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management', *Technology analysis and strategic management*, Vol. 10, pp. 175-196

Kemp, R., A. Rip, and J. Schot, 1997, "Constructing Transition Paths Through the Management of Niches", forthcoming in: R. Garud & P. Karnoe, *Path Dependence and Creation* (Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

- La Porte, T. (ed), 1991, *Social responses to large technical systems: Control or anticipation*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Levinthal, D.A., 1998, 'The slow pace of rapid technological change: Gradualism and punctuation in technological change', in: *Industrial and Corporate Change*, Vol. 7, no.2, pp. 217-247
- Macleod, C., Stein, J. Tann, J. and Andrew, J., 2000, 'Making waves: The royal Navy's management of invention and innovation in steam shipping, 1815-1832', in: *History and Technology*, Vol. 16, pp. 307-333
- Mayntz, R. and Hughes, T.P. (eds), 1988, *The development of large technical systems*, Frankfurt: Campus
- Mokyr, J., 1990, *The lever of riches: Technological creativity and economic progress*, New York: Oxford University Press
- Mom, G., 1997, *Geschiedenis van de auto van morgen: Cultuur en techniek van de elektrische auto*, Proefschrift, Universiteit Nijmegen, Kluwer Bedrijfsinformatie BV, Deventer
- Nelson, Richard R., and Sidney G. Winter (1977), 'In Search of Useful Theory of Innovation', *Research Policy* 6, 36-76.
- Nelson, Richard R., and Sidney G. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge (Mass.): Bellknap Press.
- Nijholt, A. and Van den Ende, J., 1994, *Geschiedenis van de rekenkunst, van kerfstok tot computer*, Schoonhoven: Academic Service
- Nye, D., 1990, *Electrifying America: Social meanings of a new technology*
- Pollard, S. and Robertson, J., 1979, *The British shipbuilding industry, 1870-1914*, Cambridge, Mass and London, England, Harvard University Press
- Porter, M.E., 1990, *The competitive advantage of nations*, The Macmillan Press Ltd.
- Rip, A., and R. Kemp (1996): *Towards a Theory of Socio-Technical Change*, mimeo UT, report prepared for Batelle Pacific Northwest Laboratories, Washington, D.C. An edited version has been published as book chapter, 'Technological Change', in: Rayner, S., and E.L. Malone (1998): *Human Choice and Climate Change. An International Assessment*, Vol. 2, Batelle Press, Washington D.C., pp. 327-400.
- Rip, A., and R. Kemp (1998): "Technological Change", in: Rayner, S., and E.L. Malone (eds): *Human Choice and Climate Change*, Columbus, Ohio: Battelle Press, 1998. Volume 2, Ch. 6, pp. 327-399.
- Rosenbloom, R.S. and Cusumano, M.A., 1987, 'Technological pioneering and competitive advantage: The birth of the VCR industry', in: *California Management Review*, Vol. 29, nr. 4, pp. 51-76
- Sahal, D., 1985, 'Technological guideposts and innovation avenues', in: *Research Policy*, Vol. 14, pp. 61-82
- Schot, 1991, *Maatschappelijke sturing van technische ontwikkeling: Constructief Technology Assessment als hedendaags Ludisme*, proefschrift, Universiteit Twente, Enschede
- Schot, J., R. Hoogma, and B. Elzen, 1994, 'Strategies for Shifting Technological Systems. The case of the automobile system', *Futures*, Vol. 26, pp. 1060-1076.

Schot, J., A. Slob, and R. Hoogma (1996): *De invoering van duurzame technologie: Strategisch Niche Management als beleidsinstrument*, DTO werkdocument CST3.

Schot J.W., 1998, 'The Usefulness of Evolutionary Models for Explaining Innovation. The Case of the Netherlands in the Nineteenth Century', *History of Technology*, vol. 14, pp. 173-200.

Sloan, E.W., 1998, 'Private enterprise as public utility: The management of capital in two centuries of shipping business', in: Van Royen, P.C., Fischer, L.R., and Williams, D.M., *Frutta di Mare: Evolution and revolution in the maritime world in the 19th and 20th centuries*, Proceedings of the Second International Congress of Maritime History, 5-8 June, 1996, Amsterdam and Rotterdam, The Netherlands, Batavian Lion International, Amsterdam, pp. 89-100

Steg, L., 1999, *Verspilde energie: Wat doen en laten Nederlanders voor het milieu*, Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau

Summerton, J. (ed), 1994, *Changing large technical systems*, Boulder (CO): Westview Press

Te Riele, H.R.M., Duifhuizen, S.A.M., Hötte, M., Zijlsta, G., en Sengers, M.A.G., 2000, *Transities: Kunnen drie mensen de wereld doen omslaan?*, Rapport voor Ministerie van VROM, direct milieustrategie, Amersfoort: Twijnstra Gudde

Utterback, J.M., 1994, *Mastering the dynamics of innovation*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts

Van de Poel, I. (1998): *Changing Technologies. A comparative study of eight processes of transformation of technological regimes*, Twente University Press, Enschede, PhD thesis.

Van den Ende, J. and Kemp, R., 1999, 'Technological transformations in history: How the computer regime grew out of existing computing regimes', *Research Policy*, Vol. 28, pp. 833-851

Verbond, G.P.J. and Van Overbeeke, P., 1994, 'De compoundmachine', in: Lintsen, H.W. *et al.* (eds.), *Geschiedenis van de techniek in Nederland: De wording van een moderne samenleving, 1800-1890*, deel V, Stichting Historie der Techniek, Walburg Pers, Zutphen, pp. 222-241

Verbond, G., 2000, *De Nederlandse overheid en energietransities: een historisch perspectief*, achtergrond document bij ICIS-MERIT onderzoek Transities en transitie management, Eindhoven.

Ville, S.P., 1990, *Transport and the development of the European economy: 1750-1918*, Basingstoke [etc.]: Macmillan

Watson, W.J., 1997, *Constructing success in the electric power industry: Combined cycle gas turbines and fluidised beds*, Unpublished PhD thesis, Science Policy Research Unit, University of Sussex, England

Weber, M. and Hoogma, R., 1998, 'Beyond national and technological styles of innovation diffusion: A dynamic perspective on cases from energy and transportation sectors', in: *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol. 10, nr. 4, pp. 545-566

Weber, M., R. Hoogma, B. Lane, and J. Schot (1999): *Experimenting with Sustainable Transport Innovations. A workbook for Strategic Niche Management*, Seville/Enschede.

Weterings, R., Kuijper, J., Smeets, E., Annokkée, en Minne, B., 1997, *81 mogelijkheden: technologie voor duurzame ontwikkeling*, Eindrapport van de milieugerichte technologieverkenning, in opdracht

van Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, verricht door TNO-STB, TNO-MEP en CPB.