

Innovation in car mobility : coevolution of demand and supply under sustainability pressures

Citation for published version (APA):

Dijk, M. (2010). *Innovation in car mobility : coevolution of demand and supply under sustainability pressures*. Universitaire Pers Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20100923md>

Document status and date:

Published: 01/01/2010

DOI:

[10.26481/dis.20100923md](https://doi.org/10.26481/dis.20100923md)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

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

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Summary

In the last 20 to 30 years people have travelled more often and further. Worldwide, more people have obtained access to car and air transport, and road traffic movements have grown strongly. In Europe, total passenger road kilometres doubled since 1980. Alongside the gains in freedom to travel there are some clear drawbacks of the steady increase of road traffic. Our society, in particular urban areas, has been burdened with the severe impact of congestion, harmful emissions, traffic accidents, noise, scarcity of fossil fuels, and fragmentation of landscapes.

Policymakers at local, national and international levels have been challenged firmly to deal with these negative effects of car mobility. Mobility issues are multi-faceted, since they include social, economic, ecological as well as technological aspects. Policy concerns are typically interconnected and cross several policy fields. Societal stakeholders have conflicting perceptions of the problem, whereas gains and burdens of transport activities are distributed unevenly over various societal groups. Furthermore, the outcomes of transport policies are often difficult to understand, let alone predict.

Nevertheless, transport policies have been partially successful in the last 20 to 30 years. The increase of safety levels and decrease of polluting gases (such as particulate matter and nitrogen oxides) can be attributed directly to transport-related policies. However, some effects have remained critical or have even grown. Congestion levels in urban areas are growing, and greenhouse gas emissions from road transportation are steadily growing as well. It raises the question how policies concerning these two issues can be improved. Two innovations may play a prominent role in the mitigation of greenhouse gas emissions and congestion levels, respectively: car engine technology and Park-and-Ride facilities (P+R)⁵¹. Therefore it is relevant to study the emergence of these two innovations and the role of policy, since the deeper understanding of recent transport sectoral innovation dynamics may possibly enhance outcomes of transport policies.

In this thesis our aim is twofold. We aim to contribute to theories of innovation through the proposition of a co-evolutionary framework, and furthermore we aim to provide transport policy practitioners with additional insights in order to support policymaking in their sector, especially with respect to car engines and P+R.

Studies in various scientific disciplines and fields have addressed the emergence of new technology and innovation. Broadly there are three strands of literature. Although most economists treat innovation as just another investment opportunity, one strand originates from the Austrian economist Joseph Schumpeter (1883–1950), who bequeathed us with a scheme of technological change consisting of invention — the first practical demonstration of an idea; to innovation — the first commercial application of an invention to the market; to diffusion — the spread of the innovation into the market. In this tradition a new wave of economists revitalized evolutionary theorizing of innovation from the early 1980s onwards. Studies in this strand have explained the domination of a technology or practice in a sector as lock-in through path dependency. The models are, however, as yet less applied to consumer products in a changing social context. For consumer products symbolic meaning of products may play a significant role. Symbolic value is as a social connotation or meaning attributed to the product, and individual consumers will have a certain degree of inclusion in such a social construct. Though in itself a multi-dimensional phenomena, the construct may at a balance be positive or negative (even at

⁵¹ P+R is a service provided by a city to motorists who can park their vehicle at the edge of a city (centre) and continue their journey by means of public transport.

the same time for different groups of consumers), thus adding value in the eyes of a consumer, or reducing it. Progression of such connotation will affect the further development (supply side) and diffusion process (demand side) of the technology. There are currently few theories in this economic strand that incorporate this interaction of such social and technological aspects and as Pier Paolo Saviotti noticed, these dynamics are still poorly understood.

A second strand of innovation studies, innovation diffusion studies, is conceptually broader and originates from social geography, later adopted in marketing studies. The focus in most diffusion studies is on aggregate patterns, which are often found to be S-shaped. In the field of marketing the symbolic meaning or value that goods and innovations hold is well established, where it is typically distinguished from the functional value. The seminal work of Everett Rogers offers a typology of adopters based on when they adopt but does not offer a dynamic model of innovation diffusion in terms of endogenous and exogenous mechanisms.

A third strand of innovation literature originating from the sociology and history of technology, where authors have emphasized the social context in which technology is created and used. A key concept is the social construction of technology (SCOT, developed by Wiebe Bijker), where 'technology' is viewed not as an objective entity (as in economic and technical studies), but rather described 'through the eyes of social groups'. These authors demonstrated how various social interpretations of technology shape various directions of technological development.

Authors in the latter two strands have addressed the interaction of technology and social factors. Most recently Arie Rip and René Kemp elaborated on co-evolution of 'the social' and 'the technical', analysing the emergence, transformation and decay of socio-technical systems. Their 'multi-level' model of innovation distinguishes between the macro level of the sociotechnical landscape, the mesolevel regime, and the microlevel niche. Frank Geels added the key idea that radical innovations come about through interactions between processes at these three levels. That is: the breakthrough from niche to regime level occurs gradually, as a new technology 'branches' or 'penetrates' different application domains, before entering mainstream markets. These studies have highlighted more than previous studies the patterns in which established technologies are sometimes abandoned and overthrown by emerging niches. A number of scholars have argued that these studies have been less clear on why some niches are 'successful' in growing and even overtaking a regime, while other niches die. Interactions between niche and regime are claimed to be important, yet the interactions are not specified in terms of processes; feedback effects, such as scale and learning, and taste formation mechanisms are neglected. In this thesis we suggest a conceptual, co-evolutionary framework that highlights feedback effects and actor perspectives.

In **chapter 2** we elaborate our co-evolutionary approach to innovation, building upon the integrating bridge of evolutionary economics and sociology of technology, initiated by Rip, Kemp and Geels. We develop a micro-macro model (more familiar to the economic tradition), thus deviating from the three-levelled niche, regime and landscape model. At the micro level, the innovation is described through the eyes of stakeholders, whereas at macro level aggregated indicators such as total sales and prices are incorporated. We hold (groups of) actors as the basic element of analysis, stepping into their shoes, mapping their mental *framing* and attitudes. A frame is the way in which the innovation is described or interpreted by an actor. Further, in our scheme we extend the notion of feedback effects through scale and learning with the effect of consumer taste formation, including social connotation. We discuss the advantages and disadvantages of this approach for the notion of co-evolution. We aim to contribute to evolutionary economic co-evolutionary studies (in the neo-Schumpeterian tradition), as well as to co-evolutionary approaches in the broader field of innovation studies.

Before we perform two explanatory case studies in the core of this thesis, applying our co-evolutionary framework to the case of automotive engines and P+R, we amplify on our methodology (in **chapter 3**). Explanatory case studies are suitable for applying pre-defined

frameworks to a new case, testing causalities and explanatory value. As an input to our explanatory case studies we analyze the frames of the key stakeholders, employing a range of other methods, most notably discourse analysis (chapter 4) and questionnaire surveys (chapter 5 and 7). In addition to the explanatory case studies we develop scenarios, supported by a simulation model analysis (chapter 9).

Such a combination of methods has a few advantages. The simultaneous use of various methods can improve the quality and adequacy of a study considerably, and conclusions are usually more convincing if they are based on several different sources of information. Combining methods can compensate for one-sidedness. In complex issues, one method easily results in only partial explanation of a phenomenon, as in the blind men and the elephant tale. Combining methods has difficulties too. Integration of outcomes and knowledge elements is difficult to validate scientifically, and methods may have a similar bias. Although a theory on the use of different methods is still in development, we will include evidence from a range of methods in our explanatory case study, to facilitate the understanding of the multifaceted phenomena of the emergence of hybrid-electric vehicles and P+R.

In **chapter 4** we analyze how car users frame car engines. Car engines have been built on internal combustion (IC) technologies for more than hundred years now; however, in the last decade hybrid-electric engines have been successfully introduced. The coexistence of conventional and unconventional technologies raises the interesting question to what extent these different engine technologies are framed differently, and how they change over time. Studies of technological frames and mental models suggest that frames of established technologies are more obdurate. In this chapter we analyse technological frames of three types of car engines: the incremental innovation of the diesel engine, the unconventional electric and the hybrid-electric engine, and furthermore we study how these frames have shifted during market evolution between 1990 and 2005. We find that engines are framed rather differently. Frames of conventional diesel engines emphasize *engine capacity* (measured in kW), *engine volume* (measured in liters) and *torque* (measured in Nm), whereas for hybrids *fuel-efficiency* is by far the most prominent attribute. Further we find that the frame of the conventional engine (diesel) is more stable than that of an unconventional engine (hybrid and full-electric), which confirms the obduracy hypothesis that is raised in earlier studies of technological frames.

In **chapter 5** we analyze technological frames of car firms towards development of Ultra Low Emission Vehicles (ULEV). We examine the framing of firms by studying their belief systems and actual engagement. The central question is: Which underlying beliefs significantly drive the engagement in the development of ULEV technology? A second question concerns whether we can map out diversity between firms. We thus 'step into the shoes' of the car firms and analyse their social, business, technological and environmental considerations. In order to achieve enough focus, we will focus on hydrogen vehicle technology as an example of an ULEV. Scholars, industry strategists as well as policy makers acknowledge hydrogen as an important future energy carrier for transportation. The study reveals that different firms deal differently with hydrogen vehicle development. Broadly, three groups of firms were distinguished concerning their engagement level in ULEV: uncertain firms, unwilling firms and optimistic firms. In addition, it was found that the level of technological and organisational capabilities is highly correlated to the actual engagement of firms in hydrogen technology development: firm who consider their capabilities higher (lower), are stronger (weaker) engaged. Although firms differ in their engagement in hydrogen technology, we found no evidence from additional interviews that *frame-structures* of car firms towards hydrogen technology differ significantly, i.e. regarding the weights they attach to economic opportunity, environmental risk etc. All firms are part of the same global market, with fierce competition. All firms emphasize *business opportunities*, both immediate and future opportunities, when considering development of hydrogen technology. A main question for them is: do consumers expect and value cleaner engines? Secondary, their

relative position regarding competitors is important. Further, social expectations and pressures for novel technologies, such as hydrogen, affect R&D expenditures of firms to some extent, whereas emission regulation is a boundary condition that needs to be met.

In **chapter 6** we describe and explain the emergence of electric engines in the automobile market after 1990. Hybrid-electric vehicles have experienced a significant rate of growth in the last 10 years. This is remarkable, since the automotive sector is typically averse to the more radical technological change of engines. The internal combustion engine has been around for more than 100 years after all. In this chapter we provide rich descriptions of how and why propulsion technologies were developed and adopted after 1990, tagging the two levels of the framework. First we focus on aggregate patterns (sales levels and technological progress), while in the next section we address the micro level perspectives of stakeholders (firms, consumers, and regulators). Subsequently, the previous sections are integrated into a co-evolutionary framework. We discuss the role of techno-economic mechanisms alongside social and regulatory mechanisms (including the social meaning of an engine). The co-evolutionary analysis is novel in the integrated conception of actor perspectives, feedback effects and competition between products. We find three sources of lock-in through path dependency: from demand, supply as well as the regulatory side. We find that automotive engines were locked into an established trajectory of internal combustion technology sector due to techno-economic mechanisms, which produced inertia despite some sustainability pressures. In the 1990s the creation of a new innovation path of electric engines initially stalled, since the vehicles were broadly regarded as expensive and unpractical due to little autonomy, various stakeholders were unsuccessful in marketing their electric or hybrid-electric vehicles in the 1990s, such as Peugeot/Citroen with various electric models, or Audi with their Duo in 1997. However, after 2000 it recurred through hybrid-electric engines, mostly triggered by efforts of Toyota to find a new market, and stimulated by the gradual social formation of a positive connotation of hybrid-electric technology.

In **chapter 7** we study how P+R is framed by policy makers through a questionnaire survey amongst 45 major cities in Europe. Traffic congestion and the quality of the air in city centres is a major concern for urban planners. In recent years Park and Ride (P+R) facilities have been increasingly introduced by local authorities as an alternative for or addition to parking supply in the city centre. We study how deployment of P+R is framed by policy makers in the broader transport policy. The chapter offers three things. First, we report on present adoption levels of P+R in Europe. The survey outcomes reveal that P+R is adopted fairly unevenly across Europe. We find that a quarter of the responding cities are extensively engaged on implementing P+R, whereas another quarter has little or no engagement. It raises the question, if congestion is a problem present in most major cities across Europe, why adoption is so uneven? Therefore, secondly, we map out *diversity in framing* of P+R throughout European cities, by revealing current beliefs about P+R. We show how diversified policy-makers interpretation of P+R is. Thirdly, we track the salient beliefs underlying the policy frames that determine P+R implementation. Linear regression analysis suggests that *economic implications of P+R*, *perceived demand for P+R*, and *organisational learning capabilities* are the most important drivers for city governments whether or not to engage in P+R development, explaining 40% of the variance in their *actual engagement* in P+R deployment.

Chapter 8 explores the introduction of P+R as a niche solution and its potential transformative impact on urban mobility in two of the densest European states, UK and the Netherlands, dealing with similar urban sustainability problems. We examine three examples of implementation from each state: Oxford, York, Bristol, Amsterdam, Rotterdam and Utrecht. Our explanatory case study addresses the two-layers of the co-evolutionary framework, by describing P+R from the perspective of the city government and that of urban travellers (micro level), and further through aggregated indicators such as total parking availability and prices (macro level). The

framework is applied to examine how and why P+R was developed in the six cities and whether the introduction of P+R has contributed to *transition* towards low-traffic city centres. It is found that whilst in most cities there has been a shift in policy aims and implementation from providing more parking towards transfer of parking locations and influencing modal choice, no significant reduction in overall parking intensity as an outcome can be observed; P+R has been largely used as a way to provide more parking capacity.

In **chapter 9** we explore future scenarios of car engine technology with support of a simulation model. Whereas chapter four to eight were devoted to the recent history of our two cases, we now turn to the question: *what could happen?* We develop plausible but simplified descriptions of two possible trajectories. These descriptions involve both techno-economic aspects as well as the formation of social connotation. To consider the complex and uncertain dynamics between the latter and the former phenomena, we benefit from a simulation model analysis. Therefore we formalize the two-layered innovation framework (see section 2.4), and make it 'tailored' to the case of car engine innovation. We deliver a model, simulating the co-evolution of demand and supply, giving rise to various possible trajectories. We formalize stakeholder perspectives, based on the empirics of chapter 4, 5 and 6. The main duty of the model is to support the analysis of the role of social connotation in innovation dynamics. The model is applied, both in retrospect, and to explore the future, and draws lessons on the role of social connotation. In the model, actor behaviour is modelled explicitly on the basis of actor frames which shape the appraisal of technology options by potential adopters and by suppliers. The model is analytically novel by incorporating five feedback loops: interactive learning between suppliers and users, scale and learning economies, endogenous taste formation among consumers, and social learning (attribution of meaning). The model is applied to explore future diffusion scenarios of vehicle engines, though it starts with simulating recent historic trends (about 20 years), including the quick diffusion of direct fuel injection systems (for diesels) and slow diffusion of electric vehicles. It is shown that the success of hybrid electric vehicles critically depends on suppliers shifting towards HEV development and production (resulting in greater supply of refinement of (H)EV models) and on consumers valuing (hybrid-)electric vehicles more than environmentally improved diesel vehicles.

We have developed two narrative scenarios. In the first scenario the social connotation of (H)EV technology becomes predominantly positive, whereas ICE predominantly negative. Here we find a gradual increase of the state-of-the-art of electric propulsion, within 10 years surpassing the state-of-the-art of ICE. After the initial adoption of electric propulsion in a limited group of green consumers, wider adoption occurs after 2020.

In the second scenario new ICE versions acquire a similar positive connotation as (H)EV. Here, the state-of-the-art of ICE remains ahead of (H)EV, and after some adoption of electric models, even some green consumers shift back to refined versions of ICE.

In **chapter 10** we analyze what our co-evolutionary approach learns about the role of policy in the innovation process in the two cases. There are two main perspectives on environmental and innovation policy in the literature, the welfare perspective and an evolutionary perspective. We argue that in our two case studies policy instruments were mostly applied from a welfare perspective. In this perspective the instruments aim to spur innovation but in a technology-blind manner, leading mostly to adoption of existing technologies and incremental innovation.

In a (co-) evolutionary perspective, which conceptualizes alternative technologies as outeregime niches, it is not just a question of 'does an instrument spur innovation', but also: 'does an instrument spur innovation to refine the existing regime or does it spur an alternative trajectory'? Such a key question has not been investigated systematically by research and is given only scant attention by policy makers.

We have suggested options for evolutionary policy to promote the niche innovations in our two case studies, as these may mitigate the CO₂ and congestion issues with greater drive. As a red

line through the policy advice in both cases we find the suggestion to try and modulate innovation dynamics through a sectoral platform, which:

- Engages in *niche-regime coordination*: coordinate regime policies with bottom-up (niche) initiatives. Experience from local experiments should be shared for policy making at the (supra-)national level and there should be strategic experimentation for system innovation, two things that have happened only incidentally in the past.
- Deals with existing path-dependencies but in doing so avoids getting locked into suboptimal solutions. This calls for anticipation of outcomes and the use of markets for coordination and context control instead of planning. A second way of circumventing lock-ins is by exploring different configurations through support of a *portfolio of niches*, instead of supporting just one alternative.

In **chapter 11** we summarize the key findings by answering the five research questions: (1) How to combine SCOT and evolutionary economics?, (2) Is a co-evolutionary approach reasonable and relevant for studying the emergence of (H)EVs and P+R?, (3) Can we measure user frames and social connotations of innovations and incorporate the results in computer simulations and in historic-analytical analyses of socio-technical change?, (4) Does the incorporation of competing technologies in a diffusion model lead to different results?, and (5) What is the value of a co-evolutionary conceptualization of innovation dynamics for policy? In summary we find that the main merit of our co-evolutionary, micro-macro approach lies in the integration of consumers and firms, and competition between technologies. Therefore, this approach helps to highlight dynamics between consumers (and demand structures) and suppliers (and supply structures). Other studies have addressed the development of (H)EV or P+R, but typically with a narrower focus, focusing only on supply, while ignoring consumers and user, or vice versa.

Limits to our methodology are the requirement for a significant amount of micro level data (time series of actor frames and attitudes), which is for many cases rather difficult to obtain. Also, it is hard to determine the relative speed of the various feedback loops in each case. These should probably be assessed through expert opinion or participation of stakeholders.

Our approach has been less successful in highlighting the social and political dynamics *within* the city or (supra-) national authority and *within* car companies. More than being a single homogeneous entity, the government authorities are composed of departments (economy, transport, environment etc.) as well as a city council or parliament, who are lobbied by stakeholders and sensitive to their own constituencies and professional groups. Within firms various departments (business development, environmental affairs, research etc.) may have conflicting opinions on the best strategy to go. In our analysis we have left out such dynamics, and just addressed the policies and regulation that passed the city council, or R&D investment and product launches that we undertaken by car firms. In future research this part of our framework needs to be elaborated. Also, the character of learning and economies-of-scale at local governments should be further elaborated. For both these issues, we see the co-evolutionary framework as a good starting point.

Samenvatting

In de afgelopen 20 à 30 jaar zijn mensen vaker en verder gaan reizen. Wereldwijd hebben meer mensen toegang tot weg- en luchttransport, en wegverkeersbewegingen zijn sterk toegenomen. In Europa is het totaal aantal passagierskilometers over de weg sinds 1980 meer dan verdubbeld. Naast de pracht van een toegenomen vrijheid om te reizen is er ook een schaduwkant aan het groeiende wegverkeer. Onze samenleving, in het bijzonder het leven in de stad, wordt flink belast met neveneffecten zoals files, schadelijke uitlaatgassen, verkeersongelukken, geluid, gebruik van schaarse fossiele brandstoffen en doorsnijding van het landschap.

Beleidsmakers op lokaal, nationaal, en internationaal niveau zijn sterk uitgedaagd om de neveneffecten van automobilititeit aan te pakken. Verkeersvraagstukken zijn vaak divers en hebben verschillende aspecten, zoals sociale, economische, ecologische en technische facetten. Verkeer- en vervoersbeleid raakt aan al die aspecten, en doorkruist daarmee vaak verschillende bereidterreinen. Verschillende groepen in de samenleving hebben een andere kijk op wat precies een probleem is, en de lusten en lasten van het toenemende verkeer zijn ongelijk over de verschillenden groepen verdeeld. Ook zijn de uitkomsten en effecten van verkeersbeleid vaak moeilijk te doorzien, laat staan te voorspellen.

Niettemin is transportbeleid in de afgelopen 20 à 30 jaar gedeeltelijk succesvol geweest. De daling van dodelijke ongevallen en van de uitstoot van vervuilende deeltjes en gassen (zoals fijn stof en stikstofoxiden) kunnen er direct aan worden toegeschreven. Toch zijn sommige negatieve neveneffecten van wegtransport kritiek gebleven of zelf verergerd. Het congestieniveau in stedelijke gebieden is gegroeid en de uitstoot van broeikasgassen evenzo. Dit doet de vraag rijzen hoe beleid rond deze twee zaken verbeterd kan worden. Twee innovaties in het bijzonder zouden hierin een rol kunnen spelen: respectievelijk automotortechniek en parkeer-en-reis (P+R) voorzieningen⁵². Daarom is het relevant om de opkomst van deze twee innovaties te bestuderen en de rol van beleid daarin: een beter begrip van de innovatie dynamica in de sector zou immers de uitkomsten van transport beleid kunnen verbeteren.

Het doel van dit proefschrift is tweeledig. We beogen een bijdrage aan innovatie theorie door het voordragen van een raamwerk voor co-evolutie van vraag en aanbod. Daarnaast beogen we een bijdrage aan transportbeleidprofessionals, vooral aan hen die te maken hebben met beleid rond de automotor en P+R.

Studies in verschillende wetenschappelijke disciplines en velden hebben een bijdrage geleverd aan theorie over innovatie en de opkomst van nieuwe techniek. Grofweg zijn er drie stromingen in de literatuur. Alhoewel de meeste economen innovatie eenvoudigweg behandelen als één van de investeringsmogelijkheden, is de eerste stroming ontstaan uit het werk van de Oostenrijkse econoom Joseph Schumpeter (1883-1950), die ons een schema over technische verandering heeft nagelaten wat achtereenvolgens bestaat uit: uitvinding - de eerste praktische demonstratie van een idee; uit innovatie - de eerste commerciële toepassing van een uitvinding; en uit diffusie - de verspreiding van de innovatie over de markt. In deze traditie hebben een nieuwe reeks economen zogenaamde evolutionaire theorieën een nieuwe impuls gegeven na 1980. Studies in deze richting hebben de dominantie van een bepaalde techniek of werkwijze in een sector verklaard als technologische insluiting ('lock-in') door padafhankelijkheid. De modellen zijn echter op dit moment nog weinig toegepast op consumenten producten in een veranderende sociale context. Voor consumenten kan de symbolische waarde van een product

⁵² P+R is een voorziening voor automobilisten waar ze hun auto kunnen parkeren aan de rand van de stad (of het stadscentrum) en hun reis kunnen vervolgen per openbaarvervoer of publieke fiets.

een belangrijke rol spelen. Symbolische waarde is als een sociale betekenis toegekend aan een product, en individuele consumenten zullen in een bepaalde mate deelgenoot zijn van het sociale construct. Alhoewel het construct een multi-dimensionaal fenomeen is, zal het (per saldo) een positieve of negatieve klank hebben (mogelijk op het zelfde moment voor verschillende groepen consumenten) en dus waarde toevoegen aan de functionele waarde of verminderen in de ogen van consumenten. De formatie en reformatie van die sociale betekenis zal zowel de technische ontwikkeling (aanbod zijde) als het diffusie proces (vraag zijde) van de innovatie beïnvloeden. Op dit moment zijn er weinig theorieën in deze economische stroming die de interactie tussen sociale en technische aspecten meenemen en, zoals Pier Paolo Saviotti opmerkt, is het begrip van deze dynamica nog gebrekkig.

Een tweede stroming binnen innovatie studies, innovatie diffusie studies, is conceptueel breder en is voortgekomen uit de sociale geografie en later opgenomen in marketing studies. De focus van de meeste diffusie studies is op aggregate patronen, welke vaak S-vormig blijken te zijn. Symbolische waarde van producten is in deze stroming een gevestigde notie, welke veelal wordt onderscheiden van de functionele waarde. Het baanbrekende werk van Everett Rogers levert een typologie van innovatie adopters op basis van *wanneer* ze adopteren, maar levert geen dynamisch model van innovatie diffusie in termen van endogene en exogene mechanismen.

Een derde stroming in de innovatie literatuur komt voort uit de sociologie en geschiedenis van de techniek, waarin auteurs de sociale context waarin een techniek is ontworpen en wordt gebruikt hebben benadrukt. Een kernbegrip is de sociale constructie van techniek (SCOT van Wiebe Bijker), waarbij techniek niet wordt gezien als een objectieve entiteit (zoals in economische en technische studies), maar wordt beschreven 'door de ogen van maatschappelijke groepen'. Deze auteurs laten zien hoe verschillende sociale interpretaties van een techniek, richting geven aan verschillende paden van technische ontwikkeling van die techniek.

Auteurs in de laatste twee stromingen hebben ook de interactie van technische en sociale factoren behandeld. Meest recent hebben Arie Rip en Rene Kemp co-evolutie van 'het sociale' en 'het technische' uitgewerkt, en daarmee de opkomst, transformatie en het verval van socio-technische systemen geanalyseerd. Hun 'multi-level' model van innovatie onderscheidt het macro niveau van het socio-technische landschap, het regiem op meso niveau en niches op het micro niveau. Frank Geels heeft de notie toegevoegd dat radicale innovaties voortkomen uit interactie tussen processen op deze drie niveaus. Dat wil zeggen: de doorbraak van een niche tot een regiem geschied geleidelijk, wanneer een nieuwe techniek zich vertakt en doordringt in verschillende toepassingsdomeinen, voordat het op de mainstream markt komt. Deze studies hebben, meer dan eerdere studies, het licht geworpen op patronen waarin gevestigde technieken soms worden verlaten en overvleugeld worden door nieuwe (voormalige niche) technieken. Een aantal innovatie onderzoekers heeft echter betoogd dat deze studies minder duidelijk zijn over waarom sommige niches 'succesvol' zijn in het groeien en omverwerpen van het regiem, terwijl (vele) andere niches een stille dood sterven. Interacties tussen niche en regiem worden belangrijk genoemd, maar deze interacties zijn nog weinig uitgewerkt in termen van processen en terugkoppel-effecten, zoals schaalvoordelen, leerprocessen en smaakvormingsmechanismen van consumenten. In dit proefschrift bieden we een co-evolutionair raamwerk aan wat de nadruk legt op terugkoppel-effecten en actor perspectieven.

In **hoofdstuk 2** werken we ons co-evolutionaire raamwerk uit, voortbouwend op de brug tussen evolutionaire economie en sociologie van de techniek welke Rip, Kemp en Geels begonnen zijn. We ontwikkelen een micro-macro model (meer gebruikelijk in de economie), en laten dus het niche, regiem en landschap model even links liggen. Op ons micro niveau wordt de innovatie beschreven door de ogen van belanghebbenden ('stakeholders'), terwijl op het macro niveau aggregate indicatoren zoals totale verkopen en prijzen worden meegenomen. We nemen (groepen van) actoren als het basis element van de analyse, stappen in hun schoenen (op het micro niveau) en brengen hun mentale voorstellingen ('frames') en attitudes van de innovatie in

kaart. We zien een frame als de manier waarop de innovatie wordt geïnterpreteerd door een actor. Vervolgens breiden we de notie van terugkoppelleffecten door schaal- en leerprocessen uit met de smaakvorming van consumenten, inclusief de sociale betekenis van een product. We bediscussiëren de voor- en nadelen van deze benadering voor de notie van co-evolutie. We beogen hiermee een bijdrage aan de co-evolutionaire studies in de evolutionaire economie (in de Neo-Schumpeteriaanse traditie), alsmede aan co-evolutionaire benaderingen in het bredere veld van innovatie studies.

Voordat we in de kern van dit proefschrift twee verklarende gevalstudies uitwerken, waarbij het co-evolutionaire raamwerk wordt toegepast op de casus automotor en P+R, etaleren we de onderzoeksmethodologie (**hoofdstuk 3**). Verklarende gevalstudies (*explanatory casestudies*) zijn geschikt voor het toepassen van vooraf gedefinieerde raamwerken op een nieuwe casus, waarbij causaliteiten en verklarende waarde worden getest. Als input voor de gevalstudies analyseren we de frames van de meest relevante belanghebbenden, waarbij we een aantal andere onderzoeksmethoden gebruiken, zoals discours analyse (hoofdstuk 4) en vragenlijstenonderzoek (hoofdstuk 5 en 7). Aansluitend aan de verklarende gevalstudies ontwikkelen we toekomst scenario's, ondersteund door een simulatiemodel analyse (hoofdstuk 9).

Zo een combinatie van methoden heeft een aantal voordelen. Het gebruik van verschillende methoden in samenhang kan de kwaliteit en adequaatheid van een onderzoek aanzienlijk vergroten, en conclusies zijn vaak overtuigender als ze gebaseerd zijn op een aantal verschillende bronnen. Het combineren van methoden kan compenseren voor eenzijdigheid. In complexe kwesties leidt een enkele methode gemakkelijk tot een deelverklaring van een fenomeen, zoals in de parabel van de blinde mannen en de olifant. Het combineren van methoden brengt ook moeilijkheden met zich mee. Integratie van uitkomsten en kenniselementen is moeilijk wetenschappelijk te valideren, en methoden kunnen een zelfde *bias* hebben. Alhoewel een theorie over het gezamenlijk gebruik van verschillende onderzoeksmethoden nog in ontwikkeling is, nemen we in dit proefschrift resultaten uit een aantal methoden mee (als input) in onze gevalstudies, ten dienste van het begrip van de veelzijdige fenomenen van de opkomst van (hybride-)elektrische voertuigen en P+R.

In **hoofdstuk 4** analyseren we hoe gebruikers van auto's de automotor 'framen' (dat wil zeggen: mentaal voorstellen). Automotoren zijn al meer dan 100 jaar gebaseerd op interne verbrandingstechniek; echter, in het laatste decennium zijn hybride-elektrische motoren succesvol geïntroduceerd. Het naast elkaar bestaan van een conventionele en onconventionele techniek doet de interessante vraag rijzen in hoeverre deze (technisch) verschillende motoren ook verschillend worden geframed, en hoe dit door de tijd heen verandert. Studies over technologische frames suggereren dat frames van gevestigde technieken meer star zijn. In dit hoofdstuk analyseren we technologische frames van drie type automotoren: de incrementele innovatie van de dieselmotor, de onconventionele elektrische en hybride-elektrische motor, en vervolgens bestuderen we hoe deze frames veranderd zijn tussen 1990 en 2005. We vinden uit de analyse dat de motoren nogal verschillend worden geframed. Frames van de conventionele dieselmotor benadrukken *motorvermogen* (uitgedrukt in kW), *motorvolume* (uitgedrukt in liter) en *motor-koppel* (uitgedrukt in Nm), terwijl bij hybride motoren *brandstofverbruik* (km per liter) op afstand het meest voorname attribuut is. Verder suggereren onze bevindingen dat het frame van de conventionele motor (diesel) meer stabiel is door de tijd dan een onconventionele motor (hybride en elektrisch), wat de hypothese uit eerder onderzoek bevestigt.

In **hoofdstuk 5** analyseren we technologische frames van autobedrijven in de ontwikkeling van ultra schone voertuigen (zogenaamde ultra low emission vehicles, ULEV). We bekijken de frames van bedrijven door hun systeem van overtuigingen te onderzoeken, alsmede hun (door henzelf gestelde) daadwerkelijke toewijding aan de ULEV ontwikkeling. De centrale vraag is: welke overtuigingen dragen significant bij aan de toewijding aan de ontwikkeling van ULEVs? Een tweede vraag is in hoeverre we diversiteit hierin tussen de bedrijven in kaart kunnen brengen.

We stappen dus in de schoenen van autobedrijven en analyseren hun zakelijke ('business'), technische, sociale en milieu overtuigingen. Om voldoende focus te verkrijgen in de analyse, concentreren we ons in dit hoofdstuk op waterstoftechniek, als een voorbeeld van een ULEV. Veel wetenschappers, industrie strategen en beleidsmakers zien waterstof als een belangrijke toekomstige energiedrager in transport. Uit onze studie blijkt dat verschillende bedrijven verschillend omgaan met de ontwikkeling van waterstof voertuigen. Grofweg kunnen drie groepen onderscheiden worden op basis van hun toewijding aan ULEV ontwikkeling: onzekere bedrijven, onwillige bedrijven, en optimistische bedrijven. Verder suggereren onze resultaten dat technische en organisatorische competenties gecorreleerd zijn aan de toewijding aan de ontwikkeling van waterstof voertuigen: bedrijven die hun capaciteiten hoger (lager) inschatten, zijn sterker (zwakker) geëngageerd in de ontwikkeling. Alhoewel bedrijven verschillende afwegingen maken rond waterstof, vinden we geen verschillen in de framestructuur van autobedrijven, dat wil zeggen het gewicht wat ze hangen aan economische kansen en milieu-overwegingen, etc. Alle bedrijven zijn onderdeel van een globale markt met scherpe concurrentie, en allen benadrukken ze daarom *business opportunities*, zowel op dit moment als in de toekomst. Een belangrijke vraag voor hen is daarom: verwachten en waarderen consumenten schonere motoren? Ten tweede is hun relatieve positie ten opzichte van concurrenten belangrijk. Tenslotte beïnvloeden sociale verwachtingen en druk op nieuwe (schone) techniek, zoals waterstof, hun R&D uitgaven enigszins, terwijl emissie regulering een randvoorwaarde is waar aan voldaan moet worden (nu en in de toekomst).

In **hoofdstuk 6** beschrijven en verklaren we de opkomst van elektrische motoren op de automarkt na 1990. Hybride-elektrische voertuigen hebben een significante groei laten zien in de afgelopen tien jaar. Dit is opmerkelijk, aangezien de automobiel sector een karakteristieke aversie heeft tegen radicale technische verandering van motoren. De interne verbrandingsmotor is immers al bijna 100 jaar dominant. In dit hoofdstuk geven we een veelzijdige beschrijving van hoe en waarom aandrijftechnieken zijn ontwikkeld en verkocht na 1990, waarbij we de twee lagen van het co-evolutionaire raamwerk volgen. Eerst concentreren we ons op de aggregate patronen (zoals verkoopaantallen en technische voortgang), terwijl in de volgende sectie de perspectieven van de meest relevante belanghebbenden beschreven worden (bedrijven, consumenten, beleidsmakers). Vervolgens worden voorgaande secties geïntegreerd in een co-evolutionair raamwerk. We besdiscussiëren de rol van technisch-economische mechanismen naast die van sociale mechanismen (inclusief de sociale betekenis van een motor), en de rol van beleid daarin. De co-evolutionaire analyse is nieuw in de integrale voorstelling van actor perspectieven, terugkoppel-effecten en competitie tussen producten. De analyse suggereert dat automotoren zijn ingesloten in een traject van de interne verbrandingsmotor ('lock-in') door padafhankelijkheid wat oorzaken heeft aan zowel de aanbod zijde, vraagzijde en de zijde van de regulering. Door een interactie van de vraag- en aanbodzijde hebben technisch-economische mechanismen stabiliteit of traagheid geboden aan het traject van de interne verbrandingsmotor ondanks de groeiende maatschappelijke aandacht voor duurzamer geachte alternatieven. In de jaren '90 bleef een opkomend innovatietraject van elektrische motoren aanvankelijk steken, toen elektrische voertuigen veelal duur en onpraktisch (als gevolg van hun kleine bereik) gevonden werden. Verschillende bedrijven waren onsuccesvol in het op de markt brengen van hun elektrische en hybride-elektrische voertuigen, zoals Peugeot/Citroen met verschillende elektrische modellen na 1995 en Audi met hun Duo in 1997. Echter, na 2000 kwam het traject weer op in de vorm van hybride-elektrische voertuigen, vooral door activiteiten van Toyota wat op zoek ging naar nieuwe markten voor hun competenties rond elektrische motoren, en gestimuleerd door het geleidelijk ontstaan van positieve sociale betekenis van hybride-elektrische technologie.

In **hoofdstuk 7** bestuderen we hoe P+R wordt geframed door beleidsmakers, door middel van een vragenlijst die door 45 grote steden in Europa is ingevuld. In de stad zijn verkeersdrukte en

kwaliteit van de lucht belangrijke kwesties voor de ruimtelijke planning. In de afgelopen jaren zijn Parkeer-en-Reis (P+R) voorzieningen in toenemende mate geïntroduceerd door lokale overheden als een alternatief voor of uitbreiding op het parkeeraanbod in het centrum. We onderzoeken hoe P+R als beleids optie wordt geframed in het bredere transportbeleid. Het hoofdstuk levert drie zaken op. Als eerste rapporteren we over het huidige adoptieniveau van P+R in Europa. De resultaten laten zien dat P+R vrij ongelijkmatig over het continent verspreid is. Een kwart van de steden is uitvoerig bezig met de ontwikkeling van P+R, terwijl een ander kwart weinig of niets met P+R doet. Dit doet de vraag rijzen: als congestie in vrijwel alle steden een probleem is, waarom is de adoptie van P+R dan zo ongelijkmatig? Daarom, als tweede, schetsen we de diversiteit in de manier waarop P+R geframed wordt, door de overtuigingen rond P+R in de verschillende steden expliciet te maken. We laten zien hoe divers beleidsmakers P+R interpreteren. Ten derde analyseren we of sommige overtuigingen voorname zijn dan anderen bij het besluit om P+R te ontwikkelen. Een lineaire regressie analyse suggereert dat de *economische implicaties van P+R, gepercipieerde vraag voor P+R* en de *vaardigheden om als organisatie te leren* de meest voorname factoren zijn voor lokale overheden om wel of niet betrokken te zijn bij de ontwikkeling van P+R, omdat deze drie factoren zo'n 40% van de variantie in daadwerkelijke betrokkenheid verklaren.

Hoofdstuk 8 bestudeert de introductie van P+R en haar potentiële transformerende impact op stedelijke mobiliteit in twee van de landen met de hoogste bevolkingsdichtheid in Europa, Nederland en het Verenigd Koninkrijk, die te maken hebben met vergelijkbare stedelijke duurzaamheidsproblemen. We bekijken drie voorbeelden van P+R implementatie uit ieder land: Oxford, York en Bristol, Amsterdam, Rotterdam en Utrecht. Onze verklarende gevalstudie volgt de twee lagen van het co-evolutionaire raamwerk door P+R te beschrijven vanuit het perspectief van de stadsoverheid en dat van de reizigers (micro niveau), en vervolgens door aggregate indicatoren zoals totale beschikbaarheid van parkeerplaatsen en parkeertarieven (macro niveau). Het raamwerk wordt toegepast om te bestuderen hoe en waarom P+R wordt ontwikkeld in de zes steden en of de introductie van P+R heeft bijgedragen aan een *transitie* naar een centrum met een lage (auto)verkeersintensiteit. Onze bevindingen laten zien dat alhoewel er in de meeste steden een verschuiving is geweest in beleid van het voorzien in meer parkeerplaatsen naar het verplaatsen van parkeerlocaties en het beïnvloeden van modaliteitkeuzes, er geen significante verlaging is te zien in de algemene parkeerintensiteit; P+R heeft vooral geleid tot een uitbreiding van het parkeeraanbod.

In **hoofdstuk 9** exploreren we toekomst scenario's van automotortechneek, ondersteund door een simulatiemodel. Waar hoofdstuk 4 tot 8 zich richten op het recente verleden, richten we ons nu op de vraag: *wat zou er kunnen gebeuren?* We ontwikkelen plausibele maar gesimplificeerde beschrijvingen van twee mogelijke toekomsten. Deze beschrijvingen betreffen zowel technisch-economische aspecten alsmede de vorming van sociale betekenis van een techniek. Om rekening te houden met de complexe en onzekere dynamica tussen de twee type fenomenen, gebruiken we een simulatie analyse. Hiertoe formaliseren we het twee-lagen raamwerk en maken we het op maat voor de casus van de automotor. Dit levert een model wat de co-evolutie van vraag en aanbod simuleert met als uitkomst verschillende mogelijke trajecten. We formaliseren stakeholder perspectieven gebaseerd op de empiri uit hoofdstuk 4, 5 en 6. De voornaamste rol van het model is de analyse van de rol van sociale betekenis in de innovatie dynamica. Hiervoor wordt het model toegepast, zowel retrospectief als met het oog op de toekomst, om lessen te trekken over de rol van sociale betekenis. In het model is het gedrag van actoren expliciet gemodelleerd op basis van de actor frames, welke de waardering van de technische opties kleuren, zowel voor potentiële consumenten als producenten. Het model is analytisch vernieuwend omdat het vijf terugkoppelmechanismen meeneemt: schaal- en leervoordelen, interactief leren tussen producten en consumenten, endogene smaakvorming van consumenten, en de formatie van sociale betekenis. Het model wordt toegepast om

toekomstige diffusie scenario's van automotoren te schetsen, terwijl het begint met het simuleren van de recente historie (ongeveer 20 jaar), inclusief de snelle diffusie van directe inspuitssystemen (voor diesels) en de langzame diffusie van elektrische voertuigen. De analyse suggereert dat het succes van (hybride-)elektrische voertuigen vooral afhangt van de mate waarin producenten hun onderzoek- en ontwikkelingswerk hierop richten (resultierend in een groter en kwalitatief verbeterend aanbod van (hybride-)elektrische modellen) en op het aandeel consumenten dat (hybride-)elektrische modellen hoger waardeert dan schonere diesels.

We hebben twee narratieve scenario's ontwikkeld. In het eerste scenario wordt de sociale betekenis van (H)EV technologie wijdverbreid positief, terwijl ICE negatief wordt. Hier vinden we de gestage voortgang van de state-of-the-art van elektrische aandrijftechniek, welke binnen tien jaar de state-of-the-art van ICE inhaalt. Na de initiële adoptie van (hybride-)elektrische voertuigen in een beperkte groep groene consumenten, vind er bredere adoptie plaats na 2020. In het tweede scenario verwerven nieuwe ICE versies een vergelijkbaar positieve sociale betekenis als (H)EV. Hier blijft de state-of-the-art van ICE die van (H)EV vooruit, en na de adoptie van enkele (hybride-)elektrische modellen, schuiven zelfs de groene consumenten terug naar vernieuwde ICE modellen.

In **hoofdstuk 10** analyseren we wat onze co-evolutionaire benadering leert over de rol van beleid in het innovatie proces in de twee cases. Er zijn twee voorname perspectieven op milieu- en innovatiebeleid in de literatuur: het welvaartperspectief en het evolutionaire perspectief. We beargumenteren dat in onze twee cases beleidsinstrumenten vooral zijn toegepast vanuit een welvaartperspectief. In dit perspectief beogen instrumenten innovatie te stimuleren op een techiek-blinde manier, wat vooral leidt tot de adoptie van bestaande technieken en incrementele innovatie. In een (co-)evolutionair perspectief worden onconventionele technieken gezien als niches buiten het regiem en is het niet alleen de vraag of een instrument innovatie stimuleert, maar ook of het instrument innovatie stimuleert in het bestaande regiem of in een alternatief niche traject. Zo een vraag is nog niet systematisch onderzocht en heeft slechts gebrekkig aandacht gekregen van beleidsmakers.

We schetsen mogelijkheden voor evolutionair beleid om niche innovatie in onze twee cases te stimuleren. Als een rode lijn door het beleidsadvies in beide cases zit de suggestie voor de vorming van een sector platform, wat de innovatie dynamica in de sector kan beïnvloeden door:

- zich te richten op niche-regiem interactie: het coördineren van regiem beleid met bottom-up (niche) initiatieven.
- rekening te houden met bestaande padafhankelijkheden, maar daarbij voorkomen opnieuw ingesloten te worden in suboptimale oplossingen, bijvoorbeeld door de ondersteuning van een portfolio van niches.

In **hoofdstuk 11** worden de voornaamste bevindingen samengevat door het beantwoorden van de vijf onderzoeksvragen: (1) hoe kan het evolutionair economische perspectief verrijkt worden met SCOT? (2) Is een co-evolutionaire benadering relevant voor het bestuderen van de opkomst van (H)EV en P+R? (3) Kunnen we consumenten frames en de sociale betekenis van innovaties meten en meenemen in computer simulaties en in historisch verklarende gevalstudies van socio-technische verandering? (4) Leid het meenemen van concurrerende technieken in een diffusie model tot andere resultaten? en (5) Wat is de waarde van een co-evolutionair raamwerk voor beleid? Samengevat vinden we dat de belangrijkste waarde van een co-evolutionaire, micro-macro benadering ligt in de integratie van consumenten en producenten en competitie tussen technieken. Daardoor helpt deze benadering het licht te werpen op de dynamica tussen consumenten (of: vraagstructuren) en producten (of: aanbodstructuren). Andere studies hebben de ontwikkeling van (H)EV en P+R ook behandeld, maar typisch met een nauwere focus; dan wel op het aanbod gericht met verwaarlozing van consumenten, dan wel vice versa.

Begrenzings van onze methodologie liggen in de noodzaak voor een behoorlijke hoeveelheid micro niveau data (zoals gegevens over de actor frames en attitudes, liefst als tijdreeksen), wat

voor vele gevallen vrij lastig te verkrijgen is. Ook is het moeilijk om de relatieve sterkte tussen de terugkoppelmechanismen te bepalen in iedere casus. Deze moeten waarschijnlijk gevonden worden door het raadplegen van experts of door participatieve sessies met belanghebbenden.

Onze benadering is minder succesvol in het belichten van de sociale en politieke dynamica *binnen* de lokale of (supra-) nationale overheid en *binnen* een autobedrijf. Meer dan een enkelvoudige en homogene organisatie is een overheidsorganisatie opgebouwd uit departementen (economische zaken, transport, milieu, etc.) alsmede een wetgevende en controlerende gemeenteraad of parlement, en deze staan allemaal onder invloed van lobby activiteiten door belangengroepen, hun achterban of beroepsgebruiken. Ook in bedrijven kunnen er verschillen van visie zijn tussen departementen (marktontwikkeling, onderzoek, milieuzaken, etc.) over wat de beste strategie is. In onze analyses hebben we deze dynamica weggelaten en enkel gekeken naar het beleid wat door de gemeenteraad werd goedgekeurd, of naar het investering- en productbeleid wat een autobedrijf voerde. In toekomstig onderzoek moet dit deel van het raamwerk beter uitgewerkt worden. Ook zullen leerprocessen en schaalvoordelen bij een lokale overheid beter uitgewerkt moeten worden. Voor deze beide zaken zien we het co-evolutionaire raamwerk als een geschikt startpunt.

