

# Effecten van klimaatverandering op verkeer en vervoer



Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid



# **Effecten van klimaatverandering op verkeer en vervoer**

**Implicaties voor beleid**

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

April 2008

Harry van Ooststroom  
Jan Anne Annema  
Joost Kolkman

---

*Meer weten over mobiliteit. Dat is waar het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) zich mee bezig houdt. Het KiM is opgericht op 1 september 2006. Als zelfstandig instituut binnen het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) maakt het KiM verkenningen en beleidsanalyses voor mobiliteitsbeleid waarmee de strategische basis voor dat beleid wordt versterkt.*

Tekst:  
Harry van Ooststroom, Jan Anne Annema en Joost Kolkman

Verzorging omslag: 2D3D, Den Haag/Arnhem  
Verzorging binnenwerk: SSO Repro Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
ISBN: 978-90-8902-023-9

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid  
Jan van Nassastraat 125  
2596 BS Den Haag

Postbus 20901  
2500 EX Den Haag

Telefoon : 070 351 1965  
Fax : 070 351 7576

Website : [www.kimnet.nl](http://www.kimnet.nl)  
E-mail : [info@kimnet.nl](mailto:info@kimnet.nl)

---

# Inhoudsopgave

---

## **Samenvatting 5**

### **1. Inleiding 9**

### **2. Klimaatverandering en effecten 11**

2.1 Klimaatscenario's 11

2.2 Beschouwde aspecten verkeer en vervoer 13

2.3 Effecten via ruimtelijke ordening en bescherming  
waterveiligheid 14

### **3. Effecten en adaptatie verkeer en vervoer 17**

3.1 Aanleg, onderhoud en beschikbaarheid infrastructuur 17

3.1.1. Wegen 17

3.1.2. Spoor 19

3.1.3. Luchthavens 19

3.1.4. Binnenlandse vaarwegen en zeehavens 21

3.2 Vraagzijde en overige effecten verkeer en vervoer 23

3.2.1. Behoefte, gebruik en vervoerswijzekeuze personenvervoer 23

3.2.2. Behoefte, gebruik en vervoerswijzekeuze goederenvervoer 24

3.2.3. Bereikbaarheid en congestie 24

3.2.4. Verkeersveiligheid 24

3.2.5. Geluid en uitstoot 25

3.3 Samenvatting effecten klimaatverandering op verkeer en  
vervoer 26

### **4. Beleidsimplicaties 29**

## **Summary 33**

## **Geraadpleegde bronnen 37**

---

---

### **Klimaatverandering heeft effecten op verkeer en vervoer**

Klimaatverandering zal effecten hebben op verkeer en vervoer, zo laat dit rapport zien. Te denken valt aan: extra spoorvorming op wegen, meer klemmende brugopeningen en sluizen en toename van vaarbepkeringen voor de binnenvaart. De meeste effecten doen zich in ons huidige klimaat ook al voor, zij het in mindere mate. Vanuit bestaand beleid kan daarom op de effecten van klimaatverandering op het verkeer en vervoer goed worden gereageerd. Voor een aantal effecten dat zich naar verwachting intensiever, langduriger en vaker zal voordoen, wordt op aanvullende adaptieve maatregelen gestudeerd. Een gunstige eigenschap van verkeer en vervoer is dat het aanpassend vermogen groot is. De levensduur van veel infrastructuurelementen, zoals het wegdek, is van dien aard dat bij vervanging of nieuwbouw met de toekomstige klimatologische omstandigheden rekening kan worden gehouden.

### **Meer aandacht voor effecten op ruimtelijke inrichting**

Op dit moment is er brede beleidsmatige aandacht voor effecten van klimaatverandering op de ruimtelijke inrichting van Nederland. Een mogelijk andere waterhuishouding door klimaatverandering is hierbij sturend. De aandacht voor de rechtstreekse effecten van klimaatverandering op verkeer en vervoer steekt bij deze beleidslijn nog mager af. Maar het begin van de aandacht is er, zo toont deze studie. Als beheerder van wegen en waterwegen heeft Rijkswaterstaat een aantal studies laten verrichten naar effecten van klimaatverandering op de infrastructuur en stemt daarop het beleid af. De beheerders van luchthavens, zeehavens en spoorweginfrastructuur oriënteren zich nog op noodzakelijke stappen.

### **Context van de studie**

Deze verkennende studie is voortgekomen uit de behoefte van de Directoraten-Generaal Personenvervoer en Transport en Luchtvaart (DGP en DGTL) van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) om te kunnen vaststellen of (additionele) beleidsmaatregelen nodig zijn om het verkeer en vervoer tijdig aan te passen ('adapteren') aan de klimaatverandering.

### **Klimaatscenario's**

De inschatting van het KNMI over de wijze waarop klimaatverandering zich zal voltrekken, is uitgangspunt voor deze studie. Vooral extreme weersituaties beïnvloeden het functioneren van verkeer en vervoer. Volgens KNMI-scenario's gaan extreme weersituaties zich vaker voordoen. Zo neemt naar verwachting het aantal tropische dagen in De Bilt toe van vier in 2006 naar zeven tot veertien dagen per jaar in 2050. Het aantal ijsdagen neemt af van tien nu naar twee tot zes dagen per jaar in 2050. De frequentie van natte dagen neemt in de zomer af en in de winter toe.

---

## Beleidsimplicaties

Deze rapportage beschrijft de gevonden effecten van klimaatverandering op verkeer en vervoer en de maatregelen die mogelijk zijn en (deels) al worden genomen. De belangrijkste beleidsimplicaties zijn:

- De mogelijke aantasting door klimaatverandering van de onderbouw van de infrastructuur (grotere waterafvoer, verweking, verdroging) en wat daaraan valt te doen, wordt bij wegen door Rijkswaterstaat bestudeerd. Het kennispeil, onder andere over kosten en effecten, is momenteel nog niet voldoende om precies te zeggen wat de beste aanpak is. ProRail en Schiphol kunnen de kennis van Rijkswaterstaat voor hun infrastructuur toepassen. De overheid zou een rol kunnen spelen in verbetering van de kennisoverdracht en samenwerking tussen beheerders van verkeersinfrastructuur.
- Onderzoek naar maatregelen om de effecten van klimaatverandering op de bovenbouw van wegen en waterwegen te beheersen, is reeds belegd bij Rijkswaterstaat. Schiphol gaat hiermee starten. ProRail heeft geen concrete plannen voor railinfrastructuur.
- De beschikbaarheid van alle vormen van infrastructuur zal door intensievere regenval - leidend tot congestie en ondergelopen infrastructuur - negatief worden beïnvloed. De effecten zijn tijdelijk en tegenover intensievere regenval staat minder sneeuwval en bevriezing in de winter.
- Hogere en lagere waterstanden in de rivieren zullen door klimaatverandering zich vaker voordoen. Dit zou een rem kunnen betekenen in de zoektocht naar schaalvergroting in de binnenvaart. Maar tegelijkertijd kunnen ze een stimulans zijn voor versnelde technologische ontwikkeling in de binnenvaartsector. De sector is zich van de mogelijke effecten van klimaatverandering bewust en oriënteert zich op oplossingen. De overheid kan zich enerzijds beperken tot het volgen van de ontwikkeling in de sector; anderzijds kan de overheid (en doet dat ook al) zich richten op een andere waterhuishouding.
- Elektronische (informatie)systemen zijn bij de weg bestand tegen extreme weersomstandigheden. Voor elektronische systemen voor spoorwegen zou dit nader moeten worden bekeken, maar initiatieven daartoe worden nog niet genomen.
- Er is een begin gemaakt met de toepassing van weeralarmering ('blijf binnen') in Nederland. De effecten van klimaatverandering op termijn - meer extremen - kunnen een aanleiding voor de overheid vormen om het KNMI en beheerders van infrastructuur (weg, spoor, luchthavens en zeehavens) te stimuleren tot onderzoek of de nu gebruikte vormen van weeralarmering aanpassing behoeven. Er is een relatie met de hiervoor genoemde elektronische (informatie)systemen.
- Voor inzicht van effecten van klimaatverandering op ruimtelijke ordening wordt 2008 een belangrijk jaar omdat dan de beleidsnota's vanuit het Programma 'Adaptatie Ruimte en Klimaat' en vanuit 'Waterveiligheid 21<sup>ste</sup> eeuw' zullen verschijnen. Dan worden de effecten duidelijk van een andere ruimtelijke ordening op verkeer en vervoer.



- 
- Dit onderzoek naar effecten van klimaatverandering zou over een aantal jaren kunnen worden herhaald. Er zijn dan nieuwe studies van het KNMI beschikbaar (onder andere naar effecten op het microklimaat) en er is meer bekend over de effecten op het verkeer en vervoer vanuit de beleidsnota's over ruimtelijke ordening en waterhuishouding.

---

---

---

# 1. Inleiding

---

*“Continued greenhouse gas emissions at or above current rates would cause further warming and induce many changes in the global climate system during the 21st century that would very likely be larger than those observed during the 20th century” (IPCC, 2007).*

Klimaatverandering staat hoog op de politieke agenda. Er wordt beleidsmatig op twee manieren gereageerd op de klimaatverandering. De eerste is dat beleid wordt ontwikkeld om de uitstoot van broeikasgassen, verantwoordelijk voor de klimaatverandering, te beperken ('mitigatie'). Dit rapport gaat hierop niet in. De tweede manier is dat beleid wordt ontwikkeld om de samenleving aan te passen aan klimaatverandering ('adaptatie'). Daarover gaat dit rapport.

In 2007 is een EU-Groenboek<sup>1</sup> (Commissie van de Europese Gemeenschappen, 2007) over adaptatie verschenen. Al in 2006 is in Nederland - na de kamerbehandeling van de Nota Ruimte, een intensieve samenwerking voor adaptatie tot stand gekomen tussen verschillende Ministeries (VROM, V&W, LNV en EZ). Deze samenwerking, waarmee Nederland in Europees verband voorop loopt, heeft geresulteerd in het Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK, 2007). Binnen dit Programma wordt kennis over klimaat onderhouden en ontwikkeld ('Kennis voor klimaat'). Na een groot onderzoekstraject ('Routeplanner') is in 2007 de strategie vastgesteld. In 2008 zal de agenda voor uitvoering van beleid worden opgesteld. Dit programma beziet de relatie tussen klimaatverandering en ruimtegebruik. In de (directe) relatie tussen klimaatverandering en waterveiligheid lopen eveneens talrijke initiatieven zoals de uitvoering van het Programma Waterveiligheid 21<sup>ste</sup> eeuw en de instelling van de Deltacommissie Veerman (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006b).

Deze rapportage is gemaakt op verzoek van de beleidsdirecties DGP en DGTI van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat vanuit de behoefte om uit de veelheid aan kennis en informatie een actueel en specifiek beeld te krijgen over adaptatiemaatregelen in het verkeers- en vervoersbeleid. De hoofdvraag van deze verkennende studie luidt of in Nederland voldoende beleidsmaatregelen worden genomen om het risico te verkleinen dat door klimaatverandering verkeers- en vervoersdoelen in gevaar komen. Deelvragen zijn of, en zo ja hoe het verkeer en vervoer zich moet aanpassen aan klimaatverandering en of, en zo ja hoe adaptatiemaatregelen al worden voorbereid. Bij de beantwoording van de onderzoeksvragen in dit rapport wordt uitgegaan van de denkbare veranderingen in het klimaat zoals deze

---

<sup>1</sup> Een groenboek (green paper) is een document dat uitgebracht wordt door de Europese Commissie, waarin zij een probleem inventariseert en aanbevelingen doet voor het te voeren beleid.

---

door het KNMI voor Nederland in de vorm van klimaatscenario's zijn gepubliceerd (KNMI, 2006). Deze keuze is gemaakt omdat vanuit de KNMI-scenario's een concreet houvast wordt geboden voor beleidsafwegingen. Dit betekent dat de vraag tegen welke vormen van klimaatverandering het verkeer en vervoer nu al bestand is en boven welke drempelwaarden adaptieve maatregelen moeten worden genomen, in deze verkennende studie niet voorop staat.

In deze verkennende studie heeft het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid intensief samengewerkt met:

- Vrije Universiteit Amsterdam (Mark Koetse) vanwege de aldaar verrichte studies naar het effect van weersomstandigheden op mobiliteitsgedrag. De studies hebben plaatsgevonden binnen het kader van het onderzoeksprogramma 'Klimaat voor Ruimte' (KvR).
- Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart (Paul Fortuin) vanwege onderzoek dat zij laten uitvoeren naar de gevolgen van klimaatverandering op de infrastructuur (wegen en waterwegen).
- De Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) (Martine Reurings en Frits Bijleveld) vanwege specifieke kennis heeft over de relatie tussen weersomstandigheden en verkeersveiligheid.

De genoemde medewerkers van deze organisaties hebben deel uitgemaakt van de projectgroep. De methode van onderzoek bestaat uit literatuuronderzoek en uit interviews met deskundigen van Luchthaven Schiphol, Havenbedrijf Rotterdam en ProRail.

#### *Leeswijzer*

In het volgende hoofdstuk wordt deze studie afgebakend. Het hoofdstuk begint met beschrijving van de klimaatscenario's van het KNMI in hun onderscheid en gevolgen. Daarna wordt ingegaan op de context waarbinnen de effecten van de klimaatveranderingen op verkeer en vervoer in deze studie worden gezien. Omdat ruimtelijke (her)inrichting en de handhaving van waterveiligheid niet los te zien zijn van verkeer en vervoer worden de hoofdlijnen van de programma's beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de effecten van klimaatverandering op het verkeer en vervoer in Nederland. Dit hoofdstuk geeft zicht op het aanpassingsvermogen dat van het verkeer en vervoer wordt gevraagd. Hoofdstuk 4 beschrijft de beleidsopties om het aanpassingsvermogen op het gewenste peil te houden of te brengen.

## 2. Klimaatverandering en effecten

### 2.1 Klimaatscenario's

Het KNMI heeft in 2006 vier klimaatscenario's gepubliceerd (KNMI, 2006). Deze scenario's duiden de richting waarin het klimaat in Nederland verandert. De klimaatscenario's zijn geen weersverwachtingen voor het jaar 2050, maar doen uitspraken over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer over een periode van dertig jaar (2036-2065). Het klimaat in het gekozen basisjaar (1990) is beschreven met gegevens van 1976 tot en met 2005. De scenario's geven consistente beelden van ons toekomstige klimaat die alle even plausibel zijn. Daarmee wordt een basis gelegd voor verkennende studies naar effecten van klimaatverandering en aanpassingsmogelijkheden (adaptatie). In tabel 2.1 worden verschillen tussen de vier scenario's weergegeven.

**Tabel 2.1**

Verandering in temperatuur en neerslag in Nederland in 2050 ten opzichte van het klimaat van 1990 voor vier klimaatscenario's.  
Bron: KNMI (2006), aangepaste versie van tabel 4.6.

Variabele	G-	G+	W-	W+
<i>Zomer</i>				
Gemiddelde temperatuur (°C)	0.9	1.4	1.7	2.8
Temperatuur op 10% warmste dagen (°C)	1.0	1.8	2.0	3.6
Temperatuur op 10% koudste dagen (°C)	0.9	1.1	1.8	2.2
Gemiddelde neerslag (%)	2.8	-9.5	5.5	-19.0
Frequentie van natte dagen (%)	-1.6	-9.6	-3.3	-19.3
Gemiddelde neerslag op natte dagen (%)	4.6	0.1	9.1	0.3
Mediaan neerslag op natte dagen (%)	-2.5	-6.2	-5.1	-12.4
Neerslag op 1% natste dagen (%)	12.4	6.2	24.8	12.3
<i>Winter</i>				
Gemiddelde temperatuur (°C)	0.9	1.1	1.8	2.3
Temperatuur op 10% warmste dagen (°C)	0.8	1.0	1.7	1.9
Temperatuur op 10% koudste dagen (°C)	1.0	1.4	2.0	2.8
Gemiddelde neerslag (%)	3.6	7.0	7.3	14.2
Frequentie van natte dagen (%)	0.1	0.9	0.2	1.9
Gemiddelde neerslag op natte dagen (%)	3.6	6.0	7.1	12.1
Mediaan neerslag op natte dagen (%)	3.4	7.3	6.8	14.7
Neerslag op 1% natste dagen (%)	4.3	5.6	8.6	11.2

---

De temperatuurstijging is een onderscheidende factor voor de scenario's. In de scenario's G (van gematigd) wordt uitgegaan van een wereldgemiddelde stijging met 1°C (2050 in vergelijking met 1990). In de scenario's W (van warm) is de veronderstelling dat een gemiddelde temperatuurstijging van 2°C tot stand komt. Twee scenario's gaan uit van ongewijzigde luchtstromingspatronen (G- en W-). Hiermee houdt Nederland als het ware het bekende zeeklimaat zij het met gemiddeld iets hogere temperatuur. Bij de andere twee scenario's (G+ en W+) wijzigen ook de luchtstromingspatronen.

De scenario's hebben een aantal gemeenschappelijke kenmerken:

- De opwarming zet door; hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor.
- De winters worden gemiddeld natter en ook extreme neerslaghoeveelheden nemen toe.
- De hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe.
- De veranderingen in het windklimaat zijn klein gegeven de natuurlijke veranderlijkheid.
- De zeespiegel blijft stijgen (15 tot 35 centimeter) tot 2050 in vergelijking met 1990.

Het KNMI haast zich om de onzekerheden te noemen die nu eenmaal verbonden zijn aan toekomstberekeningen. Verschillende bronnen geven bijvoorbeeld uiteenlopende uitkomsten voor de berekeningen van luchtstromingspatronen. Voor kleinere gebieden zoals West-Europa of Nederland is de onzekerheid groter dan voor grotere gebiedsdelen. De vijf gemeenschappelijke kenmerken zijn bedoeld als een grote gemene deler van de klimaatscenario's. De sterkte waarmee de kenmerken kunnen gaan optreden kleurt de scenario's in. Alle weersomstandigheden kunnen worden geduid met absolute waarden (de zeespiegel stijgt met 15 tot 35 centimeter, de gemiddelde temperatuur stijgt met 1 tot 2 graden Celsius) en met frequenties en duur waarmee de omstandigheden (tropische dagen, regendagen, zachte winters) zich zullen voordoen.

Voor adaptieve maatregelen is onderscheid tussen absolute verandering en de frequentie waarmee omstandigheden voorkomen van belang. Immers als de samenleving bekend is met bepaalde omstandigheden en als die omstandigheden zich 'slechts' vaker of minder vaak zullen voordoen, kan de samenleving de huidige aanpassingsvormen toepassen en/of verbeteren. Maar als door klimaatverandering geheel nieuwe weersomstandigheden zullen gaan optreden, moeten wellicht nieuwe adaptieve maatregelen worden getroffen.

**Tabel 2.2**

Gevolgen van klimaatscenario's voor het klimaat van 2050.

	Uitgangswaarde 1975-2005	G-	G+	W-	W+
Warme dagen	80	97	100	115	100
Zomerse dagen	24	30	34	39	47
Tropische dagen	4	7	9	10	14
Ijsdagen	10	6	5	3	2
Vorst dagen	61	45	43	33	29
		20	15	35	25
Zomerneerslag		toename	afname	toename	afname
Winterneerslag		toename	toename	toename	toename
Windsnelheid		lichte toename		lichte toename	
Zeespiegelstijging (cm)		15-25		20-35	

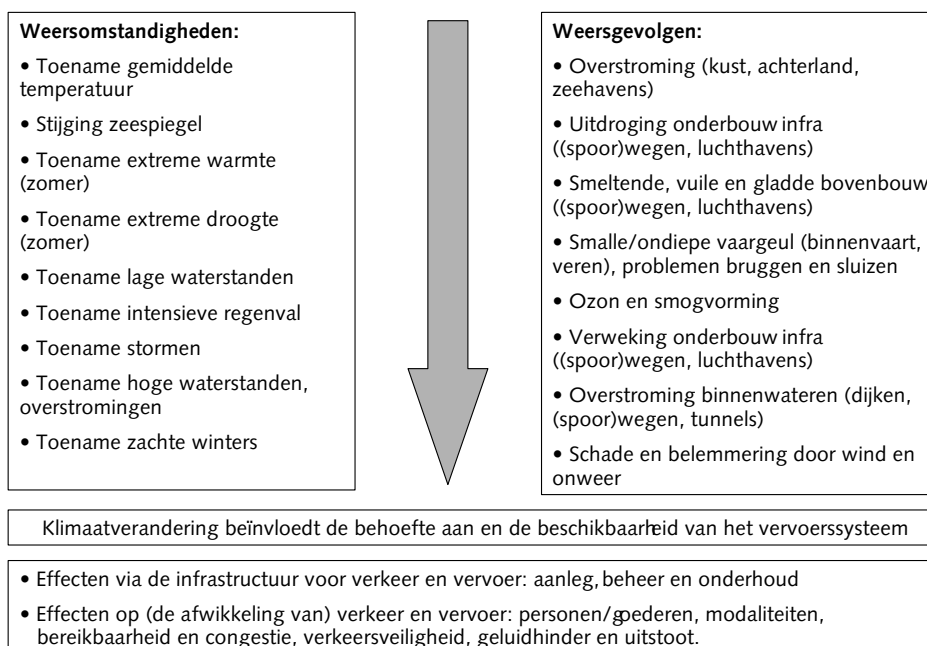
Tabel 2.2 laat zien dat voor bijna alle gemeenschappelijke kenmerken (met als uitzonderingen de gemiddelde temperatuurstijging en de stijging van de zeespiegel) geldt, dat vooral de frequentie zal veranderen. Het gaat om regenval, warme en droge periodes, hoge en lage waterstanden en zachtere winters. Voor het windklimaat constateert het KNMI enerzijds dat het aantal zware stormen in de afgelopen decennia is afgenomen. Anderzijds wordt in de '+ scenario's' (verandering van windklimaat) niet uitgesloten dat stormen in kracht zullen toenemen. Per saldo constateert het KNMI dat de onzekerheid over een verandering in windklimaat groot is.

## 2.2 Beschouwde aspecten verkeer en vervoer

In figuur 2.1 is de afbakening van deze studie weergegeven (US Department of Transportation, 2002, bewerkt).

**Figuur 2.1**

Afbakening van deze studie.



---

De weersveranderingen en de weersgevolgen waren onderwerp van paragraaf 2.1. Samen beïnvloeden ze de behoefte aan en beschikbaarheid van verkeer en vervoer.

Aan de aanbodkant worden effecten op aanleg, onderhoud en beschikbaarheid per type infrastructuur onderscheiden (paragraaf 3.1). Aan de vraagkant gaat het om consumenten en verladers die in hun vervoersbehoefte (personen en goederen) willen voorzien en om overige effecten die daarbij optreden (paragraaf 3.2). Er wordt een onderscheid gemaakt in:

- effecten op de behoefte, gebruik en vervoerswijzekeuze in het personenvervoer;
- effecten op de behoefte, gebruik en vervoerswijzekeuze in het goederenvervoer;
- effecten op bereikbaarheid en congestie;
- effecten op de verkeersveiligheid;
- effecten op geluid en op uitstoot.

In effectstudies op het gebied van verkeer en vervoer - zo ook in literatuur over effecten van klimaatverandering - wordt soms onderscheid gemaakt tussen directe en indirecte effecten. Met de opsomming hiervoor is beoogd uitputtend te zijn in alle mogelijk optredende effecten. De effectanalyse in hoofdstuk 3 volgt de opsomming en zal alleen terloops het onderscheid tussen direct en indirecte effecten maken.

## **2.3 Effecten via ruimtelijke ordening en bescherming waterveiligheid**

Ruimtelijke ordening en verkeer en vervoer zijn nauw verweven. Zo ook als het om effecten van klimaatverandering gaat. Klimaatverandering kan immers de ruimtelijke ordening gaan beïnvloeden, bijvoorbeeld omdat meer ruimte nodig is voor water. Op die plaatsen zijn dan onder andere geen wegen en spoorwegen meer mogelijk. In deze paragraaf wordt een aantal activiteiten op het terrein van klimaatverandering en ruimtelijke ordening genoemd.

In een RPB-rapport (Ruimtelijk Planbureau, 2007) wordt gesteld dat Nederland sinds 1950 aanzienlijk veiliger is geworden vanuit het perspectief van overstromingskansen. Wel is de kwetsbaarheid toegenomen waardoor bij overstromingen grotere effecten zullen optreden dan in vroegere perioden. In 2007 heeft de adviesraad van het Ministerie van VROM (VROM-raad, 2007) zich over klimaatverandering als structureel ruimtelijk vraagstuk gebogen. Het rapport mondt vooral uit in aanbevelingen om de uitdaging op een bestuurlijk efficiënte wijze aan te gaan. Inhoudelijke conclusies gaan over de gevolgen voor de waterhuishouding in Nederland: kustbedreiging door de zeespiegelstijging, een grotere instroom van zout water in de rivieren en afvoerproblemen van regenwater bij hogere neerslagintensiteit.



---

Het Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK) maakt sinds 2005 duidelijk dat de klimaatverandering consequenties zal hebben voor de ruimtelijke inrichting van Nederland (ARK, 2007, CURNET, 2007). Er is een groot onderzoekstraject afgelegd onder de naam Routeplanner. Mede op die basis is een strategie bepaald. Het doel van deze strategie is om de ruimtelijke inrichting van Nederland klimaatbestendig te maken. Het programma kijkt daarbij honderd jaar vooruit. Een innovatieve, intersectorale aanpak staat centraal, zo meldt het programma. Het streven is om aanpassing aan klimaatverandering in 2015 integraal onderdeel te laten zijn van beleid. Er wordt nauw samengewerkt met het bedrijfsleven en met kennisinstellingen. Het onderzoekstraject krijgt een vervolg in een apart programma (Kennis voor Klimaat, 2007). In 2008 zal een agenda worden opgesteld voor de uitvoering van het beleid om Nederland klimaatbestendig te maken.

Nauw verweven met het Programma ARK is het traject Waterveiligheid 21<sup>ste</sup> eeuw (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006b). Dit traject komt voort uit de gevoelde verantwoordelijkheid om vroegtijdig de mogelijke gevolgen van overstromingen te verkennen. De Deltacommissie Veerman is gevraagd op dit terrein te adviseren. In 2008 zal een beleidsnota verschijnen die is gebaseerd op een risicobenadering. De omvang van de risico's dient van invloed te zijn op keuzes voor locatie en inrichtingsvraagstukken. Vanuit waterveiligheid zouden bijvoorbeeld nieuwe bedrijventerreinen en toe- en afleidende infrastructuur hoger kunnen worden aangelegd. Onderdeel van de beleidsnota zullen zijn risicobeheersing, organisatorische maatregelen, compartimentering, evacuatie en bewustwording.

---

---

---

## 3. Effecten en adaptatie verkeer en vervoer

---

### 3.1 Aanleg, onderhoud en beschikbaarheid infrastructuur

#### 3.1.1. Wegen

De effecten van klimaatverandering op weginfrastructuur zijn onlangs door Rijkswaterstaat verkend onder meer in de vorm van een studieopdracht (Van Hove en Van Noord, 2007) gevolgd door een zogenaamde uitvoeringstoets (DHV, 2007)<sup>2</sup>

De uitvoeringstoets klimaatverandering onderzoekt wat de klimaatverandering betekent voor de rollen en taken van Rijkswaterstaat bij aanleg en beheer van de droge infrastructuur voor wegverkeer. De scenario's van het KNMI vormen ook voor deze studie de basis.

De uitvoeringstoets voorziet de volgende effecten:

- meer spoorvorming bij extreme warmte;
- meer problemen bij bewegende bruggen bij extreme warmte;
- vaker onderlopende wegen en tunnels bij intensieve regenbuien;
- sterkere verweking of afkalving van de onderbouw (de ondergrond waarop infrastructuur wordt aangelegd) door verhoogde regenintensiteit;
- sterkere inklinking van de onderbouw bij extreme droogte;
- minder vorstindringing bij hogere wintertemperaturen.

De uitvoeringstoets voorziet geen grote problemen. Er kan reactief beleid (al dan niet ad hoc) worden geformuleerd. In dat geval wordt het onderhoud waar en wanneer nodig geïntensiveerd wat leidt tot hogere kosten die deels onvoorspelbaar zijn. Proactief beleid is ook mogelijk. In dat geval worden de specificaties en ontwerpcriteria voor de aanleg van wegen aangepast, waardoor klimaatveranderingen minder effect op de onderhoudskosten hebben. De aandacht gaat uit naar de samenstelling ('bitumen') van het wegdek. Op dit moment kan niet aangegeven worden welke opties het meest kostenefficiënt zijn. Daarvoor is meer kennis over de precieze effecten en mogelijkheden voor oplossingen nodig. Het onderzoek hiernaar loopt.

Volgens de studies is het goed te bedenken dat de weersveranderingen zich waarschijnlijk geleidelijk en over een lange termijn voordoen, waardoor er bij groot onderhoud per situatie op basis van voortschrijdend inzicht bekeken kan worden of een reactieve of proactieve houding wenselijker is. Door de relatief korte levensduur van elementen van infrastructuur in relatie tot de snelheid waarmee het klimaat verandert, is het aanpassingsvermogen groot.

---

<sup>2</sup> Het gaat daarbij alleen om de wegen die door Rijkswaterstaat worden beheerd.

---

Voor de afweging tussen reactief of proactief handelen geeft de uitvoeringstoets een deel van de informatie (DHV, 2007). Per element van de weginfrastructuur (bijvoorbeeld kunstwerken, wegmeubilair, wegoppervlak, onderbouw) wordt bekeken welke effecten naar verwachting zullen optreden en wat de kosten bij een reactieve opstelling ('herstel') zullen zijn. In de rapportage is ook een kwalitatieve indruk gegeven voor de effecten op verkeersveiligheid en congestie.

Van Hove en Van Noord (2007) komen in de verkennende studie voor Rijkswaterstaat tot vergelijkbare conclusies. Zij voegen daar conclusies aan toe over de beschikbaarheid bij extreme weersomstandigheden. Zowel door afvoerproblemen bij extreme neerslag, door smeltend asfalt bij extreme warmte als door schade en belemmeringen bij hoge windsnelheden hebben (delen van) de weginfrastructuur tijdelijk een lagere beschikbaarheid.

Tunnels, aquaducten en andere kunstwerken zijn gedimensioneerd op een zeespiegelstijging hoger dan 1 meter boven NAP. De verwachte verhoging van de zeespiegel tot 2050 (15 tot 35 centimeter) valt binnen de normen die bij het ontwerp worden aangehouden. Voor nieuw te bouwen kunstwerken zouden aangepaste ontwerpnormen kunnen worden gesteld om voor de periode na 2050 voldoende marge te houden.

Voorafgaand of tijdens extreme weersomstandigheden worden de middelen die beschikbaar zijn om het gebruik te reguleren (verkeersinformatie, verkeerspolitie, hulpdiensten) intensiever gebruikt dan nu. De actuele verkeersinformatie en verkeersmanagementsystemen zijn voor een groot deel afhankelijk van goed functionerende elektronica. De uitvoeringstoets geeft aan dat de effecten van extreme weersomstandigheden op de elektronica geen groot risico lijken te zijn. Tot op heden zijn geen gevallen gemeld waarin verkeerssystemen zijn uitgevallen door extreem weer. Vanwege de belangrijke functie voor veilig verkeer bij extreem weer is het verstandig dit aspect toch nader te onderzoeken. Hetzelfde geldt voor de vraag hoe de weginfrastructuur gebruikt moet worden bij grote evacuaties na bijvoorbeeld overstromingen. De beschikbaarheid in deze situaties lijkt weinig problemen te hoeven opleveren, maar verbetering van planvorming voor toepassing in specifieke situaties lijkt nuttig.

Tegenover de lagere beschikbaarheid door de te verwachten weersomstandigheden staat ook een verbetering van de beschikbaarheid omdat gladheid van de wegen door bevriezing en sneeuwval waarschijnlijk zal verminderen.

De vervoermiddelen die van de weg gebruik maken, zijn nu al goed toegerust voor extreme weersomstandigheden. Daar waar én behoefte én mogelijkheden bestaan tot aanpassing van vervoermiddelen aan nieuwe omstandigheden (bijvoorbeeld in waarschuwing- en communicatieapparatuur) zal de industrie snel en adequaat reageren, zo luidt de verwachting.

---

### 3.1.2. Spoor

Er zijn geen studies gedaan naar de effecten van klimaatverandering op aanleg, beheer en onderhoud van spoorweginfrastructuur. Op voorhand lijken de effecten vergelijkbaar met de effecten voor weginfrastructuur, zij het dat het probleem van spoorvorming op de weg zich niet voordoet bij spoorstaven. Bij extreme warmte treedt daar wel een geheel ander effect op, namelijk de zogenaamde spoorspattingen. ProRail heeft aangegeven de oorzaken te kennen en ook mogelijke maatregelen om spoorspattingen te voorkomen. Spoorwegen kunnen ook te maken krijgen met verweking en verdroging van de onderbouw ('ballastbed') bij respectievelijk veel en weinig regenval. Net als bij wegverkeer is hier de vraag of herstel na optreden ervan of heraanleg met nieuwe specificaties het meest kostenefficiënt is. Vooralsnog lijkt herstel de voorkeur te verdienen, maar nader onderzoek is nodig. Samenwerking met Rijkswaterstaat op dit punt ligt voor de hand.

De ervaring leert dat elektrische systemen binnen de spoorweginfrastructuur erg gevoelig zijn voor bijzondere weersomstandigheden. Een stevige onweersbui heeft vaak een groot en nadelig effect (bovenleiding, beveiliging, wissels) op de beschikbaarheid. Storm legt via omgewaaide bomen en bovenleidingen het treinverkeer vaak direct plat. Systematische documentatie of onderzoek hierover is echter schaars. Een rapport van ProRail toont de frequentie van storingen op het spoor ten gevolge van slechte weersomstandigheden in 2003 (Duinmeijer en Bouwknegt, 2004). Het weer blijkt ongeveer 5% van alle storingen te veroorzaken (totaal aantal storingen in 2003 is ongeveer 8.300).

De trein die van spoorweginfrastructuur gebruik maakt, is goed berekend op extreme weersomstandigheden. Van warmte, koude, regen, wind en mist ondervinden treinen over het algemeen beperkte overlast. De motoren van een aantal treinsorten zijn gevoelig voor 'stuifsnieuw', maar dit weersverschijnsel komt niet vaak voor en neemt naar verwachting af. Treinen zijn in de herfst wel gevoelig voor lage temperatuur (boven nul) in combinatie met vochtigheid, roest en herfstbladeren. Het spoor wordt dan glad. Om 'vierkante wielen' te voorkomen moeten machinisten voorzichtiger optrekken en remmen, wat kan leiden tot vertragingen. ProRail treft in deze periode talrijke maatregelen ter voorkoming van dit probleem. Het is niet bekend of het verschijnsel van gladde sporen door klimatologische veranderingen (lange droogte, regenval, fotochemische smog en fijn stof) vaker zal optreden.

### 3.1.3. Luchthavens

Er zijn nog geen studies uitgevoerd naar de effecten van klimaatverandering op de luchthaveninfrastructuur in Nederland. Voor de luchthaven Schiphol zijn initiatieven genomen om kennis over de effecten van klimaatverandering te ontwikkelen. Dit vindt plaats in het kader van het programma Kennis voor Klimaat. Schiphol is daarin één van de negen hotspots, waarvoor kennisvragen over klimaatbestendigheid worden geformuleerd. De luchthaven heeft aan haar activiteiten onder deze vlag de naam Programma Klimaatbestendigheid Schiphol gegeven.

---

Uit het Programmaboek Klimaatbestendigheid blijkt dat voor de aanleg, beheer en onderhoudskosten van de luchthaveninfrastructuur vooral windsterkte, windrichting, hoge temperatuur en de hoeveelheid neerslag van belang zijn. Vliegtuigen stijgen en landen bij voorkeur tegen de wind in. Een beperkte zijwind dwars op de baan is geen groot probleem, maar bij toenemende zijwind neemt de capaciteit van de baan af omdat de tijden die tussen stijgende en dalende vliegtuigen worden aangehouden ('bloktijden') worden verruimd. Boven bepaalde limieten wordt de baan zelfs gesloten. Als het windklimaat verandert, zullen dus gevolgen optreden voor het baangebruik. Schiphol beschikt vooral over noord-zuid georiënteerde banen. In twee van de vier klimaatscenario's is er een kleine kans op toename van westenwind in de winter en toename van oostenwind in de zomer. Het Programma Klimaatbestendigheid wil meer kennis ontwikkelen over het effect van een ander windklimaat op het baangebruik. Gegeven de ambities van Schiphol is het misschien nodig om het banenstelsel aan te passen. Dit zou kunnen door bij eventuele toekomstige uitbreidingen rekening te houden met meer variatie in het windklimaat.

Bij lange perioden van hoge temperatuur kan het asfalt zacht worden waardoor de baan wordt aangetast. Onderzocht moet worden hoe ernstig dit probleem zou kunnen zijn en of ander materiaalgebruik zinvol is. Daarnaast hebben vliegtuigen naarmate de temperatuur stijgt een grotere start- en landingslengte nodig. Bij hoge temperaturen kan dit leiden tot behoefte aan langere banen. Volgens het programmaboek gaat het indicatief om 200 à 300 meter extra. Mogelijk moeten ruimtelijke reserveringen hierop worden aangepast.

Neerslag heeft effect op de stroefheid van de baan, waardoor de capaciteit ervan kan afnemen. In het Programma wil men onderzoeken hoe de relatie tussen neerslag en stroefheid er precies uitziet. Die kennis kan gebruikt worden bij beslissingen over het materiaalgebruik van de banen. Verder moet worden onderzocht of de afwateringssystemen bij de veranderende weersomstandigheden nog zullen voldoen.

Het is niet zeker dat al deze onderzoeksvragen binnen het Programma zullen worden opgepakt. Het budget is beperkt en dus zullen prioriteiten moeten worden gesteld.

Vliegtuigen kunnen onder de meeste weersomstandigheden veilig vliegen. Desondanks is het weer, om veiligheidsredenen, wel sterk bepalend voor de operationele capaciteit van een luchthaven<sup>3</sup>. Harde (dwars)wind(vlagen), windschering, onweer, zware neerslag, lage temperaturen (eventueel in combinatie met sneeuw en/of ijzel), slecht zicht/mist en hoge temperaturen beperken tijdelijk de capaciteit van de luchthaven of leiden tot tijdelijke sluiting van de luchthaven.

---

<sup>3</sup> Hiermee wordt bedoeld op de capaciteit ten opzichte van de fysieke- en milieucapaciteit. De fysieke capaciteit wordt hoofdzakelijk bepaald door het aantal beschikbare start- en landingsbanen, de indeling van het luchtruim, het Air Traffic Management-systeem en de opstelruimte bij de terminal(s). Door normen op het gebied van geluidsemisatie (en in de toekomst mogelijk ook door andere emissies zoals CO<sub>2</sub>), mag de fysieke capaciteit over het jaar gezien niet volledig worden gebruikt.

---

In het Programma wil men laten onderzoeken of dit ook betekent dat het aantal dagen waarop vliegtuigen van ijsvorming moeten worden ontdaan ('de-icen'), zal afnemen<sup>4</sup>. Verder is onduidelijk of het aantal dagen met slecht zicht/mist toe of af zal nemen.

De hubfunctie en daarmee de concurrentiepositie van Schiphol hangt voor een groot deel af van de omvang en betrouwbaarheid van de capaciteit in de piekuren. De luchthaven vindt het niet wenselijk dat de betrouwbaarheid van (piekuur)capaciteit in de toekomst sterker door het weer kan worden beïnvloed. In het Programma Klimaatbestendigheid richt Schiphol zich dan ook voor een groot deel op het ontwikkelen van betere en nauwkeurige weersinformatie (zowel in de tijd als in de ruimtelijke detaillering). Het doel daarvan is het versturende effect van weer terug te dringen. Dit is overigens ook zonder klimaatverandering een zinvol traject, omdat de kostenefficiëntie van het vliegverkeer via Schiphol daarmee verbetert.

Een ander aspect is het effect van een veranderend klimaat op geluidsoverlast. Verschillende meteorologische omstandigheden bepalen gezamenlijk de reikwijdte van geluid. Als de omstandigheden veranderen, kan de ligging van gebieden met overlast veranderen. Bij de planning van het geluid preferente baangebruik, wordt nu rekening gehouden met historische data die mogelijk minder representatief worden. Dit verhoogt de kans op overschrijding van de geluidsnormen op bepaalde locaties. In het Programma wordt ingezet op een snellere actualisering van de klimaatdata zodat dit effect voorkomen kan worden.

#### **3.1.4. Binnenlandse vaarwegen en zeehavens**

De klimaatverandering heeft voor binnenlandse vaarwegen eigenlijk maar één belangrijk, maar ook een zeer merkbaar effect. Hoge en lage waterstanden zullen relatief vaker dan nu voorkomen; de laatste waarschijnlijk vaker dan de eerste. Zeehavens krijgen te maken met effecten van zeespiegelstijging en met slechte bereikbaarheid door hoge én door lage waterstanden via de binnenwateren.

De gedachtevorming over effecten van klimaatverandering op zeehavens staat nog in de kinderschoenen. Het Havenbedrijf Rotterdam oriënteert zich op intensivering van inspanningen om tot adaptieve strategieën te komen. Deze oriëntatie kan plaatsvinden in bestek van de 'hotspots', waarvoor kennisvragen over klimaatbestendigheid worden geformuleerd (Kennis voor Klimaat, 2007). De urgentie acht zij vooralsnog niet hoog, omdat de effecten voor zeehavens naar verwachting beperkt zijn. Het gehele havengebied ligt buitendijks en ligt, afhankelijk van de specifieke locatie, 3,5 tot 5,5 meter boven de gemiddelde zeespiegel. Het deel dat lager ligt dan 5 meter, wordt door stormvloedkeringen tegen de zee beschermd.

De binnenvaart spreekt van laagwater als de vaardiepte op de Rijn kleiner is dan 2,5 meter. Gemiddeld genomen komt dit twintig dagen per jaar voor en geeft dat geen problemen. Binnenschepen worden dan minder zwaar beladen. Voor de binnenvaart is laagwater vaak een

---

<sup>4</sup> Dit zijn er nu veertig tot vijftig per jaar (Kennis voor Klimaat, 2007).

---

drukke periode waardoor de vraag naar scheepsruimte snel toeneemt. Bovendien gelden soms laagwatertoeslagen. Per ton vervoerde lading wordt de vrachtprijs dan hoger. In het meest ongunstige scenario (W+, 2050) komt een situatie met laagwater als in 2003, met een maximale vaardiepte van 180 centimeter, elk jaar gedurende een maand voor. Nu nog komen dergelijke zomers met (extreem) laagwater gemiddeld eenmaal per zestien tot twintig jaar voor.

Ook in deze extreme situaties zijn oplossingen denkbaar om het vervoer over water nog zo lang mogelijk voort te zetten. Het feit dat duwbakken leeg een diepgang hebben van 60 tot 80 centimeter, betekent dat zij ook in extreme situaties met sleepboothulp kunnen doorvaren. Op dit moment wordt al overwogen om speciaal voor dit doel minder diep stekende duwboten te bouwen. Traditionele schepen kunnen ook bij een diepgang van 80 tot 120 centimeter nog doorvaren.

Het effect van hoogwater op de verkeersafwikkeling te water is veel minder ingrijpend dan laagwater. De binnenvaart kan in beginsel op de normale wijze worden afgewikkeld. Ter bescherming van oevers en rivierdijken worden soms vaarbepalingen afgekondigd. Het effect daarvan is vergelijkbaar bij de situatie bij lage waterstanden.

Verbindingen tussen bewegende delen bij bruggen en sluisen die rekening houden met vervorming van materialen bij bepaalde temperatuur ('dilataties'), zullen bij extreem hoge temperaturen niet berekend zijn op uitzetten, waardoor beklemming vaker zal optreden en stremming (voor scheepvaart en kruisend (spoor)wegverkeer) het gevolg zal zijn. Tegenover de capaciteitsbeperkingen staat dat belemmeringen voor binnenvaart door ijsgang waarschijnlijk zullen verminderen.

De effecten hebben al veel tongen losgemaakt en ideeën voor oplossingen doen ontstaan (Jonkeren, Rietveld en Van Ommeren, 2007a,b). De belangrijkste richting daarbij is het creëren van overloopgebieden (retentiebekkens) die volstromen bij hoogwater en weer leeglopen bij laagwater en het verbinden van binnenwateren via kanalen die water toeleiden. Deze oplossing raakt aan beleidsvorming voor de ruimtelijke inrichting van Nederland bij klimaatverandering en is in de paragraaf daarover (2.3) aangestipt.

Zowel hogere als lagere waterstanden zullen een rem betekenen op de zoektocht naar schaalvergroting in de binnenvaart. Maar tegelijkertijd kunnen ze ook een stimulans zijn voor versnelde technologische ontwikkeling. De huidige binnenvaartschepen hebben in directe zin geen last van de te verwachten extreme weersomstandigheden; het nuttige gebruik ervan zal echter beperkt worden door de effecten van klimaatverandering op de waterstanden. Er zijn aanpassingen in de vloot denkbaar. Lichtere schepen die minder diep 'steken' bij vergelijkbaar laadvermogen door de toepassing van andere materialen zullen van de gewijzigde omstandigheden minder last hebben. Ten slotte zijn er aanpassingen in de logistieke keten denkbaar (inzet andere modaliteiten: weg en spoorweg) en kunnen hogere voorraden worden aangehouden in het achterland.



---

## 3.2 Vraagzijde en overige effecten verkeer en vervoer

### 3.2.1. Behoeft, gebruik en vervoerswijzekeuze personenvervoer

Bij slecht weer is het mogelijk om bepaalde ritten uit of af te stellen. Op dit gebied is in Nederland weinig onderzoek gedaan, maar internationaal onderzoek is wel beschikbaar (zie onder andere Parry, 2000, Al Hassan en Barker, 1999, Keay en Simmonds, 2005, Hogema, 1996, Hanbali en Kuemmel, 1993). De meeste buitenlandse studies laten een afname in het aantal reizigers zien bij slecht weer. De interpretatie van de resultaten is echter niet altijd voor de hand liggend. Het wordt nauwelijks duidelijk in hoeverre onderzocht is of dit het resultaat is van een daadwerkelijke afname in volume, het uitstellen van een rit of het veranderen van route.

Op het gebied van fietsgebruik onder verschillende weersomstandigheden is een verrassend groot aantal studies beschikbaar (zie bijvoorbeeld Van Boggelen, 2007, Richardson, 2000, Goetzke en Rave, 2006, Emmerson et al., 1998, Winters et al., 2007 en Rietveld en Daniel, 2004). De gevonden patronen lijken vrij algemeen en triviaal. Lage temperaturen, sterke wind en neerslag hebben een negatief effect op fietsgebruik. Hogere temperaturen, droogte en windstilte stimuleren fietsgebruik. Daarbij is fietsgebruik voor recreatieve doeleinden gevoeliger voor het weer dan fietsgebruik voor woon-werk- en woon-schoolverplaatsingen. Volgens de KNMI-scenario's leidt klimaatverandering tot een toename in neerslaghoeveelheden in de winter en zijn veranderingen in neerslag in de zomer zeer afhankelijk van het specifieke scenario. Verder is het voor de zomer en winter duidelijk dat temperaturen zullen stijgen in de toekomst. Deze veranderingen hebben een tegengestelde invloed op het fietsgebruik.

Er zijn ook studies gedaan die substitutie tussen verschillende vervoerswijzen bestuderen (Khattak en De Palma, 1997, De Palma en Rochat, 1999, Aaheim en Hauge, 2005). Daaruit blijkt dat meer dan de helft van de respondenten wisselt van voertuig of veranderingen aanbrengt in tijdstip van vertrek of route onder slechte weersomstandigheden. Veranderingen in tijdstip van vertrek blijken het meest populair.

In een studie in Nederland (Sabir et al., 2007) worden data over de personenmobiliteit in Nederland gekoppeld aan KNMI-weersgegevens op uurbasis voor het jaar 1996. Vervolgens is een model geschat om de invloed van weer op keuze van vervoerswijze te achterhalen. Sterke wind blijkt fietsgebruik te ontmoedigen terwijl het autogebruik en gebruik van het openbaar vervoer stimuleert. Lage temperaturen stimuleren het gebruik van de auto en openbaar vervoer en doen fietsgebruik afnemen. Het omgekeerde blijkt waar te zijn voor stijgende temperaturen. De invloed van neerslag op fiets- en autogebruik is groot. Er zijn geen studies gevonden die de richting van de effecten nader kwantificeren.

Samengevat geeft onderzoek naar effecten van klimaatverandering op personenvervoer een wisselend beeld. Soms een beetje meer, soms een

---

beetje minder. Soms met een ander vervoermiddel, soms helemaal niet meer op reis. Het zijn geen resultaten die de huidige beleidsdoelen in gevaar brengen en aanleiding zijn voor (nieuw) beleid.

### **3.2.2. Behoeft, gebruik en vervoerswijzekeuze goederenvervoer**

Aangezien de veranderingen in neerslagpatronen effecten kunnen hebben op waterstanden is klimaatverandering van belang voor de binnenvaartsector. Lage en hoge waterstanden op rivieren hebben tot gevolg dat binnenvaartschepen hun capaciteit slechts gedeeltelijk kunnen gebruiken. De beschrijving in paragraaf 3.1.4 gaf al aan dat binnen de sector het prijsmechanisme in deze situatie in werking treedt. Voor de afnemers van dit vervoer leidt dit tot hogere transportkosten. Zij zouden kunnen overstappen naar andere vervoerswijzen (weg, spoor) maar tot op heden gebeurt dat beperkt.

Veel eerder wordt naar andere oplossingen gezocht (aanpassing schepen, aanpassingen in de logistieke keten). Voor conflicten met bestaande beleidsdoelen op dit terrein (bijvoorbeeld het beperken van goederenwegverkeer vanuit milieuoverwegingen) hoeft niet te worden gevreesd.

### **3.2.3. Bereikbaarheid en congestie**

Neerslag heeft invloed op de mate van congestie (wegcapaciteit en snelheid) en filevorming op de weg. Met betrekking tot congestie en neerslag is weinig Nederlands onderzoek gedaan, maar wel zijn verscheidene internationale onderzoeksresultaten beschikbaar (Ibrahim en Hall, 1994, Hall en Barrow, 1988, Martin et al. 2000, Agarwal et al., 2005 en Stern et al., 2003). De resultaten geven aan dat vooral regen en sneeuw de weggapaciteit verminderen en een vertragend effect hebben op het verkeer. Dit leidt tot economische schade door tijdverlies en reducties in bereikbaarheid. Filevorming als extreme vorm van congestie komt niet expliciet in deze studies aan bod. Dit is niet vreemd omdat er bijzonder weinig systematisch onderzoek is verricht. Ervaring leert dat met name in een groot gedeelte van de Randstad (hevige) regen- en sneeuwval kan leiden tot een aanzienlijke groei in het aantal en de zwaarte van files. Zoals blijkt uit een onderzoek van AVV (2005) is ongeveer een derde van de toename in het aantal en de zwaarte van files in 2004 ten opzichte van 2003 toe te schrijven aan slechte weersomstandigheden. Maar dit gegeven moet voorzichtig worden geïnterpreteerd want het gaat slechts om één waarneming: het verschil tussen jaar 2004 met jaar 2003.

Naast neerslag kunnen ook andere weersomstandigheden (slecht zicht, stormen, wind) leiden tot vertraging.

Het totaalbeeld voor congestie is wisselend. In sommige klimaatscenario's wordt het in de zomer droger (gunstig) en in andere natter (ongunstig). In de winter wordt het natter (ongunstig), maar het aantal vorst- en ijsdagen neemt af (gunstig). De toename van frequentie van stormen is niet eenduidig. Er zal op natte dagen heviger regenval zijn (ongunstig).

### **3.2.4. Verkeersveiligheid**

Het is algemeen bekend dat weersomstandigheden invloed hebben op de veiligheid van het verkeer. Het beeld is dat verkeersveiligheid door 'slecht weer' negatief wordt beïnvloed. Zo is in een kennisquiz van

---

Rijkswaterstaat een wetenswaardigheid dat 14% van alle letselongevallen plaatsvindt onder bijzondere weersomstandigheden (regen, wind, sneeuw/hagel, mist). Maar daarmee zijn niet alle invloeden bekend, te kwantificeren en/of te generaliseren.

Voor het schatten van het effect van een klimaatverandering op de omvang van de verkeersveiligheid is het van belang te weten of ten gevolge van de klimaatverandering de hoeveelheid verkeer toe- of afneemt, maar ook is het van belang te weten hoe dat verkeer verdeeld zal worden over relatief veilige en minder veilige vervoerswijzen. Bij mooi weer kan de hoeveelheid fietsverkeer bijvoorbeeld toenemen en het autoverkeer afnemen. Dat heeft een gunstig effect. Maar fietsverkeer staat als relatief onveilig te boek (SWOV, 2007), zodat het effect op de verkeersveiligheid toch negatief kan zijn.

Dit maakt het complex om het effect van een klimaatverandering op de omvang van de verkeersonveiligheid te schatten. Niettemin is voor deze verkennende studie door de SWOV (2007) een poging gedaan. Dit kan alleen voor het effect van de verandering van de hoeveelheid droge en natte dagen (uitgedrukt in dagen met minstens 0,1 millimeter neerslag), omdat daarvan reeksen beschikbaar zijn. Bij de schatting gelden de volgende veronderstellingen:

- De vervoerswijzekeuze en filedruk zijn per weersituatie identiek aan de huidige situatie. Dit betekent dat wordt aangenomen dat een mooie zomerse dag in de toekomst evenveel extra fietsverkeer met zich mee brengt als nu.
- Er zijn geen noemenswaardige veranderingen in de risico's van verschillende vervoerswijzen (fietsverkeer wordt bijvoorbeeld niet veel veiliger dan nu).
- De weergegevens van De Bilt zijn representatief voor Nederland.

Uit de schatting blijkt dat klimaatveranderingen in alle scenario's een zeer beperkt, maar niet significant negatief effect hebben op de verkeersveiligheid (SWOV, 2007).

### **3.2.5. Geluid en uitstoot**

Voor geluidhinder samenhangend met vliegverkeer op Schiphol spelen windrichting en gebruik van start- en landingsbanen een belangrijke rol. Nu al leiden bepaalde weersomstandigheden tot aanpassingen in het vliegverkeer waarbij een moeilijke afweging moet worden gemaakt tussen capaciteit en toename van geluidhinder. Deze problematiek kan door klimaatverandering toenemen. Vooralsnog lijkt anticiperen op dit mechanisme binnen de totale aanpak van externe overlast van een luchthaven het devies. Geluidhinder van wegverkeer wordt beïnvloed door weersomstandigheden (Jabben en Postma 2006). Zo leiden natte wegen tot een hogere geluidsproductie (Sandberg en Ejsmont, 2002). In de zomer zou het door meer droge dagen stiller kunnen worden, in de winter door meer neerslag lawaaiiger. Maar deze constatering houdt geen rekening met een ontwikkeling naar aanleg van stillere wegdekken waarop het beleid zich nu al richt, geen rekening houdend met effecten van klimaatverandering.

Concentraties van fijn stof zijn erg gevoelig voor weersomstandigheden. Bij vochtig of nat weer zal water condenseren op de

---

fijnstofdeeltjes en zal regen de fijnstofconcentratie sterk doen dalen. De fijnstofconcentratie zal bij droog weer gestaag toenemen. De wind zal fijn stof doen opwarrelen. Na afloop van dergelijke periodes en bij intensieve (zomerse) buien zal tijdelijke gladheid van wegen gaan optreden. Voor beide verschijnselen is een anticiperend beleid (monitoren, informeren) naar het zich laat aanzien afdoende.

Er wordt door het KNMI een studie uitgevoerd naar effecten van klimaatverandering op het microklimaat.

### **3.3 Samenvatting effecten klimaatverandering op verkeer en vervoer**

In dit hoofdstuk zijn talrijke effecten van klimaatverandering op verkeer en vervoer beschreven. Deels zijn deze effecten ontleend aan literatuuronderzoek; voor een ander deel zijn effecten in interviews naar voren gebracht. Waar mogelijk zijn bestaande en voorgenomen adaptieve maatregelen in de teksten opgenomen. In tabel 3.1 zijn effecten en maatregelen samengevat.

---

**Tabel 3.1**

Effecten en adaptieve maatregelen bij  
klimaatverandering.

---

**Effecten**

**Adaptatie maatregelen**

---

**Infrastructuur aanleg, beheer en onderhoud**

spoorvorming (smeltend asfalt) bovenbouw wegen	verbeterde aanleg of vaker herstel (onderzoek)
wegen onder water door intensieve regenval	aanpassen ontwerpcriteria (maatgevende bui)
spoorstaafbreuken spoorwegen	verruimen dilataties (onderzoek)
uitval elektrische systemen (spoor)wegen	verbeteren, terugvalsysteem of vaker herstel
klemmende brugopeningen en sluizen	verruimen dilataties (onderzoek)
verweking onderbouw (spoor)wegen en luchthavens	verbeterde aanleg of vaker herstel (onderzoek)
inklinking onderbouw (spoor)wegen en luchthavens	verbeterde aanleg of vaker herstel (onderzoek)
overstroming binnenwateren	dijkverhoging of compartimentering, vluchtwegen
overstroming kust	dijkverhoging of compartimentering, vluchtwegen
kans op overstroming kades Rotterdam	inzicht ontbreekt (onderzoek nodig)

**Afwikkeling verkeer en vervoer**

toename vaarbeperkingen binnenvaart	aanpassing binnenschepen, beperkte substitutie
afname beschikbaarheid en capaciteit wegen	kortdurend: geen, langdurig: omleiden
afname beschikbaarheid en capaciteit spoorwegen	kortdurend: geen, langdurig: omleiden
afname beschikbaarheid en capaciteit luchthavens	kortdurend: geen, langdurig: omleiden
toename belang weeralarmering	verder ontwikkelen, verbeteren en afstemmen
toename herstelwerkzaamheden	anticiperen op volume en tijdigheid
toename gebruik hulpmiddelen en hulpdiensten	toerusten op intensiever gebruik
toename belang evacuatie en noodplannen	eisen aan weginfrastructuur ontwikkelen
optreden congestie	wisselend effect, doorgaan huidig filebeleid
toename verkeersonveiligheid	geen substantieel effect, doorgaan huidig beleid
geluidsproductie	beperkt effect, doorgaan huidig beleid
uitstoot en vorming fotochemische smog	wisselend effect, doorgaan huidig beleid

---

---

---

## 4. Beleidsimplicaties

---

Deze studieopdracht is voortgekomen uit de behoefte van de beleidsdirecties DGP en DGTL van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat om te kunnen vaststellen of (additionele) beleidsmaatregelen nodig zijn om het verkeer en vervoer tijdig aan te passen aan de klimaatverandering die zal optreden.

Bij die behoefte kan onderscheid worden gemaakt in de vraag

- naar effecten van klimaatveranderingen die om een antwoord in termen van beleid vragen;
- naar soorten maatregelen die in aanmerking komen;
- naar combinaties van maatregelen en effecten die kunnen worden onderscheiden;
- naar combinaties van maatregelen en effecten die al in bestaande programma's (studie, beleid) voorkomen en naar combinaties die aanleiding zijn voor nieuwe programma's.

In hoofdstuk 3 zijn de effecten geïnventariseerd en zijn denkbare maatregelen genoemd. In de projectgroep is een poging gedaan om alle resultaten te wegen. Welke van de gevonden effecten vragen om een beleidsreactie, welke vorm heeft die reactie en is deze vorm al onderdeel van de bestaande programma's over adaptatie aan klimaatverandering? De invalshoek hierbij is steeds het beleidsterrein verkeer en vervoer. De weging heeft geleid tot de volgende bevindingen.

### **Onderbouw infrastructuur weg, spoorweg en luchthaven**

De onderbouw van fysieke infrastructuur die wordt gebruikt voor wegverkeer, spoorwegverkeer en luchtverkeer kent specificaties die aan de klimaatverandering zullen moeten worden aangepast (waterafvoer, verweking, verdroging). Het adaptieve vermogen is groot maar van belang is dat er op tijd inzicht is op welke aspecten significante veranderingen noodzakelijk zijn. Of dat tot extra kosten leidt, hangt sterk af van het tempo waarmee de klimaatverandering en de effecten optreden. Indien tijdig bekend, kunnen veel benodigde aanpassingen worden 'meegepakt' met regulier groot onderhoud en hoeven niet of nauwelijks duurder te zijn.

*Een beleidskeuze tussen voorkomen van schade door aanpassing van specificaties of herstellen van schade kan worden gemaakt na nader onderzoek. Dit onderzoek wordt door Rijkswaterstaat in eigen huis uitgevoerd als vervolg op de DHV-studie. ProRail (spoorwegen) en Schiphol (luchthaven) zouden deze kennis kunnen toepassen maar zijn op deze studies niet direct aangehaakt. Het aanmoedigen van samenwerking tussen de verschillende beheerders lijkt zinvol.*

---

### **Bovenbouw infrastructuur weg, spoorweg en luchthaven**

Meer spoorvorming op (hoofd)wegen is potentieel de grootste kostenpost. Indien er geen aanpassingen plaatsvinden in de samenstelling van tussenlagen van het wegdek zal waarschijnlijk de frequentie van groot onderhoud als gevolg van spoorvorming omhoog moeten gaan. Dit kan een extra kostenpost van 3 tot 5 miljoen euro per jaar kan betekenen. Hier is sprake van interactie met de toename van (zwaar) goederenwegvervoer. Ook op luchthavens speelt het aspect bovenbouw een rol; bij spoorwegen kan het verschijnsel van brekende spoorstaven vaker dan nu gaan optreden. Hier is een afweging nodig tussen aanpassing van specificaties waarmee breken kan worden voorkomen en herstel.

*Ook deze beleidskeuze tussen voorkomen of herstellen kan na nader onderzoek worden gemaakt. Dit onderzoek is voor wegen en waterwegen intern Rijkswaterstaat belegd. ProRail doet geen verder onderzoek naar het breken van spoorstaven omdat men de oorzaak en mogelijke tegenmaatregelen kent. Schiphol gaat met het onderzoek starten binnen het Programma Klimaatbestendigheid Schiphol (de uitwerking voor de luchthaven van 'Kennis voor Klimaat').*

### **Toetsing Rijkswaterstaatprojecten**

Rijkswaterstaat zal de projecten in het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT) toetsen op klimaatbestendigheid. Dit kan bijvoorbeeld door deze projectplannen tegen het licht te houden van nieuwe inzichten van klimaatstudies, zoals de klimaathotspots van het Programma Kennis voor Klimaat. *Dit onderzoek is voorgenomen.*

### **Beschikbaarheid, congestie en bereikbaarheid infrastructuur weg, spoorweg en luchthaven**

De beschikbaarheid van alle vormen van infrastructuur zal door wijziging van weersomstandigheden overwegend negatief worden beïnvloed. Vooral intensieve regenval zal hieraan debet zijn. De verwachting is dat de vermindering van beschikbaarheid vaker zal voorkomen en langduriger aanhouden, maar evenals vandaag de dag steeds tijdelijk van aard zal zijn. Nadelige effecten in de vorm van congestie en afname van de bereikbaarheid van economische centra zullen zowel in frequentie als in duur toenemen. Er is een tweetal positieve effecten. De beperkingen door sneeuwval en bevrozingen van weggedeelten zullen afnemen (en er zal minder gladheidbestrijding nodig zijn) en de ijsgang in de binnenwateren zal verminderen. Voor het luchtverkeer op Schiphol spelen overheersende windrichtingen een belangrijke rol. Er zijn geen tekenen dat hier met een aanzienlijke verandering in omstandigheden rekening moet worden gehouden. Vanwege de gevoeligheid van de piekcapaciteit voor wind (onder andere richting en snelheid) is het raadzaam veranderingen in het windklimaat te monitoren.

*Er hoeft op dit punt niet direct nieuw beleid te worden ontwikkeld.*

### **Verkeersveiligheid, geluid en uitstoot**

Door de weersomstandigheden zal de verkeersveiligheid op de wegen worden beïnvloed. De berekeningen die door de SWOV binnen deze studie zijn gemaakt tonen aan dat per saldo een zeer beperkt negatief



---

effect moet worden verondersteld, maar dat er geen aanleiding is tot de ontwikkeling en inzet van forse adaptieve maatregelen. Over andere externe effecten (geluidhinder, uitstoot) zijn geen studieresultaten gevonden, maar op voorhand lijkt de conclusies hier niet te zullen afwijken van de conclusie over effecten op verkeersveiligheid.

*Beleid: monitoren en zo nodig bestaand beleid aanscherpen.*

### **Bevaarbaarheid zeehavens en binnenwateren**

Droogte en extreme regenval zullen lage en hoge waterstanden met zich meebrengen waardoor de capaciteit van de binnenwateren zal worden beperkt. Ook zullen problemen met bruggen en sluisen de beschikbaarheid negatief beïnvloeden. De binnenvaart is nu al met deze beperkingen vertrouwd, maar de verwachting is dat de frequentie ervan zal toenemen waardoor aanpassingen zullen renderen.

Op overstroming (van droge infrastructuur) door rivieren kan worden geanticipeerd door compartimentering van gebieden en grootschalige gebiedsevacuaties, twee onderwerpen waarbij verkeersinfrastructuur een belangrijke rol zal spelen.

Verder zijn aanpassingen in de vloot denkbaar. Lichtere schepen door de toepassing van andere materialen die minder diep 'steken' bij vergelijkbaar laadvermogen, zullen van de gewijzigde omstandigheden minder last hebben.

Ten slotte zijn aanpassingen in de logistieke keten denkbaar (inzet andere modaliteiten: weg en spoorweg) en kunnen hogere voorraden worden aangehouden in het achterland.

*Beleid: monitoren en zo nodig bestaand beleid aanscherpen, specifiek onderzoek/beleid voor binnenvaart is vooralsnog niet nodig.*

### **Elektronische systemen**

Elektronische (informatie)systemen (en het andere wegmeubilair) zijn op zichzelf volgens Rijkswaterstaat bestand tegen extreme weersomstandigheden. Als die omstandigheden zich voordoen, kunnen deze systemen een functie krijgen in de alarmeringen en advisering van weggebruikers (dynamische verkeersinformatie). In dat geval lijkt het zinvol voor de zekerheid na te gaan of de bedrijfszekerheid van deze systemen bij extreme weersomstandigheden echt gegarandeerd is. De praktijk leert dat elektronische systemen bij de spoorwegen erg gevoelig zijn voor onweer en wind.

*Beleid: anticiperen. ProRail heeft geen specifiek onderzoek gepland in relatie tot klimaatbestendigheid van systemen.*

### **Aanpassingen aan bruggen en sluisen**

Het krimpen en uitzetten van metalen zal door de klimaatverandering worden beïnvloed. Een bekend verschijnsel is al dat bij extreme warmte bruggen en sluisdeuren klemmen en spoorstaven breken.

Herspecificatie van dilatatievoegen zou dit verschijnsel kunnen voorkomen.

*Beleid: voorkomen. Onderzoek maakt deel uit van de interne vervolgstudies op de Uitvoeringstoets Klimaatverandering bij Rijkswaterstaat.*

---

### **Evacuatieplannen en hulpdiensten**

De logistiek van evacuaties bij overstromingen wordt steeds situationeel bepaald. De inrichting van crisiscentra volgens protocollen voor de binnenlandse veiligheid verloopt doorgaans afdoende, maar de besluitvorming over en de wijze van evacuatie kan en moet wellicht worden verbeterd. De grote afhankelijkheid en de (beperkte) beschikbaarheid van infrastructuur moet daarbij nadrukkelijk een punt van overweging zijn. De tijdens de toekomstige extreme weersomstandigheden lagere beschikbaarheid in verkeer en vervoer, vraagt om intensivering van hulpmiddelen om het gebruik op deze momenten te reguleren alsook om activiteiten uit te voeren als deze omstandigheden daarom vragen. Zowel de inzet van hulpdiensten als het handelen, vragen om nadere studie en beleid.

*Beleid: anticiperen (en voorkomen door betere ontsluiting voor noodgevallen), in bestek van de ontwikkeling van het Nationaal Waterplan (Waterveiligheid 21<sup>ste</sup> eeuw) worden deze activiteiten al ondernomen in samenwerking met het Ministerie van Binnenlandse Zaken*

### **Weeralarmering en hulpdiensten**

De laatste jaren is een begin gemaakt met de toepassing van weeralarmering. Door het KNMI worden bepaalde weersomstandigheden omgezet naar een advies om 'binnen te blijven'. De effecten van klimaatverandering vormen een aanleiding om te kijken of weeralarmering aanpassing behoeft. Het gaat daarbij zowel om de mate van onzekerheid van de weersvoorspelling als om een (gedifferentieerd) advies. Er kan een relatie worden gelegd met de hiervoor genoemde elektronische (informatie)systemen.

*Het beleid zou hier nader onderzoek kunnen overwegen.*

### **Klimaatverandering en ruimtelijke ordening**

Voor inzicht van effecten van klimaatverandering op ruimtelijke ordening (meer behoefte aan wateropslag, hoger bouwen) wordt 2008 een belangrijk jaar omdat dan zowel de beleidsnota vanuit het Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat als vanuit Waterveiligheid 21<sup>ste</sup> eeuw zullen verschijnen (zie paragraaf 2.3). Dan worden de effecten duidelijk van een andere ruimtelijke ordening op verkeer en vervoer.

*Beleid: samenwerking tussen beleidsontwikkelaars ruimtelijke ordening en waterbeleid en beleidsontwikkelaars wegen, spoorwegen, luchthavens, enzovoort.*

---

## Summary

---

### **Climate change affects traffic and transport**

As this report shows, climate change is set to affect traffic and transport. Examples of how this might happen include: more ruts on roads, more frequent jamming of bridges and sluices, and further sailing restrictions for inland shipping. Most of these effects are already present in our current climate, albeit to a lesser extent. As a result, existing policy can be used to respond adequately to the effects of climate change on traffic and transport. Supplementary adaptive measures are to be studied for a number of effects which are expected to occur in a more intensive, protracted and frequent manner. A favourable characteristic of traffic and transport is its considerable capacity to adapt. The life span of a lot of infrastructure elements, such as the road surface, is such that future climatic conditions can be taken into account in the event of replacement or new construction work.

### **Increased focus on the effects on spatial planning**

There is currently a broad policy focus on the effects of climate change on the spatial layout of the Netherlands, guided largely by the possibility of a different approach to water management as a result of climate change. In comparison, a lot less attention is paid in this line of policy to the immediate effects of climate change on traffic and transport. Nevertheless, a start has been made, as this study highlights. As the manager of roads and waterways, the Directorate-General for Public Works and Water Management (Rijkswaterstaat) has had a number of studies carried out into the effects of climate change on infrastructure and is adjusting its policy accordingly. The managers of airports, seaports and railway infrastructure are currently familiarising themselves with the necessary steps.

### **The context of the study**

This exploratory study is a response to the need of the Directorates-General for Passenger Transport (DGP) and Transport and Aviation (DGTL) (Directoraten-Generaal Personenvervoer en Transport en Luchtvaart) of the Ministry of Transport, Public Works and Water Management (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, V&W) to be able to ascertain whether any or additional policy measures are needed in order to adapt traffic and transport to climate change in time.

### **Climate scenarios**

This study was based on Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) estimates regarding the way in which climate change is set to develop. Traffic and transport are particularly affected by extreme weather conditions. According to KNMI scenarios, such extreme weather conditions will become more commonplace. For example, the number of days in De Bilt classed by the KNMI as tropical is expected to increase from four in 2006 to between seven and fourteen days per year in 2050. The number of ice days is expected to decrease from ten

---

now to between two and six days per year in 2050. The frequency of wet days is set to decrease in the summer and increase in the winter.

### **Policy implications**

This report describes the observed effects of climate change on traffic and transport and the possible measures which have been and are being taken, either wholly or in part. The most important policy implications are:

- The possible adverse effects of climate change on sub-infrastructure (increased water discharge, subsidence, desiccation), and what can be done about these, are being studied by the Directorate-General for Public Works and Water Management in the context of roads. The level of knowledge (e.g. regarding costs and effects) is not yet sufficient to determine precisely which approach is the best. ProRail and Schiphol are able to apply the knowledge that the Directorate-General for Public Works and Water Management has to their own infrastructures. The government could play a role in improving the transfer of knowledge and cooperation between managers of traffic infrastructure.
- Research into measures which could be used to manage the effects of climate change on the superstructure of roads and waterways has already been arranged with the Directorate-General for Public Works and Water Management. Schiphol is going to initiate this research. ProRail does not have any concrete plans for rail infrastructure.
- More intensive rainfall (leading to congestion and submerged infrastructure) will have a negative effect on the availability of all forms of infrastructure. These effects are temporary and, balancing out the more intensive rainfall, there will be less snowfall and less freezing in the winter.
- Climate change will cause larger and more frequent variations in river water levels, which could obstruct the goal to increase the scale of inland shipping. At the same time however, it could help to accelerate technological development in the inland shipping sector. The sector is aware of the possible effects of climate change and is analysing possible solutions. On the one hand, the government can restrict itself to monitoring developments in the sector. On the other, it can focus (and already does so) on a different approach to water management.
- In the case of road infrastructure, electronic information (and other) systems are resistant to extreme weather conditions. A closer examination of electronic systems for the railways needs to take place, however these initiatives are not yet being implemented.
- Weather warnings ('stay inside' [blijf binnen] alerts) are already being applied in the Netherlands. The effects of climate change in the long run (i.e. greater extremes) may offer grounds for the government to encourage the KNMI and managers of infrastructure (road, rail, airports and seaports) to research whether the types of weather warnings currently used need to be adapted. A link exists between this and the electronic systems referred to above.

- 
- As regards understanding of the effects of climate change on spatial planning, 2008 is going to be an important year due to the publication of the policy documents resulting from the Programme for Spatial Adaptation and Climate Change (Adaptatie Ruimte en Klimaat, ARK) and Water Safety in the 21st century (Waterveiligheid 21ste eeuw). The effects of different spatial planning on traffic and transport will then become clear.

This research into the effects of climate change could be repeated after some years, at which time new studies by the KNMI will be available (for example, into the effects on microclimate) and there will be more information available in the policy documents on spatial planning and water management about the effects on traffic and transport.

---

---

---

## Geraadpleegde bronnen

---

Aaheim H.A. en K.E. Hauge (2005). *Impacts of Climate Change on Travel Habits: A National Assessment Based on Individual Choices*. CICERO Report No. 2005:07. Oslo, Norway.

Agarwal M., T.H. Maze, R. Souleyrette (2005). *Impacts of Weather on Urban Freeway Traffic Flow Characteristics and Facility Capacity*. In: Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium.

Al Hassan Y., D.J. Barker (1999). *The Impact of Unseasonable or Extreme Weather on Traffic Activity within Lothian Region, Scotland*. In: Journal of Transport Geography 7, 209-213.

ARK (2007). *Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat*. Den Haag: Diverse Ministeries. Website: [www.programmaARK.nl](http://www.programmaARK.nl)

AVV (2005). *Filemonitor 2004 (Traffic Jam Monitor 2004)*. Rotterdam: Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

AVV (2006). *Kosten Verkeersongevallen in Nederland (Costs of Traffic Accidents in The Netherlands)*. Rotterdam: Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Bergström A., R. Magnusson (2003). *Potential for Transferring Car Trips to Bicycle during Winter*. In: Transportation Research Part A 37, 649-666.

Boggelen, O. van (2007). *De Invloed van het Weer op het Fietsgebruik en het Aantal Fietsslachtoffers (The Impact of Weather on Bicycle Use and Fatal Bicycle Accidents)*. Publication no. 15, Fietsberaad. Rotterdam.

CPB (2002). *Gevolgen van Uitbreiding Schiphol (Consequences of Extension of Schiphol Airport)*. Den Haag: CPB.

CURNET (2007). *Hoe klimaatbestendig zijn ruimtelijke plannen?* Nieuwsbrief juni 2007. Gouda.

De Palma A., D. Rochat (1999). *Understanding Individual Travel Decisions: Results from a Commuters Survey in Geneva*. In: Transportation 26, 263-281.

DHV (2007). *Uitvoeringstoets Klimaatverandering*. In opdracht van Rijkswaterstaat.

Dorland, Rob van en Bert Jansen (2007). *Het IPCC-rapport en de betekenis voor Nederland*. De Bilt/Wageningen: PCCC.

---

Duinmeijer A.G.P., R. Bouwknecht (2004). *Betrouwbaarheid Railinfrastructuur 2003* (Reliability Rail Infrastructure 2003). Utrecht: ProRail.

Eads G.C., M. Kiefer, S. Mendiratta, P. McKnight, E. Laing, M.A. Kemp (2000). *Reducing Weather-Related Delays and Cancellations at San Francisco International Airport*. CRA Report No. D01868-00, prepared for San Francisco International Airport. Boston, Massachusetts, USA: Charles River Associates.

Emmerson P., T.J. Ryley, D.G. Davies (1998). *The Impact of Weather on Cycle Flows*. Berkshire, England: Transportation Research Laboratory.

Commissie van de Europese Gemeenschappen (2007). *Groenboek, Aanpassingen aan klimaatverandering*. Brussel.

European Commission's DG Environment (2005). *European Climate Change Programme II: Impacts and Adaptation*. Website: [http://ec.europa.eu/environment/climat/eccp\\_impacts.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/eccp_impacts.htm)

Fridstrøm L. (1999). *Econometric Models of Road Use, Accidents, and Road Investment Decisions*. Oslo, Norway: Dissertation Institute of Transport Economics.

Goetzke F., T. Rave (2006). *Bicycle Use in Germany: Explaining Differences between Municipalities through Network Effects*. Morgantown, USA: University of West-Virginia.

Golob T.F., W.W. Recker (2003). *Relationships among Urban Freeway Accidents, Traffic Flow, Weather, and Lighting Conditions*. In: Journal of Transportation Engineering 129, 342-353.

Hall F.L., D. Barrow (1988). *Effect of Weather Conditions on the Relationship Between Flow and Occupancy on Freeways*. In: Transportation Research Record 1194, 55-63.

Hanbali R.M., D.A. Kuemmel (1993). *Traffic Volume Reductions Due to Winter Storm Conditions*. In: Transportation Research Record 1387, 159-164.

Hove, L.W.A. van en H. van Noord (2007). *Klimaatverandering en Infrastructuur - Een verkennende studie*. Alterra in opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

Hogema J.H. (1996). *Effects of Rain on Daily Traffic Volume and on Driving Behaviour*. TNO-report TM-96-B019. Soesterberg: TNO Human Factors Research Institute.

Ibrahim A.T., F.L. Hall (1994). *Effect of Adverse Weather Conditions on Speed-Flow-Occupancy Relationships*. In: Transportation Research Record 1457, 184-191.



---

IPCC (2007) *Working Group I Assessment Report 4, Summary for policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I: The Physical Science Basis of Climate Change*. Website: [http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1\\_Print\\_SPM.pdf](http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_SPM.pdf)

Jabben, J. en C. Postma (2006). *Geluidmonitor 2005, trends en validatiemetingen omgevingsgeluid*. RIVM-rapport 680300001/2006. Bilthoven.

Jonkeren O., B. Jourquin, P. Rietveld (2007). *Modal Split Effects of Climate Change: A Study to the Effect of Low Water Levels on the Competitive Position of Inland Waterway Transport in the River Rhine Area*. Amsterdam: Department of Spatial Economics, Vrije Universiteit.

Jonkeren, O., P. Rietveld en J. van Ommeren (2007a). *Climate Change and Inland Waterway Transport: Welfare Effects of Low Water Levels on the River Rhine*. In: *Journal of Transport Economics and Policy*, 41, 387-412.

Jonkeren, O., P. Rietveld en J. van Ommeren (2007b). *Klimaatverandering en Binnenvaart*. In: *Economisch Statistische Berichten*, 92, 558-559.

Keay K., I. Simmonds (2005). *The Association of Rainfall and other Weather Variables with Road Traffic Volume in Melbourne, Australia*. In: *Accident Analysis and Prevention* 37, 109-124.

Kennis voor Klimaat (2007). Website: [www.kennisvoorklimaat.nl/](http://www.kennisvoorklimaat.nl/)

Khattak A.J., A. De Palma (1997). *The Impact of Adverse Weather Conditions on the Propensity to Change Travel Decisions: A Survey of Brussels Commuters*. In: *Transportation Research Part A* 31, 181-203.

Koetse, Mark J. en Piet Rietveld (2007). *Gevolgen van klimaatveranderingen voor de transportsector*. Amsterdam: Vrije Universiteit.

Kulesa G. (2002). *Weather and Aviation: How Does Weather Affect the Safety and Operations of Airports and Aviation, and How Does FAA Work to Manage Weather-Related Effects? The Potential Impacts of Climate Change on Transportation Workshop*. October 1-2, 2002. DOT Center for Climate Change and Environmental Forecasting.

KNMI (2006). *Klimaat in de 21ste eeuw, vier scenario's voor Nederland*. De Bilt.

Marchand D., M. Sanderson, D. Howe, C. Alpaugh (1988). *Climatic Change and Great Lakes Levels: The Impact on Shipping*. In: *Climatic Change* 12, 107-133.

Martin P.T., J. Perrin, B. Hansen, I. Quintana (2000). *Inclement Weather Signal Timings*. UTL Research Report MPC01-120. Salt Lake City, USA: UTL, University of Utah.

---

Milieu en Natuur Planbureau (2007b). *Nederland Later*. Bilthoven.

Millerd F. (2005). *The Economic Impact of Climate Change on Canadian Commercial Navigation on the Great Lakes*. In: *Canadian Water Resources Journal* 30, 269-280.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2006a). *De rol van klimaatverandering in het Ministerie van Verkeer en Waterstaat*. Intern rapport. Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2006b). Website:  
[www.verkeerenwaterstaat.nl/onderwerpen/water/](http://www.verkeerenwaterstaat.nl/onderwerpen/water/)

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007a). "*Adapting Europe's roads for climate change*" - Conclusions of Brussels Workshop, 12 June 2007.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007b). *Impressie BOT-sessie Klimaatadaptatie*. 4 april 2007.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007c). *Project Veiligheid van Nederland in Kaart*. Website: [www.projectvkn.nl](http://www.projectvkn.nl)

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007d). *Nederland veroveren op de toekomst - Kabinetsvisie op het waterbeleid*. Den Haag. Website: [www.verkeerenwaterstaat.nl/Images/Watervisie\\_tcm195-194740.pdf](http://www.verkeerenwaterstaat.nl/Images/Watervisie_tcm195-194740.pdf)

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (2007). Website: [www.vrom.nl](http://www.vrom.nl)

MuConsult (2004). *Verklarende Analyse Verkeersprestatie Hoofdwegennet 2000-2003*. Rotterdam: Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Nankervis M. (1999). *The Effect of Weather and Climate on Bicycle Commuting*. In: *Transportation Research Part A* 33, 417-431.

Öberg G., G. Nilsson, H. Velin, P. Wretling, M. Berntman, K. Brundell-Freij, C. Hydén, A. Ståhl (1996). *Single Accidents Among Pedestrians and Cyclists*. VIT Meddelande 799 A. Linköping, Sweden: Swedish National Road and Transport Research Institute.

Parry M.L. (2000). *Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project*. Norwich, UK: Jackson Environment Institute, University of East Anglia.

Platform Communication on Climate Change, PCCC (2007). *Klimaatportaal*. Website:  
[www.klimaatportaal.nl/pro1/general/start.asp?i=0&j=0&k=0&p=0&ite mid=420](http://www.klimaatportaal.nl/pro1/general/start.asp?i=0&j=0&k=0&p=0&ite mid=420)

Programma Klimaat voor Ruimte (2006). *Klimaat voor Ruimte - Opgedragen projecten*. Amsterdam/Wageningen.

---

Richardson A.J. (2000). *Seasonal and Weather Impacts on Urban Cycling Trips*. TUTI Report 1-2000. Victoria, Australia: The Urban Transport Institute.

Rietveld en Daniel (2004). *Determinants of bicycle use: do municipal policies matter?* In: Transportation Research Part A 38.

Rossetti M.A. (2002). *Potential Impacts of Climate Change on Railroads*. The Potential Impacts of Climate Change on Transportation Workshop. October 1-2, 2002. DOT Center for Climate Change and Environmental Forecasting.

Sabir M., M.J. Koetse, P. Rietveld (2007). *The Impact of Weather Conditions on Mode Choice: Empirical Evidence for the Netherlands*, Department of Spatial Economics. Amsterdam: Vrije Universiteit.

Ruimtelijk Planbureau (2007). *Overstromingsrisico's als ruimtelijke opgave*. Rotterdam: NAI Uitgevers.

Sandberg U. en J.A. Ejsmont (2003). *Tyre/road noise reference book*. Kisa, Sweden: INFORMEX.

Stern A.D., V. Shah, L.C. Goodwin, P. Pisano (2003). *Analysis of Weather Impacts on Traffic Flow in Metropolitan Washington DC*. Federal Highway Administration (FHWA). Washington DC, USA.

SWOV (2007). *Schatting omvang gevolgen klimaatverandering op de verkeersveiligheid*. Den Haag.

*The Potential Impacts of Climate Change on Transportation Workshop*. October 1-2, 2002, DOT Center for Climate Change and Environmental Forecasting. Website:

US Department of transportation (2002). *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation: Workshop Summary and Proceedings*. October 1-2, 2002. Website:

Vries, C.J. de (2007). *Zeehavens blijven goed bereikbaar ondanks klimaatverandering*. Rotterdam: Bureau Voorlichting Binnenvaart.

VROM-raad (2007). *De hype voorbij - Klimaatverandering als structureel ruimtelijk vraagstuk*. Den Haag.

Winters M., M.C. Friesen, M. Koehoorn, K. Teschke (2007). *Utilitarian Bicycling: A Multilevel Analysis of Climate and Personal Influences*. In: American Journal of Preventive Medicine 32, 52-58.

---

---

