

Anwendbarkeit des Soil and Water Assessment Tool (SWAT) bei der Analyse des Landschaftswasserhaushaltes von Flusseinzugsgebieten am Beispiel der Dhünn

Applicability of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) at the analysis of the landscape water balance of river basins on the example of the Dhünn

Dipl.-Ing. Christian Jolk

Die im Jahr 2000 in Kraft getretene EU-Wasserrahmenrichtlinie setzt den Entscheidungsträgern der Wasserwirtschaft ambitionierte Ziele und hohe Vorgaben auf dem Gebiet des integrierten Wasserressourcenmanagements. Um bis zum Jahr 2015 eine Verschlechterung des Zustands aller Gemeinschaftsgewässer zu verhindern und für die Erreichung eines guten Zustandes zu sorgen wird die Wasserwirtschaft mit komplexen Anforderungen konfrontiert. Praxisnahe Studien können den Entscheidungsträgern Modelle, Methoden und Hilfsmittel bieten, um Bewirtschaftungspläne von Flusseinzugsgebieten zu entwickeln. Ein mögliches Instrument zur Umsetzung eines integrierten Wasserressourcenmanagement ist das vom United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service (USDA-ARS) entwickelte Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Sein Haupteinsatzgebiet liegt in der Simulation des Landschaftswasser- sowie Stoffhaushaltes in landwirtschaftlich geprägten Regionen im mesoskaligen bis makroskaligen Bereich. Um die Anwendbarkeit von SWAT zu erproben wurde die Hydrologie des Flusseinzugsgebietes der Dhünn, basierend auf einer zeitlich differenzierten Betrachtung des Wasserhaushaltes und einer hohen räumlichen Auflösung des Untersuchungsgebietes, simuliert. Eine detaillierte Modellierung der Boden- und Landnutzungsverhältnisse, eine statistische Auswertung des Klimas im Einzugsgebiet sowie eine Analyse der Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf die Funktionalität von SWAT zu. Die vorgenommene zusammenfassende Bewertung der Stärken und Schwächen des Modells und der damit verbundenen Praktikabilität, bietet den Entscheidungsträgern eine Grundlage bei der Auswahl des Simulationsmodells zur Beurteilung verschiedener wasserwirtschaftlicher Fragestellungen.

Land use changes, such as the intensification of the agriculture and the increasing soil sealing, higher demands on the physical quality of water bodies and long term climate changes, require the use of hydrological models. A frequently used model is the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) developed by the United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service (USDA-ARS). Its main application is the simulation of the landscape water as well as the material transportation in rural regions. The simulation of the hydrology of the river basin Dhünn is based on a temporal varied view on the hydrological cycle and a high spatial dissolution of the examination area. The detailed modelling of the soil- and land use, a statistical evaluation of the climate as well as the interpretation of the results of the river basin allow conclusions on the applicability of SWAT. The advantages and disadvantages of the simulation model have been analysed. The assessment offers a basis for the decision which simulation model can be choose for the evaluation of different questions of water management.

1 Problemstellung

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) fordert eine weitere Verschlechterung des Zustandes aller Gemeinschaftsgewässer zu verhindern und für die Erreichung eines guten Zustandes bis 2015 zu sorgen. Die Oberflächengewässer und das Grundwasser jeder Flussgebietseinheit mussten entsprechend der Richtlinie bis spätestens 2004 in Form einer Bestandsaufnahme beschrieben worden sein. Dazu gehörte auch eine Prüfung der Umweltauswirkungen menschlicher Tätigkeit. Die Wasserbehörden stehen weiterhin in der Pflicht bis zum Jahr 2009 auf der Basis der

Bestandsaufnahmen Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme für Flusseinzugsgebiete aufzustellen.

Das Soil and Water Assessment Tool (SWAT), zur Prognose der Auswirkungen von Eingriffen in den Wasserhaushalt, kann wichtige Informationen über langfristige Entwicklungen bieten. Es stellt ein Kontroll- und Entscheidungsinstrument dar, das aufgrund der vorhandenen Datengrundlage und unter Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Auflösung des betrachteten Untersuchungsgebietes ansprechende und aussagekräftige Ergebnisse liefern kann.

2 Das Untersuchungsgebiet

Das der Simulation zugrunde liegende Einzugsgebiet der Dhünn liegt in Nordrhein-Westfalen und umfasst eine Fläche von 198 km². Der Großteil des Gebietes kann der naturräumlichen Einheit Bergisches Land beispielsweise den Gemeinden Hückeswagen, Wermelskirchen und Odenthal zugeordnet werden. Ausschließlich ein kleiner Teil, im Westen des Einzugsgebietes, zählt zur Niederrheinischen Bucht und liegt auf dem Gebiet der Gemeinden Leverkusen, Köln und Bergisch Gladbach (siehe Bild 2.1).

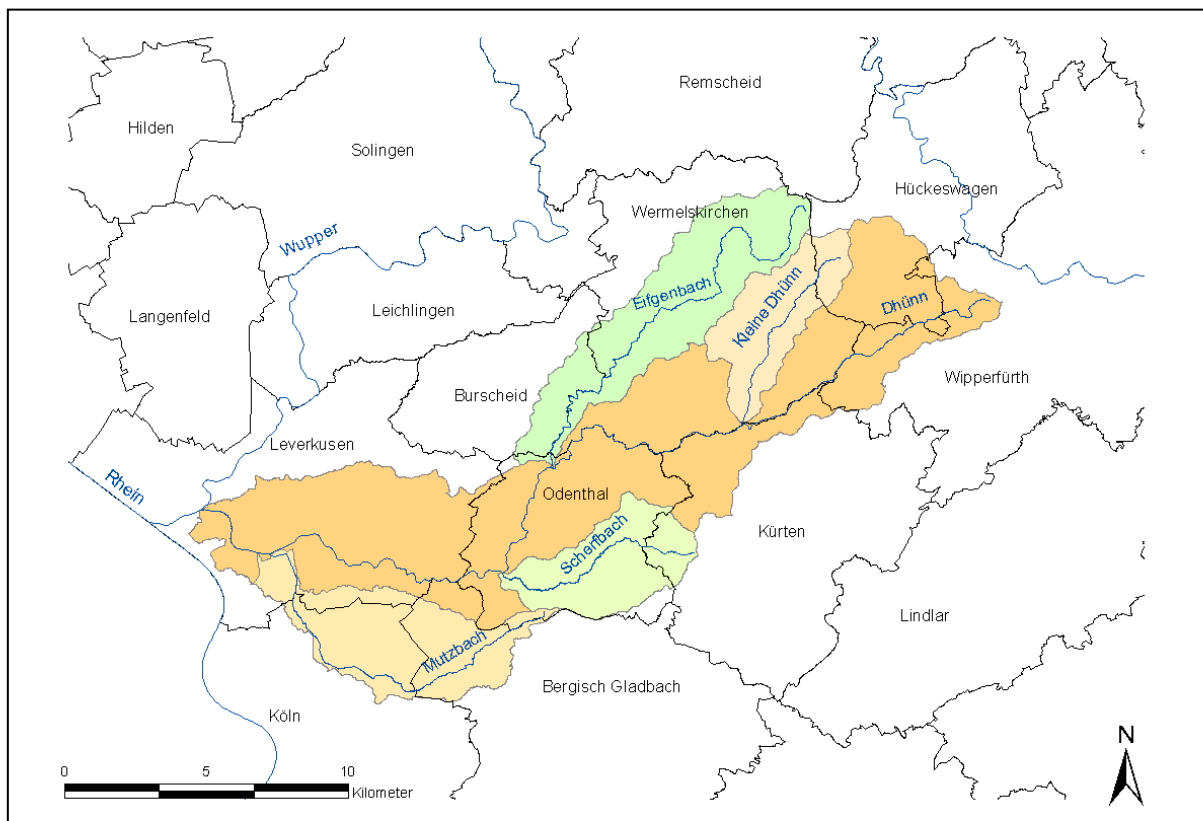


Bild 2.1 Lage des Dhünneinzugsgebietes

Die Dhünn entspringt bei ca. 320 m ü NN in der Gemeinde Wipperfürth und mündet nach knapp 40 km und einem durchschnittlichen Gefälle von 0,7 % im Stadtgebiet von Leverkusen (ca. 35 m ü NN) in die Wupper. Die Entwässerung des Einzugsgebietes erfolgt vornehmlich von Nordosten nach Westen. Wupper und Dhünn münden nahezu gemeinsam in den Rhein.

Das Einzugsgebiet der Dhünn wird größtenteils forstwirtschaftlich genutzt. Laub-, Misch- und Nadelwald ergeben einen Flächenanteil von 36,4 %. Weiterhin sind größere Anteile an Grünland (27,8 %) und Siedlungsbereichen (21 %) vorzufinden.

Die Böden im östlichen Teil des Einzugsgebietes werden zum größten Teil durch Braunerden geprägt. Nur in den schmalen Bachtälern mit stärkerem Gefälle haben sich schluffig-lehmige Gleye und Nassgleye entwickelt, die dann im weiteren Verlauf der Gewässer in Auenböden übergehen. Im

westlichen Teil des Einzugsgebietes finden sich hauptsächlich Braunerden, Parabraunerden, Pseudogleye, Gleye und Auenböden mit der Typisierung schwach lehmiger Sand bis Sand.

3 Methode

Um die Anwendbarkeit des Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hinsichtlich der Abbildung der Hydrologie ganzheitlich zu betrachten wurde ein komplexes, physikalisch basiertes Modell aufgebaut, um den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Dhünn zu simulieren. Das Einzugsgebiet wurde hierfür in mehrere Teileinzugsgebiete aufgeteilt, um anschließend unter Berücksichtigung ihrer dominanten Landnutzung bzw. Bodenbeschaffenheit detaillierter untersucht werden zu können. Weitere in der Modellierung berücksichtigte Bestandteile des Dhünneinzugsgebietes stellen die Große Dhünn Talsperre, die Kläranlagen sowie das Überleitungsgebiet der Sülz dar, das in das Einzugsgebiet der Dhünn entwässert.

4 Eingangsdaten

Die der Modellierung zugrunde liegenden Eingangsdaten sind als GIS-Daten flächendeckend für das Dhünneinzugsgebiet aufgearbeitet worden. Die Daten aus den Beständen des Wupperverbandes setzen sich wie folgt zusammen:

- digitales Geländemodell mit einer Rasterweite von 5 x 5 m
- digitales Gewässernetz
- Landnutzung und Vegetation auf Basis von ATKIS Daten
- digitale Daten über die bodenkundlichen Verhältnisse
- Klimadaten (Niederschläge, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit)
- hydrologische Kenngrößen (Abflussreihen, Überleitungsgebiete, Talsperre)

Des Weiteren wurden Klimadaten (Solarstrahlung und Windgeschwindigkeit) des Deutschen Wetterdienstes und diverse Parametersätze aus entsprechenden Literaturquellen verwendet.

5 Modellstruktur

Im Folgenden werden die dem Simulationsmodell SWAT zugrunde liegenden Modellansätze zur Abbildung der Hydrologie des Einzugsgebietes nach NEITSCH (2002) zusammengefasst dargestellt. Den wichtigsten zeitvariablen Input des Modells stellen der Niederschlag, die relative Luftfeuchtigkeit, die Temperatur, die Solarstrahlung sowie die Windgeschwindigkeit dar. Fehlende Klimagrößen können mittels einer statistischen Auswertung langjähriger Messreihen unter zu Hilfe nahmen des programminternen Wettergenerator berechnet werden.

Die potentielle Evapotranspiration kann durch verschiedene Ansätze beschrieben werden. Den bekanntesten Ansatz stellt die Methode nach Penman und Montheith dar. Der Anteil der Interzeption wird in SWAT in Abhängigkeit der Wuchshöhe der Vegetation sowie des Blattflächenindex, der auf Basis eines Pflanzenwachstumsmodells berechnet wird, berücksichtigt.

Der zum Abfluss gelangende Niederschlag teilt sich am Boden in den Oberflächenabfluss, der nach dem empirisches SCS Curve Number Verfahren realisiert wird, und einen infiltrierenden Anteil auf. Die Versickerung wird im Modell durch eine lineare Speicherkaskade in Abhängigkeit von Temperatur, hydraulischer Leitfähigkeit, Porosität und Feldkapazität simuliert. Wird die Feldkapazität der untersten Bodenschicht überschritten perkoliert das Wasser in den oberen Grundwasserleiter. Dieser steht mit den darüber liegenden Bodenhorizonten durch die Wasseraufnahme der Pflanzen und dem kapillarem Aufstieg in Verbindung. Der tiefere Grundwasserleiter stellt in SWAT eine reine Senke dar. Wasser, das in diesen versickert, geht dem Kreislauf verloren.

Bild 5.1 bietet einen detaillierten Überblick über die an der Simulation beteiligten hydrologischen Prozesse sowie deren Interaktion.

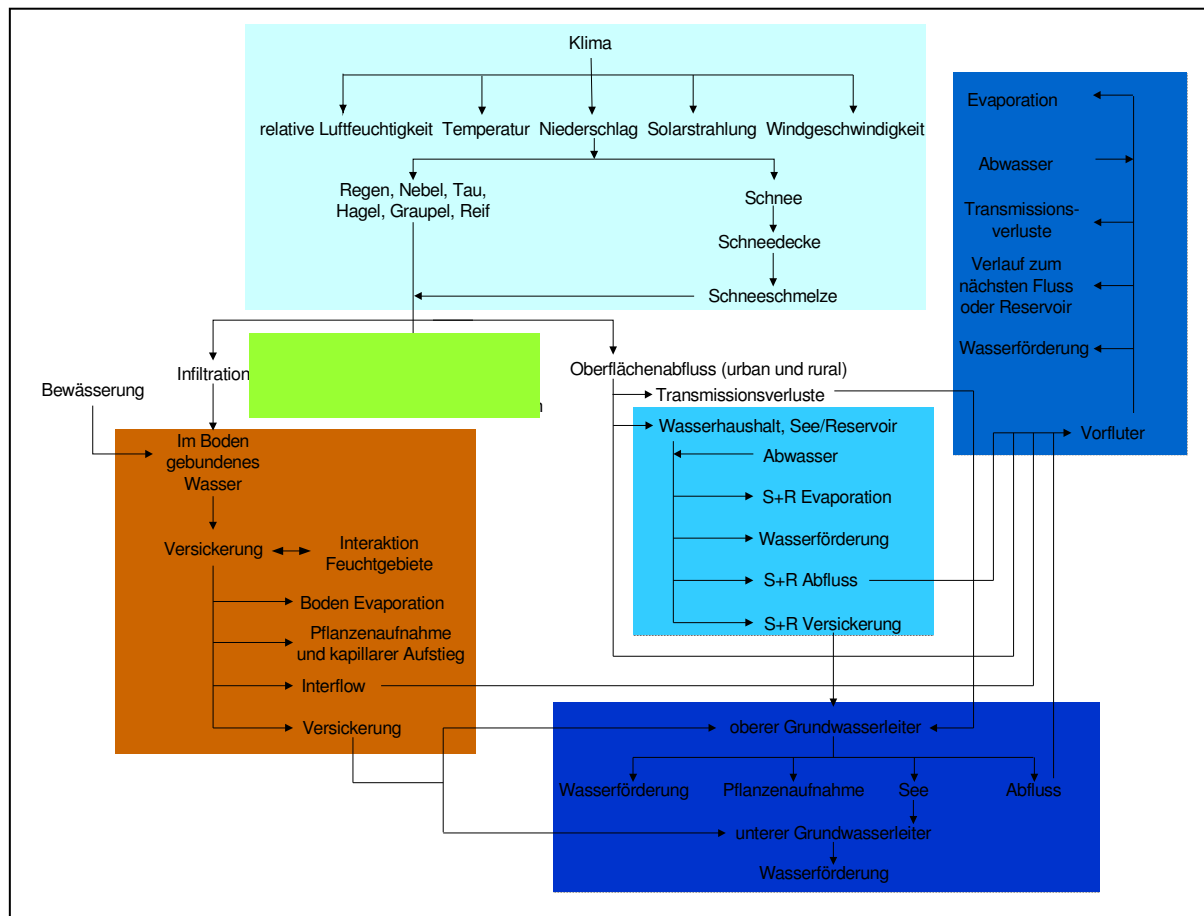


Bild 5.1 Hydrologische Prozessabläufe in SWAT (überarbeitet aus: NEITSCH, 2002)

6 Parametrisierung

Die Abgrenzung der Landnutzung erfolgte auf Basis von ATKIS-Daten des Wupperverbandes. Diese enthalten, aufgearbeitet in 19 Klassen, Informationen zur Unterscheidung von diversen Landnutzungen des Einzugsgebietes.

Die landbedeckungsabhängige Parametrisierung wurde mit Vegetationsparametern und Parametern zur Definition bebauter Flächen der in SWAT standardmäßig mitgelieferten allgemeingültigen Datenbank auf Basis US-amerikanischer Verhältnisse vorgenommen.

SWAT nutzt zur Simulation des Pflanzenwachstums, das so genannte heat units Konzept. Ab der Überschreitung einer festgelegten Basistemperatur werden die heat units auf Basis der bekannten Wachstumszyklen der Pflanze zu einem pflanzenspezifischen Gesamtbetrag aufsummiert.

Die Parametrisierung der Bodendaten erfolgte nach einer Reklassifizierung der Daten nach Bodentyp und Bodenartenuntergruppe. 29 verschiedene Böden konnten im Einzugsgebiet festgestellt werden. Für jede Bodenart wurden die entsprechenden bodenphysikalischen Parameter in einer Datenbank definiert. Wesentliche Parameter stellen hier die Wasserkapazität des Bodens, der k-Wert und die prozentuale Zusammensetzung des Bodens, aufgeteilt nach Ton-, Schluff-, und Sandgehalt dar.

7 Simulationsergebnisse und Schlussfolgerungen

7.1 Modellkonzeption

SWAT bietet auf Basis des Arc-View-Interface (AVSWAT) eine benutzerfreundliche Anwendungssoftware mit der Möglichkeit einer ansprechenden Visualisierung des Flusseinzugsgebietes. Die Modellierung basiert auf einer zeitlich differenzierten Betrachtung des Wasserhaushaltes sowie einer hohen räumlichen Auflösung und bietet eine große Anzahl verschiedener Simulationsergebnissen, je nach Untersuchungsgegenstand und Fragestellung. Die Bereitstellung der benötigten Inputdaten des Simulationsmodells stellte sich als problematisch dar. Eine umfassende und lückenlose Verfügbarkeit von Klimadaten und Abflussreihen über einen größeren Zeitraum hinweg konnte nur in den seltensten Fällen gewährleistet werden. Ebenso schwierig ist die Parametrisierung der Landnutzung und des Bodens zu beurteilen. Die Vielzahl der geforderten Daten bedingt eine umfangreiche Recherche der naturräumlichen Ausstattung des Untersuchungsgebietes. Dieser Nachteil muss jedoch vor dem Hintergrund der Generalisierung betrachtet werden. Mit zunehmender Modellgröße kann von einer detailgetreuen Abbildung der Realität abgesehen werden.

Nachteilig ist die Modellkonzeption dahingegen zu beurteilen, dass in einem ersten Schritt alle benötigten Inputdaten aufgearbeitet und in ein bestimmtes Datenformat konvertiert werden müssen, bevor ein erster Simulationslauf stattfinden kann.

Ebenso nachteilig ist die äußerst arbeits- und zeitintensive Kalibrierung des Modells. Jede Parameteränderung ist mit einem kompletten Simulationslauf verbunden.

Weiterhin stellt sich beim Umgang mit SWAT heraus, dass eine optisch ansprechende Ergebnisdarstellung im Programm selbst nur eingeschränkt möglich ist. Ein Export der Simulationsergebnisse nach Excel ist empfehlenswert und bietet mehr Möglichkeiten. Daten können hier effektiver aufgearbeitet, ausgewertet und dargestellt werden.

7.2 Modellaufbau

Die Unterteilung des Einzugsgebietes in Teileinzugsgebiete sowie die Gliederung in hydrological response units (HRU) bietet sowohl Vor- als auch Nachteile.

Die HRU's werden in SWAT als Flächen gleicher Landnutzung, Bodenbeschaffenheit und Bewirtschaftungsform ausgewiesen und in bezug auf ihre Eigenschaften als homogen angesehen. Der Gesamtabfluss des Einzugsgebietes ergibt sich aus der Summe der Einzelabflüsse der homogenen Einheiten. Der wesentliche Vorteil dieses Konzeptes liegt daher in der guten Erfassung der räumlichen Variabilität des Einzugsgebietes und der daraus resultierenden Parametrisierbarkeit des Modells. Allerdings kann in SWAT kein Einfluss auf die Definition der HRU's genommen werden. Somit können Einflüsse der Hangneigung bzw. der Exposition der Hänge nur auf Teileinzugsgebietsebene berücksichtigt werden.

Durch die Abgrenzung der Teileinzugsgebiete und der Zuordnung eines übergeordneten Fließgewässers entsteht ein konkreter räumlicher Bezug. Dies ermöglicht eine Anpassung des Modells an die vorhandene Datengrundlage und der im Raum verorteten Messstellen. Des Weiteren erlaubt die Abgrenzung einzelner Teileinzugsgebiete eine bessere zeitliche Erfassung des Abflussverhaltens im Gerinne.

Anthropogene Eingriffe in den Wasserhaushalt, wie etwa die Abbildung von Klärwerken, Überleitungsgebieten und Talsperren, können problemlos räumlich als auch qualitativ gut erfasst werden. Ebenso stellt die Verknüpfung der raumbezogenen Daten mit den Parameterdatenbanken sowie dem programminternen Wettergenerator eine benutzerfreundliche Konzeption dar.

7.3 Hydrologische Prozesse

Mit SWAT werden gute Anpassungen der simulierten an die gemessenen Abflusswerte erlangt. Die Dynamik des Abflussvorgangs kann zu jedem Zeitpunkt der Abflussreihe nachvollzogen werden. Dies spiegelt sich auch in den Korrelationskoeffizienten, die an den verschiedenen Pegeln im Einzugsgebiet ermittelt wurden, mit Werten zwischen $r = 0,70$ und $r = 0,95$ wieder. Ebenso bestätigt das Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,48$ bis $r^2 = 0,90$ den guten visuellen Eindruck. Bild 7.1 und Bild 7.2 zeigen den Vergleich einer gemessenen und einer simulierten Abflussreihe am Pegel Neumühle im Einzugsgebiet der Dhünn sowie deren Regression.

Einzelne, am Abfluss beteiligte hydrologische Prozesse, müssen hingegen im Detail näher betrachtet und bewertet werden. Als problematisch erwies sich die Nachbildung der Schneeschmelze. Grundlegend konnte die Tendenz einer Übersimulation festgestellt werden. Einzelne Prozesse, wie die Schneeakkumulation, das Abtauen der Schneedecke, die Einflüsse von Temperatur und Regen sowie die Exposition der Hänge, spielen eine bedeutende Rolle. Ein verfrühtes, verstärktes Abtauen der Schneedecke durch niederschlagsbedingte Energieeinträge und Temperatureinflüsse sowie eine zu geringe Akkumulation des gefallenen Niederschlags als Schnee können diesen Effekt hervorrufen. Die Modellierung des Oberflächenabflusses mit Hilfe des SCS Curve-Number Verfahrens zeigt insbesondere im Frühjahr und im Herbst eine deutliche Überschätzung der Abflussmaxima. Dies muss vor dem Hintergrund der in diesen Zeitabschnitten vorhandenen hohen Sättigung des Bodens betrachtet werden.

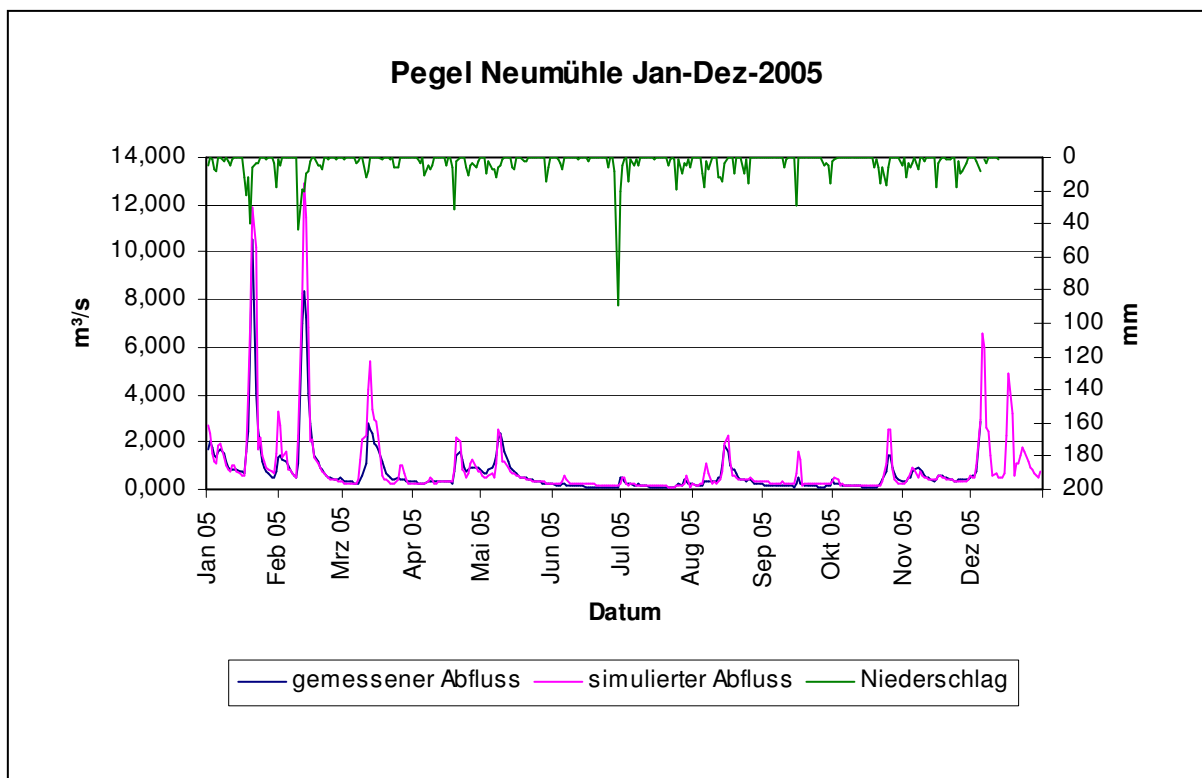


Bild 7.1 Vergleich: gemessene Abfluss, simulierter Abfluss Pegel Neumühle

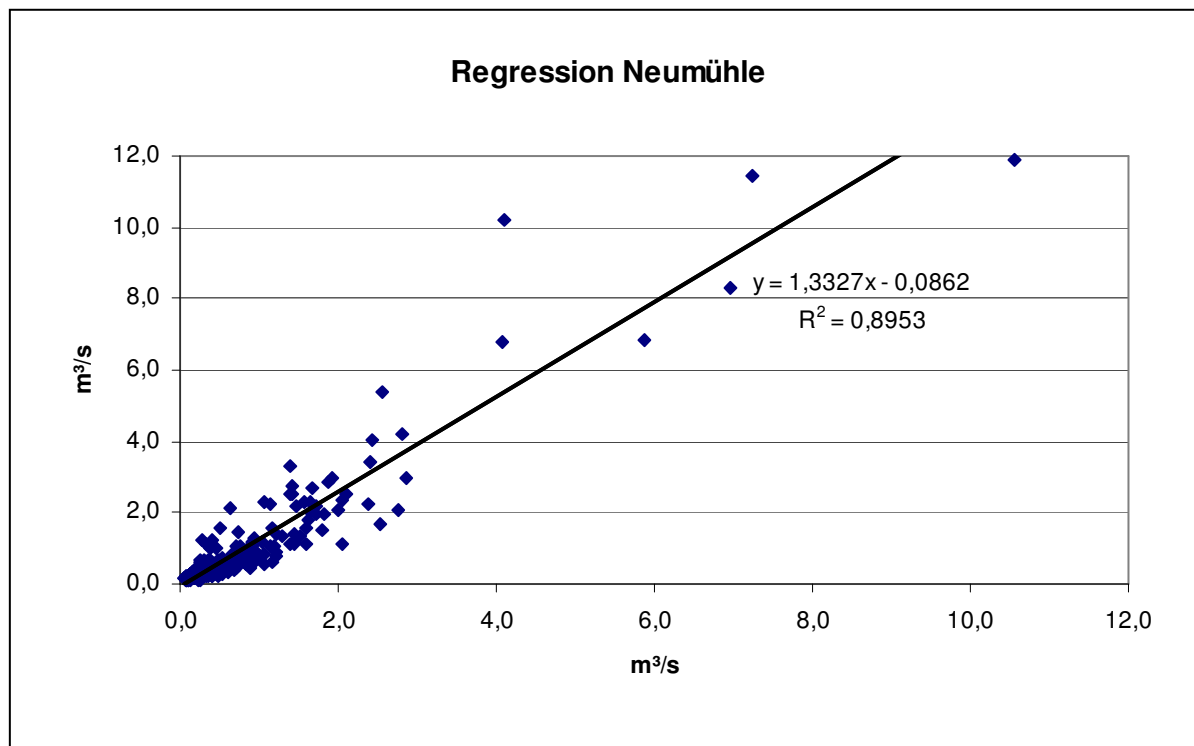


Bild 7.2 Regression Pegel Neumühle

Die Erfassung der vegetationspezifischen Parameter und die Umsetzung des heat-unit-Verfahrens zur Simulation der verschiedenen Bewirtschaftungsformen, erforderten einen erheblichen Datenbedarf. Wie im Rahmen der Studie das Szenario Vergleich: Ist-Zustand – potentiell natürliche Vegetation gezeigt hat, muss jedoch die Funktionalität des Modells bei laubwaldbestandenen Flächen angezweifelt werden. Ein Vergleich der simulierten Werte der Evapotranspiration mit den Grasreferenzverdunstungsangaben des Deutschen Wetterdienstes für das Untersuchungsgebiet bestätigt, dass die von SWAT simulierten Werte in ihrer Tendenz der Realität entsprechen, es entstanden jedoch vegetationsabhängige Unstimmigkeiten. Ob eine detaillierte Erfassung der regionaltypischen Pflanzenparameter sinnvoll ist und wie der Effekt auf die Abbildung der Hydrologie einzuschätzen ist, muss durch weitere Szenarien näher untersucht werden.

7.4 Ausblick

Unter Berücksichtigung aller Stärken und Schwächen des Simulationsmodells stellt SWAT ein geeignetes Instrument zur Simulation des Landschaftswasserhaushaltes dar. Auch die Modellkonzeption erfüllt den Anspruch einer einfachen, funktionalen Handhabung. Die vorgefundenen Schwächen der Prozessabbildung müssen vor dem Grad der räumlichen und zeitlichen Diskretisierung gesehen werden. Ob ihre Ursache eher in der unzureichenden Abbildung der naturräumlichen Ausstattung des Untersuchungsgebietes oder aber in den Berechnungsverfahren zu finden ist, muss eine exaktere Verifizierung der einzelnen Prozesse ergeben.

Um die Effektivität und die Einsatzmöglichkeiten des Simulationsmodells im Hinblick auf zukünftige Problemstellungen zu erhöhen, ist es notwendig, die vorhandenen Defizite im Detail zu kennen und richtig zu interpretieren. Die Entwicklung diverser Szenarien und die kritische Hinterfragung der Simulationsergebnisse am Modell der Dhünn erlauben es, die Prozessabläufe in SWAT besser einzuschätzen. Aufbauend auf den in diesem Einzugsgebiet gewonnen Erkenntnissen, kann ein breiteres Spektrum an Gewässern untersucht werden.

Das Dhünneinzugsgebiet kann als Referenzgebiet für strukturell ähnliche Einzugsgebiete dienen. Eine konkrete Auswahl der Gebiete muss jedoch vor dem Hintergrund einer möglichst umfangreichen Datenbasis erfolgen, um eine optimale Prozessbeschreibung zu erreichen. Damit verbunden ist ein großer Bedarf an gut dokumentierten Datensätzen, um die Interpretation und Überprüfung der Ergebnisse zu gewährleisten.

Um ein über die Anforderungen der EU-WRRL hinausgehendes fachliches Werkzeug zur Simulation des Stoffhaushaltes von Flusseinzugsgebieten zu erhalten, ist es notwendig das Stoffmodell für das Einzugsgebiet der Dhünn zu erstellen. Aus dem hieraus resultierenden Erkenntnisgewinn können dann Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen aus diffusen Quellen für das Flusseinzugsgebiet abgeleitet werden, um beispielsweise eine Bewertung der landwirtschaftlich genutzten Flächen hinsichtlich einer standortgerechten Bodenbewirtschaftung vornehmen zu können.

Zusammenfassung

Die Analyse und Bewertung der hydrologischen Verhältnisse in Flusseinzugsgebieten ist die Voraussetzung für den Aufbau, eines durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie geforderten, integrierten Wasserressourcenmanagements. Unter Zuhilfenahme unterschiedlichster Modelle und Methoden kann die Erfassung der umfangreichen komplexen Wechselwirkungen zwischen Landnutzung, Böden und Wasserhaushalt erfolgen. Im Untersuchungsgebiet der Dhünn wurde dies mit Hilfe des Soil and Water Assessment Tool (SWAT) vorgenommen. Neben der Beurteilung der Anwendbarkeit des Modells konnten Aussagen zur Handhabung und der damit verbundenen Praktikabilität gewonnen werden.

Das Soil and Water Assessment Tool zeichnet sich durch folgende Vorzüge aus:

- die Modellierung basiert auf einer zeitlich differenzierten Betrachtung des Wasserhaushalts sowie einer hohen räumlichen Auflösung und bietet eine große Anzahl verschiedener Simulationsergebnisse aus den Bereichen Hydrologie, Nährstoffe und Erosion
- mit SWAT konnte eine realitätsnahe Simulation des Abflusses erzielt werden, ebenso konnte die Dynamik des Abflussvorgangs zu jedem Zeitpunkt der Abflussreihe nachvollzogen werden
- SWAT bietet auf Basis des Arc-View-Interface eine benutzerfreundliche Anwendungssoftware mit der Möglichkeit einer ansprechenden Visualisierung des Flusseinzugsgebietes

Nachteilig mussten folgende Aspekte beurteilt werden:

- die Bereitstellung der benötigten Inputdaten zum Aufbau des Modells stellte sich ebenso wie die detaillierte Parametrisierung der Bodentypen und Landnutzungsklassen als arbeitsintensiv dar
- weiterhin war die Kalibrierung des Modells sehr zeitintensiv

Nach Abwägung aller Vor- und Nachteile kann das Soil and Water Assessment Tool als geeignetes Modell zur Simulation der Hydrologie in Flusseinzugsgebieten gesehen werden. Durch den Aufbau von Szenarien bietet es die Möglichkeit künftige Auswirkungen von Landnutzungs- sowie Klimaänderungen zu bewerten. Des Weiteren können durch die Simulation der Nährstoffströme und der Erosion in Flusseinzugsgebieten, die im Zuge der EU-Wasserrahmenrichtlinie geforderten Maßnahmenprogramme zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte aufgestellt, umgesetzt und überprüft werden.

Summary

The hydrological simulation of the river basin Dhünn and the analysis of the comprehensive and complex interaction between land use, soil and water supply with the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) allows a simulation of the water discharge in this investigation area.

For this, a complex model of this river basin was developed on the basis of a digital elevation map.

This map can be utilized to delineate the basin and subbasin boundaries, which require land use, soil and daily climate data inputs to calculate a wide variety of hydrological parameters with SWAT.

The numerical model performance measures show that the trends in the measured data are reproduced by the simulated results over a specified time period at different levels in the investigation area. The dynamic of the discharge process can be reconstructed at each time of the stream flow graph. The simulation model offers on this basis the possibility to define the actual condition and to predict and evaluate effects of land use and long-term climatic changes. In addition it is possible to develop action programs for the improvement of waters structure quality within the scope of the European Water Framework Directive.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. Christian Jolk

Eisborner Weg 66

58710 Menden

Literaturverzeichnis

NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY J.R., ET AL. (2002): Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2000. – Schriftreihe Texas Water Resources Institute, College Station, Texas