

Analyse der Klimaveränderung/ Hoch- und Niedrigwasserszenarien im Maas-Einzugsgebiets

WP1 Berichtsübersicht – Maßnahmen 1 & 3



EINLEITUNG

Die Notwendigkeit, gemeinsame klimatische und hydrologische Szenarien zu erstellen

Das AMICE-Projekt ermöglicht die Anwendung gemeinsamer Szenarien, Werkzeuge und Methoden, um Maßnahmen zu bewerten und Strategien zu entwickeln und diese am Ende länderübergreifend zu vergleichen.

Das AMICE-Projekt, das sich über einen Zeitraum von 4 Jahren erstreckt, ist in 5 Arbeitsabschnitte aufgeteilt (siehe Abbildung 1).

AMICE		2009					2010					2011					2012					2013																																									
Action	Reference Partner	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Workpackage 1 : Risk assessment																																																															
common database	Metz University																																																														
maps	Wallon region (GTI)																																																														
scenarios of climate change and hydrology	Metz University																																																														
hydraulic simulation of the Meuse	Liege University																																																														
impacts of future floods and low-flows	Aachen University																																																														
"climate-proof" of existing and new measures	Flanders Hydraulics																																																														
strategy of adaptation	Rijkswaterstaat																																																														

Abbildung 1. AMICE-Organisation des WP1

Die Ziele des Arbeitsabschnitts 1 sollen durch 9 Maßnahmen erfüllt werden. Der vorliegende Bericht erläutert die Methoden und Ergebnisse aus den Maßnahmen 1 und 3, die 2009 umgesetzt und von der Universität Metz beaufsichtigt wurden.

Das Ziel der **Maßnahme 1** besteht darin, Erkenntnisse über das aktuelle und zukünftige hydrologische Verhalten des Maas-Einzugsgebiets gemeinsam zu nutzen, indem die verfügbaren Dokumente in einer Online-Datenbank organisiert und bei Bedarf auf Englisch, Französisch, Niederländisch oder Deutsch bereitgestellt werden.

Maßnahme 3 widmet sich der Untersuchung von Klimasimulationen für die Zeitabschnitte 2021-2050 und 2071-2100 und ihrer Auswirkungen auf Hoch- und Niedrigwässer im Maas-Einzugsgebiet. Das Ziel besteht in der Beantwortung folgender Fragen:

- Welche Abflüsse können für die Maas und die wichtigsten Nebenflüsse in Anbetracht der voraussichtlichen Klimaentwicklung erwartet werden?
- Wie werden sich Wiederkehrzeiten, Dauern und Ausmaße des Hoch- und Niedrigwassers von heute bis zu den Zeitabschnitten 2021-2050 und 2071-2100 ändern?

Ergebnisse aus zuvor durchgeführten Studien der Internationalen Maas-Kommission betonen das Risiko häufigerer Überschwemmungen im Winter (vor allem Extremereignisse) und geringerer Niedrigwasserabflüsse im Sommer. Die IMC betont außerdem die Notwendigkeit der Verständigung auf einheitliche Szenarien, um die Koordination der Richtlinien zur Wasserwirtschaft zu optimieren.

Die transnationale Kooperation innerhalb des AMICE-Projekts hat gebietsübergreifende Szenarien zur Klimaveränderung und zum Abfluss, die als Vorgaben für die Anpassungsstrategie verwendet werden, zum Ziel.

Die Analyse gründete sich auf bestehende Klimasimulationen aus meteorologischen Instituten (Météo-France, KNMI, usw.), nationalen und EU-Forschungsprogrammen (PRUDENCE, ENSEMBLES, ADAPT, usw.), Literaturhinweisen und Gesprächen mit Nutzern und Experten bei Fachkonferenzen. Sie schloss nicht die Entwicklung oder Durchführung neuer Klimasimulationen mit ein.

Der vorliegende Bericht erläutert die Hypothesen, die aufgestellt wurden, sowie die verfügbaren Erkenntnisse, um die klimatischen und hydrologischen Szenarien für das Maas-Einzugsgebiet zu definieren.

Es ist außerordentlich wichtig zu betonen, dass die AMICE-Anpassungsstrategie auf zwei Szenarien mit ihren Annahmen und Unwägbarkeiten eingehen wird. Hierfür verwenden wir die unserer Meinung nach am besten geeigneten Szenarien, welche jedoch nicht die einzigen möglichen darstellen. Diese Szenarien stellen die mögliche zukünftige Entwicklung des Maas-Einzugsgebiets dar.

DAS MAAS-EINZUGSGEBIET: eine wichtige Verbindung zwischen Belgien, Frankreich, Deutschland, Luxemburg und den Niederlanden

Das Maas-Einzugsgebiet ist eines der am dichtesten besiedelten Gebiete Westeuropas und eine wichtige geographische Verbindung zwischen Belgien, Frankreich, Deutschland, Luxemburg und den Niederlanden. Die fünf europäischen Staaten arbeiten seit 2002 zusammen in der Internationalen Maas-Kommission (IMC).

Der Fluss selbst ist befahrbar und liefert Trinkwasser für mehr als 5 Millionen Einwohner.

Die Haupteigenschaften des Maas-Einzugsgebiets sind wie folgt:

- **Flusslänge: 900 km**
- **Wassereinzugsgebiet: 35 000 km²**
- **Anzahl der Einwohner: 9 Millionen**

Die Maas fließt von Süden nach Norden. Sie entspringt in Frankreich auf dem Plateau de Langres (384 m ü. NN). Nach einer Strecke von 355 km entlang landwirtschaftlich genutzter Flächen und Waldgebieten verlässt die Maas das französische Teileinzugsgebiet (10 120 km²) und setzt ihren Weg in Belgien fort.

Sie fließt durch die Ardennen in der Provinz Namur, wo sie nacheinander die Lesse und die Sambre in der Stadt Namur aufnimmt. In der Provinz Liège trifft sie anschließend auf die Houyoux und die Ourthe. Die Maas verlässt die wallonische Region in Visé. In den Niederlanden fließt sie durch Maastricht und dient in der Provinz Limburg als Grenze zwischen Belgien und den Niederlanden. Ein Drittel des Maas-Einzugsgebiets befindet sich in der wallonischen Region mit ungefähr 12 000 km².

Im deutschen Teileinzugsgebiet stellen die Rur und Niers die wichtigsten Nebenflüsse der Maas mit jeweils 7% und 4% des hydrographischen Einzugsgebiets dar. Die Rur ist der einzige Nebenfluss, der von insgesamt 6 Stauseen kontrolliert werden kann. Diese verfügen über ein Speichervolumen von ungefähr 300 Millionen m³ und befinden sich im oberen Bereich des Teileinzugsgebietes. Die Stauseen werden für die Trinkwasserproduktion, zur Niedrigwasseranreicherung und zur Entschärfung von Hochwässern betrieben. Innerhalb des Niers-Einzugsgebiets sind aufgrund des sehr geringen Gefälles Hochwasserschutzmaßnahmen erforderlich. Der Hochwasserrückhalt erfolgt bei geringem und mittelstarkem Hochwasser auf natürlichem Wege innerhalb der Auen sowie über regulierte Wasserauffangbecken und Deiche entlang der Flüsse.

Schließlich fließt die Maas bei Eijsden, südlich von Maastricht, in die Niederlande. Der niederländische Teil des Maas-Einzugsgebiets besitzt ein Wassereinzugsgebiet von 7700 km². Mehrere große Städte befinden sich an oder in der Nähe der Maas, wie zum Beispiel Roermond, Venlo, Nijmegen und 's-Hertogenbosch. Von Eijsden bis Borgharen wird die Maas „Obere“ Maas genannt (Bovenmaas). In Borgharen wird das Wasser der Maas über die „Maasgrenze“ (Grensmaas), die die natürliche Grenze mit Belgien bildet, und den angrenzenden Julianakanaal geteilt, der für die Schifffahrt gebaut wurde. Das Wasser fließt durch die Bergsche Maas und den Nieuwe Waterweg bis zur Nordsee und trifft schließlich auf den Rhein in der Rhein-Maas-Mündung. Hier werden die Wasserspiegel vorwiegend durch die Meerestiden und in geringerem Umfang durch Abflüsse bestimmt.

Das **Klima** des Maas-Einzugsgebiets ist im französischen Einzugsgebiet halbozeanisch mit recht regelmäßigen Regenfällen im ganzen Jahr (ungefähr 80mm/Monat) und aufgrund des Breitengrads und der Nähe zum Meer maritim und feuchtwarm in Belgien und den Niederlanden. Es besteht ein Niederschlagsgefälle, da die Ardennen mehr Regenfälle erleben als der Rest des Einzugsgebiets. Der **hydrologische Verlauf** der Maas ist unimodal (nur eine Niedrigwasserperiode jeden Sommer und eine Hochwasserperiode im Winter). Die Abflüsse unterscheiden sich erheblich in den Jahreszeiten: 3000 m³/s im Winter 1993 in Liège und bis zu 10-40 m³/s im Sommer. Als regengespeister Fluss verfügt er über keinen Gletscher und wenig Grundwasserspeicherkapazität, um Niederschläge zurückzuhalten.

So ist die Maas besonders anfällig für Klimaentwicklungen.

Neun Messstationen wurden in 4 Ländern für hydrologische Simulationen ausgewählt

Abbildung 2 stellt die von den AMICE-Partnern ausgewählten Messstationen für die hydrologischen Simulationen dar:

- Vier Stationen befinden sich im französischen Teil des Maas-Einzugsgebiets Saint-Mihiel; Stenay; Montcy-Notre-Dame; Chooz.
- Eine befindet sich an der wallonischen/niederländischen Grenze: Sint Pieter;
- Vier Stationen befinden sich auf der rechten Seite der wallonischen und deutschen Nebenflüsse: Gendron (die Lesse), Chaudfontaine (die Vesdre), Stah (die Rur) und Goch (die Niers).

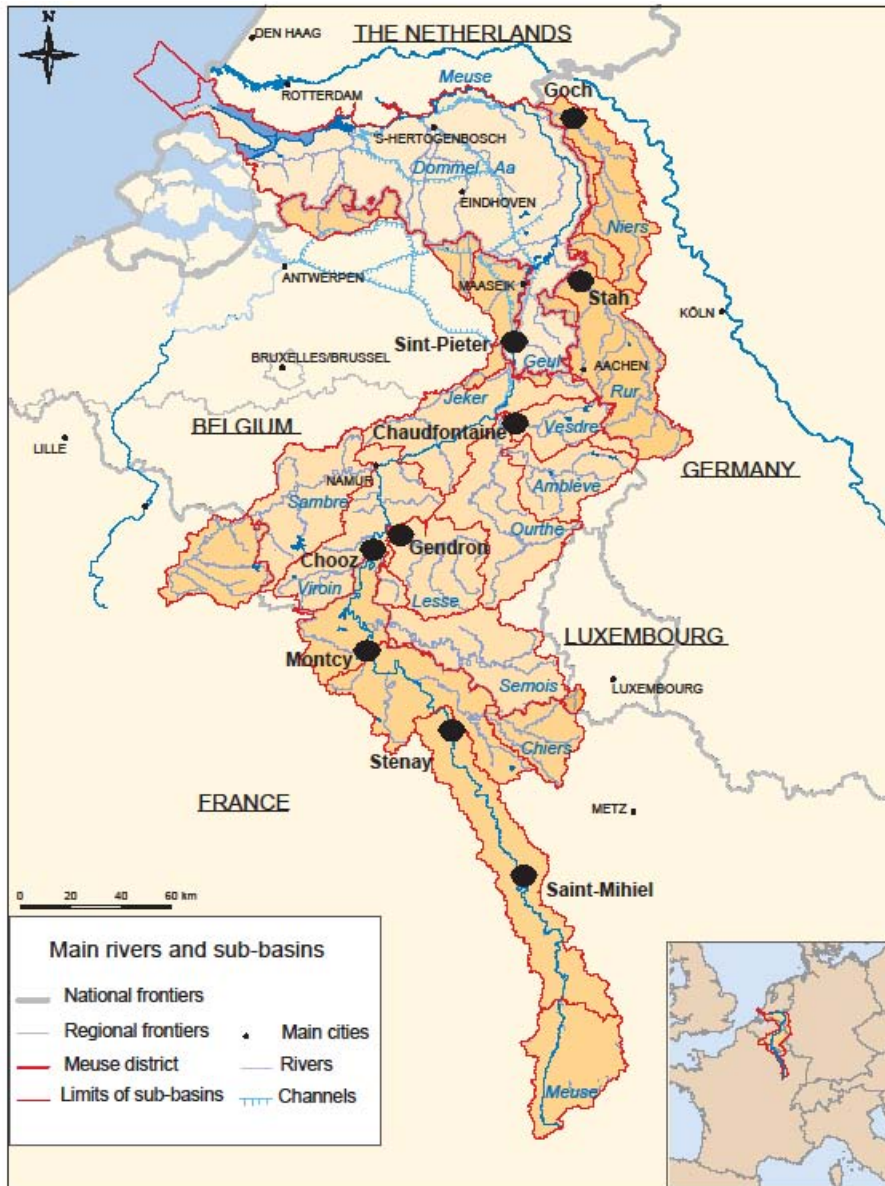


Abbildung 2. Ausgewählte Messstationen des Maas-Einzugsgebiets für hydrologische Simulationen.

Für jede gewählte Station wurden hydrologische Simulationen durchgeführt, um die Entwicklung der Hoch- und Niedrigwasserabflüsse während des 21. Jahrhunderts abzuschätzen.

Neben einem Kontrolllauf (1971-2000 oder 1961-1990) wurden zwei Referenzperioden simuliert: **2021-2050 und 2071-2100**. Die Anpassungsstrategie und die vorhandenen Erkenntnisse wurden sowohl für die mittelfristige Entwicklung, die besonders für Entscheidungsträger, die schnelle Anpassungsmaßnahmen definieren müssen, als auch für die langfristige Entwicklung, für die klimatische Entwicklungen ausgeprägter sind, vorgestellt. Die 30-Jahres-Zeitspanne wurde verwendet, weil Daten normalerweise für eine 30 Jahre lange Referenzperiode zur Verfügung stehen, da die meisten Pegel in den 1960ern oder 1970ern errichtet wurden.

ANALYSE und ZUSAMMENSTELLUNG DER LITERATUR zu zukünftigen klimatischen und hydrologischen Szenarien im Maas-Einzugsgebiet

Die Bereitstellung von Erkenntnissen über eine transnationale Online-Referenzdatenbank

Die erste Maßnahme des AMICE Projekts bestand in der Implementierung eines Systems zur gemeinsamen Nutzung von Literaturangaben, um bestehende Erkenntnisse zusammenzuführen. Dieses System wird AMICE „TORD“ genannt (Transnationale Online-Referenzdatenbank). Jeder Partner kann Literaturangaben, die die Maas behandeln, und andere, für AMICE interessante Themen ansehen und ergänzen.

Die Abfragen können über Stichworte, Autoren und Herausgeber erfolgen. Es sind zwei Abfragemöglichkeiten verfügbar (Schnellabfrage & Powersuche). Außerdem kann die Literatursuche anhand von Kategorien zu bestimmten Problemstellungen des AMICE-Projekts verfeinert werden. Es wurden neun Kategorien mit 45 Unterkategorien erstellt. Die ersten beiden Kategorien beziehen sich auf Sprache und Geographie. Die sieben anderen Kategorien sind optional und geben Informationen zu speziellen Themen. Mit diesem System ist es möglich, die Literatursuche zu verfeinern und eine Übersicht über die meisten (und seltensten) dargestellten Themen im AMICE „TORD“ zu erhalten.

Seit Dezember 2009 werden das Hosting und die Verwaltung der TORD von der EPAMA durchgeführt. Die Datenbank ist jetzt auf der offiziellen Website des AMICE-Projekts verfügbar (www.amice-project.eu/biblio). Im Frühjahr 2010, acht Monate nach Beginn, umfasste AMICE TORD ungefähr 800 Literaturangaben und Zitate von mehr als 1000 Autoren.

Bibliographische Analyse bestätigt die Notwendigkeit von regionalen Studien über das Maas-Einzugsgebiet

Anhand dieser vorbereitenden Analyse konnten Lücken im Kenntnisstand ermittelt werden. Die umfassendsten Studien zu den Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Hydrologie der Maas wurden von De Wit *et al.*¹ und Leander *et al.*² durchgeführt. Schlussfolgerungen der Arbeiten weisen auf eine mögliche Häufung extremer Ereignisse, sowohl bei Hoch- als auch bei Niedrigwasser und auf die Notwendigkeit hin, weitere Auswirkungen zu untersuchen.

In Frankreich wurden keine Studien mit speziellem Fokus auf dem Maas-Einzugsgebiet durchgeführt, da die meisten Untersuchungen auf nationaler Ebene erfolgten. Das französische Umweltministerium hat das Maas-Einzugsgebiet als eines der Pilotgebiete für die Untersuchung der klimatischen Auswirkungen gewählt.

In Deutschland wurden weder für die Rur noch für die Niers Studien zu den Auswirkungen der Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt und den Abfluss durchgeführt.

Das AMICE-Projekt wird daher neue Ergebnisse und ausführliche Informationen auf regionaler Ebene über das Maas-Einzugsgebiet liefern.

¹ De Wit M.J.M., van den Hurk B., Warmerdam P.M.M., Torfs P.J.J.F., Roulin E., van Deursen W.P.A., (2007). Auswirkungen der Klimaveränderung auf das Niedrigwasser der Maas. *Klimatische Veränderung*, 82, S. 351-372.

² Leander R., Buishand A., van den Hurk B.J.J.M., de Wit M.J.M., (2008). Geschätzte Veränderungen der Hochwasserquantile der Maas aus der Wiederholungsprobennahme des regionalen Klimamodellergebnisses. *Fachzeitschrift für Hydrologie*, 351, S. 331-343.

Regionalisierungsverfahren bei globalen Klimamodellen (GCMs) für regionsspezifische Simulationen

Für die Entwicklung zukünftiger anthropogener Klimasimulationen werden meistens globale Klimamodelle (GCM) herangezogen. GCMs können die globalen atmosphärischen Zirkulationen der Erde, klimatische Kräfte der Meere und Interaktionen von Meer und Atmosphäre nachbilden. Aufgrund ihrer geringen räumlichen und zeitlichen Auflösung (Gitterelementgrößen von hunderten Quadratkilometern und tägliche Zeitschritte) ist es nicht möglich, sie für hydrologische Studien zu verwenden, die normalerweise mesoskalige Modelle (10 000 -100 km²) und kurze Zeitschritte verwenden (vor allem für Hochwasser).

Numerische Regionalisierungs- (oder Downscaling)-Verfahren wurden von Modellentwicklern entworfen, um regionale Klimainformationen zu erhalten. Man kann hochauflösende GCMs oder regionale Klimamodelle (RCM), die in einem GCM verschachtelt sind, verwenden. Aufgrund der Abweichungen zwischen RCM-Ergebnissen und den beobachteten Klimaaufzeichnungen müssen Methoden für die Nachbearbeitung der RCM-Ergebnisse angewendet werden.

Notwendigkeit für neue klimatische und hydrologische Szenarien für das AMICE Projekt

Um ein transnationales Klimaszenario zu erstellen, wurde eine Bestandsaufnahme von allen verfügbaren und von den AMICE-Partnern verwendeten Experimenten durchgeführt. Verschiedene Schlussfolgerungen wurden aus dieser Recherche gezogen:

- > Es fehlen angepasste (d.h. Bias korrigierten) Klimasimulationen des Maas-Einzugsgebietes
- > Die meisten Klimasimulationen sind nur über 2050 hinaus verfügbar
- > Es sind große Unsicherheiten bei Ensemble-Klimasimulationen vorhanden
- > es steht nicht ausreichend Zeit zur Verfügung, um Biaskorrekturen für ein Ensemble von Klimasimulationen durchzuführen

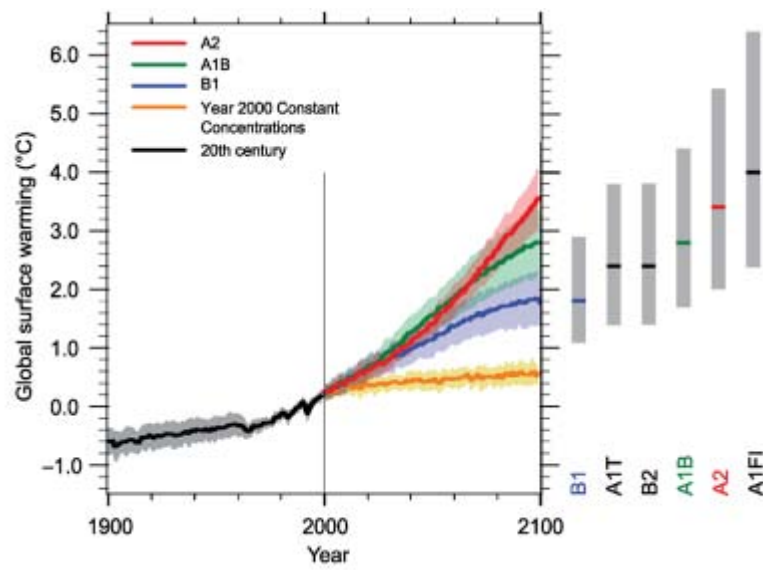
Ähnlich wie bei der Klimaentwicklung wurde die verfügbare Literatur über die Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Hydrologie der Maas zusammengeführt. Diese bibliographische Analyse führte zur Schlussfolgerung, dass bestehende nationale Szenarien im Allgemeinen zu heterogen und sporadisch waren, um für das Einzugsgebiet verwendet zu werden. Sie machte die Erstellung neuer klimatischer und hydrologischer Szenarien für das AMICE-Projekt erforderlich. Eine optimale und äußerst praktische Lösung für die Erstellung eines gemeinsamen transnationalen Klimaszenariums stellte **die Verwendung der Delta-Change-Methode** für die bestehenden nationalen Klimaszenarien dar.

Die Wahl zweier Szenarien zur Berücksichtigung von Unwägbarkeiten

Die Treibhausgas-(GHG)-Emissionsszenarien, die üblicherweise in Studien zur Klimaveränderung verwendet werden, werden seit 1996 vom Zwischenstaatlichen Ausschuss über Klimaänderungen (IPCC) entwickelt. Diese wurden im Sonderbericht über Emissionsszenarien beschrieben (SRES). Für jede Gruppe von Szenarien wurde ein Referenzszenarium vom IPCC gewählt (A1B, A2, B1 und B2 - siehe Abbildung 3). Diese Szenarien werden am häufigsten für GCM-Simulationen und Studien zur Auswirkung von Klimaänderungen verwendet.

Für AMICE **werden zwei Szenarien verwendet: ein Trockenszenario und ein Feuchtszenario** basierend auf A2 und A1B. Die Emissionsszenarien A1B und A2 stellen jeweils ein durchschnittliches und ein eher pessimistisches Szenario dar. Aus diesem Grund beschreiben Auswirkungsstudien, die von AMICE durchgeführt werden, eine große Variation bei der Lufttemperatur und den Niederschlägen und berücksichtigen Unwägbarkeiten der ökonomischen und demographischen Entwicklung.

Abbildung 3.
Entwicklung der
Erderwärmung
im 21. Jahrhundert
für verschiedene
Emissionsszenarien
(IPCC, 2001).



ERSTELLUNG ZUKÜNFTIGER KLIMASZENARIEN

Die Delta-Change-Methode: Modifikation von Messdaten mit Änderungssignalen zur Simulation der zukünftigen Klimatologie

Die Delta-Change-Methode (Abbildung 4) ist die von den AMICE-Partnern ausgewählte Methode für die Erzeugung von zeitlich hochaufgelösten Klimaszenarien. Nach Jahreszeiten aufgeschlüsselte Klimaänderungssignale (Δ in % für Regenfalländerungen und Δ in °C für Änderungen der Lufttemperatur im Winter, Frühling, Sommer, Herbst) wurden von meteorologischen Instituten für die Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100 durch Auswertung von GCM/RCM-Simulationen zur Verfügung gestellt. Anschließend wurden die Messdaten zur Erzeugung der Klimazeitreihen für die Zukunftszeiträume mit den Änderungssignalen beaufschlagt.

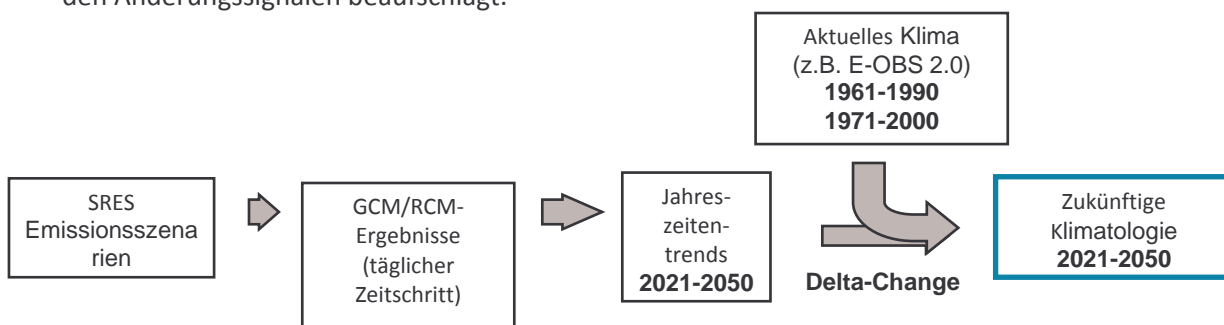


Abbildung 4. Die Delta-Change-Methode

Diese Nachbereitungsmethode wurde eingesetzt, um ein feuchtes und ein trockenes Klimaszenario für jeden Zeitraum und jedes nationale Einzugsgebiet zu schaffen.

Die Partner verwendeten spezielle numerische Experimente, um die Jahreszeitentrends für feuchte und trockene Szenarien abzuleiten:

- Für Frankreich die ARPEGE-Climat A1B und A2-Simulationen
- Für Wallonien das CCI-HYDR Störungstool
- Für Deutschland WETTREG für das Feuchtszenarium und CLM für das Trockenszenarium,
- Für die Niederlande und Flandern das EU PRUDENCE-Projekt

Zusammenlegung nationaler Szenarien zur Erstellung eines transnationalen Szenariums

Die über die Delta-Change-Methode für jedes nationale Einzugsgebiet erzielten Jahreszeitentrends wiesen bedeutende Heterogenitäten auf. Um die Flussabwärts-Konsistenz der Abflüsse besonders in den Grenzbereichen aufrechtzuerhalten, wurde ein transnationales Szenarium erstellt und nationale Trends gemäß der Größe jedes Teileinzugsgebiets bewertet (siehe Tabelle 1). Die Ergebnisse sind in Abbildung dargestellt.

	Wassereinzugsgebiet (km ²)	Gewichtungskoeffizient
Frankreich	10 120	0,31
Wallonien	10 880	0,33
Flandern und Niederlande	8 662	0,26
Deutschland	3 338	0,10
Transnationale Maas	33 000	1,0

Tabelle 1. Angewandte Gewichtungskoeffizienten zur Erstellung der transnationalen Jahreszeitentrends

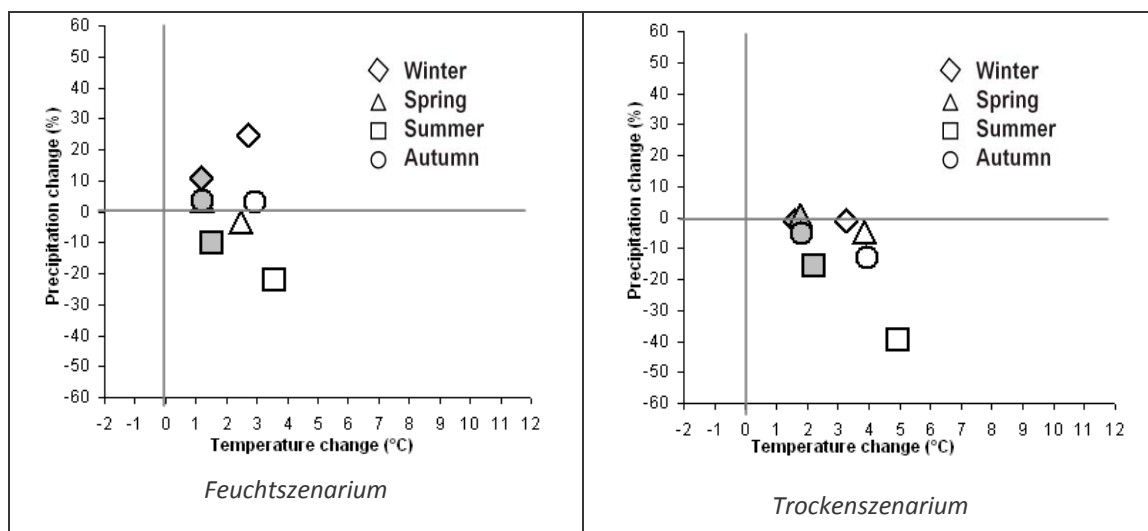


Abbildung 5. Jahreszeitentrends der Niederschläge (%) und Lufttemperatur (°C) für die transnationalen Klimaszenarien und für die Zukunftszeiträume (grau: 2021-2050 - weiß: 2071-2100)

Um die Konsistenz der verwendeten Methodologie zu prüfen, wurden die Werte aus dem AMICE-Projekt für die transnationalen Szenarien mit den RCM-Simulationen aus dem EU PRUDENCE-Projekt, einer europaweiten Studie zum Klimawandel, die kurz vor dem AMICE-Projekt durchgeführt wurde, verglichen. Die beiden Ergebnisse sind übereinstimmend, was die angewandte Methodik bestärkt (siehe Abbildung 6).

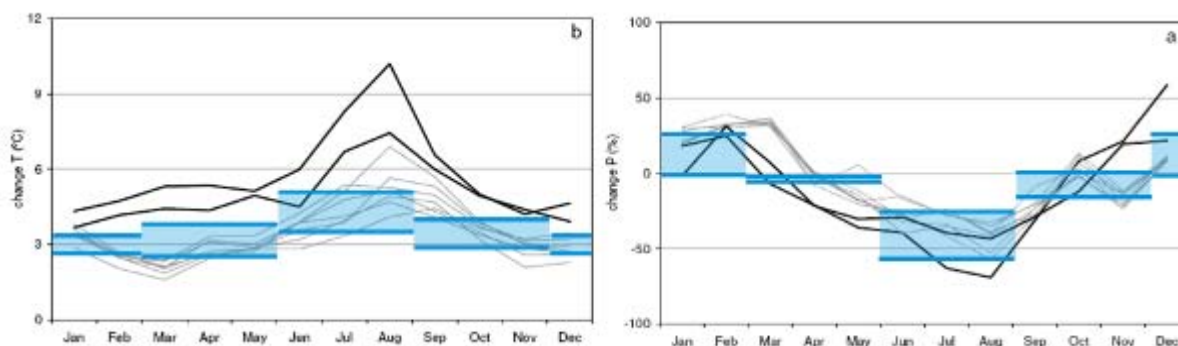


Abbildung 6. AMICE transnationale Feucht- und Trockenszenarien (blaue Bereiche) im Vergleich zu PRUDENCE RCM-Simulationen (schwarze und graue Kurven) - 2071-2100 (aus De Wit et al., 2007)

ERSTELLUNG ZUKÜNFTIGER HYDROLOGISCHER SZENARIEN

Nationale hydrologische Modelle zur Berechnung von Flussabflüssen

Für die hydrologischen Simulationen hat jeder Partner seine eigenen Niederschlag-Abfluss-Modelle verwendet:

- In Frankreich verwendeten EPAMA und die Universität Metz AGYR- und GR4J-Modelle
- In Wallonien verwendete ULg - Gembloux Agro-Bio Tech das Modell EPIC-Grid,
- Im flämischen Teil Belgiens wurde von Flanders Hydraulik Research das TOPModell und MIKE11 Maas verwendet,
- In Wallonien verwendete Gembloux Agro-Bio Tech das EPIC-Grid-Modell,
- In den Niederlanden verwendete Rijkswaterstaat das HBV-Modell,
- In Deutschland verwendete das LFI der RWTH Aachen das NASIM und GR4J Modell.

Abgesehen von ihren Unterschieden verwenden diese Modelle im Grunde die gleichen Klimaeingabedaten (Lufttemperatur, potenzielle Evapotranspiration und Niederschläge). Einige dieser Modelle benötigen darüber hinaus Informationen über die Eigenschaften des Einzugsgebiets und des Flusses (Neigung, Landnutzung, Prozentanteil der versiegelten Fläche...), um den Abfluss zu berechnen.

Gemeinsame Variablen für die Beschreibung von Hoch- und Niedrigwasser

Um die Ziele des WP1 zu erreichen, haben die Partner entschieden, die Auswertungen für die gleichen hydrologischen Kennwerte durchzuführen.

Für Niedrigwasser wurde die Variable MAM7 gewählt (niedrigstes arithmetisches Mittel des Abflusses an 7 aufeinander folgenden Tagen) zwischen April und September. Die Berechnung erfolgte für mehrere Wiederkehrintervalle: 2-5-10-25-50 Jahre. Für Hochwasser wurden zwei Kenngrößen gewählt: Odx (jährliches Abfluss-Wintertagesmaximum) und Ohx (jährliches Abfluss-Winterstundenmaximum). Die entsprechenden Wiederkehrintervalle sind 2-5-10-25-50-100 (+250-1250 für flussabwärts). Die Ergebnisse der im AMICE-Projekt durchgeführten Simulationen werden für ein Wiederkehrintervall von 100-Jahren durchgeführt und daher als Odx_{100} und Qhx_{100} bezeichnet.

Anwendung statistischer Verteilungsfunktionen zur Bewertung der Wiederkehrintervalle extremer Abflüsse

Um die Abflusswerte verschiedenen Wiederkehrintervallen zuordnen zu können, muss eine statistische Verteilungsfunktion an die beobachteten und simulierten Abflussereignisse angepasst werden.

Die Verwendung jährlicher Serien der Abflussmaxima ist die häufigste Methode zur Bewertung der Quantile der Hochwasserabflüsse. Ist die jährliche Serie erstellt, wird eine theoretische statistische Verteilung an die beobachteten oder simulierten Daten angepasst. Für das AMICE-Projekt wurden die Parameter der Verteilungsfunktionen überwiegend anhand der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt. Verschiedene Verteilungen (Gumbel, Weibull, usw.) wurden verwendet, um die Quantilen des jährlichen Abfluss-Winterstundenmaximums zu berechnen (Qhx_{100}), sowie die Log-Normal- oder Weibull/Gamma-Verteilung für das Abfluss-Sommerminimum (MAM7). Für jede Messstation erfolgte die Auswahl der theoretischen Verteilungsfunktion auf Grundlage der Anpassungsgüte.

Um die mögliche Entwicklung der zukünftigen klimainduzierten Veränderungen des Maas-Hoch- und Niedrigwassers zu beschreiben, wurde ein Klimaänderungsfaktor für die 9 zuvor erwähnten Messstationen berechnet für:

- die beiden Zukunftszeiträume: 2021-2050 und 2071-2100,
- die transnationalen Feucht- und Trockenszenarien
- die nationalen Klimaszenarien

Der Klimaänderungsfaktor wird definiert als: $Q_{\text{simuliert (Szenario)}} / Q_{\text{simuliert (aktuelles Klima)}}$. Daher bedeutet ein Wert über 1 einen prognostizierten Anstieg des Abflusses, während ein Wert unter 1 eine prognostizierten Abnahme des Abflusses bedeutet.

Tabelle 2 zeigt die Werte des Klimaänderungsfaktors, die für die 9 ausgewählten Teileinzugsgebiete der Maas erzielt wurden. Dargestellt sind die Werte der transnationalen (d.h. Frankreich, Belgien, Deutschland und Niederlande) Szenarien für die beiden Hauptauswirkungsvariablen: $Q_{\text{hx}_{100}}$ für Hochwasser und MAM7 für Niedrigwasser.

		Maas St- Mihiel	Maas Stenay	Maas Montcy	Maas Chooz	Maas Sint- Pieter	Lesse Gendron	Vesdre Chaufontaine	Rur Stah	Niers Goch
MAM7	2021- 2050	0,79 0,61	0,73 0,64	0,88 0,75	0,88 0,74	0,82 0,65	1,00 0,83	1,17 0,93	0,68 0,56	0,84 0,63
	2071- 2100	0,60 0,43	0,50 0,47	0,71 0,52	0,65 0,52	0,60 0,33	0,96 0,57	1,10 0,67	0,71 0,36	0,60 0,27
$Q_{\text{hx}_{100}}$	2021- 2050	1,12 0,96	1,12 0,96	1,12 0,96	1,12 0,96	1,14 0,95	1,19 0,98	1,08 0,90	1,02 0,88	1,11 0,89
	2071- 2100	1,27 0,89	1,27 0,89	1,27 0,89	1,27 0,89	1,33 0,91	1,55 0,90	1,27 0,81	1,10 0,61	1,24 0,71

Tabelle 2. Klimaänderungsfaktoren für das niedrigste arithmetische Mittel des Abflusses an 7 aufeinander folgenden Tagen (MAM7) und das stündliche maximale Winterjahrhunderthochwasser ($Q_{\text{hx}_{100}}$), Feucht- und Trockenszenarien.

Ein erwarteter Anstieg der maximalen Abflüsse für das Feuchtszenarium.

Für das transnationale Klimaszenario besteht eine logisch homogene Änderung der maximalen Abflüsse im gesamten Einzugsgebiet: Für das Feuchtszenario wird ein Anstieg und für das Trockenszenario ein Rückgang des Abflusses erwartet. Diese Trends sind am Ende des Jahrhunderts noch ausgeprägter.

Häufigere schwere Niedrigwasserperioden unabhängig vom Emissionsszenarium erwartet

Es wurden ebenfalls Klimaänderungsfaktoren, die auf den MAM7-Werten basieren, berechnet: Der minimale Abfluss wird voraussichtlich sowohl im Feucht- als auch im Trockenszenario abnehmen. Eine Ausnahme stellt der wallonische Teil der Maas dar, wo ein leichter Anstieg für das Feuchtszenario berechnet wurde. Diese Trends werden besonders für die zweite simulierte Periode hervorgehoben (2071-2100).

Keine vorliegenden Erkenntnisse über Extremniederschläge in kleinen Einzugsgebieten

Das AMICE-Projekt befasst sich nicht mit Extremniederschlägen in kleinen Einzugsgebieten. Starke Niederschläge in kleinen Gebieten können katastrophale Sturzfluten auslösen, die lokal sehr kostspielige Schäden verursachen. Im Gegensatz zu großräumigem Hochwasser, das vorwiegend im Winter auftritt, können starke Regenfälle das ganze Jahr über geschehen.

Da dieses Phänomen sehr schwierig nachzuvollziehen und zu simulieren ist, kann mit dem vorhandenen Kenntnisstand lediglich festgestellt werden, dass Starkregenereignisse im nächsten Jahrhundert zunehmen werden.

VERSTÄNDIGUNG ÜBER DIE ZUKÜNFTIGEN HYDROLOGISCHEN SZENARIEN

Ein Anstieg der Abflüsse im Winter - eine Abnahme der Abflüsse im Sommer

Die AMICE-Partner trafen sich am 11. März 2010 in der Universität von Metz, um ihre Ergebnisse zu diskutieren und sie den Interessengruppen des Maas-Einzugsgebiets zu präsentieren.

Anhand der Ergebnisse aus Tabelle 2 und der Repräsentativität der Maas-Zuflüsse wurden Experten gebeten, hydrologische Szenarien, die auf das gesamte Maas-Einzugsgebiet angewendet werden können, zu erstellen. Die AMICE-Partner haben sich letztendlich auf die extremsten hydrologischen Szenarien verständigt. Diese wurden für Hochwasser vom transnationalen feuchten Szenario und für Niedrigwasser dem transnationalen trockenen Szenario abgeleitet.

Diese extremen hydrologischen Szenarien sind wie folgt:

- Ein Anstieg der **Qhx₁₀₀ Werte** von **+15% für 2021-2050** und **+30% für 2071-2100**
- Eine Abnahme der **MAM7-Werte** von **-10% für 2021-2050** und **-40% für 2071-2100**

Diese hydrologischen Szenarien werden von den beteiligten Partnern bei ihren nächsten Maßnahmen verwendet, insbesondere bei den hydraulischen Modellierungen, (Ac6) die bereits begonnen wurden und von der Universität Liege (ULg-HACH) organisiert werden.

Um die Ergebnisse des AMICE-Projekts zu untermauern, haben sich die Partner darauf verständigt, die AMICE-Klimaszenarien mit dem Ergebnis des EU FP6 Projekts ENSEMBLES zu vergleichen, dessen Ziel darin bestand, die Unsicherheiten in langfristigen Klimaveränderungsprognosen zu quantifizieren.

Bezeichnung	Analyse der Klimaveränderung / Hoch- und Niedrigwasserszenarien im Maas-Einzugsgebiet WP1 Bericht - Maßnahme 3
Autoren	Droge G., Fournier M., Bauwens A., Buiteveld H., Commeaux F., Degré A., De Keizer O., Detrembleur S., Dewals B., François D., Guilmin E., Hausmann B., Hissel F., Huber N., Lebaut S., Losson B., Kufeld M., Nacken H., Pirotton M., Pontégnie D. Sohier C., Vanneuville W.
Datum	2010-06-07
Hauptpartner	EPAMA
Beteiligte Partner	UPVM, CETMEF, FHR, RWTH, RWS, ULg-HACH, ULg-Gx-ABT
Arbeitsabschnitt	1
Maßnahme	3

AMICE Anpassung der Maas an die Einflüsse der Klimaentwicklungen

ist ein Projekt der INTERREG IVB Nordwesteuropa (Nummer 074C).

Die Klimaveränderung führt zu mehr Hochwasser- und Trockenperioden der Maas. Die Flussmanager und Wasserexperten aus 4 Ländern arbeiten gemeinsam an diesem von der EU geförderten transnationalen Projekt zur Entwicklung einer innovativen und nachhaltigen Anpassungsstrategie. Die Projektläufe dauern von 2009 bis 2012. Erfahren Sie mehr über das Programm: www.amice-project.eu

Das NWE INTERREG IV B Programm

Das Programm fördert innovative transnationale Maßnahmen, die zu einer besseren Verwaltung natürlicher Ressourcen und Risiken führen, die Kommunikationsmittel optimieren und die Gemeinschaften Nordwesteuropas stärken.

Erfahren Sie hier mehr über das Programm: www.nweurope.eu

