

Auswirkungen des Klimawandels auf die Maas

Hydraulische Modellierung von der Quelle bis zur Mündung

WP1 Berichtzusammenfassung - Maßnahme 6



EINLEITUNG

Das AMICE-Projekt gibt Gelegenheit, gemeinsame Szenarien, Werkzeuge und Methoden für die Bewertung der Maßnahmen gegen die Auswirkungen des Klimawandels auf das Maas-Flusseinzugsgebiet einzusetzen sowie Strategien auszuarbeiten, die letztendlich zwischen den verschiedenen Ländern vergleichbar sein können.

Das für den Zeitraum 2009-2012 angesetzte AMICE-Projekt ist in 5 Arbeitsabschnitte unterteilt.

Die Ziele von Arbeitsabschnitt 1 werden innerhalb von 9 Maßnahmen verfolgt. Der vorliegende Bericht beschreibt ausführlich die Methoden und Ergebnisse der Maßnahme 6, die 2010 und 2011 koordiniert von der Universität Lüttich durchgeführt wurde.

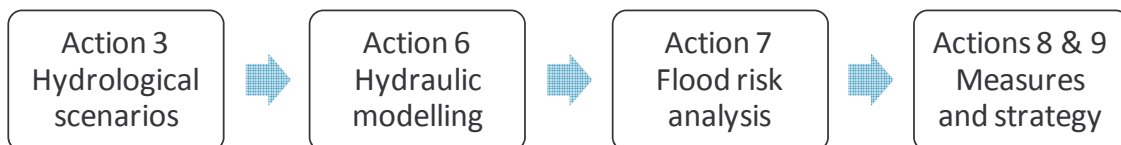


Abbildung 1: Die hydraulische Modellierung ist eine Schlüsselkomponente von Hochwasserrisikoanalyse und -management.

Dieser Bericht folgt auf eine erste Arbeit unter der Federführung der Universität Metz zu Maßnahme 3. In der Folge dieser vorbereitenden Arbeit haben alle AMICE-Partner zugestimmt, die folgenden Szenarien für zukünftige Hoch- und Niedrigwasser zu verwenden, in welchen die Auswirkungen des Klimawandels abgebildet werden:

- Eine Steigerung der **HQ₁₀₀-Werte** um **15 % für den Zeitraum 2021-2050** und um **30 % für den Zeitraum 2071-2100**, wobei HQ₁₀₀ für den Abfluss bei einem einhundertjährigen Ereignis steht.
- Eine Senkung der **MAM7-Werte** um 10 % für den Zeitraum 2021-2050 und um 40 % für den Zeitraum 2071-2100, wobei MAM7 für den niedrigsten mittleren jährlichen 7-Tage-Abfluss steht.

Notwendigkeit der Erstellung eines durchgängigen internationalen Hydraulikmodells für die Quantifizierung der zukünftigen Auswirkungen von Hochwassern für Klimawandelszenarien

Die hydraulische Modellierung ist ein entscheidender Schritt zum Verständnis der (zukünftigen) Auswirkungen von Hochwassern. Im Hinblick auf den neuen Klimakontext werden Maßnahmen und Strategien entwickelt, die verhindern sollen, dass Hochwasser Schaden anrichten.

Die hydraulische Modellierung ist notwendig für die Quantifizierung der durch das Hochwasser verursachten Schäden, denn mittels dieser Art von Modellen werden räumlich differenzierte Informationen zu den Wassertiefen, den Hochwasserdauern sowie den Fließgeschwindigkeiten ermittelt.

Diese Informationen können für die Ausarbeitung von Maßnahmen und Richtlinien für eine Verminderung oder sogar Vermeidung von Hochwasserschäden verwendet werden. Zudem wird die hydraulische Modellierung für das gesamte AMICE-Projekt von Nutzen sein, und seine grenzüberschreitende Konzeption könnte innerhalb zahlreicher weiterer Studien auf der ganzen Welt eingesetzt werden. Zudem können die Ergebnisse der hydraulischen Modellierungen Kommunikationszwecken dienen, da hiermit Karten über das Ausmaß von Hochwassern für die Öffentlichkeit erstellt werden können.

Es wurden bereits in jedem Anrainerstaat für die Maas und für einige der Zuflüsse Hydraulikmodelle erstellt. Diese Modelle weisen zwar einige Gemeinsamkeiten auf, reichen jedoch nicht für die direkte Bereitstellung durchgängiger Ergebnisse für die gesamte Fließlänge der Maas aus. Aus diesem Grund ist das Hauptziel der **Maßnahme 6** die Erstellung eines **durchgängigen internationalen Hydraulikmodells**. Die für Maßnahme 6 gewählte Methode zielt ab auf die Kopplung der in den verschiedenen Ländern verwendeten Modelle und erzielten Ergebnisse sowie die Erstellung eines gemeinsamen Verfahrens, um alle Modelle parallel laufen zu lassen.

Im Zuge von Maßnahme 6 wurden folgende Schritte verfolgt:

1. Zusammenstellung und Vergleich der von den verschiedenen Regionen jeweils verwendeten Informationen und Datensätze,
2. Festlegung einer Methodik für gemeinsame hydraulische Modellierungen: Auswahl von durchgängigen Randbedingungen für den gesamten Flussverlauf sowie der Art und Weise der Simulationsdurchführung,
3. Paralleler Betrieb der Hydraulikmodelle der verschiedenen Regionen. Überprüfen der Konsistenz der Ergebnisse an den Grenzen nach dem ersten Durchlauf. Gegebenenfalls Feinabstimmung der Randbedingungen, um die Durchgängigkeit der Modelle grenzübergreifend sicherzustellen, sowie Durchführung eines zweiten Modelllaufs für die Überprüfung der Ergebnisse.
4. Durchführung der Simulation für die feuchten Szenarien von AMICE und Analyse der Auswirkungen des Klimawandels:
 - auf der Skala des Flusses für verschiedene Punkte und Maßnahmenstrecken: Auswirkungen auf den Wasserstand, auf überflutete Gebiete und gespeichertes Volumen,
 - auf lokaler Ebene: Erstellen von Karten über das Ausmaß der Überschwemmungen für die feuchten Szenarien, Ermittlung, wie sich die Hochwassergefährdung der ausgewählten Brennpunkte infolge des Klimawandels verändern könnte.

Gemeinsamkeiten und Unterschiede für die bestehenden Hydraulikmodelle

Sammeln von Informationen zu den von jedem Partner verwendeten Modellen und Daten

Es wurden bereits Hydraulikmodelle für jede Region der Maas entwickelt. **Die Hydraulikmodelle entlang der Maas binden jedoch nicht die Abflüsse oder Wasserstände von den Stromaufwärts-/abwärts anschließenden Modellen ein.** Zudem bestehen einige bedeutende **Unterschiede zwischen den Modellen**, welche eindeutig eine durchgängigere grenzübergreifende Methode notwendig machten.

Grundbegriffe zur hydraulischen Modellierung

Im Allgemeinen können je nach Form und Funktionsweise des Flusssystemes verschiedene Arten von Hydraulikmodellen verwendet werden.

Diese können entweder stationär oder instationär sein. Im ersten Fall wird davon ausgegangen, dass sich der Abfluss nicht zeitabhängig ändert. Folglich wird ein einziger statistischer Wert für den maximalen Abfluss verwendet (im Falle des AMICE-Projekts HQ_{100}). Diese Hypothese gilt für enge Flusstäler.

Im zweiten Fall ändert sich der Abfluss über die Zeit. Folglich werden Ganglinien als obere Randbedingung verwendet. In großen Überschwemmungsgebieten, in denen sich das Wasser stauen kann, sind diese Modelle aussagefähiger, da sie die Minderung des Abflusses aufgrund der Wasserspeicherung in den Überschwemmungsgebieten einbeziehen können.

Darüber hinaus können 1D- oder 2D-Modelle verwendet werden. Im ersten Fall wird davon ausgegangen, dass der Abfluss in eine einzige Richtung erfolgt. Im zweiten Fall können bei dem Modell verschiedene Fließrichtungen in Abhängigkeit von der jeweiligen Topographie der Überschwemmungsebene einbezogen werden.

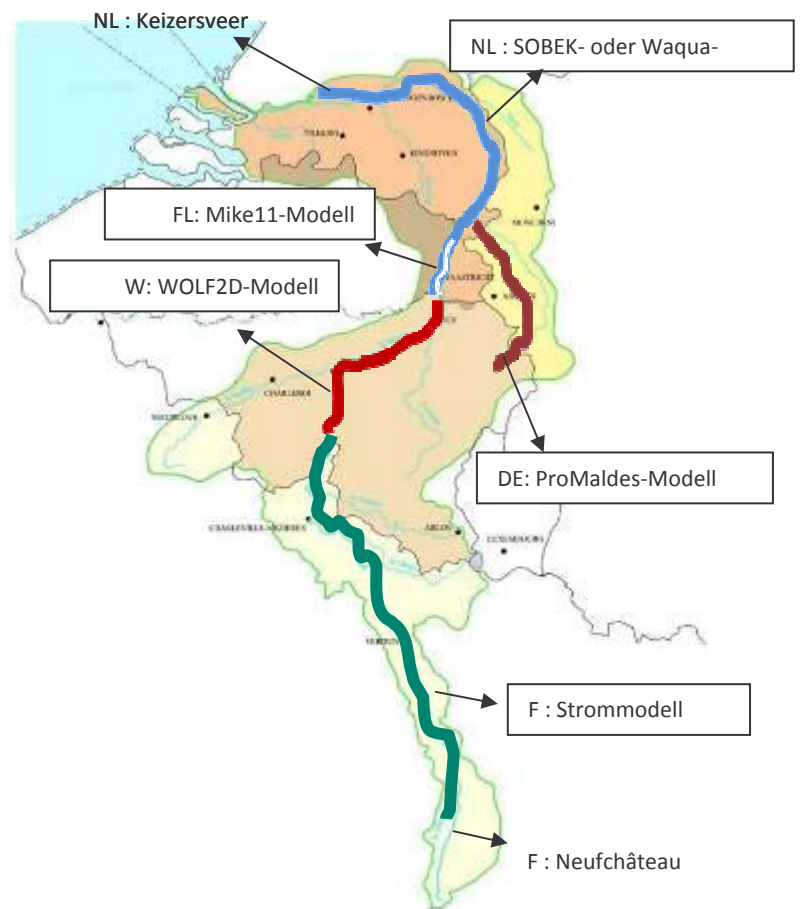


Abbildung 2: Abgedeckte Maßnahmenstrecken und zugehörige Hydraulikmodelle.

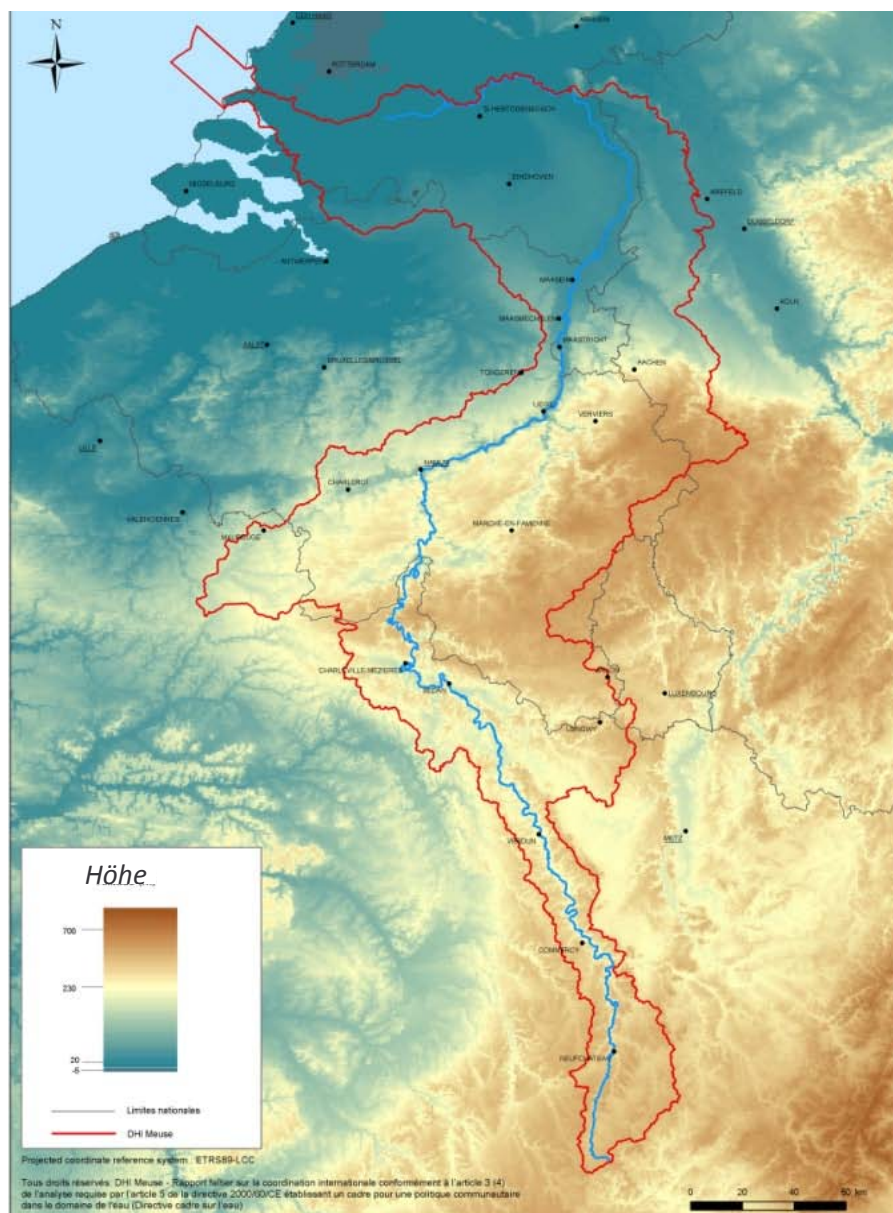
Bei der Durchsicht der vorhandenen Modelle ergibt sich Folgendes:

- Die vorhandenen Modelle decken fast den gesamten Verlauf der Maas von der Quelle bis zur Mündung ab. In Deutschland wird die Modellierung für die Rur durchgeführt, einem bedeutenden Zufluss der Maas (siehe Abbildung 2).
- Es bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Modellen, welche die Unterschiede der Merkmale des Flusseinzugsgebiets, aber auch einige spezifische Bedürfnisse der Anwender widerspiegeln:
 - o die räumliche Darstellung reicht von voll eindimensionalen Modellen, welche auf Querprofilen im Flussbett und in den Überflutungsgebieten basieren (Beispiel: Niederlande), bis zu einer voll zweidimensionalen Darstellung basierend auf Laser-Höhenmessung und Echlot-Bathymetrie (in Wallonien und zudem in den Niederlanden).
 - o Für die zeitliche Darstellung können die Modelle entweder instationär sein oder im stationären Modus durchgeführt werden. Frankreich, Flandern, Deutschland und die Niederlande verwenden instationäre Modelle, Wallonien dagegen stationäre.

Diese Unterschiede bei den verschiedenen verwendeten Modellen lassen sich mit der Topographie des Maas-Einzugsgebiets erklären (Abbildung 3). Dieses kann in drei bedeutende geologische Zonen unterteilt werden. Während der nördliche und südliche Teil **weite Flussebenen** aufweisen, fließt die Maas im mittleren Teil des Einzugsgebiets zwischen

Charleville-Mézières und Lüttich im Ardennen-Massiv **durch enge, steile Täler**. Diese geografischen Merkmale sind entscheidende Faktoren bei Hochwassern, da hierdurch das Potenzial für eine **Dämpfung der Hochwasserwellen** definiert wird. Folglich legen diese das optimale Verfahren für die hydraulische Modellierung in den verschiedenen Abschnitten des Einzugsgebiets fest, wie insbesondere die Wahl zwischen einem stationären oder instationären Modell.

Abbildung 3: Maas-Einzugsgebiet



Gewährleistung der Kontinuität an den Grenzen: Randbedingungen

Die Hydraulikmodelle benötigen eine obere und eine untere Randbedingung, die bei stationären Modellen konstant und beim Einsatz von instationären Modellen zeitabhängig sein kann. Üblicherweise ist die obere Randbedingung ein Abfluss und die untere Randbedingung ein Wasserstand. Der Wasserstand kann aus dem Abfluss errechnet werden, wenn die Wasserstands-Abfluss-Beziehung bekannt ist.

Gegenwärtig basieren alle hydraulischen Modelle auf den Ergebnissen von Niederschlags-Abfluss-Modellen oder statistischen hydrologischen Daten aus Beobachtungen an vorhandenen Messstationen. Alle Messstationen im Maas-Einzugsgebiet haben historische Daten aufgezeichnet, die sich über einen Zeitraum zwischen 25 und 50 Jahren oder sogar 100 Jahren im Falle von Borgharen (NL) erstrecken. Diese Zeiträume sind die Grundlage für die Berechnung von HQ_{100} , der oberen Randbedingung für die hydraulischen Simulationen. Die HQ_{100} -Werte für jede Grenze sind auf der nachfolgenden Karte eingetragen (Abbildung 4).

Es stellte sich heraus, dass die Unterschiede bei den verwendeten hydrologischen Daten gering waren: die extremwertstatistisch ermittelten Abflüsse an den Grenzen weichen in Lixhe (Grenze zwischen Wallonien und den Niederlanden) lediglich um 2 % bis 3 % und in Chooz (französisch-wallonische Grenze) sogar um weniger als 1 % ab.

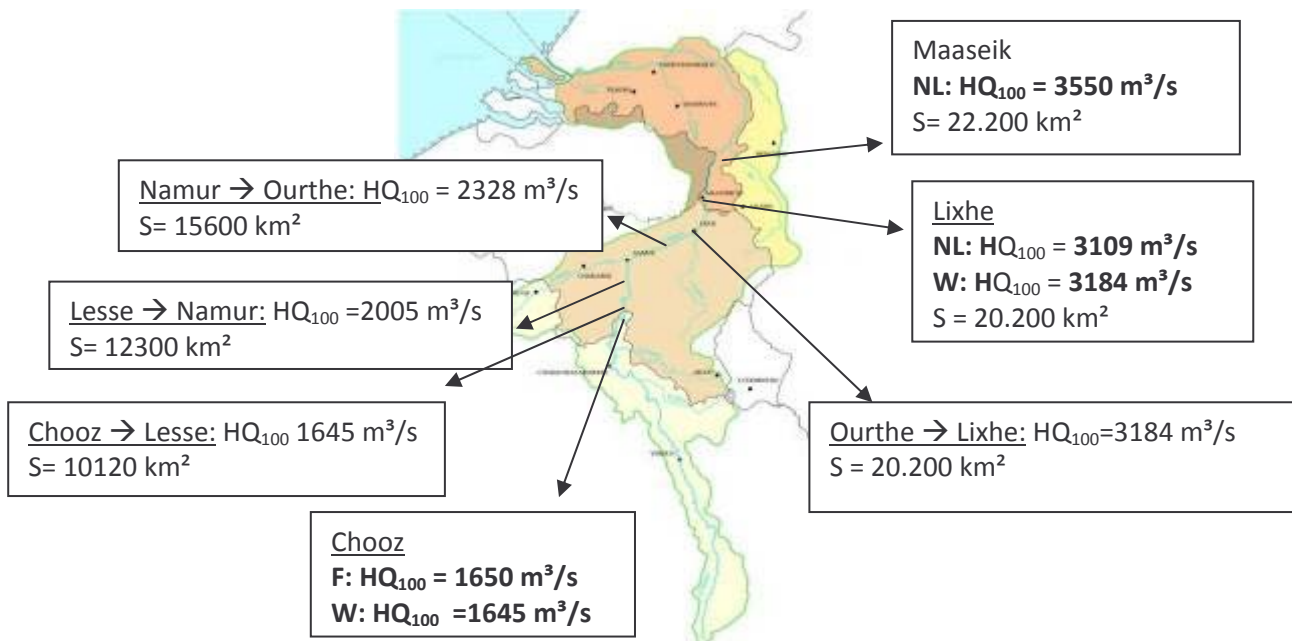


Abbildung 4: HQ_{100} Abfluss und Einzugsgebiet (S) für jede berücksichtigte Fließgewässerstrecke der Maas.

Erstellung einer gemeinsamen Methodik für die grenzüberschreitende hydraulische Modellierung

Nach Überprüfen der Konsistenz der hydrologischen Werte an den Landesgrenzen verbleibt nach wie vor eine Diskrepanz zwischen den stationären und instationären Modellierungsmethoden.

Um die Durchgängigkeit der Simulationen in jeder Region zu gewährleisten, wurde folgende Vorgehensweise angewendet:

1. Definition konsistenter Randbedingungen zwischen den Regionen,
2. Festlegung einer Methodik für die Durchführung von Simulationen: Entscheidung für eine vollständig stationäre oder instationäre Methode und gleichzeitige Durchführung der Simulationen oder eine parallele Durchführung jedes einzelnen Modells.

Für den ersten Schritt sind für die mittels Modellen gelösten mathematischen Gleichungen (Saint-Venant oder Flachwassergleichungen) geeignete Randbedingungen festzulegen:

- **Für die oberen** Randbedingungen werden für stationäre Modelle der Abfluss HQ_{100} am Pegel und für instationäre Modelle Hydrographen verwendet.
- **Als untere** Randbedingungen dienen normalerweise Wasserstände, welche anhand der Wasserstands-Abfluss-Beziehung ermittelt werden.

Für die Simulationen in Maßnahme 6 wurden folgende Randbedingungen vereinbart:

- Gemessene Daten werden am Modelleinlauf in Neufchâteau (Abfluss) und an der stromabwärts gelegenen Modellgrenze in Keizersveer (Wasserstand) verwendet.
- Alle anderen Randbedingungen hängen von den Ergebnissen der anderen Modelle ab.

Eine wichtige Frage, welche bei der Maßnahme 6 des AMICE-Projekts beantwortet werden musste, war, ob alle Modellläufe simultan bewerkstelligt und anschließend entweder eine vollständig stationäre oder instationäre Simulation für den gesamten Flusslauf der Maas durchgeführt oder ob den bestehenden Unterschieden zwischen den Modellen Rechnung getragen und diese parallel durchgeführt werden sollten.

Die erste Methode erschien nicht zufriedenstellend, da auf diese Weise die verfügbare Zeit nicht optimal hätte genutzt werden können.

Folglich wurde vereinbart, dass das gemeinsame **Modellierungsverfahren eine instationäre und stationäre Modellierung** kombiniert, und zwar in Abhängigkeit von den vorhandenen Praktiken in jeder Region und in Übereinstimmung mit der Speicherkapazität der Überschwemmungsgebiete. **Dies ermöglicht eine parallele** (statt einer seriellen) **Durchführung** der Modellläufe, **wodurch eine angemessene Kontinuität der Ergebnisse an den Grenzen gewährleistet wird.**

Letztendlich war die gewählte Methodologie ein Zwei-Schritt-Verfahren. Zuerst wurden alle Hydraulikmodelle einzeln auf Grundlage der gemessenen oder extrapolierten Daten durchgeführt.

Anschließend wurde die Konsistenz der Simulationsergebnisse an den Grenzen zwischen den Modellen überprüft und anschließend gegebenenfalls ein zweiter Durchlauf der (Unter-) Modelle durchgeführt. In diesem Fall ermöglichte der Einsatz von Randbedingungen, die von den benachbarten Modellen übernommen wurden, eine Wiederherstellung der grenzübergreifenden Kontinuität (Abbildung 5).

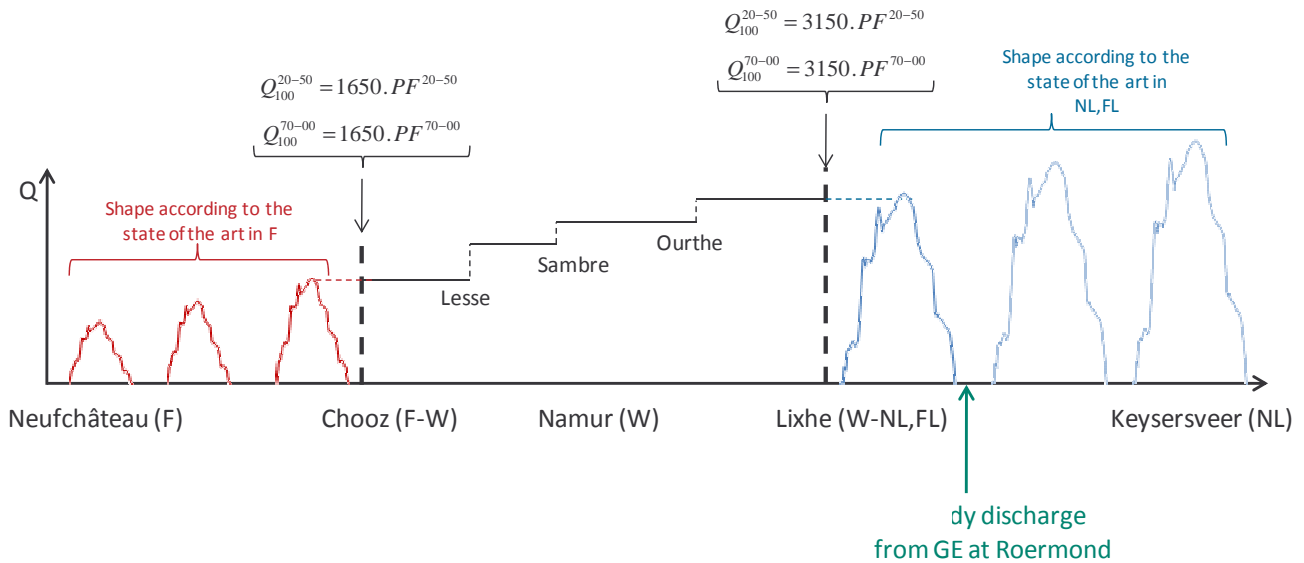


Abbildung 5: Skizze für die Abflussverteilung entlang der Maas: zwischen Neufchâteau und Chooz sowie zwischen Lixhe und Keizersveer wurden *instationäre* Modelle eingesetzt, zwischen Chooz und Lixhe ein *stationäre* Modell

*PF: Perturbationsfaktor

Durchgängigkeitsprüfung an den Grenzen

Vorbereitende Arbeiten: Auswahl von Vergleichspunkten und Festlegung eines gemeinsamen Referenzsystems für den Vergleich der Ergebnisse

Es wurden 5 Orte für den Vergleich der Modellergebnisse gewählt: Chooz an der französisch-wallonischen Grenze, Lixhe an der wallonisch-holländischen Grenze, Linne und Borgharen für den Vergleich der holländischen und flämischen Modelle und Roermond für die holländischen und deutschen Modelle.

Da die Koordinatensysteme und Bezüge für die Höhenmessungen in den einzelnen Regionen unterschiedlich sind, mussten die räumlichen Koordinaten der in den einzelnen Ländern gewählten Vergleichspunkte in ein gemeinsames Koordinatensystem konvertiert werden, um Vergleiche zwischen den Ergebnissen der Hydraulikmodelle ziehen zu können. Als gemeinsames Koordinatensystem wurden der Längen- und Breitengrad gewählt, als Bezug für Höhen wurden Belgiens DNG (bzw. TAW) beibehalten, da diese bereits von Wallonien und Flandern gemeinsam verwendet wurden.

Durchführung der Simulation: Ermittlung von Unterschieden nach dem ersten Durchlauf an jeder Grenze und Ermittlung, wie diese vermindert werden könnten.

Nach Durchführung der ersten Simulation wurde der größte Unterschied beim Wasserstand (bis zu 1 m) zwischen Frankreich und Wallonien festgestellt. Diese Diskrepanz war auf drei Faktoren zurückzuführen: Unterschied in den Wasserstands-Abfluss-Kurven des französischen Modells, das als untere Randbedingung verwendet wurde (Abbildung 6), eine Bathymetrie der Maas, die in Wallonien nicht aktualisiert wurde, sowie die Notwendigkeit, den Rauheitsparameter für das französische Modell im wallonischen Teil zu korrigieren. Nach dem Korrigieren dieser Parameter ergab der zweite Durchlauf einen Unterschied von lediglich 10 cm. In Abbildung 6 wird die Bathymetrie im Jahr 2002 als "modellierte Punkte in Wallonia 2002" und die aktualisierte Bathymetrie als "modellierte Punkte in Wallonia 2007" bezeichnet.

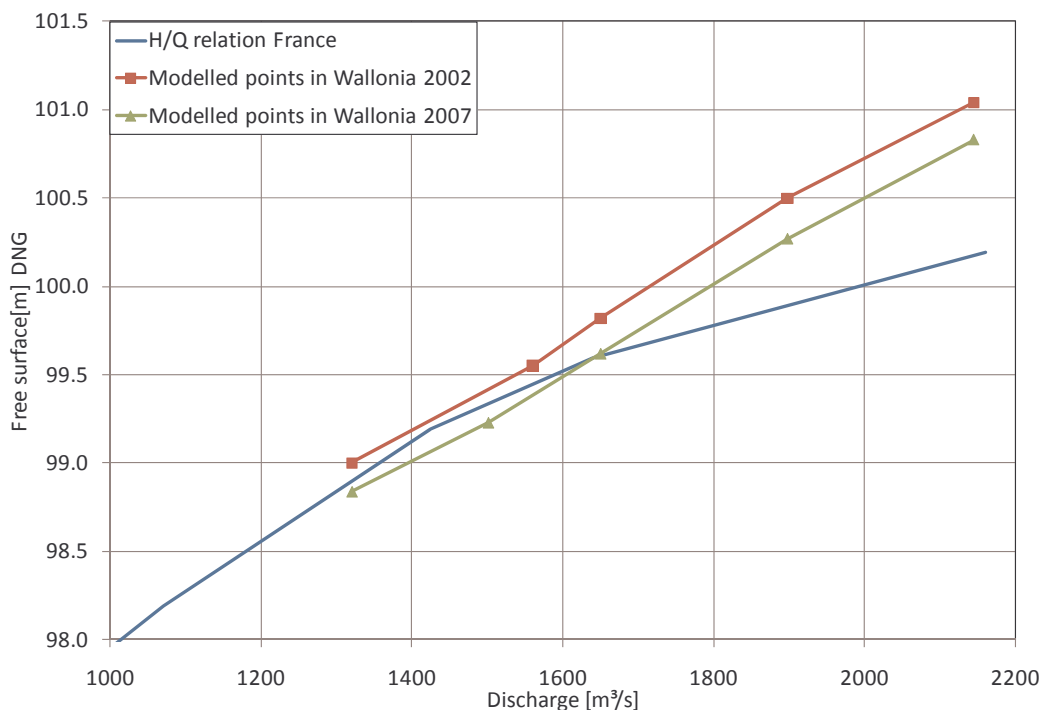


Abbildung 6: Diskrepanz zwischen den französischen und wallonischen Wasserstands-Abfluss-Kurven, welche als untere Randbedingung verwendet wurden.

Der Unterschied zwischen Wallonien und den Niederlanden betrug weniger als 20 cm nach dem ersten Durchlauf. Nach einer geringfügigen Korrektur der Randbedingungen des wallonischen Modells wurden konsistente Ergebnisse erzielt.

Zwischen Flandern und den Niederlanden wurden eine Diskrepanz (30 cm) sowie ein Unterschied zwischen den Scheitelabflüssen der Modelle festgestellt. Diese wurden als nicht erheblich eingestuft und es wurde auf einen zweiten Lauf der Modelle verzichtet. Zudem halten die Zuflussganglinien die festgelegte Methodologie ein. Des Weiteren zeigen sich auch in Borgharen einige kleine Unterschiede, die auf die unterschiedliche Form der Ganglinien zurückzuführen sind.

Deutschland stimmte dann die obere Randbedingung an der Rur so ab, dass diese mit dem Zufluss am Zusammenfluss der beiden Flüsse in Roermond übereinstimmten. Dieser Wert korrespondiert mit einem HQ_{100} in der Maas. Die Abweichungen des Scheitelabflusses und des Hochwasservolumens lagen letztendlich unter 5 %.

Ergebnisse und Analyse

Nach einer konsistenten Durchführung der Simulationen von der Quelle bis zur Mündung der Maas wurden die Ergebnisse auf zwei sich ergänzenden Ebenen analysiert, der Flusseinzugsgebiets- und der lokalen Ebene.

Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf Einzugsgebietsebene

Ganglinien und Scheitelabflüsse

Zuerst wurden die Scheitelabflüsse und - falls möglich - Ganglinien, welche Ausgabedaten der Hydraulikmodelle waren, für die HQ₁₀₀+15 %- und HQ₁₀₀+30 %-Szenarien ermittelt und analysiert. Die nachfolgenden Ergebnisse zu der allgemeinen Funktionsweise des Maas-Einzugsgebiets konnten aus der Simulation abgeleitet werden, obwohl diese nicht mit den Folgen des Klimawandels in Verbindung stehen.

In Frankreich zeigen die Ganglinien, dass die Fließtiefe und Überschwemmungsdauer mit wachsender Entfernung zur Quelle allmählich zunehmen, was den Einfluss der Zuflüsse verdeutlicht. Im Gegensatz hierzu nimmt die maximale Fließtiefe an der flämisch-holländischen Grenzregion zwischen Borgharen und Linne ab, da eine leichte Dämpfung der Hochwasserwelle in den Überschwemmungsgebieten erfolgt und es keine nennenswerten Zuflüsse gibt. Die berechnete Ausbreitungszeit beträgt rund 130 Stunden zwischen Neufchâteau und der französisch-belgischen Grenze und rund 20 Stunden zwischen Borgharen und Linne.

Die Werte der Scheitelabflüsse wurden von den Ganglinien abgeleitet. Abbildung 7 zeigt, dass der Abfluss von der Quelle an allmählich bis Givet zunimmt. Dann nimmt der Abfluss schrittweise zu, was den Hauptzuflüssen in Wallonien zuzurechnen ist. Danach werden die Beiträge der Zuflüsse zwischen Lixhe und Roermond leicht abgeschwächt, und zuletzt erfolgt eine weitere Abschwächung stromabwärts aufgrund der großen überfluteten Gebiete in den Niederlanden.

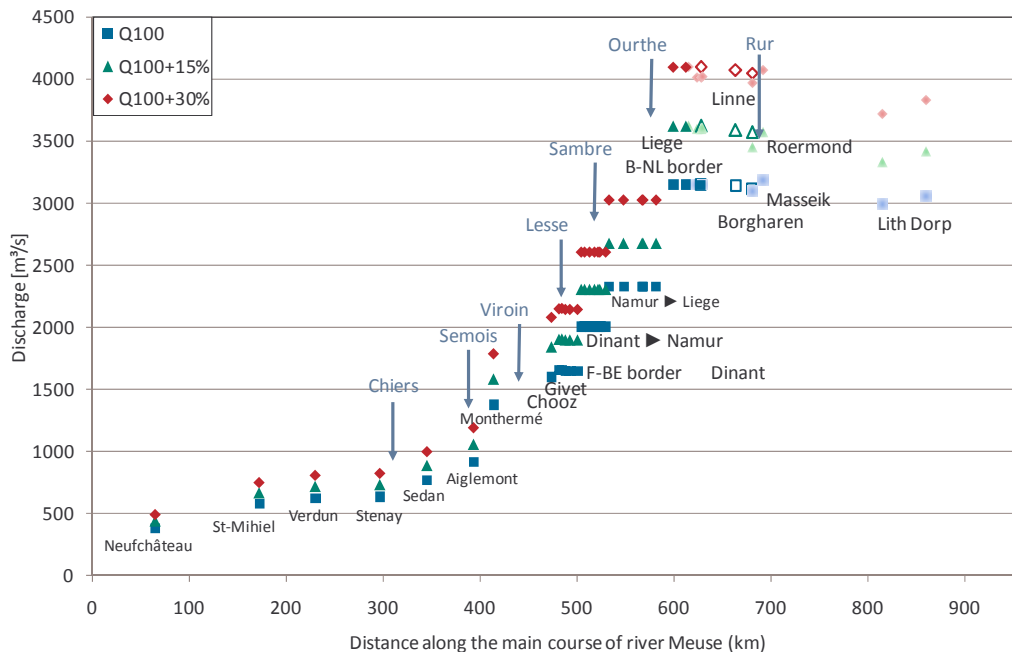


Abbildung 7: Vergleich der Abflussscheitel von der Quelle bis zur Mündung

Wassertiefen, überflutetes Gebiet und gespeichertes Volumen

Anschließend konnten dank der hydraulischen Modellierung weitere Daten verglichen werden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Auswirkungen des Klimawandels hinsichtlich der natürlichen Funktionsweise des Flusses erhebliche Unterschiede in den Regionen aufweisen können.

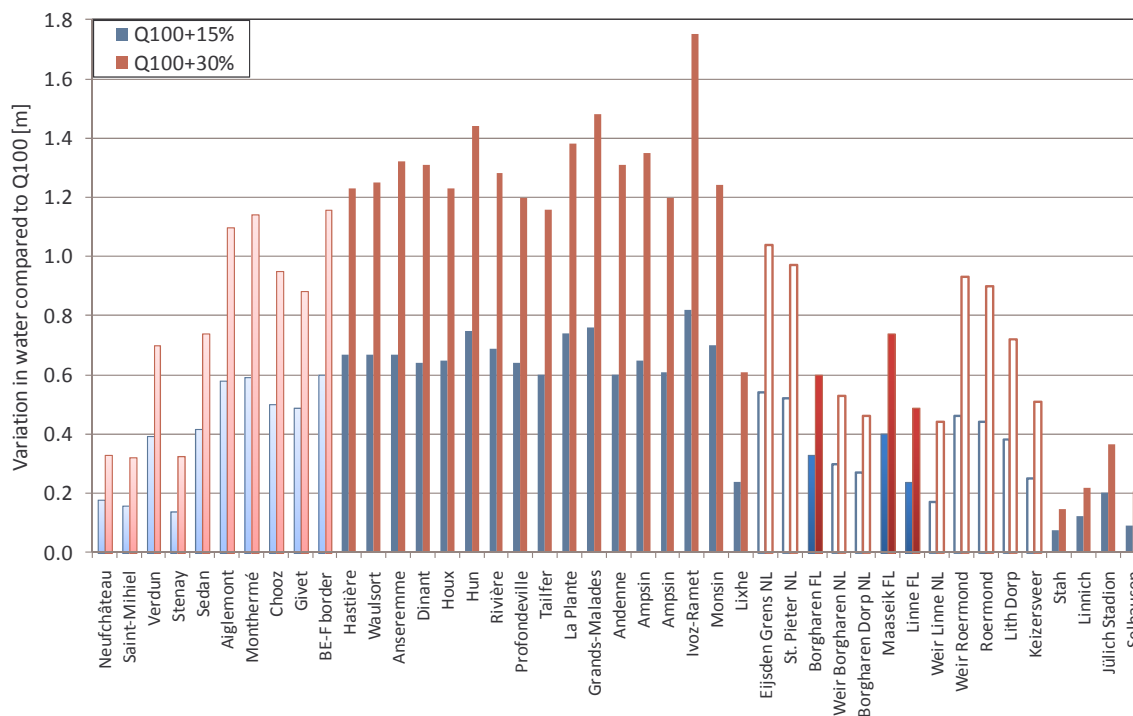


Abbildung 8: Schwankungen in der Fließtiefe im Vergleich zu HQ_{100} an den Extrahierungspunkten

Die Analyse der Veränderungen der Wassertiefen an den ausgewählten Punkten entlang der Maßnahmenstrecken führte zu den folgenden Schlussfolgerungen (siehe Abbildung 8):

- Im oberen und unteren Teil der Maas reichten die Werte von +30 cm (Zeitraum 2021-2050) bis zu +70 cm (Zeitraum 2071-2100). Im mittleren und engeren Teil des Einzugsgebiets wurden Werte zwischen +60 und +130 cm erreicht. Diese höhere Sensitivität der Wasserstände in Bezug auf die Zunahme des Abflusses im mittleren Teil steht in Übereinstimmung mit der Veränderung der Topographie des Tals.
- **Die überfluteten Gebiete und das gespeicherte Volumen** wurden dann für jeden Flussabschnitt in Form des relativen Beitrags zur Gesamtzunahme für $HQ_{100}+30\%$ in jedem Land dargestellt.
 - In Frankreich waren die Flussabschnitte zwischen Verdun und Aiglemont am stärksten von der Zunahme des Abflusses im Klimawandelszenario betroffen (wobei jeder Flussabschnitt zwischen 15 % und 30 % der gesamten Zunahme des überfluteten Gebiets aufgrund des Klimawandels für das $HQ_{100}+30\%$ -Szenario darstellt).
 - In Wallonien ist der Flussabschnitt zwischen Andenne und Monsin am stärksten betroffen (siehe Abbildung 9 – der Flussabschnitt Ivoz-Monsin, einschließlich des Industriegebiets von Lüttich, steht allein für rund 35 % des gesamten überfluteten Gebiets für das $HQ_{100}+30\%$ -Szenario).

- In den Niederlanden und Flandern ist der Flussabschnitt zwischen Lanaken und Kessenich für beide Zeithorizonte am stärksten betroffen (rund 35 % der gesamten Zunahme des zurückgehaltenen Volumens), gefolgt von dem Flussabschnitt, welcher "Zandmaas" genannt wird (rund 10 %).

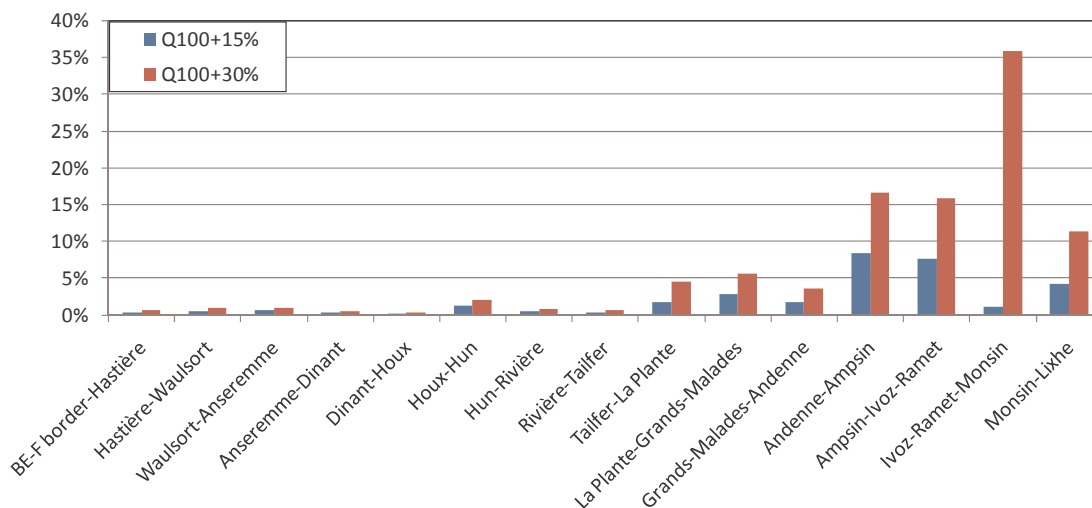


Abbildung 9. Beiträge der überfluteten Gebiete pro Flussabschnitt im Vergleich zur Gesamtzunahme des überfluteten Gebiets für $HQ_{100}+30\%$ in Wallonien

Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Überflutung der strategischen Brennpunkte

Die strategischen Brennpunkte in jedem Land wurden gewählt, um die Auswirkungen des Klimawandels und die sich hieraus ergebenden Überflutungen zu analysieren. Für jeden Brennpunkt wurde eine Karte mit den potenziellen Hochwassergefahren für die drei festgelegten Szenarien angefertigt.

In Frankreich waren die Städte Givet und Charleville-Mézières von dem Hochwasser im Jahr 1995 schwer betroffen. In der Folge wurden Schutzvorrichtungen gebaut (Mauern, Deiche, Durchstiche, gesteuerte Hochwasserrückhalteräume...). Gemäß **dem feuchten Szenario von AMICE werden sich diese Vorrichtungen als unwirksam für den Schutz der beiden Städte erweisen**. Zudem werden im Falle von Charleville-Mézières strategische Teile der Stadt überflutet werden. Im Falle von Verdun sind die Auswirkungen des Klimawandels in Bezug auf überflutete Flächen begrenzt, aber die Fließtiefen könnten von 40 auf 60 cm ansteigen.

In Wallonien ist die bedeutendste Stadt, **Lüttich**, gegenwärtig gegen eine Jahrhundertflut geschützt. Die Simulationen zeigten, dass das **überflutete Gebiet angesichts der Schwere der Klimawandel-Szenarien erheblich wachsen wird**.

Der ausgewählte Brennpunkt an der **holländisch-flämischen** Grenze deckt sich mit einem Teil der Grensmaas. Da Deichbrüche und Überläufe im Modell nicht berücksichtigt wurden, weist die Überschwemmungskarte nur einen geringen Unterschied für das **überflutete Gebiet auf**. Zwar wird sich die Ausdehnung des überfluteten Gebiets infolge des Klimawandels kaum ändern, **wohl aber die Wassertiefen**.

In Deutschland wird sich die Lage der Ortschaft Ophoven am Unterlauf der Rur, die bereits zuvor hochwassergefährdet war, **weiter zuspitzen**.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Einzugsgebietsweit harmonisierte hydrologische Daten und hydraulische Modelle

Der vorliegende Bericht deckt die hydraulischen Modellierungsaufgaben ab, welche im Rahmen des AMICE-Projekts durchgeführt wurden. Diese Aufgaben, Teil des Arbeitsabschnitts 1, Maßnahme 6, haben es ermöglicht, eine **gemeinsame Modellierung** und die erste **koordinierte Hochwassersimulation für die Maas von der Quelle bis zur Mündung** durchzuführen. Um die Auswirkungen des Klimawandels bei Hochwassern einzuschätzen, wurde die grenzübergreifende durchgängige hydraulische Modellierung dann für die in Maßnahme 3 vereinbarten feuchten Szenarien von AMICE getestet: $HQ_{100}+15\%$ für den Zeitraum 2021-2050 und $HQ_{100}+30\%$ für den Zeitraum 2050-2071.

Ein starkes räumliches Muster der Sensitivität der Flussabschnitte hinsichtlich Änderungen des Hochwasserabflusses

Die durchgeführte harmonisierte hydraulische **Modellierung zeigte, dass der Einfluss einer vergleichbaren Änderung des Hochwasserabflusses auf die Zunahme der Wassertiefe im mittleren Teil des Flusseinzugsgebiets ungefähr doppelt so hoch ist wie im oberen und unteren Teil**. Diese Erkenntnis lässt sich durch die Hauptmerkmale des Maas-Einzugsgebiets erklären: sowohl der obere als auch der untere Teil des Flusseinzugsgebiets haben relativ weite Überflutungsflächen mit einer hohen Speicherkapazität, während die Flusstäler im mittleren Abschnitt steiler und enger sind, was eine geringere Speicherkapazität in den Überflutungsbereichen zur Folge hat. Folglich wird davon ausgegangen, dass die Flussabschnitte im mittleren Teil des Flusseinzugsgebiets eine höhere Anfälligkeit bezüglich der Erhöhung der Wassertiefe aufweisen werden.

Zudem hebt die Simulation hervor, wie schwer **manche Flussabschnitte im Hinblick auf den Klimawandel durch eine Zunahme ihrer überfluteten Gebiete betroffen sein könnten**, wie z.B. der Abschnitt zwischen Andenne und Monsin in Wallonien.

Potenziell erhebliche Folgen in ausgewählten Brennpunkten

Die Analyse der ausgewählten Brennpunkte in den verschiedenen Ländern zeigte zudem folgende Fakten auf:

- Selbst wenn sich die Hochwasser in ihrer Flächenausdehnung beschränken, können diese schwerwiegende Folgen haben, wenn sie Schlüsselressourcen treffen, wie z.B. in Frankreich.
- Auch wenn einige Standorte, insbesondere in Wallonien, gut vorbereitet und geschützt vor gegenwärtig möglichen Hochwassern zu sein scheinen, könnten diese trotzdem größere Schäden erleiden, wenn man den erhöhten Abfluss aufgrund des Klimawandels in die Betrachtung mit einbezieht.

Bezeichnung	Hydraulische Modellierung der Maas WP1-Bericht - Maßnahme 6
Autoren	Detrembleur S., Dewals B., Fournier M., Becker B., Guilmin E., Moeskops S., Kufeld M., Archambeau P., de KeizerKeizer O., Pontegnie D., Huber N.P., Vanneuville W., Buiteveld H., Schüttrumpf H. und Piroton M.
Datum	2011-09-09
Hauptpartner	EPAMA
Beteiligte Partner	ULg-HACH, EPAMA, RWTH, RWS, FHR
Arbeitsabschnitt	1
Maßnahme	6

AMICE Anpassung der Maas an die Einflüsse des Klimawandels

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

Der Klimawandel führt zu mehr Überschwemmungen und Trockenperioden der Maas. Die Flussmanager und Wasserexperten aus 4 Ländern arbeiten gemeinsam an diesem von der EU geförderten grenzübergreifenden Projekt zur Entwicklung einer innovativen und nachhaltigen Anpassungsstrategie. Das Projekt dauert 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

