

Zusammenfassungen

Rolf Weingartner, Bruno Schädler (Herausgeber)

Veranstalter:









Platform of the Swiss Academy of Sciences Schweizerische Hydrologische Kommission CHy



Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU









Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie Société suisse d'hydrologie et de limnologie Società svizzera di idrologia e limnologia Societad svizra d'idrologia e da limnologia



Redaktion:

Pascal Blanc, Tobias Wechsler, Alexander Hermann Geographisches Institut der Universität Bern Hallerstrasse 12 3012 Bern

Bern, 1. März 2013

Inhaltsverzeichnis Zusammenfassungen

Keynotes	13
Blume T.: Hydrologie in natürlichen Einzugsgebieten – Prozessverständnis als Puzzle	14
Kunstmann H.: Wie gut kennen wir den globalen Wasserkreislauf? Und was können wir von regionalen Klimamodellen erwarten?	15
Pfammatter R.: Die Wasserkraftnutzung vor neuen Herausforderungen	16
Session 1: 150 Jahre Hydrometrie in der Schweiz – Referate	17
Bérod D.: 150 ans d'hydrométrie en Suisse et ensuite?	18
Cullmann J.: Hydrometrie wozu?	19
Sigrist B.: Die Geschichte der Hydrometrie in der Schweiz	20
Lukes R.: Hydrometrie heute	21
Hodel H.: Hydrometrische Messstationen in alpinen Einzugsgebieten – Messtechnische Herausforderungen sowie Einschränkungen und Unsicherheiten bei der Bestimmung der Abflusskurven	22
Lüthi B.: Abflussmessung mit Webcams ein Projekt von photrack AG und BAFU im Schächental	23
Mathevet T., Perret C., Garçon R., Morlot T., Jalbert J., Kuentz A., Sevrez D., Hauet A., Favre AC.: Des monstres en hydrométrie? ou comment les incertitudes de nos observations de débits sont encore mésestimées!	24
Seibert J.: Die Vermessung des Wassers – wie viele Daten braucht das Land?	25
Schudel B.: Die Rolle der Hydrometrie bei der Seeregulierung	26
Morgenschweis G.: Hydrometrisches Informationssystem der Zukunft – Bereitstellung von Wassertands- und Durchflussdaten jederzeit und für jeden beliebigen Punkt im Gewässer	27

Staudinger B.: Die Analyse von langen Datenreihen ermöglicht die Dokumentation von Veränderungen im Abflussverhalten in den Hohen Tauern und im Alpenvorland	28
Zappa M., Liechti K., Hodel H.: Verbesserung von Pegelschlüsselkurven: Probabilisitische Vorhersagen zur gezielten Planung und Durchführung von Abflussmessungen während Hochwasserereignissen	29
Büttner U., Fichtner T., Höhne U., Pfützner B., Walther J., Walther P., Wolf E.: Methodik der hydrologischen Auswertungen der extremen Hochwasserereignisse in Sachsen in den letzten 10 Jahren	30
Müller P., Güntner A., Thoss H., Merz B.: Skalenübergreifende Messung der suspendierten Sedimentdynamik im Mondsee, Österreich	31
Steiner S., Hess J.: Hydrometrie visualisiert – die Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren GIN	32
Session 1: 150 Jahre Hydrometrie in der Schweiz – Poster	33
Bender J., Mudersbach C., Wahl T., Jensen J.: Ermittlung von Bemessungsabflüssen an Flussmündungen – Univariate vs. multivariate Extremwertstatistik	34
Elleder L.: Prof. A. R. Harlacher (1842–1890): Eine wichtige Persönlichkeit der europäischen Hydrologie	35
Krauß M., Drastig K., Kraatz S.: Ermittlung des Wassereinsatzes in der Milchviehhaltung	36
Salvetti A., Pozzoni M., De Bernardi S., Rioggi S.: Hydrometrie im Kanton Tessin	37
Schneider P., Wombacher A., Burgener D., Beutel J. Seibert, J.: Sensorbasierte Steuerung von automatischen Probenahmegeräten in drahtlosen Sensornetzwerken	38
Schwärzel K., Podlasly C., Feger KH., Müller J.: Experimentelle Partitionierung der Verdunstung in Waldbeständen mit Unterwuchs	39
Session 2: Hydrologie in natürlichen Einzugsgebieten – Referate	41
Heidbüchel I., Troch P.: Modellierung zeitlich variabler Einzugsgebietsreaktion: Methode und Anwendung	42
Scherrer S., Margreth M., Kienzler P.: Spannungsfeld Prozesswissen – Hydrologische Modellierung aufgezeigt an einem vielseitigen Beispiel aus den Schweizer Voralpen	43
Müller M. H., Alewell C.: Versickerung und Speicherung von Niederschlag in subalpinen Finzugsgebieten im Urserntal. Schweiz	44

Schöber J., Kirnbauer R., Schöberl F., Schneider K., Achleitner S.: Der Einfluss der – mittels variabler gemessenen – Variabilität der Schneedecke eines vergletscherten Einzugsgebiets auf die hydrologische Modellierung	45
Rössler O., Weingartner R.: Großer Schnee, kleine Wasser, kleiner Schnee, große Wasser	46
Smoorenburg M., Volze N., Naef F.: Hochwasserentstehung in alpinen Einzugsgebieten: Evaluierung von Felddaten, Kartiermethoden und Abflussmodellen im Schächental	47
Cornelissen T., Diekkrüger B., Bogena H.: Analyse des Einflusses der räumlichen Auflösung auf die Simulation der räumlich-zeitlichen Variabilität der Bodenfeuchte in einem Waldeinzugsgebiet der Eifel mit Hilfe des Modells HydroGeoSphere	48
Attinger S., Bosecker P., Kumar R.: Von lokalen Daten zu regionalen Vorhersagen – Wie lassen sich lokale Grundwasserpegelmessungen nutzen, um regionale hydrologische Modelle zu kalibrieren?	49
Rinderer M., Seibert J., Stähli M.: Grundwasserdynamik eines vor-alpinen Einzugsgebietes – raum-zeitliche Variabilität und ihre dominanten Einflussfaktoren	50
Selle B., Schwientek M., Osenbrück K.: Wassergebundener Stofftransport in Flußeinzugsgebieten: verbessertes Verständnis durch Synthese von "Top-down" und "Bottom-up" Ansätzen	51
Session 2: Hydrologie in natürlichen Einzugsgebieten – Poster	53
Bäse F., Elsenbeer H., Espinosa J.: Der Einfluss verschiedener Waldtypen auf die Abflussbildung in den Tropen – Eine Modellanalyse des Soil Water Assessment Tools (SWAT)	54
Bailey C., Frings R., Ribbe F., Wings T., Schüttrumpf H., Dott W.: RiskAGuA – Risiken durch Abwässer aus der intensiven Tierhaltung für Grund- und Oberflächenwasser – Risikoabschätzung durch Modellversuche	55
Behnken U., Einfalt T., Reichard L.: Echtzeit-Abschätzung der Gefährdung durch Starkregen	56
Böttcher S., Merz C., Dannowski R.: Ergebnisse einer hydrologischen Systemanalyse als Grundlage eines nachhaltigen Wassermanagements kleiner Einzugsgebiete im Klimawandel	57
Braun L., Weber M., Ellenrieder T.: Datenanalyse und Modellierungen konzeptioneller Art zur empirischen Bestimmung der Wasserbilanz im Einzugsgebiet des Vernagtferners für die Jahre 1895 bis 2011	58
Dietrich O., Appel U., Fahle M., Steidl J.: Möglichkeiten und Grenzen der Einflussnahme auf Wasserhaushaltgrößen eines Feuchtgebietes durch Steuerung der Grundwasserstände	59
Fahle M., Dietrich O., Lischeid G.: Schätzung der Evapotranspiration mittels täglicher Grundwasserspiegelschwankungen und Vergleich mit Werten eines Grundwasserlysimeters	60

Felder G.: Sensitivitätsanalyse des hydrologischen Modells PREVAH bezüglich der Landnutzung	61
Fischer B., Rinderer M., Schneider P., Seibert J.:	
Das Terroir von voralpinen Gewässern – Räumliche Muster der Wasserchemie	62
Garvelmann J., Pohl S., Weiler M.: Räumliche Messung der Schneedeckenenergiebilanz	63
Gerber C., Purtschert R., Darling G., Gooddy D., Kralik M., Humer F., Sültenfuss J.: Altersbestimmung von Grundwasseraustritten in Oberflächenwässer mittels Umweltracern	64
Holzmann H., Massmann C.: Entwicklung eines modularen, konzeptuellen Niederschlags-Abfluss-Modells zur Erfassung dominanter hydrologischer Prozesse	65
Keilholz P., Disse M.: Auwald in der Wüste – Mesoskalige Untersuchung des oberflächennahen Grundwassers am Tarim Fluss in Nordwestchina	66
Klebinder K., Kohl B., Markart G., Sotier B.: Nutzung von Daten unterschiedlicher Maßstabsebenen und Erhebungsschärfen zur Niederschlag-/Abflussmodellierung in unbeobachteten Einzugsgebieten	67
Kopp B., Menzel L., Lange J.: Abflussgenerierende Prozesse in der Übergangszone zwischen Steppe und Taiga im Khentii Gebirge, nördliche Mongolei	68
Korres W., Reichenau T. G., Schneider K.: Multiskalige Analyse von oberflächennahen Bodenfeuchtemustern in einem landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet unter Nutzung eines ökohydrologischen Modells	69
Kreye P., Harjung J.: Analyse und Optimierung von sinnvollen Elementarflächengrößen für die Wasserhaushaltsmodellierung	70
Lehr C., Lewandowski J., Lischeid G.: Auswirkungen eines veränderten Gewässerverlaufs auf Grundwasserdynamik und -beschaffenheit	71
Markart G., Bieber G., Pirkl H., Römer A., Jochum B., Klebinder K., Kohl B., Pfeiler S., Sotier B.: Fließgeschwindigkeiten des Zwischenabflusses – Ableitung aus experimentellen Versuchsanordnungen und hydrogeologischer Expertise	72
Meier C., Knoche M., Merz R., Weiler M., Weise S. M.: Identifizierung und Quantifizierung von Abflusskomponenten in einem nival-ariden Einzugsgebiet in Zentralasien mittels stabiler Isotope	73
Messal H., Hasler M., Fohrer N.: Messkampagnen von Wassermenge und -güte im Norddeutschen Tiefland als Grundlage für Berechnungen von klimabedingten Landnutzungsszenarios – Ergebnisse aus Datenanalysen	74
Mueller E. N., Tietjen B.: Modellierung von ökohydrologischen Rückkopplungsmechanismen zur Analyse von Landdegradierungserscheinungen in Strauchwüsten	75
Nauditt A., Herrero J., Ribbe L., Polo M. J.: Wechselwirkungen zwischen Klima, Hydrologie und Landnutzung im Limarí Einzugsgebiet, Zentral Chile	76

Oswald S., Villarreyes C. R., Baroni G.: Flächenintegrierte Messung der Bodenfeuchtedynamik mittels Detektion von natürlichen Neutronen	77
Pfannerstill M., Hugenschmidt C., Fohrer N.: Modellierung des Wasserhaushalts eines dränbeeinflussten Einzugsgebietes unter Anwendung unterschiedlicher Dränagegleichungen	78
Prasuhn V., Spiess E., Humphrys C.: Monolithische Präzisionslysimeter als Instrumente zur Bestimmung der klimatischen Wasserbilanz und hydrologischer Prozesse	79
Ruch C., Schatzl R.: Hochwasserwarnung in der Steiermark	80
Schmalz B., Kuemmerlen M., Jähnig S., Fohrer N.: Integrierte Modellierung von aquatischen Ökosystemen in China: Ökohydrologie und Arealbestimmung von Makrozoobenthos auf Einzugsgebietsebene	81
Schmocker P., Wehren B.: Regulierung des Thunersees auf Grundlage hydrologischer Daten	82
Schneider P., Wombacher A., Burgener D., Beutel J., Seibert J.: Sensorbasierte Steuerung von automatischen Probenahmegeräten in drahtlosen Sensornetzwerken	83
Schumann S., Schröder U., Herrmann A., Wessler A.: Forschung in kleinen hydrologischen Einzugsgebieten – der digitale, internetbasierte Bestandskatalog	84
Staudinger M., Seibert J.: Vorhersagbarkeit hydrologischer Trockenheiten mit einem konzeptionellen Modell	85
Steinbrich A., Weiler M.: Einfluss der räumlichen Auflösung der GIS-Eingangsdaten und der zeitlichen Auflösung der Niederschlagsdaten auf das kalibrationsfreie N-A-Modell DROGen	86
Thomas B., Steidl J., Lischeid G., Dietrich O.: Vergleichende Analysen der Einflussfaktoren für die Ausprägung von Niedrigwasserabflüssen kleiner Tieflandeinzugsgebiete Nordostdeutschlands	87
Zahner S.: Identifizieren und Modellieren von Regen-auf-Schnee-Hochwasser an der Lütschine mit WaSiM hinsichtlich des Extremereignisses vom 10. Oktober 2011	88
Zhang L., Feger KH., Schwärzel K.: Landnutzung und Klima in ihrer Wirkung auf den langjährigen Abfluss in einem kleinen Einzugsgebiet im Lössplateau, NW China	89
Session 3: Wasserkreislauf und Klimaänderung – Referate	91
Addor N., Seibert J.: Kann interne Klimavariabilität die systematischen Fehler in regionalen Klimasimulationen erklären?	92
Volken D.: Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz (CCHydro)	93

Bernhard L., Pflugshaupt C., Kotlarski S., Zappa M.: Auswirkungen der CH2014 Klimaszenarien auf die Wasserressourcen – eine Abschätzung für die Schweiz	94
Ragettli S., Pellicciotti F., Petersen L.: Modellierung des Wasserkreislaufes in zwei stark vergletscherten Einzugsgebieten im Himalaya mit dem physikalisch-orientierten glazio-hydrologischen Modell TOPKAPI-ETH	95
Pohle I., Gädeke A., Koch H., Grünewald U.: Abschätzung möglicher Folgen des Klimawandels auf die regionalen Wasserressourcen der Lausitz	96
Meyer S., Ludwig R.: Abschätzung der Einflüsse des Klimawandels auf mediterrane Einzugsgebiete mit geringer Datenverfügbarkeit	97
Holzkämper A., Klein T., Fuhrer J.: Optimierung der landwirtschaftlichen Praxis unter Klimawandel – Eine Modellstudie im Einzugsgebiet der Broye	98
Gräff T., Baroni G., Bronstert A., Brunk C., Martínez I., Oswald S.: Die Entwicklung küstennaher Landschaften unter Klimawandel und sich ändernder hydrologischer Prozesses, eine Fallstudie in Ostfriesland	99
Paul G., Meißner R., Ollesch G.: Einfluss prognostizierter Klimaveränderungen auf die Grundwasserneubildung in einem wasserwirtschaftlich sensiblen Teileinzugsgebiet der Elbe	100
Purtschert R., Kipfer R., Lu Z-T., Sturchio N.: Grundwasserdatierung und Klimarekonstruktion	101
Session 3: Wasserkreislauf und Klimaänderung – Poster	103
Alaoui A., Felder G., Willimann E., Weingartner R.: Modellierung der Auswirkungen der Land- und Klimaänderungen auf die Hydrologie des Urserntals (Schweiz)	104
Casper M. C., Gronz O., Gutjahr O., Heinemann G., Ley R., Wittig M.: CCLM-Daten in Wasserhaushaltsmodellen: Auswirkungen der Bias-Korrektur und des Skaleneffekts auf die Simulationsgüte	105
Einfalt T., Treis A., Frerk I., Pfister A., Jessen M.: Zehn Jahre qualitätsgeprüfter und angeeichter Radardaten für die Wasserverbände in NRW – Methodik und Anwendungen	106
Guse B., Pfannerstill M., Fohrer N.: Evaluierung des SWAT-Modells im Kontext von Klimaveränderungen für das Einzugsgebiet der Treene / Schleswig-Holstein	107
Harum T., Leis A., Reszler C.: Interaktion von Seen mit lokalen Grundwasserleitern – Umweltisotope als Unterstützung für Wasserbilanzuntersuchungen	108
Hocke K., Kämpfer N., Stähli O., Riffler M., Wunderle S., Mätzler C.: Koinzidente Beobachtung von Wolkenwasser, Wasserdampf und Aerosol Optische Dicke	109

Höpker KA., Gerlinger K., Wagner A.: Ermittlung der Klimasignale für Baden-Württemberg anhand der Analyse von Kennzahlen aus einem Klimaprojektions-Ensemble	110
Kohn I., Freudiger D., Rosin K., Stahl K., Weiler M., Belz J. U.: Das Jahr 2011: Ein Jahr hydrologischer Extreme in Deutschland?	111
Komma J., Sewilam H., Breuer R., Concia F., Aliprandi B.: SeCom 2.0 – Serious Community 2.0 prevent Flooding	112
Kormann C., Francke T., Bronstert A.: Trendanalysen von hydroklimatischen Stationsdaten aus Tirol in täglicher Auflösung	113
Mani P., Tobler D., Liener S., Hählen N.: Hydrometeorologische Grundlagen für die Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf die Naturgefahrensituation im Pereiglazialraum	114
Molnar P., Berger C.: Der Einfluss der Lufttemperatur auf Starkniederschläge	115
Morgenstern Y., Ortiz S.: Einfluss von Trockenstress und Buchdruckerbefall auf den Bodenwasserhaushalt und das Baumwachstum von Fichten	116
Mudersbach C., Bender J., Arns A., Jensen J.: Hochwasserhäufigkeiten an der unteren und mittleren Elbe – Wie beeinflussen Extremereignisse der letzten Jahre die wasserwirtschaftliche Bemessungspraxis?	117
Salzer F., Heilig M.: Herausragende Klimaperioden in Niederösterreich 1896 – 2012	118
Schattan P., Schöber J., Huttenlau M., Achleitner S., Schneider K.: Auswirkungen von veränderter Gletscherausdehnung auf das Abflussverhalten hochalpiner Einzugsgebiete	119
Schmalz B., Kolychalow O., Dietrich A., Fohrer N.: Untersuchung des Wasser- und Nährstoffhaushalts auf Einzugsgebietsskala für nachhaltige Anpassungsstrategien von Landnutzungssystemen an Klimawandelbedingungen in Westsibirien	120
Stähli M., Ritter M.: Hydrologische Trends in kleinen voralpinen Einzugsgebieten	121
Vormoor K., Lawrence D., Bronstert A.: Auswirkungen des Klimawandels auf die Hochwassersaisonalität in Norwegen	122
Wendel S., Neumann J., Gerlinger K.: Fallstudie Allgäu – Auswirkungen des Klimawandels auf den Grundwasserhaushalt und die Wasserversorgung	123
Wenske D., Knab G., Rost A., Pfützner B., Uhlig C.: Entwicklung einer Modellkopplung zwischen dem Grundwasserströmungsmodell MODFLOW und dem Bodenwasserhaushaltsmodell ArcEGMO	124
Wermter P., Maaßen M., Mack A.: Veränderung des Abflussregimes an Hand von langjährigen Datenreihen: Analyse der Urbanisierung und der Klimaänderung	125

Session 4: Hydrologie und Wasserkraftnutzung – Referate	127
Frey S., Goler R., Formayer H., Holzmann H.: Die Auswirkung möglicher Klimawandelszenarien auf das Erzeugungspotenzial von Wasserkraftwerken	128
Johst M., Raiber S., Kammer H., Rothstein B.: Zusammenhang zwischen Photovoltaik- und Windstromeinspeisung, Kühlwasserbedarf und Wasserkraftnutzung am Neckar	129
Reggiani P., van der Krogt W.N.M., Ogink H.J.M.: Modellgestützte Analyse von Wasserbilanzen auf der Skala von großen Einzugsgebieten: wie menschliche Eingriffe die Abflüsse am Nil beeinflussen	130
Ribbe L., Nauditt A., Firoz ABM, Fink M.: Auswirkungen der Wasserkraftentwicklung auf die Hydrologie und Wassernutzung im Vu Gia Thu Bon Einzugsgebiet, Vietnam	131
Pfaundler M.: Das Modul Hydrologie (HYDMOD) zur Beurteilung des Natürlichkeitsgrades des Abflussregimes: Methode, Hilfsmittel, hydrologische sowie wasserwirtschaftliche Grundlagen	132
Fischer P., Cyffka B.: Ökologie und Wasserkraftnutzung – Monitoring von Renaturierungsmaßnahmen zwischen zwei Staustufen	133
Rutschmann P., Elsayed M. E., Bui MD.: Verlandung von Stauhaltungen – Ein Ansatz für Flusseinzugsgebiete	134
Session 4: Hydrologie und Wasserkraftnutzung – Poster	135
Cofalla C., Detering M., Frings R., Henkel S., Hudjetz S., Ribbe F., Hollert H., Schüttrumpf H.: KonSed – Kontinuierliche Sedimentverlagerung zur Wiederherstellung eines natürlichen Sedimenttransports	136
Hennig T.: Chinas Hydroenergieausbau im globalen Wandel – Yunnan als zukünftig weltweit bedeutendster Wasserkrafterzeuger	
Aktuelle Dynamik, Geo- und energiepolitischer Rahmen, hydroökologische Implikationen und die Rolle des CDM	137

Keynotes

Hydrologie in natürlichen Einzugsgebieten – Prozessverständnis als Puzzle

Theresa Blume

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Die Erforschung hydrologischer Prozesse gleicht oft einem Puzzlespiel, insbesondere in Gebieten mit kurzen oder nicht-existenten hydrologischen Messreihen. Hier hilft es, den bestehenden Datenmangel durch gezielte Messkampagnen und der Anwendung einer Vielzahl von experimentellen Methoden und Ansätzen auszugleichen.

In dieser Studie wurden die Abflussbildungsprozesse in einem kleinen, anthropogen unbeeinflussten Einzugsgebiet in den Chilenischen Anden untersucht. Das Untersuchungsgebiet ist durch steile Hänge, vulkanische Ascheböden, ungestörten Naturwald und hohe Niederschlagsmengen charakterisiert. Die Erforschung von Abflussbildungsprozessen ist hier von besonderem Interesse, da wenig über das hydrologische Verhalten der hochporösen und hochleitfähigen jungen Ascheböden bekannt ist, in dieser Region bisher keine Studien auf Hang- oder Einzugsgebietsskala durchgeführt wurden, und das Prozessverständnis in ungestörten Einzugsgebieten als Basis zum besseren Verständnis bereits anthropogen beeinflusster Gebiete dienen kann.

Die für den "Multi-Methoden-Ansatz" ausgewählten Messungen sollten dabei so viele Aspekte der Abflussbildung abdecken wie möglich. Es wurden daher nicht nur Zeitreihen von Abfluss, Niederschlag, Bodenfeuchte- und Grundwasserdynamik gemessen, sondern auch eine große Zahl an Kurzzeitmessungen und Experimenten durchgeführt. Diese beinhalteten u.a. Messung des Bestandesniederschlags, Bestimmung der Wasserchemie, Bestimmung bodenphysikalischer Parameter und der Bodenmineralogie, sowie geophysikalische Messungen und Tracermethoden. Die Synthese der Resultate gleicht dem Zusammensetzen eines Puzzles. Das so entstandene Bild des dynamischen Prozess-Ensembles ist trotz möglicher fehlender Puzzlestücke hochinformativ und die so entwickelten Prozesshypothesen können mit Hilfe physikalisch basierter Modellierung auf verschiedenen Skalen überprüft, weiterentwickelt und neu aufgeworfene Fragen gegebenenfalls durch weitere Messungen beantwortet werden. So entsteht ein iterativer Kreislauf der Verbesserung von Datensätzen, Modellrepräsentation und Prozessverständnis.

Wie gut kennen wir den globalen Wasserkreislauf? Und was können wir von regionalen Klimamodellen erwarten?

Harald Kunstmann^{1,2}

¹Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU), Karlsruher Institut für Technologie, Campus Alpin, Kreuzeckbahnstraße 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen, Email: harald.kunstmann@kit.edu,

²Institut für Geographie, Universität Augsburg, 86159 Augsburg

Hydrologische Lehrbücher beginnen häufig mit einer Übersicht über die globalen und kontinentalen Zahlen zum Wasserkreislauf und der raumzeitlichen Verteilung von Niederschlag, Verdunstung und Abfluss. Doch wie gut kennen wir diese Zahlen wirklich? Wie groß sind die Spannbreiten unterschiedlicher Datensätze für die unterschiedlichen hydrometeorologischen Variablen und welche Regionen sind eigentlich wie gut bekannt?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden die drei neuesten globalen Reanalysen (ERA-Interim/ ECMWF, MERRA/NASA, CFSR/NCEP) ausgewertet und mit fünf interpolierten Beobachtungsdatensätzen (GPCC, GPCP, CPC, CRU, DEL) für die Periode 1989 – 2006 verglichen. Sowohl die Reanalysen als auch die Beobachtungsdatensätze gehören zu grundsätzlich verfügbaren Datenquellen, die, wenn keine eigenen regionalen Beobachtungsdatensätze verfügbar sind, entsprechend gerne zu hydrologischen Analysen für die unterschiedlichsten Regionen weltweit benützt werden. Die Analyse zeigt, dass die Spannbreiten der Reanalysen in vielen Regionen bei bis zu 5 mm Niederschlag / Tag liegt. Auch bei den interpolierten Beobachtungsdatensätzen werden, z.B. in den tropischen Regionen, Spannbreiten von häufig 3-4 mm/Tag erreicht. Bei der 2 m Temperatur sind großflächig Unterschiede von bis zu 5°C in der mittleren Jahrestemperatur auszumachen. Die Dichte der den Bobachtungsdatensätzen zugrundeliegenden Stationsnetzwerke ist nicht nur sehr unterschiedlich auf den Kontinenten, sie hat in den letzten 20 Jahren auch grundsätzlich massiv abgenommen. In Südamerika z.B. von rund 4300 auf 400 Stationen. Diese Entwicklung ist nicht nur in infrastrukturschwachen Regionen (insbesondere Afrika) zu sehen, es ist auch für Europa und Nordamerika der Fall. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn versucht wird, aus diesen interpolierten Beobachtungsdatensätzen Klimatrends abzuleiten.

Darüber hinaus wird dargestellt, inwieweit die Reanalysen die Wasserbilanz schließen. Die Modelle zeigen teils große Inkonsistenzen für Niederschlag (P) minus Verdunstung (ET) über den Landmassen vs. den Ozeanen. Es zeigt sich auch, dass über den gesamten Reanalysezeitraum große Sprünge in P-E vorliegen. Dies ist u.a. auch durch die sich stetig ändernde Anzahl von assimilierten Beobachtungen (Stationsdaten wie auch Satellitendaten) bedingt. Atmosphärische Feuchteflussdivergenzen (die im Mittel zu P-ET äquivalent sein sollten) sind hier robuster und haben weniger Sprünge. Von den drei untersuchten Reanalysen erfüllt ERA-Interim noch am besten die Schließung des Wasserkreislaufs.

Abschließend wird auf die Möglichkeiten und Grenzen regionaler Atmosphärenmodelle eingegangen und inwieweit sie die Schwächen der globalen Modelle ausgleichen können, oder nicht.

LORENZ, C. & KUNSTMANN, H. (2012): The Hydrological Cycle in Three State of the Art Reanalyses: Intercomparison and Performance Analysis. Journal of Hydrometeorology, doi:10.1175/JHM-D-11-088.1

Die Wasserkraftnutzung vor neuen Herausforderungen

Roger Pfammatter

Wasserwirtschaftsverband SWV, Schweiz

Die Wasserkraftnutzung ist die wichtigste erneuerbare Stromquelle des Alpenraums. In der Schweiz liefert sie heute rund 56 % des Strombedarfs und ist mit ihren wertvollen Speicherleistungen sowie der Möglichkeit für den flexiblen Kraftwerkseinsatz das Rückgrat der Versorgungssicherheit. Seit dem von Regierung und Parlament im Frühling 2011 postulierten Ausstieg aus der Kernenergie sind die Erwartungen der Politik an die Wasserkraft schlagartig angestiegen. Nach dem Willen des Bundesrates soll die Produktion aus Wasserkraft bis 2050 um zusätzlich 10 % gesteigert werden – ein äusserst ambitiöses Ziel, das zwar theoretisch denkbar, aber unter den heutigen Rahmenbedingungen nicht zu erreichen ist. Gleichzeitig bestehen die gesetzlichen Forderungen zur Abgabe angemessener Restwassermengen sowie neu auch zur Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigungen aus künstlichen Abflussschwankungen und zur Verbesserung des beeinflussten Geschiebehaushaltes. Namentlich die gesetzlichen Restwassermengen werden dabei zu einer Verringerung der heutigen Produktion von 4–8 % führen, was die Ausbauziele Wasserkraft noch unrealistischer macht.

Die Inhaber von Wasserkraftwerken stehen aber auch ohne den politisch erwünschten Ausbau der Produktion vor grossen Herausforderungen. Im Kerngeschäft ist das vor allem der wirtschaftliche Betrieb der bestehenden Kraftwerksanlagen. Dieser ist aufgrund sinkendender Strompreise, immer neuer Abgaben und Anforderungen sowie der Subventionierung anderer Stromquellen massiv unter Druck geraten. Die Beibehaltung der Konkurrenzfähigkeit in einem sich verändernden Strommarkt und auch die Neuregelung auslaufender Wasserrechtskonzessionen sind die entscheidenden Zukunftsthemen. Viele der grossen Wasserkraftwerke wurden zudem vor 50 bis 60 Jahren erstellt und bedürfen der maschinen- und bautechnischen Erneuerung und/oder der Anpassung an die neuen Umweltanforderungen. Dabei geht es zum Beispiel um technisch herausfordernde Sanierungen bestehender Talsperren, die Suche nach Lösungen bezüglich der zunehmenden Verlandung von Speicherseen, Massnahmen zur Effizienzsteigerung im ganzen hydraulischen System oder auch die Umsetzung des Gewässerschutzes mit weiterhin vielen offenen Fragen betreffend Machbarkeit und Wirksamkeit.

Im aktuellen Umfeld der Wasserkraftnutzung sind die hydrologischen Aspekte also nur ein Baustein von vielen. Der Klimawandel ist dabei mit Sicherheit die wichtigste Herausforderung. Höhere Temperaturen, Gletscherschmelze und veränderte Niederschlagsmuster haben direkte Folgen für die Menge und zeitliche Verteilung der Abflüsse in unseren Gewässern und damit auf die Produktion aus Wasserkraft. Zwar sind sich die Kraftwerkbetreiber gewohnt, wetterbedingte Schwankungen der hydraulischen Jahresproduktion von ± 20 % zu tragen. Der Klimawandel dürfte aber grundlegende Veränderungen bringen und je nach Einzugsgebiet und Anlage zu Gewinnern und Verlierern führen. Nicht zu unterschätzen sind dabei auch allfällige Betriebsausfälle durch vermehrte Hochwasserereignisse, zunehmende Schwemmholzfrachten, Murgänge oder veränderte Feststofftransporte. Während die Politik mit generellen Aussagen zu den kommenden hydrologischen Veränderungen zufrieden sein dürfte, benötigen die Wasserkraftbetreiber spezifischere Analysen mit Bezug zu den einzelnen Anlagen mit ihrem Einzugsgebiet.

Session 1: 150 Jahre Hydrometrie in der Schweiz

Referate

150 ans d'hydrométrie en Suisse et ensuite?

Dominique Bérod

Abteilung Hydrologie, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern

L'hydrométrie, en fournissant des mesures de hauteur d'eau et de débit, constitue le socle de l'hydrologie. Cette dernière doit contribuer à répondre aux enjeux tant sociétaux qu'environnementaux actuels et futurs en matière de protection contre les crues, de surveillance de la qualité des eaux et d'économie des eaux. Les changements dans ces dans différents domaines sont aujourd'hui déjà perceptibles et s'accentueront dans le futur : il conviendra à l'hydrométrie de s'adapter pour faire face à ces évolutions.

Une enquête réalisée en Europe montre que les réseaux hydrographiques présentent souvent des faiblesses: technologie dépassée, personnel qualifié manquant, financement insuffisant. Les responsables nationaux sont ainsi souvent confrontés à une situation paradoxale: d'un côté, les besoins augmentent et d'un autre côté, les moyens diminuent. Les développements des réseaux hydrométriques doivent permettre de garantir leur pérennité, en combinant des développements technologiques, institutionnels et organisationnels, principalement dans les domaines suivants:

- Une modernisation constante des systèmes d'acquisition des données et des méthodologies.
- Une optimisation des réseaux sur la base de critères clairs tenant compte des enjeux présents et futurs.

Une intégration des réseaux de mesures et des données dans un système global de surveillance environnementale, aux niveaux régionaux, nationaux et mondiaux. Une accentuation des échanges internationaux : des données, mais aussi des méthodes et de l'expérience acquise.

Une amélioration de la visibilité de l'hydrométrie auprès des partenaires et des décideurs politiques.

Les réseaux hydrographiques pourront ainsi à long terme assurer leur rôle de service, en permettant notamment d'obtenir une vue d'ensemble du cycle hydrologique, de ses enjeux et de son implication sur l'environnement et la société.

Hydrometrie wozu?

Johannes Cullmann

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Die Geschichte der Hydrometrie in der Schweiz

Beat Sigrist

Abteilung Hydrologie, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern

Die Ernennung der schweizerischen hydrometrischen Kommission am 24. August 1863 ist der eigentliche Start zur systematischen Beobachtung unserer Gewässer durch den Bund.

In den vergangenen 150 Jahren ist am und im Gewässer viel gebaut und verbaut worden, die Nutzung wurde stark intensiviert zur Stromgewinnung, für die Schifffahrt und auch zur Abwasserentsorgung. Das Konzept des ursprünglichen Messnetzes wurde erweitert und angepasst aber in den Grundzügen hat es sich durchgehend bewährt.

Im 19. Jahrhundert war der Fokus der Hydrometrie klar auf den Hochwasserschutz gerichtet. Katastrophale Überschwemmungen und Zerstörungen verlangten nach Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung und die Hydrometrie lieferte dazu eine wichtige Grundlage. Mit Beginn des 20. Jahrhunderts und verstärkt nach dem 2.Weltkrieg dienten hydrometrische Messungen als Dimensionierungswerte für die Konzipierung und auch für die Kontrolle von Wasserkraftanlagen. In der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden die Messungen auf die Wasserqualität ausgedehnt, vor allem als Monitoring für den Gewässerschutz. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts wurde die Feststoffbeobachtung intensiviert zur Begleitung der Massnahmen gegen die Erosion von Flussbetten und die Verlandung von Seen. Mit Beginn des 21. Jahrhunderts kommt ein "hidden gem" des Messnetzes strahlend zum Vorschein, nämlich der Nutzen der langen Messreihen von unbeeinflussten Gewässern für die Klimaforschung. Die Mengenmessungen wurden dazu noch ergänzt durch Temperaturmessungen.

Die ersten hydrometrischen Beobachtungen waren Ablesungen von Wasserständen, an Brückenpfeilern bei Hochwasser und dann systematisch an fest installierten Lattenpegeln durch lokale Beobachter. Diese Punktmessungen wurden ab 1910 erweitert durch kontinuierlichen Messungen mit Schwimmer und die Registrierungen mit Limnigraf. Die Schwimmertechnik zur Wasserstandsmessung nutzen wir noch heute, neben elektronischen Geräten wie Pneumatiksonden und Radarsensoren. Die Genauigkeit der Wasserstandsmessung ist dabei kaum besser geworden; sie war schon damals sehr gut. Was sich wesentlich verbessert hat, ist die zeitliche Auflösung der Messwerte und die Verarbeitungsgeschwindigkeit. Was früher Wochen und Monate dauerte bis die Information verfügbar war, passiert heute weitgehend automatisiert innerhalb von Minuten und Stunden.

Für die Abflussmessung wurde schon vor 150 Jahren der hydrometrische Flügel eingesetzt mit dem das ganze Flussquerprofil ausgemessen wird. Auch diese Messtechnik ist heute noch im Einsatz, weiterentwickelt und elektronifiziert. Ergänzt und zunehmend verdrängt wird dieser Oldtimer durch Akkustik/Doppler-Geräte auf schnittigen Booten. Der Messvorgang wird damit erheblich beschleunigt, denn das Gerät braucht nicht mehr auf die Flusssohle abgesenkt zu werden.

Die Hydrometrie als Grundlagenbeschaffer für verschiedene, nachgeschaltete wasserbauliche und wasserwirtschaftliche Tätigkeiten hat sich entwickelt zum Partner der anderen wasserweltlichen Player und zur unmittelbaren Nutzung unserer Daten sind wir heute stark vernetzt mit unseren Kunden, die uns damit auch gehörig auf Trab halten.

Hydrometrie heute

Robert Lukes

Abteilung Hydrologie, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern

Im Rahmen der Ziele des BAFU nimmt die Abteilung Hydrologie Aufgaben im Bereich der Sicherheit, der Gesundheit, der wirtschaftlichen Leistungen und der natürlichen Vielfalt wahr.

Die Abteilung Hydrologie ist in folgenden Bereichen aktiv: Hochwasserschutz, Notmassnahmen, Hochwasserrisikomanagement, Vorhersage und Information. Wasserwirtschaftspolitik, Wasserqualität, Renaturierung, u.a.

Für all diese Bereiche müssen Grundlagendaten zur Verfügung stehen. Überall dort, wo Messwerte erhoben werden, gibt es Berührungspunkte mit der Hydrometrie. In eng gefassten Definitionen wird die Hydrometrie als Lehre bezeichnet, die sich mit Durchfluss- und Strömungserfassung in oberirdischen Gewässern befasst. Diese Definition greift zu kurz. Fasst man die Hydrometrie als "Lehre vom Messen hydrologischer Grössen", wird diese Definition den aktuellen Aufgaben gerechter.

Im Zentrum steht die Hydrologie als Wissenschaft, die – verknappt – den gesamten Wasserkreislauf mit allen Interaktionen im Räumlichen wie auch im Zeitlichen erfassen und verstehen muss. Grundlage für dieses Verständnis bilden u.a. Messdaten, welche seitens der Hydrometrie zur Verfügung gestellt werden.

Im BAFU befasst sich die Sektion Hydrometrie (SHM) hauptsächlich mit "Wasserstand" und "Abfluss" in Oberflächengewässern und weiteren Parametern. Zunehmend wirkt sie auch in nahestehenden Bereichen, wie z.B. "Grundwasser", beratend mit. Als Leistungserbringerin Umweltmonitoring nimmt die SHM eine zentrale Rolle bei der Datenerhebung ein, die in diesem Zusammenhang sowohl das eigentliche Messen wie auch die Registrierung, Übermittlung und korrekte Datenbearbeitung umfasst.

Die Anforderungen an die Hydrometrie sind vielfältig, die Herausforderungen gross: Nebst der eigentlichen Messung und der damit verbundenen Notwendigkeit eines stabilen und zukunftsorientierten Messnetzbetriebs gilt es, Sorge zur Infrastruktur zu tragen, Bauprojekte nachhaltig anzugehen, lokale Partner und Amtsstellen einzubeziehen und so die regionalen Kenntnisse und Gegebenheiten in eine nationale Gesamtsicht zu integrieren. Ebenso müssen nationale, z.B. messtechnische Grundsätze regional verankert werden; immer in Absprache mit nationalen Akteuren und unter Berücksichtigung internationaler Normen und Richtlinien. Arbeitsprozesse müssen laufend den komplexen und vielfältigen Anforderungen angepasst werden. dies verlangt eine hohe Flexibilität kompetenter Fachpersonen.

Der Sicherstellung langer, konsistenter Messreihen kommt besondere Bedeutung zu: Mit Messungen, Berechnungen und Simulationen können Zustände erfasst und eingeordnet werden. Die Dokumentation der Prozesse, der verwendeten Messtechniken und überhaupt aller Aktivitäten, die der Datengewinnung dienen, soll Reproduzierbarkeit und Datenverständnis über Generationen hinweg, garantieren. Hierzu sind in naher Zukunft Anstrengungen insbesondere im Bereich des Wissenstransfers zu leisten, wo die Etablierung eines Metadatenmanagements hilfreich sein wird.

Hydrometrische Messstationen in alpinen Einzugsgebieten – Messtechnische Herausforderungen sowie Einschränkungen und Unsicherheiten bei der Bestimmung der Abflusskurven

Hanspeter Hodel

Abteilung Hydrologie, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern

Das Bundesamt für Umwelt BAFU betreibt im alpinen Raum ganzjährig hydrometrische Messstationen. Der Bau, Betrieb und Unterhalt dieser Messstationen an meist abgelegenen Standorten stellt erhöhte Anforderungen an die Messstations-Verantwortlichen.

Alle hydrometrischen Stationen sollten bei allen Wasserständen gefahrlos zugänglich sein. Die Messprofile sind derart zu wählen, dass die Abflüsse für sämtliche Pegelstands-Bereiche exakt ermittelt werden können und durch Geschiebe, Murgang oder Treibgut (z.B. Holz) wenig beschädigt werden können.

Beim Bau von hydrometrischen Messstationen im alpinen Bereich wurden früher in der Regel massive Einbauten in die Gerinne erstellt, so dass die instabilen Bachprofile befestigt und die Anströmbedingungen verbessert werden konnten. Bei alpinen Abfluss-Stationen, die heute erstellt werden, wird meistens auf die teuren Einbaumassnahmen verzichtet; die Nachteile sind massive Sohlen- und Böschungsänderungen sowie grosse Änderungen in der Anströmung, die bei der Ermittlung der Abflüsse kaum berücksichtigt werden können.

Infolge kurzzeitiger Spitzen (Dauer des Pegelstands-Anstieges z.T. kleiner 30 Minuten), hoher Geschiebefrachten sowie Holztrieb ist die Durchführung von Abflussmessungen während Hochwasserereignissen vor allem in alpinen Messstationen erschwert. Weitere Probleme bei der Stationsbetreuung und der Messwerterfassung stellen die Vereisung der Profile im Winter, mögliche Gefährdungen des Betreuungspersonals infolge Lawinen und Murgänge (Zugang, Messstandort), hohe Wellen im Bach sowie das Auftreten stark unterschiedlicher Anströmbedingungen infolge variierender Geschiebeablagerungen dar.

Mittels der BAFU-Neuentwicklung einer Salzverdünnungs-Messausrüstung mit 4 Sonden wird in Zukunft die Durchführung von Abflussmessungen im Hochwasserbereich von alpinen Stationen erleichtert sein. Dadurch kann die Qualität der Pegelschlüsselkurven im HQ-Bereich verbessert werden, was zu einer Verringerung der Unsicherheiten bei der Ermittlung der Abflüsse alpiner Stationen führen wird.

Abflussmessung mit Webcams ein Projekt von photrack AG und BAFU im Schächental

Beat Lüthi

Photrack AG

Bis heute weisen gängige Meßverfahren bei extrem geringen und extrem hohen Abflüssen erhebliche Mängel auf. Pegel - Abfluss Relationen, sogenannte h-Q Relationen, können nur bei relativ normalen Bedingungen gemessen und somit geeicht werden und müssen dann für den Extremfall extrapoliert werden. Selbst bei einer genauen Kenntnis der h-Q Relation, ist es immer noch sehr schwierig den Pegel mit der notwendigen Genauigkeit zu bestimmen, sei es wegen der Sedimentverschiebungen oder wegen der Wellen, die sich kaum bewegen – den sogenannten 'stehenden Wellen'. Weltweit sehen sich die zuständige Behörden also vor der schwierigen Aufgabe, Abflüsse und die damit zusammenhängenden Risiken möglichst genau zu messen und vorherzusagen, ohne dass sie dazu ein wirklich befriedigendes Instrument zur Hand haben, um wenigstens die Basisgrössen genau zu bestimmen.

Unsere Methode, eine Kombination von normalen Outdoor-Webcams mit einem neu entwickelten Bildverarbeitungsverfahren, hat das Potential diesen Mißstand zu beheben, weil die Methode dank einer Linienmessungen vom Pegel und einer flächigen Messung der Oberflächengeschwindigkeit unabhängig von der erwähnten h-Q Relation wird. Für die Bestimmung der Wasserlinie wird der optische Fluss gemessen und für die Geschwindigkeitsmessung der Wasseroberfläche wird ein modifiziertes PIV-Verfahren (Particle Image Velocimetry) angewendet. Mit diesen zwei Grössen lässt sich die Abflußmenge genauer schätzen als mit herkömmlichen Verfahren. Die Genauigkeit für die Bestimmung der Wasserlinie liegt im Millimeterbereich und für die Bestimmung von Geschwindigkeitsprofilen im 1% Bereich. Die Position der Kameras kann flexibel gewählt werden. Anders als bei den ebenfalls berührungslosen Radarsystemen ist es z.B. nicht notwendig, dass die Kameras über dem Gewässer oder in einem bestimmten Winkel dazu montiert werden müssen. Es genügt, wenn eine Kamera einen Ausschnitt des Flusses sowie der Uferlinie 'sieht'. Zudem setzt sich das System aus einfachen Standard-Massenprodukten zusammen und ist somit im Vergleich nicht nur genauer, sondern auch günstiger. Mittelfristig soll das System autonom arbeiten. Die Auswertung geschieht dann vor Ort auf einem kostengünstigen und verbrauchsarmen Mini-PC, der für die Datenübertragung mit einem GSM-Modem ausgestattet ist.

Im Rahmen eines Pilotprojektes von photrack AG zusammen mit dem BAFU soll dieses Verfahren ein erstes Mal unter echten Bedingungen getestet-, und mit vorhandenen Sensoren verglichen werden. Dazu wurde die notorisch schwierige Messstelle Bürglen an der Schächen ausgewählt. In dieser Präsentation werden die Grundlagen des Systems erläutert und erste Resultate vorgestellt.

Des monstres en hydrométrie? ou comment les incertitudes de nos observations de débits sont encore mésestimées!

Thibault Mathevet¹, Christian Perret¹, Rémy Garçon¹, Thomas Morlot^{1,2}, Jonathan Jalbert², Anna Kuentz^{1,3}, Damien Sevrez¹, Alexandre Hauet¹, Anne-Catherine Favre²

¹EDF-DTG, 21 avenue de l'Europe, BP 41, 38040 Grenoble Cedex 9, France, ²LTHE, Bâtiment OSUG-B, Domaine Universitaire, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, France, ³IRSTEA, Équipe Hydrologie, 1, rue Pierre-Gilles de Gennes CS 100 30, 92761 Antony Cedex, France

« Bizarre », « Monstrueux »: aussi bien en société qu'en science, c'est la manière habituellement utilisée pour décrire les objets qui s'écartent d'une certaine norme. L'hydrologie et l'hydrométrie ne sont pas une exception à cette règle. En effet, les objets qui ont une faible probabilité d'occurrence ou qui s'écartent trop de leurs modèles sont souvent traités de bizarre ou de monstrueux, et sont parfois même rejetés comme erreurs de mesures. Néanmoins, nous pensons que qualifier de bizarre ou de monstrueux les objets qui s'écartent d'une certaine norme qualifie plutôt les limites de nos modèles pour les décrire, que les objets en eux-mêmes.

Pendant « La cour des miracles de l'hydrologie (ENGREF, Agroparistech, Paris) en 2008 » nous avions été invités à présenter notre définition du monstre hydrologique [MATHEVET & GARÇON, 2010], en nous concentrant particulièrement sur des exemples en hydrologie. La modélisation des incertitudes de débits a reçu une attention croissante dans la littérature au cours des 15 dernières années [LE COZ, 2012]. Néanmoins, dans cette présentation, nous souhaitons nous concentrer sur des exemples en hydrométrie et sur la manière dont les incertitudes des débits estimés sont généralement mésestimées et ignorées dans un grand nombre d'applications. Nous pensons que les montres résident plus dans notre ignorance des incertitudes que dans le fait que les débits estimés soient accompagnés de leurs incertitudes!

Dans un premier temps, nous souhaitons présenter un catalogue d'exemples classiques de monstres hydrométriques, en s'appuyant sur l'expérience d'EDF-DTG depuis 1950. Ces exemples sont typiques de la vie quotidienne d'un réseau de mesure dispersé sur un large territoire et de sa gestion sur plusieurs décennies. Ces monstres hydrométriques nous permettent de montrer comment il peut être difficile d'estimer des débits et de produire de longues séries de débits homogènes dans le temps, avec une incertitude limitée.

Ensuite, nous présenterons une méthode développée pour définir et estimer les incertitudes des débits [JALBERT et al., 2010 ; MORLOT et al., 2012], basée sur un échantillon de jaugeages et de courbes de tarages historiques. Cette méthode à pour objectif d'estimer conjointement les débits et leurs incertitudes associées en prenant en compte (1) une incertitude initiale, (2) une incertitude temporelle et (3) une méthode dynamique de mise à jour de la courbe de tarage. Quelques exemples nous montrent comment cette approche permet d'avoir une gestion dynamique des stations hydrométriques et de définir les stratégies de jaugeages en fonction de la variabilité hydrologique et des caractéristiques des stations.

Finalement, nous présenterons des travaux historiques actuels sur la valorisation de séries de débits du bassin de la Durance dans les Alpes du Sud commençant au début du XXème siècle. Ces séries représentent une source d'information très riche, aussi bien sur les pratiques hydrométriques, que sur l'hydrologie. Grâce à ces données, nous avons fait des recherches sur leur qualité et leur homogénéité dans le temps et nous avons pu caractériser la variabilité hydrologique des 150 dernières années.

Die Vermessung des Wassers – wie viele Daten braucht das Land?

Jan Seibert

Geographisches Institut, Universität Zürich

Die Abschätzung von Abflussmengen in Gebieten ohne Messstationen ist nach wie vor eine Herausforderung für die Hydrologie, wie auch die PUB (Prediction in ungauged basins) Dekade (2003 – 2012) gezeigt hat. Eine Möglichkeit zur besseren Abflussabschätzung ist es, Messungen in begrenztem Umfang durchzuführen. Dies können einzelne Abflussmessungen oder auch kontinuierliche Wasserstandsmessungen sein. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass bereits wenige (5-10) Abflusmessungen während einer kürzeren Zeitperiode helfen können, die Abflusssimulation hydrologischer Modelle deutlich zu verbessern. Eine Frage hierbei ist jedoch, zu welchen Zeitpunkten der Abfluss gemessen werden sollte, um die meiste hydrologische Information zu erhalten. Wasserstandmessungen sind erheblich einfacher durchzuführen und können im Gegensatz zur Abflussmessung auch gut kontinuierliche Daten, und damit Informationen zur Abflussdynamik, liefern. Andererseits geben diese Daten keine direkte mengenmässige Auskunft über den Abfluss. Hier werden diese beiden Ansätze diskutiert und verglichen. Damit soll eine Beurteilung des Informationsgehaltes der verschiedenen Messungen ermöglicht werden und die Frage beantwortet werden, wie begrenzte Ressourcen am besten eingesetzt werden. Ist es für die Abflussabschätzung besser wenige, relativ teure Messungen oder viele billigere Messungen durchzuführen? Wie erhalten wir die besten hydrologischen Informationen pro investiertem Franken?

Die Rolle der Hydrometrie bei der Seeregulierung

Bernhard Schudel

AWA Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern

Das Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern (AWA) ist für die Regulierung der Seestände von Brienzer-, Thuner- und Bielersee zuständig. Damit beeinflusst das AWA die Wasserführung der Aare und infolge der Bielerseeregulierung indirekt auch die Wasserstände von Neuenburger- und Murtensee. Voraussetzung für die Reguliertätigkeit bildet die Verfügbarkeit von hydrometrischen Daten. Die Fachstelle «Hydrometrie» des AWA beschafft, bearbeitet, verwaltet und veröffentlicht hydrometrische Daten, die aus kantonaler Sicht benötigt werden. Die Fachstelle ergänzt damit das Wirken der zuständigen Stelle des Bundes im Gebiet des Kantons Bern. Der Bund (Bundesamt für Umwelt BAFU) erfasst mit 32 Messstationen im Kanton Bern das übergeordnete Gewässernetz (Flüsse und Seen). Das kantonale Messnetz verdichtet dasjenige des Bundes. Aktuell umfasst das kantonale Messstellennetz 73 hydrometrische Stationen (Pegel, Abfluss, Niederschlag).

Die ständig steigenden Ansprüche in Bezug auf hydrometrische Daten kommen besonders deutlich im Zusammenhang mit der Inbetriebnahme des neuen Hochwasser-Entlastungsstollens in Thun zum Ausdruck.

Dank des neuen Entlastungsstollens konnte die Hochwassergefährdung rund um den Thunersee signifikant reduziert werden. Im Jahr 2005 begannen die Arbeiten für die Erarbeitung eines Betriebsreglements für die Früherkennung von Hochwasserereignissen und die optimale Regulierung des Thunersees bei drohenden Hochwassern. Ausgangspunkt bildeten historische Daten zu Niederschlägen, Pegelständen, Zu- und Abflüssen sowie zu Wasseräquivalenten des Schnees im Einzugsgebiet des Thunersees. Anhand dieser Grundlagen wurde ein völlig neues Regulierkonzept entwickelt, um mögliche Gefahrensituationen nach aussagekräftigen Kriterien beurteilen, in Gefahrenstufen bewerten und schliesslich mit entsprechenden Reguliereinstellungen in der täglichen Praxis in einer teilweise automatisierten Steuerung umsetzen zu können.

Bei drohendem Hochwasser bildet der Entlastungsstollen eine zusätzliche Reguliermöglichkeit für den Thunersee. Um den Entlastungsstollen effizient einsetzen zu können, müssen drohende Hochwasser möglichst früh zuverlässig erkannt werden. Deshalb definiert das Betriebsreglement einerseits die relevanten Schwellenwerte und die entsprechenden Gefahrenstufen, andererseits legt es fest, wie die Seeregulierung in solchen Risikosituationen zu erfolgen hat. Dazu werden die folgenden Kriterien laufend erhoben: Die Veränderungen des Thunersee-Pegelstands und der wichtigsten Zuflüsse; die anhand der vorangegangenen Niederschläge bestimmte Bodensättigung im Einzugsgebiet des Thunersees; die Meteowarnungen für das Einzugsgebiet des Thunersees und die darin gemessenen, aktuellen Niederschlagsmengen; die Zuflüsse aus höher gelegenen Einzugsgebieten des Thunersees (inkl. deren Veränderung); im Frühjahr zudem die Schneebedeckung, die Schneehöhen und die im Schnee gespeicherte Wassermenge im Einzugsgebiet des Thunersees.

Währenddem früher fast ausschliesslich auf den Seepegel reguliert wurde, richtet sich heute der Fokus der Seeregulierung auf das ganze Einzugsgebiet. Dabei spielen hydrometrische Daten eine zentrale Rolle. Hydrometrische Daten, welche für die operative und teilweise automatisierte Gewässerregulierung verwendet werden, müssen die folgenden Eigenschaften aufweisen: Die Daten müssen eine sehr hohe Verfügbarkeit aufweisen, sie müssen in Echtzeit für die Steuerungen verfügbar sein und sie müssen möglichst frei von Messfehlern sein. Die hohen Anforderungen führen dazu, dass die wichtigsten hydrometrischen Stationen teilweise dreifach redundant ausgestattet sind.

Hydrometrisches Informationssystem der Zukunft – Bereitstellung von Wassertands- und Durchflussdaten jederzeit und für jeden beliebigen Punkt im Gewässer

Gerd Morgenschweis

Universität Wuppertal (vormals Ruhrverband Essen)

Die von den Klimaforschern für die Zukunft prognostizierte Häufung von extremen Wetterlagen dürfte die Wasserwirtschaft sowohl im Hochwasser- als auch im Niedrigwasserbereich vor Herausforderungen bisher nicht gekannter Größenordnung stellen. Um im konkreten Fall schnelle und fachgerechte Entscheidungen treffen zu können, bedarf es zuverlässiger und zeitnaher Informationen über Wasserstände und Durchflüsse im gesamten Flusseinzugsgebiet.

Hydrometrische Informationssysteme haben per definitionem die Aufgabe, die Nachfrage nach solchen Wasserstands- und Durchflussdaten zu decken. Dies beinhaltet allgemein sowohl die messtechnische Erfassung als auch die Bereitstellung von Daten mit Hilfe von Kommunikationstechnik. Bei den Daten kann es sich grundsätzlich um langfristige Datenreihen (Zeitreihen) oder um aktuelle Informationen (Echtzeitdaten) handeln. Langzeitdaten können heute schon aus vorhandenen hydrologischen Informationssystemen mehr oder weniger problemlos abgerufen werden. Bei Echtzeitdaten ist dies heute noch nicht allgemein möglich.

Überprüft man die heute in der gewässerkundlichen Praxis eingesetzte Mess- und Kommunikationstechnik, inwieweit sie in der Lage ist, die im Titel provokant formulierte Vision einer jederzeitigen Datenbereitstellung für jeden beliebigen Punkt im Gewässer zu erfüllen, muss festgestellt werden, dass sich die bisher existierenden Systeme i.d.R. auf ausgewählte ("relevante") Messstellen (Pegel) beschränken. Dies bedeutet, dass die ermittelten Daten streng genommen nur für den Querschnitt der Messstelle Gültigkeit haben. Solche "punkthaften" Informationen sind jedoch nur bedingt für eine flusseinzugsgebietsbezogene Echtzeitbewirtschaftung ausreichend.

Abgeleitet aus den ermittelten Defiziten werden folgende Entwicklungspfade für die Zukunft als notwendig aufgezeigt:

- Messtechnik und -sensorik (kleinräumige linienhafte Wasserstands- und Oberflächengeschwindigkeitserfassung mittels Remote-Sensing, Entwicklung und Anwendung neuartiger Messverfahren für Schlamm-Wasser-Gemische, hybride Messsysteme für verkrautete Gewässer etc.),
- Datenhandling (räumliche Interpolation mit Hilfe von hydrodynamisch-hydrologischen Gewässermodellen u.a.) und
- Datenkommunikation (Nutzung neuer digitaler Datenübertragungs- und abruftechniken).

Dies sollte in einem Datenmanagementsystem, das auch mobil eingesetzt werden kann, zusammengefasst werden, um so den zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Analyse von langen Datenreihen ermöglicht die Dokumentation von Veränderungen im Abflussverhalten in den Hohen Tauern und im Alpenvorland

Barbara Staudinger

Hydrographischer Dienst, Amt der Salzburger Landesregierung, 5020 Salzburg, Österreich

Der Gesamtabfluss in Oberflächengewässern mit Vergletscherung im Einzugsgebiet setzt sich aus 4 Anteilen zusammen, die je nach Jahreszeit in unterschiedlichem Ausmaß wirksam werden (Oberflächenabfluss aufgrund von Niederschlagsereignissen; Basisabfluss als Entwässerung des Bodenkörpers; Schneeschmelze und Gletscherschmelze).

Gletscherschmelze ist jener Abflussanteil, der direkt aus dem Abschmelzen der in gletschergebundenen Eismassen resultiert. Der Schmelzanteil der Gletscherflächen in den Hohen Tauern trägt wesentlich zur ausgeglichenen Abflusssituation während der Sommerperioden bei. Durch die ehemals größeren Gletscherflächen konnte sich die Schneedecke, die sich aus Niederschlag in Form von Schnee und Windverfrachtung akkumuliert hatte, länger halten. Daraus ergibt sich das veränderte Abflussregime in den Sommermonaten.

Der Gesamtabfluss in Oberflächengewässern ohne Vergletscherung im Einzugsgebiet setzt sich aus 3 Anteilen zusammen, die je nach Jahreszeit in unterschiedlichem Ausmaß wirksam werden (Oberflächenabfluss auf Grund von Niederschlagsereignissen; Basisabfluss als Entwässerung des Bodenkörpers; Schneeschmelze).

In der Betrachtung des gesamten Hydrologischen Jahres sind Trends im Niederschlag und Abflusshöhen nur schwach ausgeprägt (BMLFUW, 2008), eine zeitlich und räumlich differenzierte Analyse ergibt deutlichere Trends. Vergleicht man historische Aufzeichnungen und Beobachtungen mit hoch aufgelösten Beobachtungsreihen aufgezeichnet mit Datensammlern der letzten Jahrzehnte, ist eine Verschiebung des hydrologischen Regimes und eine Reduktion der Gebietsspende zu beobachten. Beim Abfluss in Einzugsgebieten mit Vergletscherung zeigt sich ein Rückgang in den Sommermonaten und eine deutliche Vergleichsmäßigung des Abflussregimes im Jahresgang (BM-LFUW, 2008). Es tritt eine Verschiebung der jahreszeitlichen Spitze in Richtung Frühjahr, das heißt eine Veränderung vom glazialen zu nivalem Regime ein. Änderungen in der Niederschlagsverteilung sind im Alpenvorland zu beobachten, Niederschlagsabnahme und Verdunstungszunahme durch die Klimaänderung beeinflussen das Abflussregime in den Gewässern.

Auch bei der Beurteilung der künftigen Wasserführung an Gewässern für Wasserkraftnutzung sind lange Beobachtungsreihen von großer Bedeutung. Die optimale Nutzung der Wasserkraft bezogen auf alle Sachbereiche (z.B. Leistungsvermögen, Gewässerökologie) kann in der Planung nur dann umgesetzt werden, wenn entsprechende Beobachtungsreihen als Grundlagedaten für Berechnungen zur Verfügung stehen. Für die systematische Beobachtung des Wasserkreislaufes in Österreich ist der Hydrographische Dienst seit mehr als 100 Jahren verantwortlich. Datenreihen werden der Öffentlichkeit zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt.

Literatur:

BMLFUW (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf die Österreichische Wasserwirtschaft

Verbesserung von Pegelschlüsselkurven: Probabilisitische Vorhersagen zur gezielten Planung und Durchführung von Abflussmessungen während Hochwasserereignissen

Massimiliano Zappa¹, Käthi Liechti¹, Hanspeter Hodel²

¹Eidg. Forschungsanstalt WSL, ²Bundesamt für Umwelt

Die durch das Bundesamt für Umwelt BAFU ermittelten Abflussdaten werden für viele Zwecke verwendet, so zur Dimensionierung von Schutzbauten, für die Erstellung der Gefahrenkarten, zur Bestimmung der Wiederkehrperioden uvm. Zur Eichung sowie zur Verifizierung hydrologischer und hydraulischer Modelle greifen ebenfalls Modellierer auf derartige Daten zurück.

Da immer noch keine Verfahren existieren, mit denen die Abflüsse fortlaufend ermittelt werden können, ist weiterhin die Anwendung von Pegelschlüsselkurven (P/Q-Beziehungen) notwendig, um von den Pegelständen direkt auf die Abflüsse schliessen zu können. Doch infolge erschwerter Messbedingungen bei Hochwasserereignissen wie z.B. Holztrieb, ist es zum Teil unmöglich, währenddessen zuverlässige Abflussmessungen auszuführen. Die Folge sind grosse Unsicherheiten bei der Ermittlung der Hochwasserabflüsse. Beim BAFU laufen hierzu derzeit Untersuchungen, inwieweit mit Hilfe von hydraulischen Modellierungen die Zuverlässigkeit der Pegelschlüsselkurven verbessert werden können.

Mit diesem Beitrag möchten wir ein Konzept zur gezielten Planung von Wassermessungen an Pegelstationen vorstellen, bei denen es "Lücken" in der Datenbasis der Pegelschlüsselkurven gibt. Zwei Beispiele seien aufgeführt: In der Periode 1974 bis 2009 wurden für den Pegel der Linth in Mollis über 60 unterschiedliche P-Q Beziehungen publiziert. Die Abschätzung der grössten Jahres-Abflussspitzen ergab sich für diese Station ein Abfluss von 402 m³/s (August 2005). Demgegenüber beträgt der Wert der höchsten Abflussmessung 319 m³/s (Durchführung: 23.8.2005; BAFU, 2010).

Ähnlich ist die Datengrundlage der Station Verzasca-Lavertezzo. In der Periode 1989 bis 2009 wurden für den Pegel 15 P-Q-Beziehungen veröffentlicht. Bei der Abschätzung der grössten Jahres-Abflussspitze ergab sich für diese Station ein Abfluss von 702 m³/s (1992). Demgegenüber beträgt der Wert der höchsten durchgeführten Abflussmessung in diesem Falle 70 m³/s (Durchführung: 1991; BAFU, 2010).

Seit dem Jahr 2007 werden in der Schweiz vermehrt probabilisitische Methoden zur Erstellung von 5-Tage-Abflussvorhersagen verwendet. Weitere Produkte ermöglichen 10-Tage-Vorhersagen. Mit solchen Informationen sollte es möglich sein, rechtzeitig zu erkennen, wo in der Schweiz erhöhte Abflüsse auftreten könnten. Dadurch wiederum könnten gezielter Abflussmessungen geplant und durchgeführt werden. Wir werden in diesem Beitrag für die Einzugsgebiete der Verzasca und der Linth Beispiele zur Anwendung des Konzeptes zeigen. Sollte sich dies realisieren lassen, würden zusätzliche Abflussmessungen im Hochwasserbereich zur Verfügung stehen, die zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit der Pegelschlüsselkurven führen würden.

Mit diesem Beitrag möchten wir in erster Linie eine Diskussion anregen, ob und wie es möglich ist, für die Hochwasserbereiche der Pegelstand-Abfluss-Beziehungen eine bessere Datengrundlage zu erzielen. Die dargestellte Methodik kann ebenso verwendet werden, um innerhalb kürzerer Zeit für einen neuen Standort eine P-Q-Beziehung zu erstellen, welche möglichst im gesamten Niedrigsowie Hochwasser-Bereich durch Wasserstandsmessungen belegt ist.

Methodik der hydrologischen Auswertungen der extremen Hochwasserereignisse in Sachsen in den letzten 10 Jahren

Uwe Büttner¹, Thomas Fichtner², Uwe Höhne¹, Bernd Pfützner³, Jörg Walther⁴, Petra Walther¹, Erhard Wolf¹

¹Referat Landeshochwasserzentrum, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Zur Wetterwarte 3, D-01109 Dresden, Deutschland,

²Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Altwahnsdorf 12, D-01445 Radebeul, Deutschland,

Nach großen Hochwasserereignissen verlangt die Öffentlichkeit eine schnelle Schadensbeseitigung. Dagegen erfordern die notwendigerweise vorausgehenden hydrologischen Untersuchungen einen weit über die routinemäßig ablaufenden Auswertungen der Pegelaufzeichnungen hinausgehenden Aufwand, insbesondere dann, wenn die bisher beobachteten höchsten Wasserstände und Abflüsse großräumig überschritten wurden.

In den letzten zehn Jahren waren mit einer Ausnahme alle sächsischen Hauptflussgebiete von Extrem-Hochwassern betroffen, wobei die Jährlichkeiten der Hochwasserscheitel verbreitet bei 50 bis 200 Jahren, in Einzelfällen auch wesentlich darüber lagen. In der zweiten Augustdekade des Jahres 2002 in den Flussgebieten der linksseitigen Nebenflüsse der oberen Elbe und der Mulde sowie Anfang August und Ende September 2010 in den östlich der Elbe gelegenen Flussgebieten wurden an einer Vielzahl von Pegeln bisher unerreichte Wasserstände und Abflüsse beobachtet. Auf das Hochwasser im August 2002 und April 2006 in der als Bundeswasserstraße eingestuften Elbe wird in diesem Beitrag kein Bezug genommen.

Eine Basis für die ereignisspezifischen Untersuchungen der Hochwasserabläufe waren die Wasserstands- und Abflussdaten der Pegel des gewässerkundlichen Messnetzes des Freistaates Sachsen. Die Abflussganglinien wurden zunächst aus den Wasserstandsaufzeichnungen der Schreibpegel mit Hilfe von extrapolierten Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen (W-Q-Beziehung) bestimmt, wobei die Hochwasserscheitelabflüsse an den Pegeln auf der Grundlage von Längsschnittbetrachtungen der Hochwasserscheitelabflüssependen geschätzt wurden. Deren Prüfung erfolgte in der Regel durch stationär ungleichförmige hydraulische Berechnungen. Bei hochwasserbedingtem Verlust der Aufzeichnungen oder breitflächigen Ausuferungen an Tieflands-Pegeln kamen konzeptionelle hydrologische Modelle mit intensitätsbasiertem Abflussbildungsansatz zur Rekonstruktion der Abflussganglinie aus Niederschlagsauswertungen zum Einsatz. Aus den sich ergebenden Abflussganglinien wurden als charakteristische Kennwerte der Scheitelabfluss, die Scheiteleintrittszeit und die Scheitelabflussspende sowie die Abflussfülle bestimmt. Zu letzterem erfolgte eine Separation des Basisabflusses.

Auf Grundlage von Änderungen der W-Q-Beziehungen der Pegel wurde schließlich unter Berücksichtigung des Gebietsniederschlags von den Flussoberläufen ausgehend iterativ sowohl eine plausible Füllenbilanz, als auch ein plausibles Abflussbeiwertverhalten in den einzelnen Gewässerlängsschnitten hergestellt. Die Bestimmung der Jährlichkeit des Hochwassers an den Pegeln erfolgte mit einer Verteilungsfunktion, die sowohl auf die Jahreshöchstabflüsse (Jahresstatistik) ggf. unter Berücksichtigung historischer Hochwasser im Sinne einer zeitlichen Informationserweiterung, als auch auf die Kombination der Eintrittswahrscheinlichkeiten der größten Abflüsse der Sommer- und Winterhalbjahre (saisonale Statistik) als kausale Informationserweiterung Anwendung fand.

³Büro für Angewandte Hydrologie, Köberlesteig 6, D-13156 Berlin, Deutschland, 4Niederlassung Dresden, DHI-WASY GmbH, Comeniusstraße 109, D-01309 Dresden, Deutschland

Skalenübergreifende Messung der suspendierten Sedimentdynamik im Mondsee, Österreich

Philip Müller, Andreas Güntner, Heiko Thoss, Bruno Merz

Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

Die Untersuchung der hochwassergekoppelten suspendierten Sedimentdynamik (SSD) ist ein zentrales Thema in der Hydrologie. Über räumliche Skalen hinweg ist die Untersuchung der suspendierten Sedimentdynamik von großer Bedeutung für die Abschätzung des Nährstofftransports, den Betrieb von Wasserkraftwerken, die Lebenszeitabschätzung von Wasserspeichern sowie die Nutzung von Seesedimenten als Geoarchive. Eine Verknüpfung aus umfangreichem Monitoring der SSD in Reservoirs und den verknüpften Einzugsgebieten könnte Probleme vermeiden und die räumlich-zeitliche Verteilung der SSD verständlicher machen.

Um genau diese Verknüpfung zwischen Einzugsgebiet und See zu etablieren, wurde ein Bojenmesssystem entwickelt. Ein maßgeblicher Vorteil der Bojen ist das Potential, alle für den Sedimenttransport relevanten Faktoren in einer sehr hohen räumlich-zeitlichen Auflösung erfassen zu können. Daher wurden vier Messbojen im Mondsee (30 km östlich von Salzburg) installiert. Um die hohe räumliche Auflösung innerhalb der Messung zu erreichen, wurden die Bojen mit umfangreicher Sensorik ausgestattet, wobei die meteorologischen Parameter über der Wasseroberfläche sowie SSD-relevante als auch limnophysikalische Parameter von der Seeoberfläche bis zum Seegrund bestimmt wurden. Dabei wurden für jede Boje Trübungssonden zur Erfassung der suspendierten Sedimentkonzentration und Wassertemperatur in bis zu elf verschiedenen Tiefenstufen verwendet. Fließgeschwindigkeiten und Fließrichtungen wurden durch den Einsatz von akustischen Strömungssensoren gemessen. Meteorologische Faktoren wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung, relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur wurden ebenfalls kontinuierlich an jeder Boje erfasst, da diese großen Einfluss auf die Schichtung und Durchmischungsprozesse im See besitzen.

Die Bojen wurden von der Mündung des hydrologisch wichtigsten Teileinzugsgebiets des Mondsees in den See, dem Fuschler Ache Einzugsgebiet, bis zum tiefsten Seebecken entlang der Strömungsrichtung verteilt. Dies ermöglichte das Monitoring der räumlich-zeitlichen Sedimentverteilung von der Mündung über den weiteren Verlauf des Seebeckens. Um die Konnektivität zwischen See und Einzugsgebiet zu erreichen, wurde das Bojenmessnetz in Kombination mit einem hydrosedimentologischen Einzugsgebietsmessnetz betrieben. Durch die Verknüpfung der beiden Messnetze besteht nun die Möglichkeit der Erfassung der SSD von den Quellen im Einzugsgebiet bis hin zur Senke im Seebecken. Die Ergebnisse zeigen, dass innerseeische Prozesse wie Schichtung und Durchmischung einen deutlichen Einfluss auf die Verteilung der durch Hochwasserereignisse eingetragenen Schwebstoffe haben. Dieser hier vorgestellte verknüpfende Ansatz bietet die Möglichkeit, die die SSD antreibenden Prozesse zu untersuchen und besser zu verstehen.

Hydrometrie visualisiert – die Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren GIN

Sabina Steiner¹, Josef Hess²

¹Geschäftsstelle GIN, Bundesamt für Umwelt BAFU, 3003 Bern, ²Geschäftsstelle LAINAT, Bundesamt für Umwelt BAFU, 3003 Bern

Einleitung

Naturgefahren können erhebliche Schäden verursachen, dies haben verschiedene Ereignisse der letzten Jahre gezeigt. Unter dem Projektnamen OWARNA beschloss der Bundesrat der Schweiz bereits im Jahr 2007 zahlreiche Massnahmen zur Verbesserung der Hochwasservorhersage sowie zur besseren Information um Naturgefahren. Der Rat beauftragte das Bundesamt für Umwelt (BAFU), das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), die Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL/SLF) und die ETH Zürich (Schweizerischer Erdbebendienst, SED) mit dessen Umsetzung. Schäden eines grossen Naturereignisses können reduziert werden, wenn Warnung, Alarmierung und Information rechtzeitig erfolgen und Menschen und viele Sachwerte damit vor dem Eintritt des Schadens in Sicherheit gebracht werden können. Die gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren GIN setzt als eine der Massnahmen genau dort an.

Die Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren – GIN

Die Informationsplattform GIN hat zum Ziel, die Fach- und Führungsstellen des Bundes, der Kantone sowie der Gemeinden innerhalb der Schweiz umfassend und rechtzeitig über Naturgefahrenprozesse und Extremereignisse zu informieren. Sie stellt dazu Echtzeit-Informationen wie Messdaten, Vorhersagen, Warnungen, Bulletins und Beobachterinformationen dar. Seit 2010 ist die Plattform für Fachleute und Experten von Bund, Kantonen und Gemeinden zu Naturgefahren operationell verfügbar. Als Web-Applikation ist die Anwendung von GIN unabhängig von Systemen. Neben den Daten der Bundesfachstellen sind ebenfalls Daten von Kantonen und privaten Datenlieferanten integriert. Dies führt zu einer bereits beachtlichen Zahl von verfügbaren Messstationen und Parametern. Auf interaktive Art und Weise können die Informationen individuell ausgewählt und kombiniert werden. Beispielsweise ist es möglich, die aktuellen Abflussmessungen mit den Schneeinformationen und vorhergesagten Niederschlägen gemeinsam auf einer Karte zu visualisieren. Dies erlaubt eine bessere Beurteilung von komplexen Zusammenhängen und eine Erkennung von potentiell gefährlichen Situationen. Die Informationsplattform GIN visualisiert Daten in Form von Karten, Diagrammen und Tabellen. So können verschiedene Messstationen ausgewählt und deren Parameter in beliebiger Kombination in Diagrammen betrachtet werden. Auf der Karte ist es zudem möglich, Messdaten mit Rasterdaten (beispielsweise Niederschlagsradar) zu überlagern. Anwender können dabei benutzerdefinierte Ansichten speichern und sich damit die wichtigsten Informationen schnell zugänglich machen.

Schlussfolgerungen und Weiterentwicklung

Die Informationsplattform GIN erfüllt heute bereits viele Bedürfnisse von Experten und Fachleuten zum Thema Naturgefahren. Um das System noch optimaler auf Nutzeranforderungen abzustimmen, wird GIN auch in den nächsten Jahren weiterentwickelt. Aktuell werden verschiedene Regionalmodule integriert, die den Kantonen und Gemeinden einen schnellen Überblick über die Situation in ihren Einzugsgebieten geben. Beispielsweise wird es mit der nächsten Version möglich, Abflussbereitschaftskarten zu visualisieren. Zudem soll die Eingabe von Beobachtungsdaten gestärkt werden und die Plattform soll neben dem Schnee auch auf andere Bereiche wie Wasser ausgedehnt werden. Am Tag der Hydrologie sollen insbesonders die Möglichkeiten der Visualisierung im Bereich Wasser aufgezeigt werden.

Session 1: 150 Jahre Hydrometrie in der Schweiz

Poster

Ermittlung von Bemessungsabflüssen an Flussmündungen – Univariate vs. multivariate Extremwertstatistik

Jens Bender^{1,2}, Christoph Mudersbach¹, Thomas Wahl^{1,2}, Jürgen Jensen¹

¹Universität Siegen, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, ²Universität Siegen, Forschunkskolleg Siegen

Für die Ermittlung von hydrologischen Bemessungsabflüssen an Gewässern steht heute eine Vielzahl univariater statistischer Verfahren zur Verfügung. Im direkten Mündungsbereich von zwei oder mehreren Gewässer hingegen können die univariaten Verfahren keine Anwendung mehr finden, da wenigstens zwei Variablen berücksichtigt werden müssen. An den deutschen Binnenwasserstraßen wird dieses Problem derzeit dahingehend gelöst, dass es auf eine univariate Fragestellung reduziert wird. Es werden die gängigen extremwertstatistischen Verfahren für alle am Gewässer befindlichen Pegeldaten angewendet und die entsprechenden Bemessungsabflüsse berechnet. Die Differenz der Bemessungswerte von zwei aufeinanderfolgenden Pegeln gilt dann als zu berücksichtigender Abfluss aus den Nebengewässern.

Eine alternative Methode zur Beantwortung multivariater Fragestellungen stellen Copula-Funktionen dar. Copulas bieten die Möglichkeit nicht-lineare Abhängigkeitsstrukturen unabhängig von den Randverteilungen der einzelnen Parameter zu modellieren. Besonders die sog. Archimedischen Copulas haben sich bislang in der Hydrologie durchgesetzt, da sie relativ einfach zu konstruieren sind und ein breites Spektrum von Abhängigkeitsstrukturen abbilden können. In den vorliegenden Untersuchungen wurde ein Vergleich der vereinfachten univariaten Extremwertstatistik und der bivariaten Statistik unter Verwendung von Copula-Funktionen durchgeführt. Als Fallbeispiel dient die Einmündung der Wolfsteiner Ohe in die Ilz (Bayern), wo Abflusspegel sowohl oberhalb und unterhalb des Mündungsbereichs an der Ilz sowie an der Wolfsteiner Ohe installiert sind. Für alle drei Pegel liegen stündliche Mittelwerte des Abflusses von 1971–2011 vor.

Zunächst wurde für die beiden Pegel der Ilz eine Häufigkeitsanalyse auf Basis der jährlichen Maximalwerte unter Anwendung der Allgemeinen Extremwertverteilung durchgeführt und Hochwasserbemessungsabflüsse der Jährlichkeiten T = 5, 10, 20, 50 und 100 ermittelt. Die Differenz der Bemessungswerte aus beiden Ergebnissen lässt sich somit als statistisch relevanter Zufluss der entsprechenden Bemessungsabflüsse aus der Wolfsteiner Ohe einstufen. Für die bivariate Untersuchung wurden die jährlichen Maximalwerte des Pegels an der Ilz oberhalb der Einmündung herangezogen und die zeitgleich aufgetretenen Zuflüsse der Wolfsteiner Ohe bestimmt. Unter Verwendung geeigneter Randverteilungen sowie von archimedischen Copulas wurde anschließend die kombinierte Eintrittswahrscheinlichkeit der Abflüsse aus beiden Gewässern bestimmt und den Ergebnissen aus den univariaten Untersuchungen gegenübergestellt.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die Zuflüsse aus dem Nebengewässer unter Verwendung der eindimensionalen Methode zu wesentlich höheren Werten führen als mit der Copula-Methode. Ob die Ergebnisse generell auch auf andere Gewässermündungen, insbesondere auf die Binnenwasserstraßen, übertragbar sind, soll in weiteren Untersuchungen nachgewiesen werden.

Prof. A. R. Harlacher (1842–1890): Eine wichtige Persönlichkeit der europäischen Hydrologie

Libor Elleder

Czech Hydrometeorological Institute Prag

Prof. A. R. Harlacher ist Hydrologen in der Schweiz gut bekannt. Vortragsziel ist eine Beschreibung seines Lebens und seiner Aktivitäten in Böhmen in den Jahren 1869 bis 1890, wo er seinerzeit als Gründer der tschechischen hydrologischen Dienste wirkte. Harlacher hat die Einladung nach Prag an den deutschen Teil der Technischen Universität Prag im Jahr 1869 angenommen. Er führte dort später mehrere Studien und Projekte auf dem Gebiet der tschechischen Wasserwirtschaft fort. Seine Innovation der hydrometrischen Instrumente wurde auf der Weltausstellung in Paris im Jahre 1878 durch die Goldene Medaille ausgezeichnet.

Die Hydrographische Kommission, der erste hydrologische Dienst auf dem Gebiet der heutigen Tschechischen Republik, wurde im Jahre 1875 gegründet. A.R. Harlacher war der erste Vorstand der "Hydrometrischen Sektion". Seine Aktivitäten waren auf Abflussmessungen, Wasserbilanzberechnungen, aber besonders auf die erfolgreiche Ausnützung des Wasserstands- und Durchflussprognosen-Methode für die Elbe konzentriert.

Sein progressives System wurde in Prag nach seinem Tode im Jahre 1892 in Betrieb genommen. Im Jahre 2012 wurde an sein 170. Geburtsjubiläum erinnert. Bei dieser Gelegenheit ist die A. R. Harlachers Medaille für die bedeutenden Hydrologen, nicht nur aus der Tschechischen Republik, gegründet worden. So lebt das Vermächtnis weiter.

Ermittlung des Wassereinsatzes in der Milchviehhaltung

Michael Krauß, Katrin Drastig, Simone Kraatz

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Borinm e.V.

Die Herstellung tierischer Produkte und ihre steigende Nachfrage rückt die Tierhaltung immer mehr in den Vordergrund von Forschungsarbeiten. Wasser als Produktionsgrundlage kommt in den Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen infolge des durch den Klimawandel zu erwartenden Rückgangs der Süßwasserressourcen. Untersuchungen innerhalb der Nachwuchsgruppe "Welternährung und Wasserressourcen: eine agrarhydrologische Perspektive (AgroHyd)" werden zur Quantifizierung der Wasserverwendung auf landwirtschaftlicher Betriebssysteme durchgeführt. Agrartechnische Maßnahmen und ihre Wechselwirkungen werden untersucht, um das Wissen über die Wasserproduktivität in landwirtschaftlichen Systemen zu verbessern. Ziel dieser Untersuchungen ist es den Wasserbedarf innerhalb des Stallsystems am Beispiel Milchvieh zu ermitteln und agrartechnische Maßnahmen abzuleiten, die dazu dienen die Wasserproduktivität in der Tierhaltung zu erhöhen.

Daten der Wasserentnahme werden aktuell in Form von Messungen an den Entnahmepunkten der Wasserleitungen in einem Milchviehbetrieb der Region Brandenburg erfasst. Dazu wurde ein Milchviehbetrieb (200 Milchkühe) mit 38 Wasserzählern ausgestattet. Diese sind an verschiedenen Punkten in den zwei Ställen des Betriebs installiert und messen dort die Wasserentnahme. Die Zähler sind mit Ringkolben (30 Stück) und Flügelrädern (8 Stück) zur Erfassung der Wassermenge ausgestattet. Auf jedem Wasserzähler ist ein Funkmodul montiert, welches stündlich den aktuellen Zählerstand via Funk an einen Kollektor sendet. In jedem Stall ist ein Kollektor angebracht um die Daten der Wasserzähler zu erfassen. Die Kollektoren übertragen die erfassten Daten täglich, ebenfalls über ein lokales Funknetz, an einen Sammelpunkt. Von diesem Sammelpunkt aus werden die Daten täglich mittels General Packet Radio Service (GPRS) an einen File Transfer Protocol (FTP)- Server übermittelt. Die Auswertungssoftware greift über den Server auf die gespeicherten Daten zu. Mit der Software lassen sich die Lastprofile einzelner Wasserzähler auswerten und ebenfalls mehrere Wasserzähler miteinander kombinieren.

Aufgrund der prozesszugeordneten Anordnung der Wasserzähler sind detaillierte Aussagen zu Hauptverbrauchern vorhanden. Die stündliche Erfassung der Wasserentnahme ermöglicht eine genaue Quantifizierung und darauf aufbauende Bewertung der agrartechnischen Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserproduktivität über die Reduzierung des Wasseraufwandes im Stall. Als Untersuchungszeitraum sind zwei Jahre festgelegt. Der Vergleich der Melksysteme Side-by-Side und automatisches Melken steht im Mittelpunkt der Untersuchungen hinsichtlich der Wassernutzung. Im Rahmen unserer Untersuchung wird a) die Melkanlagenreinigung betrachtet, b) der Wasserbedarf für die Reinigung der Standflächen und Oberflächen untersucht und c) Möglichkeiten zur Wiederverwendung von Reinigungswasser aus der Melkanlagenreinigung betrachtet.

Hydrometrie im Kanton Tessin

Andrea Salvetti¹, Maurizio Pozzoni², Sergio De Bernardi², Stefano Rioggi²

¹Ufficio dei corsi d'acqua, Cantone Ticino, ²Istituto Scienze della Terra SUPSI

Die hydrometrischen Messungen im Kanton Tessin begannen mit der Pionierarbeit von Professor F. Gygax der Universität Bern in den fünfziger Jahren. Diese Aktivitäten dienten als Grundlage dafür, die stetig steigenden Anforderungen an Informationen über die Wasserresourcen zu erfüllen. Zu dieser Zeit begann nämlich die intensive Wassernutzung für die Energieerzeugung, Trinkwasserversorgung und für Industriezwecke. Vor allem die Dimensionierung der grössten Staudämme im Maggiatal, Bleniotal und Leventina verlangte nach einer guten hydrologischen Datenbasis. Unter Berücksichtigung dieser Ausgangslage traf die kantonale Sektion Wasserwirtschaft in den siebziger Jahren eine Auswahl von geeigneten Abflussmessstandorten, wobei die Lage der bestehenden Abflussmessstationen des BAFU (Landeshydrologie) berücksichtigt wurde. Neben den hydrometrischen Messstationen wurde auch ein kantonales meteorologisches Netz aufgebaut, mit dem Niederschlag, Lufttemperatur und –feuchtigkeit gemessen werden. Zurzeit obliegt die Koordination und die Überwachung des Netzes dem kantonalen Wasserbauamt, der Unterhalt dem Istituto Scienze della Terra (SUPSI), der Fachhochschule der italienischen Schweiz.

Eine hohe Qualität und Zuverlässigkeit der hydrometrischen Daten wurde während der Jahre durch häufige und präzise Abflussmessungen gewährleistet, welche mit Flügel und Leitfähigkeitsmessmethoden durchgeführt wurden. Besondere Beachtung wurde den Stationen geschenkt, wo die geomorphologischen Eigenschaften im Einzugsgebiet eine hohe Variabilität des Messquerschnitts verursachen. Über 1850 Eichmessungen des Abflusses sind in einer Datenbank gespeichert und erlauben eine präzise Abschätzung der P-Q Beziehungen bei den Messstationen. Seit 1979 werden alle gemessenen Niederschlags- und Abflussdaten im kantonalen hydrologischen Jahrbuch veröffentlicht. Diese Publikation wurde im Jahr 2000 neu gestaltet und inhaltlich stark erweitert, mit neuen statistischen Analysen und einer Auswertung des hydrologischen Jahres. Ebenfalls seit 2000 wurde das Netz einer Erneuerung unterzogen, mit der Installation von neuen Messgeräten bei den alten Messstationen und der Erweiterung des Netzes mit neuen Messpunkten. Im Jahr 2012 bestand das kantonale Netz aus 25 Meteostationen und 20 Abflussstationen, einige davon dienen der Kontrolle der Dotierwassermenge unterhalb von Wasserfassungen.

Die Daten der Mehrheit der Stationen werden in Echtzeit abgerufen und zur Verfügung gestellt. Dafür wurde einerseits ein Standard-Web-Dienst (SOS, Sensor Observation Service) geschaffen, andererseits werden alle gemessen Daten durch den SOS Web-Dienst in der kantonalen Datenbank OASI gespeichert. In dieser Datenbank wird eine standardisierte und hochleistungsfähige Qualitätskontrolle der Daten durchgeführt. Schliesslich werden die Daten in Echtzeit als Graphik und Tabellen auf der Internetseite der kantonalen Verwaltung veröffentlicht.

Sensorbasierte Steuerung von automatischen Probenahmegeräten in drahtlosen Sensornetzwerken

Philipp Schneider¹, Andreas Wombacher², Daniel Burgener³, Jan Beutel³, Jan Seibert¹

¹Hydrologie & Klima, Geographisches Institut der Universität Zürich, ²Data Base Group, University of Twente, The Netherlands, ³Computer Engineering and Network Laboratory, ETH Zürich

Wireless sensor networks (WSN) eröffnen neue Möglichkeiten des Umweltmonitorings, besonders durch in Echtzeit abrufbare Sensordaten in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Die Probenahme vor Ort zur Bestimmung von Wasserqualitätsparametern im Labor wird jedoch weiterhin ein wichtiger Bestandteil des Umweltmonitoring bleiben, da viele Messgrössen nur im Labor präzise und zuverlässig gemessen werden können. Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts von Informatik, Computer Engineering und Umweltwissenschaft haben wir ein automatisches Probenahmegerät (ISCO 6712) als Aktuator in ein WSN integriert. Auf Grundlage der direkten "online" Interpretation der Sensordaten wird dabei automatisch sowohl der Start als auch das Probenahmeprogramm für ein Aktuator – das Probenahmegerät – abgeleitet. Hierzu wird eine Steuerungsdatei an das automatische Probenahmegerät übertragen und von diesem Gerät automatisch ausgeführt. Die mit Sensoren einfach, günstig und zuverlässig zu messende elektrische Leitfähigkeit (EC) wurde als charakteristischer Parameter für den Herkunftsraum des Wassers ausgewählt, da sich die EC von Grund- und Flusswasser in alluvialen Systemen insbesondere bei Hochwasserereignissen deutlich unterscheidet. Die EC beschreibt Zustand und Dynamik eines alluvialen Systems und eignet sich deshalb als Steuergrösse für die Probenahme von Zielgrössen wie Wasserqualitätsparameter und stabile Isotope. In hochwasserbeeinflussten alluvialen Aquiferen kann anhand der EC der Beginn verstärkter Flusswasserinfiltration (Uferinfiltration) für ausgewählte Beobachtungsbrunnen bestimmt werden. Hierzu wird das an mehreren Standorten in hoher zeitlicher Auflösung (2 min) im Fluss und Grundwasser gemessene EC-Signal mittels eines dynamischen Algorithmus über mehrere Messwerte interpretiert. Das EC-Signal kann dabei parallel mit unterschiedlichen Algorithmen interpretiert werden (z.B. gleitender Mittelwert, Tiefpassfilter, Kalmanfilter, etc.) und ist somit deutlich robuster gegenüber einzelnen Fehlmessungen der EC-Sensoren als bei einer Probenahmesteuerung über einen Schwellenwert. Die Variabilität der Steuergrösse elektrische Leitfähigkeit definiert dabei die zu beprobenden Abflussereignisse. Auf Grundlage von verfügbaren EC-Daten (Trainingsdatensatz) werden Kriterien für Abflussereignisse mit verstärkter Uferfiltration abgeleitet und anschliessend auf aktuell gemessene EC-Werte angewandt. So wird eine automatische Grundwasserprobenahme initiiert, falls mehrerer Messwerte die Grenzen des typischen Tages- bzw. Jahresgangs der EC kontinuierlich in einem definierten Zeitfenster verlassen. Um Messfehler und Ausreisser der EC (Signalrauschen) zu eliminieren wurden verschiedene Ausreissererkennungsalgorithmen und Plausibilitätstests implementiert, angewendet und evaluiert. Im Bereich einer grossen Revitalisierungsmassnahme an der Thur wurden damit statische Probenahmeprogramme zur Grundwasserüberwachung gesteuert. Als weitere Optimierung der Probenahme testen wir dynamische Probenahmeprogramme basierend auf gemessenen EC-Daten (z.B. Anwendung von Geostatistik und Dekonvolutionsalgorithmen, siehe Cirpka 2007).

Experimentelle Partitionierung der Verdunstung in Waldbeständen mit Unterwuchs

Kai Schwärzel¹, Christian Podlasly¹, Karl-Heinz Feger¹, Jürgen Müller²

¹Technische Universität Dresden, Institut f. Bodenkunde und Standortslehre, 01737 Tharandt, Deutschland, ²vTI, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, 16225 Eberswalde, Deutschland

Die dominierende Bilanzgröße im Wasserhaushalt vieler terrestrischer Ökosysteme ist die Verdunstung. Sie setzt sich aus den Komponenten Evaporation, Transpiration und Interzeption zusammen. Bei gegebener Witterung und ähnlichen Böden wird die Höhe der Verdunstung vor allem durch die Art der Pflanzenbedeckung sowie durch acker-, pflanzen- und waldbauliche Maßnahmen bestimmt. Daher wird jede Änderung der Landnutzung, Bewirtschaftung oder Vegetationsstruktur die Höhe der Verdunstung und auch den Beitrag der einzelnen Verdunstungskomponenten an der Gesamtverdunstung verändern. Als Folge dessen ändert sich dann auch der für die Vegetation verfügbare Bodenwasservorrat und die Sickerwasser- und Abflussmengen. Deshalb ist in Wasserhaushaltsstudien, die sich mit der Nachhaltigkeit von Landnutzungssystemen befassen, die messtechnische Partitionierung der Verdunstungskomponenten notwendig.

Zahlreiche Methoden zur Messung der Verdunstung wurden entwickelt, anwendbar für Standorte (Lysimeter), Bestände (z.B. Saftfluss oder Eddy-Kovarianz) und Einzugsgebiete (z.B. Gebietswasserbilanz). Diese Methoden liefern Verdunstungswerte, die nur innerhalb einer bestimmten räumlichen und zeitlichen Auflösung repräsentativ sind. Einige Methoden (z.B. Eddy-Kovarianz) messen die Gesamtverdunstung, andere Methoden (z.B. Saftfluss) nur Teilkomponenten der Verdunstung. Deshalb erfordert die messtechnische Aufteilung der Verdunstungskomponenten eine skalen- und fachübergreifende Betrachtungsweise.

Zur Partitionierung der Verdunstung von Robinienbeständen mit Unterwuchs wurden wägbare Lysimeter, Saftfluss-Sensoren, Bodenfeuchte-Messfelder, Niederschlagsmessungen im Bestand und im Freiland sowie Wetterstationen installiert. Mit den baumlosen Lysimetern (1 m² Oberfläche, 1,70 m tief) werden die Sickerwassermengen unter Robinie und die Verdunstung des Unterwuchses erfasst. Über die Saftfluss-Messungen wird die Transpiration des Robinienbestandes ermittelt. Lysimetermessungen zum Wasserverbrauch des Unterwuchses von Waldbeständen können mit großen Unsicherheiten behaftet sein. In verdunstungsstarken Perioden mit wenig Niederschlag werden die Bodenfeuchtebedingungen im Lysimeter beträchtlich von denen des umgebenden Waldbodens abweichen. In diesen Perioden steht dem Unterwuchs im Lysimeter deutlich mehr Bodenwasser zur Verfügung als dem Unterwuchs des umgebenden Bodens. Ursache hierfür ist die Bodenwasseraufnahme durch den Baumbestand. Dadurch trocknet der Waldboden stärker aus als der Boden im Lysimeter. Durch Einkapselung des Bodens im Lysimeter wird nicht nur die vertikale Bodenwasserbewegung sondern auch der Bodenwärmefluss am unteren Rand des Lysimeters gestört.

Im Vortrag wird eine neuartige Methode zur automatischen Regulierung der Bodenfeuchte- und Bodenwärmebedingungen am unteren Rand von Lysimetern vorgestellt und erste Ergebnisse zur Partitionierung der Verdunstung von Robinienbeständen mit Unterwuchs präsentiert. Die Ergebnisse werden im Vergleich zu Verdunstungsmessungen in einem Grasbestand diskutiert.

Session 2: Hydrologie in natürlichen Einzugsgebieten

Referate

Modellierung zeitlich variabler Einzugsgebietsreaktion: Methode und Anwendung

Ingo Heidbüchel¹, Peter Troch²

¹Sektion Hydrologie, Geoforschungszentrum, Potsdam, Deutschland, ²Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona, Tucson, USA

Einzugsgebiete reagieren unterschiedlich auf Niederschlagsereignisse, je nachdem, in welchem hydrologischen Zustand sie sich zu einem bestimmten Zeitpunkt befinden. Wenn z.B. die Speicherkapazität der Böden ausgeschöpft ist, können schon kleine Niederschlagsereignisse schnelle und starke Abflussreaktionen hervorrufen. Wenn dagegen noch große Speicherkapazitäten vorhanden sind, werden selbst Starkregen "absorbiert" ohne nennenswerten Abfluss zu erzeugen. Um die zeitliche Variabilität der Einzugsgebietsreaktion zu messen, haben wir eine Methode entwickelt, die auf der klassischen Methode der Faltung konstanter Impulsantworten beruht, welche Eingabezeitreihen stabiler Isotope im Niederschlag in Ausgabezeitreihen derselben Isotope im Abfluss umwandelt. Unsere Methode lässt sowohl den Mittelwert als auch die Form der Impulsantworten veränderlich. Die Form der Impulsantworten wird dabei schon vor dem eigentlichen Modelllauf für jeden Zeitschritt anhand von aktuellen Speicher-, Transport- und Antriebseigenschaften festgelegt. Der Mittelwert der Impulsantwort kann anschließend mit einem gleitenden Fenster bestimmt werden. Zeitlich variable Transit- und Reaktionszeiten ermöglichen die systematische Untersuchung, welche Kontrollfaktoren (Topographie, Geologie, Boden-, Vegetations- oder Niederschlagseigenschaften) zu welchem Zeitpunkt vorherrschen. Somit wird die Vorhersage von (hydrochemischer und hydrologischer) Einzugsgebietsreaktion erleichtert.

Spannungsfeld Prozesswissen – Hydrologische Modellierung aufgezeigt an einem vielseitigen Beispiel aus den Schweizer Voralpen

Simon Scherrer¹, Michael Margreth², Peter Kienzler¹

¹Scherrer AG Hydrologie und Hochwasserschutz, 4153 Reinach, Schweiz, ²soilcom GmbH, 8037 Zürich

Die bei Starkregen auftretenden Abflussprozesse sind in ihrer Art und ihrer Intensität räumlich unterschiedlich. Ihr Wesen wurde in den letzten Dekaden von verschiedenen Forschenden mit unterschiedlichen Methoden experimentell untersucht (Abflussuntersuchungen an Hängen, in Klein- und Kleinsteinzugsgebieten, Beregnungsversuche, etc.). Dies vergrösserte das Wissen und das Verständnis der Abflussprozesse beträchtlich. Diese Grundlagen ermöglichten die detaillierte Kartierung klein- und mesoskaliger Einzugsgebiete nach der Abflussbereitschaft. Die Kartiermethodik wurde automatisiert, um mit Hilfe von GIS die Abflussprozesse und -bereitschaft auch für grössere Einzugsgebiete in hoher räumlicher Auflösung effizient ermitteln zu können.

Mit Hilfe von Abflussprozesskarten lassen sich Flächen mit starker, mittlerer und schwacher Abflussreaktion identifizieren. Diese flächendifferenzierte Betrachtung der Abflussprozesse kann als Grundlage für Niederschlag-Abflussmodelle dienen. Im Einzugsgebiet der Kleinen Emme in den Luzernischen Voralpen wurde ein solches Modell aufgebaut, um die Reaktion des Gebiets auf seltene Niederschläge zu untersuchen und um Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeiten abzuleiten. Mit Hilfe dieses flächendifferenzierten Ansatzes der Abflussentstehung konnte zusätzlich die Wirkung von Landnutzungsänderungen und von dezentralen Hochwasserschutzmassnahmen auf die Grösse extremer Hochwasser evaluiert werden. Die Ergebnisse zeigen, unter welchen Umständen und für welche Ereignisse Landnutzungsänderungen und dezentrale Hochwasserschutzmassnahmen als abflussmindernde Eingriffe für den Hochwasserschutz effizient und sinnvoll sind. Die flächendifferenzierte Betrachtung ermöglichte so eine prozessnahe Modellierung und erlaubte die Beurteilung von praktischen Fragestellungen.

Versickerung und Speicherung von Niederschlag in subalpinen Einzugsgebieten im Urserntal, Schweiz

Matthias H. Müller, Christine Alewell

Forschungsgruppe Umweltgeowissenschaften, Universität Basel, 4056 Basel, Schweiz

Aus der mittleren Verweilzeit des Wassers in einem Einzugsgebiet können Rückschlüsse über die Speicherung, die Fließwege und die Herkunftsräume des Wassers und seiner Inhaltsstoffe gezogen werden. Die Fließwege können durch die Landschaftsstruktur und die Vegetationsbedeckung beeinflusst werden, wobei aber die Bedeutung der Vegetationsbedeckung bisher noch nicht auf Einzugsgebietsebene untersucht worden ist. In den letzten Jahrzehnten führte ein Landnutzungswandel in den Schweizer Alpen zu einer Verbuschung ehemals offener Weideflächen. Eine sich daraus ergebende verstärkte Durchwurzelung der Böden könnte zu einer erhöhten Infiltration und zu kürzeren Aufenthaltszeiten des Wassers im Einzugsgebiet führen. Wir untersuchten vier subalpine Kleinsteinzugsgebiete im Urserntal (Zentralschweiz) mit unterschiedlichem Buschbestand und modellierten die mittleren Verweilzeiten der Oberflächenwässer mittels stabiler Wasserisotope. Ausserdem wurden zur Charakterisierung der Fließwege weitere hydrochemische Parameter in den Oberflächengewässern erfasst.

Die zeitlich starke Variabilität des Isotopensignals im Niederschlag war im Basisabfluss kaum wiederzufinden. Dies deutet darauf hin, dass ein Teil des Niederschlags in tiefer gelegenen Gesteinsschichten zirkuliert und sich Wässer verschiedener Niederschlagsperioden mischen. Aus den hydrochemischen Daten kann zudem gefolgert werden, dass die Wässer durch gips- und/oder kalkhaltige Schichten fließen. Gleichzeitig zeigen zeitlich hoch aufgelöste Messungen der stabilen Wasserisotope während eines Niederschlagsereignisses, dass ein Teil des Niederschlags sehr schnell die Oberflächengewässer erreicht und die Einzugsgebiete innerhalb weniger Stunden verlässt. Dieses Ereigniswasser durchspült vor allem Schichten, die reich an organischer Substanz sind.

Mindestens zwei Teilsysteme scheinen jeweils in den vier Gebieten auf verschiedenen Zeitskalen abflusswirksam zu sein. Einerseits ein System, das den Basisabfluss speist und mittlere Verweilzeiten von 1.2-1.9 Jahren aufweist, andererseits ein oberflächennahes System, das in kürzester Zeit durch den infiltrierenden Niederschlag aktiviert wird.

Die Geologie, Pedologie und die Schneeakkumulation und -schmelze haben offenbar in subalpinen, steilen Einzugsgebieten mit einer relativ dünnen Bodendecke einen stärkeren Einfluss auf die mittleren Verweilzeiten des Basisabflusses, sowie auf die Abflussspitzen und deren Hydrochemie als die Vegetationsbedeckung bzw. die Landnutzung.

Der Einfluss der – mittels variabler gemessenen – Variabilität der Schneedecke eines vergletscherten Einzugsgebiets auf die hydrologische Modellierung

Johannes Schöber^{1,2}, Robert Kirnbauer³, Fritz Schöberl², Katrin Schneider¹, Stefan Achleitner⁴

¹alpS-Centre for Climate Change Adaptation Technologies, Innsbruck,
 ²Institut für Geographie, Universität Innsbruck,
 ³Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, TU Wien,
 ⁴Institut für Infrastruktur, AB Wasserbau, Universität Innsbruck

Das Schnee- und Eisschmelzmodell SES wird im Rahmen des Hochwasserprognosesystems des Tiroler Inns (HoPI) zur Berechnung der Abflüsse aus den vergletscherten Einzugsgebieten der Stubaier und Ötztaler Alpen verwendet. In den letzten 20 Jahren wurde die Einbeziehung von Schneebedeckungsmustern zur Validierung schnee-hydrologischer Modelle zum Stand der Technik. Neu ist die Verwendung von flächendeckenden Schneehöhendaten auf Basis von LIDAR (Light detection and ranging) Messungen. Die nun verfügbare dreidimensionale Information zur Schneebedeckung erlaubt weitere Erkenntnisse im Bezug auf die räumliche Variabilität der Schneedecke im Einzugsgebiet.

Die LIDAR Technologie findet in den letzten Jahren vermehrt Einzug in schnee-hydrologische Untersuchungen. Die Schneehöhe kann mittels einfacher Differenzbildung zwischen den Zellen eines schneebedeckten Geländemodells und den Zellen eines schneefreien Referenz-Geländemodells bestimmt werden. Der beobachtete Parameter ist die Schneehöhe [m]. Da die meisten hydrologischen Modelle die Schneedecke in Form des Schneewasseräquivalents (SWE) berechnen (z.B. SES), können diese Differenzdaten jedoch nicht direkt für die Kalibrierung und Validierung verwendet werden. Die Umrechnung der Schneehöhendaten in SWE kann mittels manuell erhobenen Messwerten der Schneedichte durchgeführt werden, die während der Befliegung aufgenommen werden. Im schneebedeckten Hochgebirge ist erwartungsgemäß aber nur ein kleiner Teil des Gebiets zugänglich. Ein Modell zur Abschätzung der Schneedichte, das auf Regressionen zwischen gemessenen Schneehöhedaten und Dichtedaten basiert wurde für die Schneeverhältnisse in Tirol angepasst. Dabei zeigt sich, dass die Schneedichte in vergletscherten Einzugsgebieten am Ende der Akkumulationsperiode nur geringen Schwankungen unterliegt und üblicherweise zwischen 380 und 400 kg m-³ aufweist.

Im Vergleich zu Daten der Schneefläche ist die Kenntnis über die Größenordnung des mittleren Wasseräquivalents von Vorteil. Mit dieser Information können beispielsweise Parameter, wie die Niederschlagszunahme mit der Höhe oder der Schneekorrekturfaktor für Niederschlag in fester Form genau bestimmt werden. Insgesamt stehen in dieser Studie vier Karten des verteilten Wasserwertes eines vergletscherten Einzugsgebiets in Tirol zur Verfügung. Diese werden im Rahmen von Monte Carlo Simulationen zur Parameteroptimierung verwendet. Zusätzlich werden Schneeflächendaten (auf Basis von Landsatbildern) verwendet. Anhand der beobachteten Verteilung von SWE in Bezug auf verschiedene topographische Parameter wird gezeigt, dass die auf Basis von SWE bestimmten Parameter geringere Unsicherheiten als die auf Basis der Schneefläche bestimmten Parameter aufweisen. Somit können mittels der Einbeziehung von räumlich verteilten SWE-Daten Parameterunsicherheiten reduziert werden.

Großer Schnee, kleine Wasser, kleiner Schnee, große Wasser

Ole Rössler, Rolf Weingartner

Oeschger Zentrum für Klimaforschung, Gruppe für Hydrologie, Geographisches Institut, Universität Bern

In den Gebirgen kommt der temporären Speicherung von Niederschlag in Form von Schnee eine gewichtige Rolle bei der Abflussbildung zu. So sind Schneeschmelzhochwasser und Regen-auf-Schnee Hochwasser regelmäßige Phänomene in den Alpen (MERZ & BLÖSCHL 2003). So kann man sich fragen, ob die winterlichen Schneemengen nicht schon auf die Schwere des Frühjahrshochwassers hindeuten. Gleichzeitig sind im operationellen Betrieb der Hochwasservorhersage, Hochwasser nach kurzfristigen Schneeakkumulationen besonders schwer vorherzusagen. In dieser Studie wird der Einfluss der Schneedecke auf die Abflüsse auf verschiedenen Zeitskalen beispielhaft untersucht. Beginnend bei der kurzfristigen Speicherung während nicht-winterlichen Regen-auf-Schnee-Ereignissen, über die saisonale Wirkung der winterlichen Schneemaxima auf das Frühjahrshochwasser, bis hin zur Bedeutung der Schneedecke für die Hochwasserbildung unter veränderten Klimabedingungen wird ein Bogen geschlagen um zu einer möglichst umfassenden Skizzierung der Bedeutung des Schnees für die Hochwasser zu gelangen. Die Bedeutung des Schnees und der Schneeschmelze während des Regen-auf-Schnee-Ereignisses im Herbst 2011 haben wir anhand zweier Einzugsgebiete im Berner Oberland und Wallis (Lonza und Lütschine) beispielhaft mit einem hydrologischen Modell analysiert. Darüber hinaus erfolgt eine räumlich differenzierte Beurteilung der Bedeutung dieser Ereignisse in der Schweiz. Die saisonale Bedeutung der Schneedecke wird durch die Auswertung von Schnee-, Witterungs-, und Abflussdaten der letzten 15 Jahre im Berner Oberland empirisch analysiert. Zudem bedienen wir uns einem experimentellen Modellansatz, bei dem in ausgewählten Einzugsgebieten des Berner Oberlandes alle Schneelagen der letzten 15 Jahre mit allen 15 Frühjahrswitterungen kombiniert werden. Unter der Annahme, dass eine gewisse Variabilität der möglichen heutigen Frühjahrswitterungen und Schneelagen damit erfasst worden ist, können Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Abflüsse für bestimmte Schneelagen oder Witterungsverläufe angegeben werden. Zudem können Dispositionen der Einzugsgebiete für Hochwasser mittels der maximalen winterlichen Schneehöhe abgeschätzt werden. Wie sich diese Überschreitungswahrscheinlichkeiten bzw. Grunddispositionen für die ausgewählten Einzugsgebiete im Berner Oberland unter veränderten Klimabedingungen entwickeln, wird in einem letzten Teil abgeschätzt. Dazu werden Klimaszenarien mit drei verschiedenen Emissionsszenarien (A1B, A2, RCP3PD) auf den bestehenden Datensatz angewendet und mit den derzeitigen Resultaten verglichen.

Hochwasserentstehung in alpinen Einzugsgebieten: Evaluierung von Felddaten, Kartiermethoden und Abflussmodellen im Schächental

Maarten Smoorenburg, Nina Volze, Felix Naef

Institut für Umweltingenieurswissenschaften, ETH Zürich, 8093 Zürich, Schweiz

In alpinen Einzugsgebieten zeigen sich grosse Unterschiede bei den Abflussspitzen der grossen Hochwassern. Dies lässt sich erklären durch unterschiedliches Speichervermögen des Untergrundes. Auch in sehr steilen Gebieten können Speicher vorhanden sein, die grosse Niederschlagsmengen zurückhalten können. Bei extrem ergiebigen Niederschlägen kann jedoch dieses Speichervermögen überschritten werden, so dass ein unerwartet grosses Hochwasser entsteht. Ein solches Verhalten wurde im August 2005 im Schächental beobachtet.

Im Schächental ist deshalb die Abflussbildung verschiedener geomorphologischer Einheiten mit grossem Speichervermögen untersucht worden. Dafür wurde an ausgewählten Hängen Niederschlag, Abfluss und elektrische Leitfähigkeit von Quellen gemessen. Um die Prozesse im tieferen Untergrund zu verstehen und Unterschiede zwischen den Gebieten zu identifizieren, wurden Piezometer installiert und geophysikalische Messungen durchgeführt. Zusätzlich wurden auf einem Hang mit einer Fläche von 130 m² Beregnungsversuche mit Niederschlagsmengen bis 700 mm durchgeführt.

Um die erworbenen Erkenntnisse auf andere Gebiete übertragen zu können, wurde eine Kartierungsmethode für stark gedämpfte Gebiete entwickelt und damit das Einzugsgebiet des Schächen (108 km²) kartiert. Zusätzlich wurde ein neues Modul für das Niederschlags-Abfluss Modell 'Qarea' entwickelt um die Drainage der grossen Speicher zu beschreiben. Mit dem Modell wurden verschiedene Hochwasser des Schächens nachgeregnet und mit den gemessenen Hochwassern verglichen. Es zeigt sich, dass die Übertragung der Erkenntnisse auf grössere Gebiete möglich ist und Perspektiven aufzeigt um Einzugsgebiete zu identifizieren, die anfällig sind für Schwellenverhalten bei extremen Hochwassern. Es ist vorgesehen, das Modell auf andere, auffällig reagierende Gebiete anzuwenden.

Analyse des Einflusses der räumlichen Auflösung auf die Simulation der räumlich-zeitlichen Variabilität der Bodenfeuchte in einem Waldeinzugsgebiet der Eifel mit Hilfe des Modells HydroGeoSphere

Thomas Cornelissen¹, Bernd Diekkrüger¹, Heye Bogena²

¹Geographisches Institut, Universität Bonn, 53115 Bonn, Deutschland, ²Institut für Bio- und Geowissenschaften, Forschungszentrum Jülich, 52425 Jülich, Deutschland

Die Bodenfeuchte ist eine Schlüsselgröße des Systems Boden-Pflanze-Atmosphäre, weil sie über zahlreiche Wechselwirkungen mit den Komponenten des Systems verbunden ist. Die Klimabedingungen, die Art und Verteilung der Vegetation, die Topographie sowie die Bodeneigenschaften bestimmen die räumliche und zeitliche Variabilität der Bodenfeuchte, die unter anderem auf die Abflussentstehung (z.B. durch die Bildung von gesättigten Bodenbereichen), die Transpiration und das Mikroklima (z.B. Höhe der atmosphärischen Grenzschicht) einwirkt. Sowohl die Messung als auch die Simulation der Bodenfeuchte und ihre räumliche und zeitliche Variabilität ist eine aktuelle Herausforderung der Hydrologie. Während für einen Großteil der bisherigen Studien zur raumzeitlichen Variabilität der Bodenfeuchte landwirtschaftliche Flächen analysiert wurden, vergleicht die vorliegende Untersuchung die räumlich-zeitliche Variabilität gemessener und simulierter Bodenfeuchten eines natürlichen Waldeinzugsgebietes. Das untersuchte Einzugsgebiet des Wüstebachs ist 27 ha groß, liegt im Nationalpark Eifel und ist mit einem ca. 60 Jahre alten Fichtenforst bestanden. Das Gebiet ist aufgrund seiner umfassenden Instrumentierung – darunter ein dichtes Bodenfeuchtemessnetz mit 900 Sensoren – für die Untersuchung der räumlichen Variabilität der Bodenfeuchte sehr gut geeignet. Mithilfe der Daten können unter Nutzung einer hydrologischen Abflusssimulation mit dem Modell HydroGeoSphere unter anderem Fragen nach den dominanten Abflussprozessen, zum Einfluss eines Grundwasseraquifers auf die räumliche Verteilung der Bodenfeuchte und die Wasserbilanz des Einzugsgebietes beantwortet werden. Für die Kalibrierung und Validierung der Abflusssimulation werden neben den herkömmlichen Messdaten wie Klimaund Abflussdaten auch Messungen der aktuellen Verdunstung und des Bestandniederschlags verwendet. Die räumliche Variabilität der simulierten und gemessenen Bodenfeuchte wird an Hand der Variogramparameter verglichen, mit dem Ziel, Mängel der Simulation zu ergründen sowie die Auswirkung von Niederschlägen und Verdunstung auf die räumliche Variabilität der Bodenfeuchte zu beobachten. Des Weiteren wird mit der geostatistischen Analyse bewertet, ob das Modell die in früheren Publikationen beschriebenen Austrocknungs- und Befeuchtungsmuster der Bodenfeuchte wiedergeben kann. Darüber hinaus wird die Verwendung von zwei räumlichen Modellauflösungen Hinweise auf die Skalenabhängigkeit der kalibrierten Modellparameter, der Wasserbilanz- und Abflusskomponenten und der räumlichen Verteilung der Bodenfeuchte und ihrer Variogramparameter geben.

Von lokalen Daten zu regionalen Vorhersagen – Wie lassen sich lokale Grundwasserpegelmessungen nutzen, um regionale hydrologische Modelle zu kalibrieren?

Sabine Attinger, Philipp Bosecker, Rohini Kumar

Department Hydrosystemmodellierung Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ

Einzugsgebietsmodelle modellieren und sagen den Oberflächenabfluß vorher, haben aber seit einigen Jahren auch andere ambitionierte Zielvariablen, die sie vorhersagen möchten, wie zum Beispiel Bodenfeuchtedynamik und Grundwasserstände. Aus diesem Grund sind im Laufe der letzten Jahre viele Einzugsgebietsmodelle deutlich komplexer geworden und berücksichtigen mehr komplexe Wechselwirkungen mit der Atmosphäre, der Vegetation und dem Grundwasser. Die Kehrseite ist, daß damit auch die Anzahl der Modellparameter, die in einem Modell zu kalibrieren sind, deutlich gestiegen ist. Abflußdaten stellen nach wie vor die am meisten genutzten Daten dar, nicht zuletzt deshalb, weil der Abfluß das integrative Ergebnis einer ganzen Anzahl verschiedener Prozesse ist (Hunger und Döll, 2008). Trotzdem lassen sich nicht alle Modellparameter mit Abflußdaten eindeutig schätzen. Neben Abflußdaten liegen auch häufig Grundwasserpegeldaten vor, die allerdings lokaler Natur sind. Es stellt sich damit die Frage: Wie lassen sich lokale Grundwasserpegelinformationen in einem regionalen Einzugsgebietsmodell nutzen?

In diesem Vortrag möchten wir eine neue Methode vorstellen, die nicht die eigentlichen Grundwasserpegeldaten nutzt, sondern Spektren von Grundwasserpegelschwankungen.

Unsere Arbeit basiert auf Arbeiten von Zhang und Kollegen. Zhang und Schilling (2004) und Zhang und Li (2005, 2006) haben mithilfe einer Spektralanalyse zeitliche Skalen in Grundwasserpegelschwankungen identifiziert. Sie konnten zeigen, daß die lokalen Spektren nur geringfügig von lokalen Heterogenitäten der Grundwasserleiter abhängen, aber sehr wohl von großskaligen Eigenschaften und Rändern der Grundwasserleiter. Diese Unabhängigkeit der Spektren von lokalen Eigenschaften läßt sich nutzen, um großräumige räumlich verteilte Grundwassermodule in Einzugsgebietsmodellen zu kalibrieren.

Grundwasserdynamik eines vor-alpinen Einzugsgebietes – raum-zeitliche Variabilität und ihre dominanten Einflussfaktoren

Michael Rinderer¹, Jan Seibert¹, Manfred Stähli²

¹Geographisches Institut, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zürich, Schweiz, ²Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Die Erfassung der Grundwasserdynamik und Fliessprozesse im Boden sind von entscheidender Bedeutung für das Verständnis des oft nicht-linearen Abflussverhaltens kleiner Einzugsgebiete. Insbesondere die raum-zeitliche Variabilität der gesättigten Zone und deren Konnektivität zum Gerinnenetz spielen eine wichtige Rolle für das Verständnis der Funktionsweise ganzer Einzugsgebiete. Bisherige Forschungsarbeiten haben vor allem die kleinskalige Grundwasserdynamik am Hang oder in der bachnahen Zone untersucht. Weniger Arbeiten existieren, die auf Einzugsgebietsebene räumlich verteilt, kontinuierlich über einen längeren Zeitraum die Grundwasserdynamik und die Konnektivität zum Gerinneabfluss betrachten. Dieser Beitrag beschreibt erste Analysen und Resultate der Messergebnisse hinsichtlich der ereignisbasierten Grundwasserdynamik in einem kleinen Wildbacheinzugsgebiet mit bindigen Böden (Gley) und tendenziell grosser Vorfeuchte. Das Hauptaugenmerk lag auf der Identifikation der massgeblichen Steuergrössen anhand Standorteigenschaften und dynamischer System- und Witterungszuständen. In einem 20 ha grossen voralpinen Testeinzugsgebiet im Alptal /Schweiz wurde dazu ein räumlich verteiltes Grundwassermessnetz, bestehend aus 52 Stationen, errichtet. Die Piezometer wurden auf sieben, zum Teil ineinander geschachtelten, Teileinzugsgebieten mit je einer Abflussmessstelle verteilt, was die Untersuchung von skalenabhängigen Beziehungen ermöglichte. Mit der Wahl der Messstandorte wurde versucht, die Einzugsgebiets-spezifischen Boden- und Vegetationseigenschaften sowie die Unterschiede in der Morphologie repräsentativ abzudecken.

Erste Analysen, basierend auf nahezu 200 Niederschlagsereignissen unterschiedlicher Intensität, Dauer und Vorfeuchte, liessen markante Unterschiede in der Reaktion, sowie der Dauer und Häufigkeit charakteristischer Grundwasserstände zwischen den unterschiedlichen Standorten erkennen. Trockene Standorte reagierten zunächst verzögert auf Niederschlagsinput, wiesen dann aber einen sehr raschen Anstieg des Grundwasserspiegels auf. Feuchte Standorte dagegen waren generell durch hohe Grundwasserstände gekennzeichnet, welche bei Niederschlagsereignissen rasch ansprangen, jedoch erst mit zeitlicher Verzögerung ihr Maximum erreichten. Der Datensatz erlaubte es, Hypothesen über die dominanten Abflussprozesse, die dieses Verhalten verursachen, systematisch zu testen und sie mit Standorteigenschaften, wie der Hangneigung, Morphologie, hydraulischer Leitfähigkeit oder Bodenhorizont-Mächtigkeit sowie den sich ändernden Systemund Niederschlagsbedingungen in Verbindung zu bringen.

Wassergebundener Stofftransport in Flußeinzugsgebieten: verbessertes Verständnis durch Synthese von "Top-down" und "Bottom-up" Ansätzen

Benny Selle, Marc Schwientek, Karsten Osenbrück

Water & Earth System Science (WESS) Competence Cluster, c/o University of Tübingen, Germany

Die kombinierte Anwendung von "Bottom-up" und "Top-down" Ansätzen kann zu einem besseren Verständnis des wassergebunden Stofftransportes in Flußeinzugsgebieten beitragen, da sich diese sinnvoll ergänzen. "Bottom-up" Ansätze beinhalten typischerweise die Anwendung von räumlich expliziten Prozessmodellen. Diese können das Fließgeschehen – insbesondere den Einfluss heterogener Transporteigenschaften in der Modelldomäne und variabler Randbedingungen – umfassend abbilden. "Top-down" Ansätze nutzen integrale Beobachtungen, um dominante Prozesse zu quantifizieren, welche anschließend verortet werden müssen. Oft werden dabei nur minimale Annahmen zu Wirkungszusammenhängen benötigt, um Schlüsselprozesse und deren Steuergrößen abzuleiten. In dieser Studie wurde das 180 km² große Ammereinzugsgebiet in Baden-Württemberg untersucht. Die Ammer, mit einem mittleren Abfluss von etwa 1 m³/s, wird vorwiegend aus Karst- und Kluftgrundwässern des Oberer Muschelkalk und Gipskeuper gespeist. Im Einzugsgebiet werden ca. 100 l/s Trinkwasser aus Tiefbrunnen im gespannten Oberen Muschelkalk gefördert. Das Einzugsgebiet hat einen hohen Anteil an Siedlungs- (17%) und Ackerflächen (71%). Infolge dieser Landnutzung ist der Abwasseranteil in der Ammer fast dreimal so hoch wie im bundesweiten Durchschnitt und die Nitratkonzentration vieler Quell- und Oberflächenwässer liegt bei etwa 30 mg/l. In einem ersten Schritt wurden langjährig gemessene Konzentrationen von Hauptionen, ausgewählten organischen Spurenstoffen und Umwelttracer an verschiedenen Punkten im Gewässernetz sowie für Quellen und Grundwasserbrunnen ausgewertet. Dabei wurden typische "Topdown" Verfahren wie die Hauptkomponentenanalyse und Speicher-Durchfluss-Modelle angewendet, um ein erstes Verständnis zu den Fließpfaden und -zeiten des Wassers und der darin gelösten Stoffe zu entwickeln. Die durch dieses Vorgehen erhaltenen Hypothesen bezüglich der unterirdischen Fließpfade und -zeiten wurden anschließend mit einem numerischen Grundwassermodell also einem typischen Vertreter eines "Bottom-up" Ansatzes – überprüft. Die Synthese der oben beschriebenen Ansätze ergab ein relativ konsistentes Bild der dominanten Prozesse, die die Wassergüte im Ammereinzugsgebiet steuern. Einige Quellwässer weisen eine deutliche Zumischung von Abwässern auf, welche wahrscheinlich aus undichten Kanalnetzen und teilweise auch aus der Versickerung von Bachwässern stammen. Mit Agrochemikalien angereicherte Sickerwässer sind in Quell- und Oberflächenwässern ubiquitär vorhanden und teilweise auch bei den Trinkwasserbrunnen zugemischt. Die meisten der geförderten Trinkwässer weisen aufgrund von Abbauvorgängen, vor allem aber wegen ihres relativ hohen Alters, noch eine gute Qualität auf. Diese wird allerdings in absehbare Zeit beeinträchtigt, wenn die durch lange Fließzeiten verzögerten Schadstofffronten durchbrechen oder sich die Bedingungen für mikrobielle Umsätze verschlechtern würden, etwa durch Erschöpfung geeigneter Elekronendonoren.

Session 2: Hydrologie in natürlichen Einzugsgebieten

Poster

Der Einfluss verschiedener Waldtypen auf die Abflussbildung in den Tropen – Eine Modellanalyse des Soil Water Assessment Tools (SWAT)

Frank Bäse¹, Helmut Elsenbeer¹, Jorge Espinosa²

¹Inst. f. Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, Deutschland, ²Autoridad de Canal de Panamà, Ciudad de Panamà, Panamà

In den Tropen ist neben der Ausweitung agrarischer Nutzflächen und Siedlungsgebiete durch großflächige Abholzung alter tropischer Wäldern auch eine Zunahme junger Sekundärwälder und Forstplantagen zu beobachten. Die Beurteilung von Auswirkungen dieses zunehmend dynamischen Landnutzungswandels steht im Fokus wissenschaftlicher Kontroverse. Physikalisch basierte, hydrologische Modelle, wie das vielfach verwendete Soil Water Assessment Tool (SWAT) helfen die Folgen von Landnutzungsänderungen zu beschreiben und zu quantifizieren. Da Veränderungen von Waldflächenanteile und Waldtypen vielfach im Zentrum der Landnutzungsdynamik stehen, sollen in dieser Arbeit die Pflanzenparameter der in SWAT implementierten Waldtypen (immergrüner = FRSE, laubabwerfender = FRSD und Mischwald = FRST) hinsichtlich ihrer hydrologischen Bedeutung für den Gebietsausfluss analysiert werden.

Im Cirí Grande Einzugsgebiet in Panamá wurde die Sensitivität der aktuellen Evapotranspiration sowie des Gebietsauslasses auf Änderungen stomatären Leitfähigkeit (GSI), der Wuchshöhe (beeinflusst durch die maximale Wuchshöhe CHTMX und der pflanzenspezifischen Reifezeit (MAT_YRS) und der maximalen Wurzeltiefe (RDMX) untersucht. Dabei geht die Wuchshöhe in die Berechnung des aerodynamischen Widerstandes ein.

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass aerodynamischer Widerstand und stomatäre Leitfähigkeit wenig Einfluss auf die aktuelle Evapotranspiration und die Abflussbildung haben. Im Gegensatz dazu reagiert das Modell sehr sensitiv auf Änderungen der Wurzeltiefe. Eine Erklärung dafür ist, dass in tropischen Regionen die aktuelle Evapotranspiration vorrangig durch die Solarstrahlung bestimmt wird. Eine begrenzte Wasserverfügbarkeit gibt es in der Regel nicht. Daher ist die verdunstungsregulierende Wirkung des aerodynamischen Widerstandes und der stomatären Leitfähigkeit hier unbedeutend. Der Zugang zu verfügbaren Wasser ist durch die Wurzeltiefe beschränkt, weshalb dieser Parameter in den Tropen als einziger abflussrelevanter, pflanzenspezifischer Parameter der bestehenden SWAT-Waldtypen verstanden werden kann.

55

RiskAGuA – Risiken durch Abwässer aus der intensiven Tierhaltung für Grund- und Oberflächenwasser – Risikoabschätzung durch Modellversuche

Caroline Bailey¹, Roy Frings¹, Franziska Ribbe¹, Tina Wings², Holger Schüttrumpf¹, Wolfgang Dott²

¹Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen, 52056 Aachen, Deutschland, ²Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Universitätsklinikum Aachen, 52074 Aachen, Deutschland

In der Landwirtschaft fallen bei der Massentierhaltung erhöhte Mengen an Tierexkrementen an. In Form von Gülle oder Mist werden diese als Wirtschaftsdünger und als Gärreste aus Biogasanlagen auf Agrarflächen ausgetragen. Die Verwendung ermöglicht einen direkten Eintrag für veterinärpharmakologische Spurenstoffe, Schwermetallreste sowie pathogene bzw. Antibiotikaresistenzen tragende Mikroorganismen in die aquatische Umwelt. Eine hohe Umweltrelevanz haben dabei die in der Tiermedizin eingesetzten Pharmaka mit antibiotischer Wirkung. Häufig werden TETRACYC-LINE und SULFONAMIDE verwendet, wobei viele Bakterien bekannt sind, die gegen diese Antibiotika Resistenzen entwickelt haben, bspw. die Gattungen der Familie der Enterobacteriaceae. Diese sind potentiell humanpathogen. Nicht nur die in Gülle und Gärresten enthaltenen Antibiotikarückständen, sondern ebenfalls resistente Bakterien stellen eine potentielle Gefahr dar. Über die Ausbringung und anschließende Ausschwemmung dieser Stoffe in der Landwirtschaft können sich Gewässer einschließlich des Grundwassers damit anreichern und eine schnelle Ausbreitung ermöglichen.

Über numerische Modellierungen und physikalische Modellversuche sollen der Eintragspfad und die Transportprozesse der verabreichten Antibiotika abgebildet werden. Im Vordergrund stehen die Analyse und Bewertung von Risiken durch die neuen Krankheitserreger und Schadstoffe für den Wasserkreislauf. Die verabreichten Tierarzneimittel weisen verschiedene Verhaltenswiesen auf und haben unterschiedliche Belastungen zur Folge. Auf Grund der hohen Sorptionspotentiale werden die Stoffe in die obere Bodenmatrix transportiert, verbleiben dort und/oder gelangen stark verdünnt in das Grundwasser. Ein Großteil, der in der Gülle und Gärresten vorhandenen Antibiotika kann durch Ausschwemmungen in Oberflächengewässer gelangen. Durch den Ab- und Umbau der Antibiotika im Tierkörper, Lagerstätten und der Bodenmatrix können Antibiotika-Resistenzen entstehen und verbreitet werden. Über die Nahrungskette (landwirtschaftliche Erzeugnisse und Trinkwasser) können diese Resistenzen auf den menschlichen Organismus übertragen werden.

Für die betrachtete Fragestellung wird ein geeignetes Konzept zur Strömungs- und Stofftransportmodellierung im Grundwasser unter Betrachtung von Kopplungsprozessen mit Oberflächengewässern entwickelt. Die Implementierung der Stofftransport- und Stoffumsatzansätze erfolgt über das numerische Modellierungswerkzeug FEFLOW. Großmaßstäbliche Modellversuche werden an einem eigens konstruierten Lysimeter durchgeführt. Es ist ein Kalibrierungs- und Verifikationsbeispiel für die numerischen Modellansätze der Transport-, Umwandlungs- und Sorptionsprozesse. Die Modellierung der Grundwasserströmungs- und Stofftransportprozesse in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone sollen die Wirkzusammenhänge zwischen Emission und Folgen für den Wasserkreislauf zeigen.

Echtzeit-Abschätzung der Gefährdung durch Starkregen

Uta Behnken¹, Thomas Einfalt², Leanne Reichard³

¹Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR),
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek,

²hydro & meteo GmbH & Co. KG, Breite Str. 6-8, 23552 Lübeck,

³Hydrologic B.V., Postbus 2177 - 3800 CD Amersfoort, Niederlande

Das Land Schleswig-Holstein bereitet sich auf die Gefahr durch Starkregen vor. Mit Hilfe der Daten des neuen Wetterradars in Boostedt werden in Echtzeit Niederschlagsdaten für ein Raster von einem Quadratkilometer alle fünf Minuten erhoben, stündlich mit Regenschreiberdaten des Deutschen Wetterdienstes angeeicht und mit den Statistiken von KOSTRA-2000 verglichen. Überschreitet die Niederschlagsmenge eine festgelegte Gefährdungsschwelle, so wird das LLUR automatisch darauf hingewiesen. Gleichzeitig wird für Gebiete des gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses (verschiedene Aggregationsebenen) und für 14 Haupteinzugsgebiete der Gebietsniederschlag bestimmt. Die aufgetretenen Niederschläge können über ein Webportal detailliert untersucht und als Zeitreihen für Punkt oder Gebiet ausgegeben werden. Zusätzlich werden wichtige Werte wie die Tagesniederschlagssumme oder die Monatsniederschlagssumme regelmäßig mit der genannten Auflösung von 1 km² als Abbildung erstellt und an das Hochwasser- und Sturmflut-Informationssystem HSI (www.hsi.schleswig-holstein.de) geleitet.

Das System wurde mit Hilfe der Software HydroNET-SCOUT umgesetzt.

Ergebnisse einer hydrologischen Systemanalyse als Grundlage eines nachhaltigen Wassermanagements kleiner Einzugsgebiete im Klimawandel

Steven Böttcher^{1,2}, Christoph Merz^{1,2}, Ralf Dannowski¹

¹Inst. für Landschaftswasserhaushalt, ZALF, 15374 Müncheberg, Deutschland, ²Inst. für Geologische Wissenschaften, Freie Universität Berlin, 12249 Berlin, Deutschland

Der Landschaftswasserhaushalt jungpleistozäner Einzugsgebiete Nordostdeutschlands hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend verändert. Insbesondere kleine Einzugsgebiete sind von diesen Entwicklungen deutlich betroffen, da hier bereits kleine Änderungen in der Wasserbilanz große Auswirkungen auf das Wasserdargebot haben. Klimaprojektionen der nächsten Jahrzehnte lassen weitere negative Folgen für den Landschaftswasserhaushalt vermuten. Es müssen daher Managementkonzepte gefunden werden, welche eine Verstärkung der teilweise schon vorhandenen Nutzungskonflikte mildern bzw. vermeiden und stabilisierende Maßnahmen in Niedrigund Hochwassersituationen bereitstellen können.

Dieser Beitrag stellt Ergebnisse einer hydrologischen Systemanalyse des Grundwasser-Einzugsgebietes Fredersdorfer Mühlenfließ vor. Ziel dieser Analyse ist die Identifikation der hydrologisch wichtigsten, das Abflussregime bestimmenden Einflussfaktoren. Hierzu wurden eine lineare Hauptkomponentenanalyse (PCA) anhand hydraulischer Daten sowie das nicht-lineare Isometric Feature Mapping (Isomap) anhand hydrochemischer Daten durchgeführt. Mit Hilfe dieser Ordinationsverfahren gelingt eine möglichst effiziente Darstellung eines hoch-dimensionalen Eingangsdatensatzes (viele Parameter bzw. Messstellen) mithilfe weniger Hauptkomponenten.

Damit lässt sich im gegebenen Fall eine mittlere Gebietsdynamik feststellen, welche im regionalen Kontext Besonderheiten im Systemverhalten aufzeigen kann. Die kombinierte Auswertung der hydrochemischen sowie hydraulischen Analysen kann die Raum-Zeit-Muster dieser Besonderheiten aufzeigen und ermöglicht eine Interpretation der zugrundliegenden Prozesse.

Die Ergebnisse der Systemanalyse fließen im Anschluss in den Aufbau eines numerischen Grundwassermodells ein, welches als Grundlage zur Beurteilung der Effektivität von möglichen Maßnahmen der Abflussstabilisierung als Teil eines nachhaltigen Wassermanagementkonzepts für dieses Einzugsgebiet aufgebaut und betrieben wird. Dabei ergänzen die Ergebnisse der durchgeführten Systemanalyse die vorhandenen eher statischen hydrogeologischen Informationen um wichtige quantitative Kenntnisse dynamischer Komponenten. Resultat ist ein gegenüber der "klassischen" Vorgehensweise auch dem dynamischen Systemverhalten von vornherein gut angepasstes Grundwassermodell. Die Untersuchungen finden im Rahmen des Projektverbunds INKA BB (Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin), Teilprojekt 19 statt.

Datenanalyse und Modellierungen konzeptioneller Art zur empirischen Bestimmung der Wasserbilanz im Einzugsgebiet des Vernagtferners für die Jahre 1895 bis 2011

Ludwig Braun¹, Markus Weber¹, Tobias Ellenrieder²

¹Kommission für Erdmessung und Glaziologie, Bay. Akad. der Wissenschaften, D-80539 München, ²Munich Re, GeoRisikoForschung, D-80791 München

Die Bestimmung der Wasserbilanz von vergletscherten Einzugsgebieten über längere Zeiträume stellt eine große Herausforderung dar. Die Terme Niederschlag, Abfluss, Speicheränderungen von Gletschern und der Schneedecke sowie Verdunstung können nur zum Teil durch direkte Messungen erfasst werden. Diese Messungen sind jedoch eine unverzichtbare Grundlage zum Entwickeln und zur Anwendung von Modellen, mit welchen diese Terme berechnet werden können. In dieser Studie wird das konzeptionelle hydrologische Modell HBV3-ETH9 im Einzugsgebiet des Vernagtferners im hinteren Ötztal eingesetzt, welches ausgehend von Tagesmitteln der Lufttemperatur und Tagessummen des Niederschlags die Wasserbilanzterme über einen Zeitraum von über 100 Jahren berechnet und damit den Zusammenhang zwischen den klimatologischen Größen und dem Gletschermassenhaushalt beschreibt. Die Kalibrierung des Modells wurde für die Periode 1980 bis 2011 mit detaillierten Messungen des Abflusses und der Jahresbilanzen des Vernagtferners bewerkstelligt, und für die Zeit von 1895 bis 1980 wurden die geodätisch bestimmten Massenbilanzen als Grundlage für die Kalibrierung des Schnee- und Eismodells benutzt. Die Resultate sind über den größten Teil des Untersuchungszeitraums plausibel, einzig die Phase mit einem galoppierenden Vorstoß des Vernagtferners um 1900 und die starke Schmelzphase zwischen 1938 und 1954 zeigen die Notwendigkeit, die damit verbundenen starken Änderungen in der Gletschertopografie im Modell besser zu berücksichtigen.

Möglichkeiten und Grenzen der Einflussnahme auf Wasserhaushaltgrößen eines Feuchtgebietes durch Steuerung der Grundwasserstände

Ottfried Dietrich, Ute Appel, Marcus Fahle, Jörg Steidl

Institut für Landschaftswasserhaushalt, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg, Deutschland

Grundwassernahe Gebiete findet man in großen Bereichen des nordostdeutschen Tieflandes, wobei es sich vorwiegend um Niedermoore und Sandstandorte handelt. Aufgrund ihrer vorrangig landwirtschaftlichen Nutzungsgeschichte wird ihr Wasserhaushalt heute durch die ausgebauten Grabensysteme bestimmt, deren Wasserstände über Stauanlagen reguliert werden und die sowohl der Ent- als auch der Bewässerung dienen können. Die Zielwasserstände werden in der Regel durch die Art und Intensität der Nutzung der grundwassernahen Standorte vorgegeben, wobei diese auch eine Nutzung im Sinne des Natur- und Umweltschutzes bis hin zur Wiedervernässung und Renaturierung von Niedermooren sein kann. Durch die Steuerung von Höhe und Gang der Grundwasserstände über die Regulierung der Grabenwasserstände werden die Wasserhaushaltsgrößen Zu- und Abfluss zwischen Graben und Fläche, Verdunstung und Flächenspeicher beeinflusst. Zwischen diesen einzelnen Größen bestehen komplexe Wechselbeziehungen, was ihre hinreichende Quantifizierung und auch die Modellierung erschwert. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge eröffnet aber auch Möglichkeiten für eine verbesserte gezielte Einflussnahme auf einzelne Wasserhaushaltsgrößen, die z.B. auf grundwasserfernen Standorten nicht gegeben sind. Eine Steuerung der Grundwasserstände wird häufig als eine Option zur Anpassung an sich ändernde klimatische und hydrologische Randbedingungen gesehen. Damit sollen die besonderen Standortbedingungen von Feuchtgebieten langfristig erhalten oder die Wirkung eines Feuchtgebietes im Wasserhaushalt seines Einzugsgebietes beeinflusst werden.

Seit 2010 wird im Spreewald eine Anlage mit vier wägbaren Grundwasserlysimetern für Untersuchungen zu den Zusammenhängen zwischen Grundwasserstand, seiner Steuerung und Wirkung auf die Wasserhaushaltsgrößen genutzt. Die Anlage bietet die Möglichkeit, die Höhe und den Gang der Grundwasserstände für jedes Lysimeter individuell zu steuern und dabei alle Wasserhaushaltsgrößen mit hoher zeitlicher Auflösung zu messen. Damit werden verschiedene Optionen der Grundwassersteuerung, die von unterschiedlichen Interessengruppen der Region angedacht wurden, simuliert und hinsichtlich ihrer Wirkungen verglichen. Im Vortrag werden Ergebnisse aus den Jahren 2010 bis 2012 präsentiert. Sie zeigen, wie komplex die Wasserhaushaltsgrößen auf Veränderungen des Grundwasserniveaus reagieren können und welche Möglichkeiten und Grenzen bei der Einflussnahme bestehen. Beispiele sind die unterschiedliche Wasserentnahme der Pflanzen in Abhängigkeit des Grundwasserflurabstandes oder die Wirkung höherer Stauziele im Frühjahr auf den Grundwassergang. So entnehmen die Pflanzen das Wasser bei Grundwasserflurabständen um 40 cm zum größten Anteil über den Kapillarsaum direkt aus dem Grundwasser und nur zu einem geringen Anteil aus dem Bodenspeicher. Bei geringfügig tieferen Grundwasserständen (100 cm u.F.) wird dagegen vorrangig der Bodenspeicher ausgeschöpft.

Schätzung der Evapotranspiration mittels täglicher Grundwasserspiegelschwankungen und Vergleich mit Werten eines Grundwasserlysimeters

Marcus Fahle^{1,2}, Ottfried Dietrich¹, Gunnar Lischeid^{1,2}

¹Institut für Landschaftswasserhaushalt, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg, Deutschland,

²Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

Die Evapotranspiration als größter Verlustterm der Wasserbilanz hat eine große Bedeutung für den Wasserhaushalt der Niederungsgebiete Nordostdeutschlands, die häufig negative klimatische Wasserbilanzen aufweisen. Eine genaue Schätzung der Evapotranspiration ist daher eine wichtige Grundlage für die Wasserbewirtschaftung in diesen Gebieten. Häufig wird hierfür auf die potentielle Evapotranspiration zurückgegriffen, welche die tatsächliche Evapotranspiration in den Niederungsgebieten aber deutlich unterschätzen kann. Andere direkte und indirekte Messmethoden sind aufgrund hoher Kosten oder eingeschränkter Genauigkeit oftmals in ihrem Anwendungsbereich begrenzt. Für den Fall von grundwassernahen Standorten besteht gleichwohl die Möglichkeit, die grundwassergespeiste Evapotranspiration anhand der Fluktuationen des Grundwasserstandes über den Tag in Verbindung mit dem unmittelbar entwässerbaren Porenraum kostengünstig zu ermitteln. Die notwendigen Messwerte liegen bei Vorhandensein von modernen Grundwassermonitoringsystemen meist vor oder können durch Erhöhung der zeitlichen Auflösung leicht erfasst werden. Zur Verdunstungsabschätzung mit Hilfe dieser Daten existieren mehrere Ansätze, welche sich vor allem hinsichtlich ihrer Annahmen zum Ausmaß sowie zeitlichen Verlauf der Zuflüsse zum Grundwasser aus nahegelegenen Oberflächengewässern und zur Bestimmung des entwässerbaren Porenvolumens unterscheiden. Die getroffenen Annahmen konnten bisher kaum mit Messwerten belegt werden, ferner wurden die geschätzten Evapotranspirationswerte meist nur denen indirekter Methoden gegenübergestellt. Ein Vergleich und eine Einschätzung der Eignung der verschiedenen Ansätze sind daher bislang schwer möglich. Ziel dieser Studie ist es, die Annahmen bezüglich des Zuflusses und des entwässerbaren Porenvolumens zu prüfen und die erhaltenen Evapotranspirationsschätzungen direkt gemessenen Werten gegenüberzustellen. Zu diesem Zweck werden Daten eines Lysimeters ausgewertet, welches sich auf einer Graslandfläche im Spreewald befindet und alle erforderlichen Wasserhaushaltsgrößen in hoher zeitlicher Auflösung misst.

Sensitivitätsanalyse des hydrologischen Modells PREVAH bezüglich der Landnutzung

Guido Felder

Gruppe für Hydrologie, Geographisches Institut der Universität Bern

In der entsprechenden Arbeit wurde der Einfluss der Landnutzung auf den Modelloutput des hydrologischen Modellsystems PREVAH untersucht. Dies einerseits, um das Modell an sich besser verstehen zu können. Andererseits sollte damit die Frage beantwortet werden, inwiefern sich mit PREVAH landnutzungsbedingte Änderungen in hydrologischen Systemen abbilden lassen.

Die Auswertung geschah auf der Grundlage von fünf verschiedenen Szenarien, welche jeweils einen Übergang von der einen zur anderen Landnutzung repräsentieren. Die Szenarien wurden einem eigens konstruierten, imaginären Einzugsgebiet übertragen. Das Einzugsgebiet wurde dabei sehr variabel ausgestaltet, so dass es möglichst viele Gebietseigenschaften repräsentiert. Nach der Modellierung der Ganglinien für jede berücksichtigte Landnutzungskategorie konnten die Modelloutputs für jedes Szenario miteinander verglichen werden. Der Vergleich der Ganglinien von jeweils zwei Landnutzungskategorien basierte auf drei verschiedenen Auswertungsmethoden. Die erste war eine graphische Aufbereitung und visuelle Beurteilung der modellierten Abflussganglinien. Auf diese Weise wurden vor allem die Unterschiede bei den Basis- und Spitzenabflüssen sichtbar. Mit einer zweiten Methode wurde untersucht, ab welchem Grad der Landnutzungsänderung das Modell signifikante Veränderungen im Abfluss zeigt. Mit einer dritten Methode wurde schliesslich die Variabilität des Abflusses aufgrund der Landnutzungsänderung mit der Variabilität aufgrund der physischen Gebietsausprägung, beispielsweise der Exposition, verglichen. Dadurch zeigt sich, wie stark die Landnutzung in PREVAH die Abflussbildung im Vergleich zu anderen Modellgrössen beeinflusst.

Die Untersuchung hat ergeben, dass PREVAH die Auswirkungen eines Landnutzungswechsels durchaus plausibel wiedergibt, und dass die Modelloutputs mit den anhand von Fachliteratur erwarteten Änderungen übereinstimmen. Allerdings muss die Landnutzungsänderung mindestens 30% der Einzugsgebietsfläche betreffen. Wenn die Landnutzungsänderung nur in einem kleinen Teil des Einzugsgebietes auftritt, ergeben sich aus dem Modell kaum signifikante Unterschiede. Im Vergleich mit dem Einfluss der physischen Gebietsausprägung hat sich gezeigt, dass je nach Szenario entweder der Landnutzungswechsel oder aber die physische Gebietsausprägung die grösste Variabilität des Modelloutputs verursachen.

Es konnte gezeigt werden, dass PREVAH durch den sehr detaillierten Einbezug von landnutzungsabhängigen Grössen die Einflüsse der Landnutzung auf die Hydrologie gut abbildet. Das Modell stellt demzufolge ein gutes Instrument zur Modellierung von landnutzungsbedingten Änderungen eines hydrologischen Systems dar. Der hohe Detaillierungsgrad des Modells bringt jedoch eine relativ komplexe Programmstruktur von PREVAH mit sich, was die Interpretation der Modelloutputs erschweren kann. Um die hydrologischen Auswirkungen eines Landnutzungswechsels mit PREVAH zu modellieren und zu beurteilen, ist eine intensive Auseinandersetzung mit den Modelldokumentationen unumgänglich.

Das Terroir von voralpinen Gewässern – Räumliche Muster der Wasserchemie

Benjamin Fischer¹, Michael Rinderer¹, Philipp Schneider¹, Jan Seibert^{1,2}

¹Universität Zürich, Geographisches Institut, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich, Schweiz, ²Uppsala University, Department of Earth Sciences, Uppsala, Schweden

Für Prognosen zukünftiger Wasserressourcen stellen Gebirgs-Einzugsgebiete eine extra Herausforderung dar. Von allen hydrologischen Systemen sind Quellgebiete und vor allem von Gebirgs-Einzugsgebiete noch wenig erforscht. Leider fehlt es für diese komplexen und variablen Systeme oft an langen und detaillierten Zeitreihen, und auch wenn vorhanden, fehlt es an internen Daten. In unserer Studie untersuchten wir ein Gebirgseinzugsgebiet und versuchten die Interne Einzugsgebiets Variabilität anhand von Wasserproben von zahlreiche Standorten und ihrer chemischen zu quantifizieren. Ziel war zu sehen ob es möglich ist, räumliche Muster zu erkennen. Wir haben versucht, diese Muster mit physischen Eigenschaften des jeweiligen Teileinzugsgebiets zu verknüpfen und untersucht, ob die beobachteten Muster in der Zeit stabil sind. Hier präsentieren wir erste Ergebnisse dieses neuen Datensatzes, aus den Schweizer Voralpen, dem Alptal Einzugsgebiet $(35 \text{ km Süd-\"{o}stlich von Z\"{u}rich}, 4.3 \text{ km}^2, 1100 - 1600 \text{ m} \ \ddot{u}.\text{M.}, \text{Neigung 20° bis 60°, P > 2000 mm y}^{-1}).$ Bei Basisabfluss wurden drei Stichtagskampagnen mit jeweils 100 Probenahmestellen durchgeführt. Die Wasserproben wurden auf Ihre Wasser-Zusammensetzung analysiert (D, ¹⁸O, AT, NO₃, SO₄, Na, Ca, Mg, DOC & SiO₂). Zusätzlich wurde für jede Probenahmestelle die jeweiligen lokalen und hangaufwärts gelegenen Einzugsgebietseigenschaften abgeleitet (Topographische Indizes, wie Fläche, Neigung, Fliess Länge, TWI (Topografischen Wetness Index) und Höhe sowie Landnutzung, Bodentiefe und Geologie). Die Daten wurden mit einer Kombination aus Hauptkomponenten und Cluster-Analysen analysiert. Erste Ergebnisse zeigten, dass die gesammelten Wasserproben Informationen über die Struktur und ihre lokalen Physikalischen Eigenschaften des Einzugsgebietes enthalten, und Unterschiede zwischen den verschiedenen Teileinzugsgebieten sowie zwischen kleineren Hydrologischen Einheiten sichtbar wurden. Ein überraschendes Ergebnis war, dass das chemische Signal aus Quellen in der Nähe der Wasserscheide auch beim Einzugsgebietsauslass nachgewiesen werden konnte. Insgesamt zeigten die Ergebnisse, dass die Stichtagsbeprobung ein wertvolles Werkzeug für die Beurteilung der räumlichen Organisation eines Einzugsgebietes ist.

Räumliche Messung der Schneedeckenenergiebilanz

Jakob Garvelmann, Stefan Pohl, Markus Weiler

Institut für Hydrologie Freiburg

Ein Messnetz bestehend aus 55 neuentwickelten, autonom operierenden Schneemessstationen (SnoMoS) wurde in drei Einzugsgebieten im Schwarzwald, einem typischen Mittelgebirge mit saisonaler Schneedecke aufgebaut. Die eingesetzten Messgeräte liefern Daten zu Schneehöhe sowie die für eine Berechnung der Energiebilanz benötigten meteorologischen Daten (Luftdruck, Lufttemperatur, relative Feuchte, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, Schneeoberflächentemperatur). Die Messstationen wurden räumlich verteilt in den Einzugsgebieten installiert. Dadurch wurden alle Höhenlagen und Expositionen abgedeckt. Um die Einflüsse der Vegetation auf Schneeprozesse zu untersuchen, wurden außerdem jeweils Stationen innerhalb von Waldbeständen mit unterschiedlichen Vegetationstypen und Vegetationsdichten, sowie auf angrenzenden Freiflächen eingesetzt. Die mit dem SnoMoS-Messnetz erhobenen meteorologischen Variablen wurden verwendet, um die einzelnen Komponenten der Energiebilanz der Schneedecke für die verschiedenen Stationsstandorte zu berechnen.

Der Einfluss einer Waldbedeckung auf die erhobenen mikrometeorologischen Daten ist deutlich zu erkennen. Die größten Unterschiede wurden bei Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung gemessen. Die Windgeschwindigkeit, die einen maßgeblichen Einfluss auf den Anteil der turbulenten Ströme fühlbarer und latenter Wärme hat, war im Mittel um 80 % reduziert verglichen zu unbewaldeten Standorten, die eingehende Globalstrahlung war im Mittel um 89 % (95 % unter Nadelwald) reduziert. Diese beobachteten Unterschiede zeigen sich auch beim Vergleich der berechneten Schneeenergiebilanzkomponenten für unbewaldete und bewaldete Standorte. Die Komponente der kurzwelligen Strahlung dominiert auf offenen Flächen, während die langwellige Strahlung die wichtigste Komponente in Wäldern ist. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Unterschätzung der Energiebilanz im Wald, wenn die langwellige Abstrahlung der Bäume nicht berücksichtigt wird. Die turbulenten Ströme gewinnen an windigen, bedeckten Tagen an Gewichtung.

Die Ergebnisse der Studie zeigen die relative Wichtigkeit der einzelnen Schneedeckenenergiebilanzkomponenten für Waldstandorte mit unterschiedlichen Vegetationseigenschaften und verschiedenen Expositionen im Vergleich zu unbewaldeten Flächen.

Altersbestimmung von Grundwasseraustritten in Oberflächenwässer mittels Umweltracern

Christoph Gerber¹, Roland Purtschert¹, George Darling², Daren Gooddy², Martin Kralik³, Franko Humer³, Jürgen Sültenfuss⁴

¹Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut, Universität Bern, 3012 Bern, Schweiz,

²British Geological Survey, Wallingford, U.K.,

³Umweltbundesamt Österreich & Universität Wien, Österreich,

⁴Universität Bremen, Deutschland

Die räumliche und zeitliche Verteilung des Grundwasseraustritts in Oberflächenwässer bei Basisabfluss kann mit konventionellen hydrologischen Methoden oder geochemischen Parametern und ²²²Rn Messungen bestimmt werden (COOK et al., 2006). Die Bestimmung der mittleren Verweilzeit des austretenden Grundwassers erfordert jedoch meist die Beprobung des benachbarten Aquifer's z.B. (FETTE et al., 2005) oder die Messung der Tracer direkt im Wasserlauf. Ein vielversprechender Tracer zur Altersbestimmung des austretenden Grundwassers im Wasserlauf ist ⁸⁵Kr. Die chemische Stabilität und der relativ niedrige Diffusionskoeffizient (langsamer Austausch mit der Atmosphäre) begünstigen ⁸⁵Kr verglichen mit z.B. ³H/³He oder FCKW's (STOLP et al., 2010).

In dieser Studie werden Messungen von ⁸⁵Kr, ³H/³He_{trit} und SF₆ in einem kleinräumigen System im südlichen Wiener Becken (STOLP et al., 2010) vorgestellt und diskutiert. Ergänzende Parameter (stabile Isotope, Geochemie, Abflussmessungen) und numerische Modellierung des Gasaustausches des Flusswassers mit der Atmosphäre erlauben, aus den gemessenen Tracerkonzentrationen die Verweilzeiten des austretenden Grundwassers zu charakterisieren. Je nach Tracer ist es umgekehrt auch möglich, bei bekannter Konzentration im Grundwasser die räumliche Verteilung des Grundwasseraustritts entlang des Gewässers abzuschätzen. Schliesslich wird die Sensitivität der verschiedenen Tracermethoden bezüglich verwendeter Parameter diskutiert, woraus sich ergibt, welche Tracer sich zur Bestimmung der räumlichen Verteilung des Grundwasseraustritts bzw. der mittleren Verweilzeit des austretenden Grundwassers eignen.

Literatur:

- COOK P. G., LAMONTAGNE S., BERHANE D. & J. F. Clark (2006): Quantifying groundwater discharge to Cockburn River, southeastern Australia, using dissolved gas tracers 222 Rn and SF₆. WRR 42.doi:10.1029/2006WR004921
- FETTE M., KIPFER R., SCHUBERT C. J., HOEHN E. & B. WEHRLI (2005): Assessing river-groundwater exchange in the regulated Rhone River (Switzerland) using stable isotopes and geochemical tracers. Appl. Geochemistry 20, 701-712
- STOLP B., SOLOMON D. K., VITVAR T., RANK D., AGGARWAL P. K. & L. F. Han L. F. (2010): Age dating base flow at springs and gaining streams using helium-3 and tritium: Fischa-Dagnitz system, southern Vienna Basin, Austria. Water Resour. Res. 46, 13.doi:10.1029/2009WR008006

Entwicklung eines modularen, konzeptuellen Niederschlags-Abfluss-Modells zur Erfassung dominanter hydrologischer Prozesse

Hubert Holzmann, Carolina Massmann

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau. Universität für Bodenkultur Wien. Muthgasse 18, A-1190 Wien, Österreich

Niederschlags-Abfluss-Modelle werden für eine Vielzahl hydrologischer Fragestellungen angewendet. Neben den klassischen Themenbereichen wie Schutzwasserbau, Hochwasserbemessung und operationelle Hochwasservorhersage werden NA-Modelle verstärkt für systemanalytische Anwendungen herangezogen. Dabei werden beispielsweise Aussagen hinsichtlich des wasserwirtschaftlichen Systemverhaltens bei Änderungen der hydro-meteorologischen Randbedingungen (Klimawandel) oder der Landnutzung (geänderte Landwirtschaft, Tourismus) getroffen. Die modellhafte Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren führt zu komplexen Modellstrukturen, deren Parametrisierung bzw. Validierung nicht mehr eindeutig vollzogen werden kann. Alternativ gibt es in der Hydrologie Bestrebungen, die Modelle stärker auf dominante hydrologische Prozesse zu fokussieren, um damit schlankere Strukturen und schärfere Modellaussagen treffen zu können.

Der eingereichte Beitrag stellt ein konzeptuelles NA-Modell vor, deren Aufbau die optionale Integration von Subprozessen (Modulen) vorsieht. Aus einer "Prozessbibliothek" können wahlweise Subprozesse als Modellbausteine gewählt werden, die folgende hydrologische Prozesse integrieren: Schneeakkumulation und Schmelze, Gletscherschmelze, Interzeption (Mehrschichtansatz), Separation von Hortonschen Oberflächenabfluss und Infiltration, Bodenspeicher (mobiles und pflanzenverfügbares Bodenwasser), Grundwasser, Linearspeicher, Speicherkaskade und Zeitverzögerungsfunktion. Dies ermöglicht die individuelle Konzeption von Abflusssystemen unter Berücksichtigung der einzugsgebietsbezogenen Einschätzung durch den Experten.

Zur weiteren Unterstützung bei der Festlegung der Modellkonzeption werden Verfahren zur Identifizierung dominanter Prozesses aufgezeigt, die eine Hilfestellung bei der Konfiguration des NA-Modells liefern können. Dazu zählen die Sobol's Methode, das Mutual Entropy Konzept und die Regionale Sensitivitäts Analyse (RSA). Abschliessend wird auf die Bedeutung hydrologischer Messungen zur Validierung der Modellansätze eingegangen wobei auf die Bedeutung neuer, integrativer Messverfahren besonders verwiesen wird. Eine Hinzunahme von systembeschreibenden Grössen wie Bodenfeuchte, Piezometerwasserstände, Infiltrationsversuche, Ausaperungsmuster etc. ermöglicht neben der herkömmlichen Verwendung von Abflussbeobachtungen eine umfassende Überprüfung von Modellkomponenten. In diesem Zusammenhang wird auf die Bedeutung experimenteller Einzugsgebiete und deren internationaler Vernetzung eingegangen.

Auwald in der Wüste – Mesoskalige Untersuchung des oberflächennahen Grundwassers am Tarim Fluss in Nordwestchina

Patrick Keilholz, Markus Disse

Institut für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München, 85577 Neubiberg, Deutschland

Der Tarim ist der größte Inlandfluss Chinas und befindet sich am Nordrand der Taklamakanwüste in der Provinz Xinjiang. Aufgrund des hyperariden kontinentalen Klimas bezieht die natürliche Vegetation ihr Wasser aus dem Grundwasser, welches durch den Tarim gebildet wird. Im Juli und August kommt es wegen der Schnee- und Gletscherschmelze des Tian Shan Gebirges in den Auwäldern zu wichtigen Überschwemmungen, durch die das Grundwasser gespeist wird. Mit zunehmender agrarwirtschaftlicher Landnutzung und Eindeichung des Tarims haben sich diese Randbedingungen allerdings grundlegend verändert. Die Überschwemmungsgebiete sind durch Eindeichung stark verkleinert worden und durch großflächigen Baumwollanbau in der Region hat sich die Quantität und Qualität des Tarimwassers verschlechtert. Der Klimawandel trägt zu einer Erhöhung des Wasserdargebots bei, was zu einer erheblichen und nicht nachhaltigen Ausweitung der Bewässerungsgebiete geführt hat.

Der Grundwasserflurabstand ist für die Vegetation von großer Bedeutung, weil durch ein Absinken des Grundwassers um wenige Dezimeter das Ökosystem stark degradiert werden kann. Auch eine zunehmende Versalzung des Grundwassers führt zu weitreichenden Auswirkungen auf das Ökosystem. Ein Ziel des Forschungsvorhabens (SuMaRiO) ist es, an dem noch funktionierenden Ökosystem im Naturschutzgebiet bei Yingibazar den hydrologischen Ist-Zustand zu erfassen und durch verschiedene Szenarien die hydrologischen und ökologischen Folgen von Landnutzungsveränderungen zu analysieren. Hierzu wird das Grundwassermodell FEFLOW und das Wasserhaushaltsmodell Mike SHE eingesetzt.

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen ist die Generierung qualitativ hochwertiger Daten für eine mesoskalige hydrologische Modellierung (100 km²). Hierzu werden mit Hilfe von Fernerkundungsdaten hochauflösende Digitale Geländemodelle, Überflutungs- und Landnutzungskarten generiert. Mit der Installation von 38 Grundwassermessstellen, die stündlich die Grundwasserschwankungen und die elektrische Leitfähigkeit messen, können erstmalig in der Region flächendeckende Grundwasserflurabstände ermittelt werden. Dies dient als Grundlage für die Kalibrierung der Modelle. Mit der Entnahme und Untersuchung von ca. 40 Bodenprofilen wurde ein komplexes 3D-Modell der Sedimentschichten erzeugt, welches den Kern der Grundwassermodellierung bildet. Erste Zwischenergebnisse der Grundwassermodellierung werden vorgestellt.

Nutzung von Daten unterschiedlicher Maßstabsebenen und Erhebungsschärfen zur Niederschlag-/Abflussmodellierung in unbeobachteten Einzugsgebieten

Klaus Klebinder, Bernhard Kohl, Gerhard Markart, Bernadette Sotier

Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren

Während in beobachteten Einzugsgebieten (Niederschlags- und Abflussmessungen) eine Abschätzung von extremen Abflussereignissen mittels extremwertstatistischer Verfahren vielfach möglich ist, muss in unbeobachteten Einzugsgebieten auf alternative Methoden der Hochwasserbemessung zurückgegriffen werden. Die bislang zur Abschätzung extremer Abflüsse häufig verwendete Methode der empirischen Schätzverfahren tritt durch den vermehrten Einsatz praxistauglicher N/A-Modelle zunehmend in den Hintergrund.

In Einzugsgebieten ohne Direktmessung ist eine gebietsspezifische Kalibrierung der Modellparameter nicht möglich. Daher muss die Festlegung der Eingangsparameter über eine plausible Charakterisierung der naturräumlichen Ausstattung (Bio-, Pedo-, Hydro- und Geoinventar) des Einzugsgebietes erfolgen. Zu diesem Zweck werden unterschiedliche Methoden verwendet, welche eine Abschätzung der Eingangsparameter über i) Feldexperimente (Beregnungs- und Infiltrationsversuche), ii) Geländekartierung oder iii) Modellierung auf Basis vorhandener Datengrundlagen erlauben. Auf Grund der nach Gebietsgröße limitierten Einsatzmöglichkeit der einzelnen Methoden (Durchführbarkeit, Aufwand) können die in der Hydrologie zur Charakterisierung der flächigen Ausdehnung oftmals verwendeten Begriffe der räumlichen Skalen (Mikro-, Meso- und Makroskala) durch die Begriffe der Experimental-, Kartier- und Modellskala substituiert werden.

Die höchste Datenqualität bei gleichzeitig geringstem Umfang an Unsicherheiten ist auf der experimentellen Ebene zu erwarten. Durch standardisierte Versuchsanordnungen kann die Abflussreaktion eines Standortes bestmöglich beschrieben und in entsprechenden Modellen umgesetzt werden. Durch eine Reduktion der Erkenntnisse aus den Feldversuchen auf die primären Einflussfaktoren ist es möglich, die Abflussreaktion in größeren Gebieten durch Methoden der Feldkartierung abzuschätzen. Dabei ist gegenüber der Experimentalskala mit einer abnehmenden lokalen/punktuellen Datenqualität und mit höheren Unsicherheiten in der Modellparametrisierung zu rechnen. Bei meist gegebenem Zeit/Kosten Rahmen ist auch die Ebene der Feldkartierung mit zunehmender Gebietsgröße unpraktikabel und es muss auf die Ebene der modellhaften Ableitung von Parametern zurückgegriffen werden. Dies impliziert die weitere Reduktion der Bewertungsbasis auf das Niveau vorhandener Datengrundlagen.

Welchen Einfluss die unterschiedliche Qualität der Eingangsparameter auf die Ermittlung von Hochwasserabflüssen in unbeobachteten Einzugsgebieten hat, wird durch deren Implementierung in ein ereignisbasiertes N/A Modell ermittelt. Dabei werden die modellierten Bemessungsabflüsse von Wildbacheinzugsgebieten unterschiedlicher Größe analysiert.

Abflussgenerierende Prozesse in der Übergangszone zwischen Steppe und Taiga im Khentii Gebirge, nördliche Mongolei

Benjamin Kopp¹, Lucas Menzel¹, Jens Lange²

¹Geographisches Institut, Abteilung Physische Geographie, Universität Heidelberg, ²Institut für Hydrologie, Universität Freiburg

In der Studie zur regionalen Hydrologie im Rahmen des IWRM Projektes "Integriertes Wasserressourcen Management in Zentralasien: Modellregion Mongolei" werden abflussgenerierende Prozesse im Übergangsbereich zwischen Steppe und Taiga mit Hilfe hydrometrischer und geochemischer Parameter sowie Daten stabiler Isotope untersucht. In dieser semiariden bis subhumiden Zone liegt die jährliche Niederschlagssumme bei unter 400 mm. 70% des Jahresniederschlages fällt in den Sommermonaten. Unter diesen Bedingungen wird die Verteilung der Vegetation und des diskontinuierlichen Permafrosts von der Exposition gesteuert. So weisen südexponierte Gebirgshänge Steppenvegetation auf. Ihre trockenen und warmen Böden sind nicht von Permafrost unterlagert. Im Gegensatz dazu tritt Permafrost an den nordexponierten, kühlen und feuchten, sowie von Wald bewachsenen Hängen auf. Während Trockenperioden in Frühjahr und Herbst können ausgedehnte Waldbrände auftreten, im Untersuchungsgebiet zuletzt 2009.

Zwei hier als Beispiel herangezogene Regenereignisse A (19.6.2012, Niederschlagsmenge 41 mm, hohe Intensität) und B (31.8.2012, Niederschlagsmenge 14 mm, niedrige Intensität) wurden untersucht. Sie unterscheiden sich nicht nur bezüglich der Niederschlagsverteilung, sondern auch in der Vorfeuchte der Böden. So konnte an den trockenen südexponierten Hängen mit geringen gemessenen Infiltrationsraten während Ereignis A starker Oberflächenabfluss beobachtet werden. Für das Ereignis B mit hoher Vorfeuchte und geringer Intensität kann von vollständiger Infiltration ausgegangen werden.

Die Reaktion des Vorfluters erfolgte während Ereignis A unmittelbar. Eine anfänglich abnehmende Konzentration der elektrischen Leitfähigkeit (EL) und eine Anreicherung von ²H und ¹⁸O weisen auf einen rapiden, oberflächlichen Eintrag von schwerem Niederschlagswasser in den Vorfluter hin. Nach dem Niederschlag erfolgte die Aktivierung von leichterem Pre-Event Wasser mit höherer EL aus der aktiven Zone über den Permafrostbereichen. In der absinkenden Ganglinie erfolgte der Eintrag von Mischwasser aus Event, Pre-Event Wasser und tauendem Permafrost.

Im Gegensatz dazu zeigte der Vorfluter eine unterschiedliche Reaktion auf Ereignis B. So ist die Reaktionszeit des Vorfluters verzögert. Das anfänglich mit ²H und ¹⁸O abgereicherte Wasser wird mit schwererem Niederschlagswasser und jungem Pre-Event Wasser, das aus Böden mit hoher Vorfeuchte stammt, verdünnt. Auch die EL sinkt leicht. Da der Auftaubereich über dem Permafrost Ende August nahezu seine maximale Mächtigkeit erreicht hat, wird kaum zusätzliches, schweres Permafrostwasser an den Vorfluter abgegeben. Somit ist im weiteren Verlauf der Ganglinie keine Abreicherung an schweren Isotopen im Vorfluter zu beobachten.

Multiskalige Analyse von oberflächennahen Bodenfeuchtemustern in einem landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet unter Nutzung eines ökohydrologischen Modells

Wolfgang Korres, Tim G. Reichenau, Karl Schneider

Lehrstuhl für Hydrogeographie und Klimatologie, Geographisches Institut, Universität zu Köln, 50923 Köln, Deutschland

Bodenfeuchte spielt eine entscheidende Rolle in der Hydrologie, Meteorologie und der Landwirtschaft. Ihre räumliche und zeitliche Verteilung kontrolliert die Aufteilung von Niederschlägen in Versickerung und Oberflächenabfluss und die Aufteilung von Sonnenenergie in latenten und fühlbaren Wärmestrom. Ziel dieser Studie ist die wichtigsten Faktoren für die räumlich und zeitlich sehr variablen oberflächennahen Bodenfeuchtemuster auf landwirtschaftlich genutzten Flächen zu identifizieren.

Die zahlreichen Interaktionen und Rückkopplungen zwischen hydrologischen Bedingungen, Pflanzenwachstum und Bewirtschaftungsfaktoren werden durch einen dynamisch gekoppelten Modellansatz bei der Modellierung der Bodenfeuchte berücksichtigt. Die prozessbasierten ökohydrologischen Modellkomponenten des DANUBIA Simulationssystems wurden für die Bereiche Pflanzenwachstum und oberflächennahe Bodenfeuchte anhand eines umfangreichen dreijährigen Messdatensatzes validiert und zur flächenverteilten Modellierung der oberflächennahen Bodenfeuchtemuster im nördlichen Teil des EZG der Rur (1100 km²) verwendet. Die täglichen modellierten Bodenfeuchtekarten mit einer Auflösung von 150 m dienten als Basis für die anschließende Muster- und Skalierungsanalyse.

Die Validierung des Modells für die drei Hauptanbaukulturen (Winterweizen, Zuckerrüben und Mais) zeigt sehr gute Übereinstimmung von gemessenen und modellierten Werten. Beim grünen Blattflächenindex ergaben sich IA-Werte (Willmotts index of agreement) von 0.81 bis 0.96 und für die oberirdische Biomasse IA-Werte zwischen 0.96 und 0.99. RMSE-Werte für die oberflächennahe Bodenfeuchte bewegen sich zwischen 1.8 und 7.8 Vol.-% für alle Jahre und alle Kulturen, mit einem durchschnittlichen RMSE von 3.4 Vol.-%.

Am Anfang und gegen Ende eines Jahres, bei insgesamt hohen Bodenfeuchtewerten, werden die Bodenfeuchtemuster auf allen untersuchten Skalen (mit Pixelgrößen zwischen 0.15 km x 0.15 km und 5.55 km x 5.55 km) durch die großräumigen Muster der Bodeneigenschaften geprägt. Während der Hauptwachstumsphase der Pflanzen, nach dem Schließen der Vegetationsdecke, verringert sich dieser Einfluss des Bodens und verschwindet nach Niederschlagsereignissen für kurze Zeit fast vollständig. Ursache hierfür sind starke Unterschiede in der Transpiration der verschiedenen Kulturen und die kleinräumige Landnutzungsstruktur. Diese kleinskalige Heterogenität der Bodenfeuchte schwächt sich bei gröberer räumlicher Auflösung der Untersuchung ab. Die Skalierungseigenschaften der Bodenfeuchtemuster folgen einer Potenzfunktion die die Variabilität mit der räumlichen Auflösung der Untersuchung ins Verhältnis setzt. Die zeitliche Veränderung des Skalierungsfaktors hängt ebenfalls stark von Bodeneigenschaften außerhalb und der kleinräumigen Variabilität der Evapotranspiration innerhalb der Hauptwachstumszeit ab.

Analyse und Optimierung von sinnvollen Elementarflächengrößen für die Wasserhaushaltsmodellierung

Phillip Kreye¹, Julia Harjung²

¹Technische Universität Braunschweig, Leichtweiß-Institut, Abteilung für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig,

²Prof. Rodatz und Partner, Nußbergstraße 17, 38102 Braunschweig

Hydrologische Modellsysteme zur Wasserhaushaltsmodellierung werden ständig optimiert, um das komplexe Prozessgefüge möglichst realitätsnah zu erfassen. Neben der Verbesserung von Prozessgleichungen beinhaltet dies ebenso die Optimierung der Eingangsdaten.

Wichtige Eingangsdaten sind Informationen über die Vegetationsart bzw. Landnutzung. Diese Datensätze basieren oft auf unterschiedlichen Quellen mit einer großen Bandbreite an Skalen und Detaillierungsgraden. Da sowohl die räumliche Verteilung als auch die Anzahl der verschiedenen Landnutzungsflächen innerhalb eines Einzugsgebietes einen großen Einfluss auf die räumlichen und zeitlichen Dynamiken von Evapotranspiration, Landoberflächenabfluss, Bodenfeuchte sowie Grundwasserneubildung besitzen, ist der Detaillierungsgrad von erheblicher Bedeutung für die Güte der Simulationsergebnisse. Gleichzeitig haben räumlich hochaufgelöste Landnutzungsdatensätze einen hohen Einfluss auf die Anzahl der kleinsten Recheneinheiten (Rasterzellen bzw. Hydrotope/Elementarflächen) und damit auf die Rechenlaufzeit des hydrologischen Modells.

Ziel dieser Untersuchung war die Optimierung des räumlichen Diskretisierungsgrades der Landnutzungsdaten. Angestrebt wurde eine maximale Aggregation der Landnutzungsarten mit einer möglichst geringen Abweichung der Ergebnisgüte bei gleichzeitiger Optimierung der Rechenlaufzeit. Die Generalisierung der verwendeten ATKIS-Landnutzungsdaten erfolgte im Geographischen Informationssystem ESRI ArcMap 10 für das Einzugsgebiet der Unterweser und für das Aller-Leine-Oker Einzugsgebiet in Niedersachsen. Zur Reduzierung des Datenvolumens wurde sukzessiv über mehrere Stufen eine Zuordnung von Landnutzungsarten in übergeordnete Kategorien umgesetzt, welche auf hydrologisch ähnlichen Eigenschaften basieren. Aus den Landnutzungsdatensets unterschiedlicher Diskretisierungsgrade wurden, durch Verschneidung mit Teileinzugsgebietsflächen und Bodeneigenschaften, Hydrotopdatensätze erstellt. Anschließend erfolgte die Simulation des Abflusses sowie der Grundwasserneubildung mit dem hydrologischen Modellsystem Panta Rhei. Panta Rhei nutzt als kleinste Recheneinheit Hydrotope, welche Flächen mit gleichen hydrologischen Eigenschaften sind, die im Allgemeinen lageunabhängig sind.

Ein Vergleich der Simulationsergebnisse der verschieden diskretisierten Hydrotopdatensätze brachte in Hinsicht auf die Güte der Simulationsergebnisse sowie auf die Rechenlaufzeit eine bestmögliche Generalisierungsstufe hervor. Es konnte aufgezeigt werden, dass die Aggregation von kleinflächigen Landnutzungen, sofern sie räumlich über die Einzugsgebietsfläche verteilt vorkommen, einen geringeren Einfluss auf die Güte der Simulationsergebnisse hat als großflächige Aggregationen. Zudem konnte durch eine Reduzierung der Anzahl von Hydrotopen bei der Aggregation vieler kleinflächiger Landnutzungsarten die Rechenlaufzeit deutlich verringert (30%–40%) werden.

Auswirkungen eines veränderten Gewässerverlaufs auf Grundwasserdynamik und -beschaffenheit

Christian Lehr^{1,2}, Jörg Lewandowski³, Gunnar Lischeid^{1,2}

¹Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Institut für Landschaftswasserhaushalt, 15374 Müncheberg, Deutschland,

Renaturierung von Fliessgewässern wird zunehmend gesellschaftlich gefordert und ist aus mehrerlei Gesichtspunkten positiv zu bewerten. Damit verbundene Veränderungen von Grundwasserfliesswegen und der Austauschprozesse von Grund- und Fliessgewässern bleiben jedoch meist unbeachtet. Im Untersuchungsgebiet Freienbrink, östlich von Berlin gelegen, wurde vier Jahre lang in stündlicher Auflösung die Wasserstände in 12 bis 18 Grund- und 2 Fliessgewässermessstellen entlang von anfangs ein und später zwei Transekten über eine durch Altarm und Hauptstrom gebildete "Insel" gemessen. Die ersten beiden Jahre des Untersuchungszeitraumes diente der Durchstich als Hauptstrom und der Altarm war im Oberlauf vom Hauptstrom getrennt. Im dritten und vierten Jahr waren die Verhältnisse umgedreht. Die Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen werden hier mittels Funktionalanalyse, einem auf einer Hauptkomponentenanalyse der Wasserstandsganglinien basierenden Ansatz, untersucht (LISCHEID et al., 2012). Der Ansatz ermöglicht die räumlich differenzierte Quantifizierung der auf den Grundwasserstand einwirkenden Prozesse. Die Analyse der Ausbreitung der hydrologischen Signale im gekoppelten Grundwasser-Fliessgewässer-System wird mit der räumlichen und zeitlichen Dynamik der dominanten hydrogeochemischen Prozesse und deren evtl. Reaktionen auf den Wiederanschluss des Mäanders verbunden. Diese werden mit Hilfe einer nicht linearen Variante der Hauptkomponentenanalyse aus einem im zweiwöchentlichen Turnus erhobenen hydrochemischen Datensatz abgeleitet. In einer Studie, die sich auf das erste Jahr des Untersuchungszeitraumes beschränkte, wurde die Funktionalanalyse bereits erfolgreich in dem System angewendet (LEWANDOWSKI et al., 2009). Hierbei wurde als maßgebliches Hindernis für den Austausch von Grundwasser und Fliessgewässer die Kolmation des Altarmes identifiziert. Darauf aufbauend werden die Effekte der Beseitigung der Kolmation im Mäander (ehemaliger Altarm) im Zusammenhang mit dem Wiederanschluss des Altarmes mit dem genannten Verfahren untersucht.

Literatur:

LEWANDOWSKI, J., LISCHEID, G. & G. NÜTZMANN (2009): Drivers of water level fluctuations and hydrological exchange between groundwater and surface water at the lowland River Spree (Germany): field study and statistical analyses. Hydrological Processes, 23(15), 2117-2128. doi: 10.1002/hyp.7277.

LISCHEID, G., STEIDL, J. & C. MERZ (2012): Funktionalanalyse versus Trendanalyse zur Abschätzung anthropogener Einflüsse auf Grundwasserganglinien. Grundwasser, 17(2), 79-89. doi: 10.1007/s00767-012-0188-y.

²Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, 14476 Potsdam, Deutschland, ³Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), Abteilung 1 Ökohydrologie, 12587 Berlin, Deutschland

Fließgeschwindigkeiten des Zwischenabflusses – Ableitung aus experimentellen Versuchsanordnungen und hydrogeologischer Expertise

Gerhard Markart¹, Gerhard Bieber², Herbert Pirkl³, Alexander Römer², Birgit Jochum², Klaus Klebinder¹, Bernhard Kohl¹, Stefan Pfeiler², Bernadette Sotier¹

¹Institut für Naturgefahren, Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Rennweg 1, 6020 Innsbruck, Österreich, ²Fachabteilung Geophysik, Geologische Bundesanstalt (GBA), Neulinggasse 38, 1030 Wien, Österreich, ³Büro für Geologie, 2345 Brunn a. G., Österreich

In den letzten Jahren haben durch Langzeitniederschläge ausgelöste Hochwässer und Schadereignisse an Bedeutung gewonnen (z.B. Pfingsthochwasser 1999 im Westösterreichisch-Bayerischen Raum, Hochwasser 2002 in Ostösterreich bzw. in Deutschland, 22./.23. August 2005 in Westösterreich, November 2012 in Kärnten). Während bei konvektiven Starkregen vor allem Oberflächenabflüsse zur Hochwasserentstehung beitragen, dominieren bei Dauerregenereignissen Fließprozesse im Untergrund. Über diese Abflussvorgänge im Zwischenflächenbereich ist das Wissen jedoch noch gering.

Ziel des von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Kommission für Hydrologie, geförderten Projektes "Abschätzung von Bandbreiten von Fließgeschwindigkeiten des oberflächennahen Zwischenabflusses in alpinen Einzugsgebieten (Akronym: SHALLOW INTERFLOW)" ist es daher einen Beitrag zur Verbesserung des Prozessverständnisses und zur Optimierung der Datengrundlagen für die realitätsnahe Integration von Zwischenabflussprozessen in die N/A-Modellierung zu leisten.

Für die hydrologische Charakterisierung von geologischen Substraten und zur Gewinnung von Informationen über die Fließgeschwindigkeit im Untergrund werden dazu mehrere Ansätze kombiniert:

- i) Beregnung auf großer Fläche mit kontrollierter Tracereingabe auf kleiner Fläche
- ii) Erfassung von Bodenfeuchteänderungen über TDR und Geoelektrik
- iii) Punktuelle Tracereinspeisung, Simultanabflussmessungen (Temperatur, Leitfähigkeit) an gebietsrepräsentativen Gewässern bei verschiedenen Systemzuständen
- iv) Übertragung der Ergebnisse von der Plot-Ebene auf Einzugsgebiete (unter Verwendung vorhandener Kartengrundlagen, z.B. Substratkarten, geomorphologische Karten, Abflussbeiwertkarten) Erstellung von Abflussprozesskarten.

Die Ergebnisse von Feldkampagnen aus mittlerweile fünf Testgebieten zeigen, dass der gewählte Ansatz sehr gut für die summarische Beschreibung komplexer Zwischenabflussprozesse an Hängen geeignet ist. Geoelektrische Messungen mit zielgerichteter Anordnung der geoelektrischen Profile bewähren sich als optimales, nicht invasives Messverfahren zur Detektion des Fortschrittes der Wasserfront bzw. lateraler Fließbewegungen, die TDR-Daten ermöglichen eine sehr gute Plausibilisierung der Geoelektrik-Ergebnisse.

Ein Mittel zur Plausibilisierung der Abflusstypenabgrenzung ist der Abflussvergleich aus Teileinzugsgebieten mit unterschiedlicher Charakteristik. Dazu können z. B. die Abflussspenden, die Wassertemperatur und die Leitfähigkeit aus (Simultan-) Abflussmessprogrammen herangezogen werden.

73

Identifizierung und Quantifizierung von Abflusskomponenten in einem nival-ariden Einzugsgebiet in Zentralasien mittels stabiler Isotope

Christiane Meier¹, Malte Knoche¹, Ralf Merz¹, Markus Weiler², Stephan M. Weise¹

¹UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Theodor-Lieser-Str. 4, D-06120 Halle, ²Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Hydrologie, Fahnenbergplatz, D-79098 Freiburg

Wassermangel ist ein weit verbreitetes Problem in großen Teilen der Welt. Auch die zentralasiatischen Ebenen, die stark landwirtschaftlich genutzt werden, sind davon betroffen. Die Wasserversorgung wird über die großen Flusssysteme des Amudarja und Syrdarja sichergestellt, welche hauptsächlich durch Schnee- und Gletscherschmelzen im Pamir und Tien Shan gespeist werden. Im Zuge des Klimawandels könnte es daher zu einer Verschärfung der Wasserknappheit in dieser Region kommen.

Um die verschiedenen Abflusskomponenten identifizieren und quantifizieren zu können, haben wir im Amudarja-Quellgebiet ein für den Pamir charakteristisches Einzugsgebiet – das Gunteinzugsgebiet mit einer Fläche von circa 14000 km² – ausgewählt. Dieses Gebiet wird sowohl von den Westwinden als auch vom Indischen Monsun beeinflusst und weist eine Gletscherbedeckung von etwa 5% auf. Ziemlich in der Mitte des Einzugsgebiets befindet sich ein See (Yashilkul) mit einer Fläche von rund 40 km², der durch einen Bergsturz entstanden ist.

Im monatlichen Rhythmus werden Oberflächenwasser und Niederschlagsproben gesammelt und auf die Gehalte an den stabilen Wasserisotopen, an Tritium sowie an Hauptanionen und -kationen untersucht. Damit sollen neben den Abflusskomponenten auch die Niederschlagsherkünfte und -einflüsse erfasst und auch eine Möglichkeit zur Kalibrierung des hydrologischen Modells J2000 für diese Region gegeben werden.

Die durch das Monitoring gewonnenen Daten weisen eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität auf. Erste Berechnungen zeigen, dass in diesem Einzugsgebiet, für das bisher nur wenige Daten vorliegen ("ungauged catchment"), mit Hilfe der stabilen Isotope die Abflussanteile der einzelnen Zuflüsse zum Hauptstrom im Jahresverlauf abgeschätzt sowie Aussagen über die Verweilzeiten in verschiedenen Speichern getroffen werden können.

Die erhaltenen Isotopenmuster und die daraus abgeleiteten Prozesse fließen in die Kalibrierung des hydrologischen N-A-Modells ein.

Messkampagnen von Wassermenge und -güte im Norddeutschen Tiefland als Grundlage für Berechnungen von klimabedingten Landnutzungsszenarios – Ergebnisse aus Datenanalysen

Hilmar Messal¹, Mario Hasler², Nicola Fohrer¹

¹Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstraße 75, D-24118 Kiel, Deutschland,

Als Grundlage für die Modell gestützte Simulation des Landschaftswasser- und -stoffhaushaltes auf der Basis von Klima- und Landnutzungsszenarios wurden umfangreiche Messkampagnen im Norddeutschen Tiefland in sechs Flusseinzugsgebieten (Hunte, Hache, Ilmenau, Nuthe (ST), Buckau und Demnitzer Mühlenfließ) durchgeführt. Deren Ergebnisse dienen einer ersten Einschätzung des Ist-Zustandes von Wassermenge und -güte in den Gebieten und bilden neben den hydrometeorologischen Eingangsdaten gleichzeitig die Grundlage der räumlich differenzierten und zeitlichen Kalibrierung der Simulationsmodelle.

Der Beitrag stellt Ergebnisse von sich abzeichnenden räumlichen Mustern von Wassermenge und -güte innerhalb des Norddeutschen Tieflandes vor. Die gewonnenen Rohdaten (Vor-Ort-Messungen und Laboranalysen sowie Abfluss- und Frachtberechnungen) wurden vorher einer umfangreichen Fehleranalyse unterzogen. Die verwendeten Analysemethoden zur Abschätzung der Plausibilität der aus den gemessenen Fließgeschwindigkeiten berechneten Abflüsse und der daraus errechneten Stofffrachten werden vorgestellt.

Die gegebenenfalls korrigierten Daten lassen in Verbindung mit der Ableitung gewisser Güteklassen eine eingeschränkte Bewertung des gegenwärtigen Zustandes der Wassermengen- und Wassergütesituation in den einzelnen Flusseinzugsgebieten bzw. im Norddeutschen Tiefland zu. Damit erhält man eine Basis für die Anpassung der Wasser- und -stoffhaushaltsmodelle.

Unter bestimmten Bedingungen können aus räumlichen Verteilungsmustern auch Rückschlüsse auf zeitliche Verteilungen gezogen werden. Eine Notwendigkeit hieraus ergibt sich aus der Tatsache, dass Messkampagnen jeweils nur eine spezifische Momentaufnahme eines Flusseinzugsgebietes liefern. Die Ergebnisse der hierzu durchgeführten statistischen Analysen werden präsentiert.

²Institut für Variationsstatistik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hermann-Rodewald-Straße 9, D-24098 Kiel, Deutschland

Modellierung von ökohydrologischen Rückkopplungsmechanismen zur Analyse von Landdegradierungserscheinungen in Strauchwüsten

Eva Nora Mueller¹, Britta Tietjen²

¹Institut fuer Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, ²Institut fuer Biologie, Freie Universität Berlin

Landdegradierung durch Wassererosion wird angetrieben durch ökohydrologische Prozesse, welche sowohl die Fliesswege am Hang, als auch den bodenhydraulischen Zustand und die Vegetationsstruktur verändern. Diese Prozesse sind oft durch sich verstärkende Rückkopplungsmechanismen verknüpft, welche dazu führen, dass eine kleine Veränderung in der Landnutzung (z.B. zeitweilige Überweidung, Trampelpfade) zu einer Neuorganisation der betroffenen Landschaft führen kann.

Für den Südwesten der USA wird eine Grasland-Strauchland-Übergangszone exemplarisch auf ihr Verhalten bezüglich verschiedener Rückkopplungsmechanismen untersucht. Dazu wurde ein ökohydrologisches, prozess-basiertes Model entwickelt, welches die Verlagerung von Sedimenten und Nährstoffen während eines Starkregenereignisses in Sekundenauflösung, die Bodenfeuchte und Transpirationraten in Tagesauflösung und Vegetationsdynamiken (Wuchs, Mortalität, Etablierung) in 14-tägiger Auflösung für einen hochaufgelöstes Grid simuliert. Durch Langzeitmodellierungen und der Modellierung von Extremen (langanhaltende Dürren, lange Überweidung) wird mit dem Modelsystem untersucht, welche Art von Rückkopplung auftreten und zu einer Vegetationsveränderung einhergehend mit der Landdegradierung führen können. Mit diesem Model können erstmalig die sich selbst-organisierenden Muster von Wasser- und Bodenressourcenverfügbarkeit am Hang mit den dynamischen Fliess- und Umverteilungsprozessen von Starkregenereignissen gekoppelt werden. Hiermit wird die Lücke zwischen bisherigen Modellen, die nur einzelne Extremereignisse simulieren können, und Modellen, die die Langzeitdymanik einer Landschaft simulieren ohne detailliert auf Erosionsprozesse einzugehen, geschlossen.

Damit können in Zukunft prozess-basierte Ansätze zur Restaurierung oder Vermeidung der Degradierung von Hängen angewandt werden.

Wechselwirkungen zwischen Klima, Hydrologie und Landnutzung im Limarí Einzugsgebiet, Zentral Chile

Alexandra Nauditt¹, Javier Herrero², Lars Ribbe¹, María José Polo³

¹Institut für Technologie- und Ressourcenmanagement in den Tropen und Subropen,
Fachhochschule Köln, 50679 Köln,

²University of Granada, Grupo de Dinamica de Flujos Ambientales, Centro Andaluz de Medio Ambiente,
Av. del Mediterraneo s/n, 18006, Granada, Spain,

³University of Cordoba, Grupo de Hidraulica e Hidrologia Agricola, Campus de Rabanales,
Edificio Leonardo Da Vinci, ´Area de Ingenieria Hidraul

Das semiaride Limarí Einzugsgebiet (10.000 km²) im nördlichen Zentralchile ist mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 120 mm extrem vulnerabel gegenüber Klimavariabilität und -wandel. Intensive Landwirtschaft ist dank der Schneeschmelze aus der bis zu 5500 m hohen Anden-Cordillera der Hauptwirtschaftsfaktor in der Region Coquimbo. Aufgrund einer mehrjährigen Dürre seit 2008 sehen sich die Wassernutzer gezwungen ihren Kenntnisstand zu hydrologischen Prozessen zu verbessern sowie Maßnahmen zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz zu ergreifen. Klimadaten für Höhen über 2000 m liegen nicht vor und bisher wurden hohe Abflussraten nach der Schneeschmelzphase nur unzureichend erklärt.

Die hier vorgestellte Arbeit beschreibt neben der historischen Klimavariabilität und dem Abflussverhalten, welchen Einfluss der erwartete Temperaturanstieg und weitere Klimaveränderungen auf die Wasserverfügbarkeit und Landnutzung in der Region haben können. Tägliche Zeitreihen für Klima- und Abflussdaten (1960–2011) wurden erhoben und aufbereitet. Um die hydrologischen und Schneeschmelzprozesse in der hohen Andenregion besser zu verstehen wurde das distribuierte, Raster basierte hydrologische Modell WIMMED für mehrere Untereinzugsgebiete in der chilenischen Cordillera angewendet. Das WiMMed Modell (Watershed Integrated Management Tool in MEDiterranean environments) wurde von einer Gruppe von Hydrologen der spanischen Universitäten Granada und Córdoba entwickelt für ein von der Schneeschmelze geprägtes mediterranes Einzugsgebiet mit ähnlichen Eigenschaften wie die hier betrachtete Region entwickelt und bildet basierend auf einer Massen-und Energiebilanz auf Pixelebene detailliert Schneeschmelzprozesse

Die Ergebnisse legen nahe, dass die Niederschlagsmenge auf 4500 m Höhe 50 % höher liegt als im Untereinzugsgebiet und die intra-annuelle Verteilung der Niederschläge sich gleichmäßiger auf mehrere Monate verteilt. Wie bereits von anderen Autoren ermittelt, spielen Geologie und Grundwasserspeicher – auch auf der argentinischen Seite der Anden – eine wesentliche Rolle bei den hohen Abflussraten nach der Schneeschmelzesaison.

Flächenintegrierte Messung der Bodenfeuchtedynamik mittels Detektion von natürlichen Neutronen

Sascha Oswald, Carlos Rivera Villarreyes, Gabriele Baroni

Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, Deutschland

Die Bestimmung von Bodenfeuchteänderungen aus hydrologischer Sicht hat die beiden Aspekte einer räumlichen Variabilität und einer zeitlichen Dynamik. Darüber hinaus verteilt sich die Bodenfeuchte auch über das Bodenprofil in der Vertikalen, und es kann substantielle Wasserflüsse nach oben und unten mit wechselnden Vorzeichen geben. Die neuartige Methode, mittels Neutronensonden die Fluktuationen der vom Boden ausgehenden Hintergrundstrahlung zu messen ("Cosmic Ray Neutron Sensing" oder auch "Ground Albedo Neutron Sensing"), kann einen Beitrag zur Bestimmung von Bodenfeuchteänderungen auf Einzugsgebietsebene mit neuartigem Charakter liefern. Denn diese 2008 von Zreda et al. vorgestellte Methode zielt auf die zeitliche Veränderung eines "mittleren" Wassergehalts auf Größe einiger ha Fläche, und zwar bis in etwa eine Tiefe von 50 cm. Eine räumliche Auflösung innerhalb dieser Fläche ist zwar nicht möglich, jedoch können mit mehreren solcher Messungen unterschiedliche Teilgebiete eines Einzugsgebiets parallel erfasst werden. Dadurch lässt sich die hydrologische Wasserbilanz und die hydrologische Prozessmodellierung zusätzlich überprüfen und auch verbessern.

Die Methode basiert auf den Neutronen, die durch natürliche Höhenstrahlung im Boden gebildet und nach oben emittiert werden. Deren Anzahl und Energie wird stark vom totalen Wassergehalt des Bodens beeinflusst, aber auch von anderen Größen wie die Intensität der auf die Erdoberfläche einfallende kosmische Höhenstrahlung, einer evtl. Schneedecke, die Vegetation, im Boden vorhandenes Kristallwasser und Humusgehalt. Sofern es quantitativ gelingt, die anderen Einflussgrößen direkt oder indirekt zu berücksichtigen, so kann aus der über Zeitintervalle von einigen Stunden integrierte Neutronenzahl auf die Veränderung der Bodenfeuchte im Mittelungsbereich der Messung geschlossen werden.

Eigene Untersuchungen mit Neutronensonden zur Messung der Bodenfeuchte auf landwirtschaftlich genutzten Flächen von Kleineinzugsgebieten haben gezeigt, dass der Zusammenhang zwischen Neutronenzählrate, mit einigen Korrekturen, sich in mittlere Bodenfeuchtewerte umsetzen lässt, die mit Vergleichsmessungen vor Ort übereinstimmen. Allerdings gibt es noch phasenweise Abweichungen und einen zeitlich veränderlichen Einfluss der Vegetation während der Vegetationsperiode. Daneben gibt es unterschiedliche methodische Ansätze zum Vorgehen, insbesondere in Bezug auf die Kalibrierung, und eine zeitlich veränderliche Integrationstiefe der Messung. Neben diesen offenen Punkten zeigt bestätigt sich jedoch auch das Potential dieser Messdaten, hydrologische Modelle zu testen und zu verbessern, und in räumlich flexibler Weise zerstörungsfrei Bodenfeuchteveränderungen für unterschiedliche Vegetationen nach zu verfolgen.

Modellierung des Wasserhaushalts eines dränbeeinflussten Einzugsgebietes unter Anwendung unterschiedlicher Dränagegleichungen

Matthias Pfannerstill, Cindy Hugenschmidt, Nicola Fohrer

Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, CAU Kiel, Deutschland

Diffuse Stickstoffeinträge aus Dränagen landwirtschaftlich genutzter Flächen tragen in Deutschland erheblich zur Nährstoffbelastung aquatischer Ökosysteme bei und verändern den natürlichen Wasser- und Stoffhaushalt. Die Norddeutsche Tiefebene nimmt in diesem Kontext eine besondere Rolle ein, denn durch die großen Anteile gedränter Flächen ist hier der Stickstoffaustrag besonders hoch. Durch die Modellierung des Wasser- und Stoffhaushalts ist es möglich, Flächen für Maßnahmen zur Reduzierung der Stickstoffbelastung zu identifizieren. Die Voraussetzung hierfür ist jedoch eine modellbasierte Abbildung des diffusen Eintragspfades durch Dränagen. Das ökohydrologische Modell SWAT (ARNOLD et al., 1998) ermöglicht die Abbildung der landwirtschaftlichen Praxis und beinhaltet den Entwässerungs- und Stickstofftransport über die Dränagen in der Modellstruktur. Durch die Weiterentwicklung früherer SWAT-Versionen sind unterschiedliche Ansätze vorhanden, um diese Prozesse des Dränageneinflusses abzubilden. Es ist bisher jedoch nicht belegt, ob die Weiterentwicklung der Dränagenabbildung (MORIASI et al., 2012) in Anlehnung an Hooghoudt (1940) eine plausiblere Modellierung des Wasser- und Stoffhaushalts für Einzugsgebiete in der Norddeutschen Tiefebene ermöglicht.

Diese Arbeit stellt Simulationen in einem Testeinzugsgebiet der Norddeutschen Tiefebene vor, welche die Auswirkungen der unterschiedlichen Dränagenansätze auf den modellierten Wasserhaushalt zu darstellen. Zur räumlichen Beschreibung dränierter Flächen wurde eine vorliegende Abschätzung verwendet. Das SWAT-Modell wurde sowohl für die vereinfachte Dränagenabbildung als auch für die Dränagenabbildung nach Hooghoudt (1940) kalibriert. Anhand der Wasserbilanz und der Abflussanteile der Dränagen und dem Oberflächenabfluss am Gesamtabfluss wurde schließlich beurteilt, ob der physikalisch basierte Dränagensatz ein plausibleres Abflussgeschehen simuliert.

Die Ergebnisse zeigten, dass mit der vereinfachten Dränagenabbildung ein höherer Niederschlagsanteil durch den Oberflächenabfluss abgeführt wird. Die erweiterte Dränagenabbildung führt hingegen zu einem geringeren Oberflächenabfluss und höheren Dränagenabflüssen. Für das Testeinzugsgebiet wurde auf Grund der Ergebnisse abgeleitet, dass der erweiterte Dränagenansatz nach Hooghoudt (1940) zu einer plausibleren Beschreibung des Wasserhaushalts führt.

Monolithische Präzisionslysimeter als Instrumente zur Bestimmung der klimatischen Wasserbilanz und hydrologischer Prozesse

Volker Prasuhn, Ernst Spiess, Clay Humphrys

Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich

Lysimeter dienen schon seit historischen Zeiten der Umweltforschung. Auch in der Schweiz hat die Lysimeterforschung eine lange Tradition; erste Versuche wurden bereits 1922 angelegt. Neue Bodenentnahmetechniken und die technische Weiterentwicklung von Wägesystemen und diversen Messsonden haben zu einer Renaissance der Lysimeterforschung geführt. Einsatzgebiete im Rahmen hydrologischer Untersuchungen sind u.a. die exakte Messung der Wasserbilanzparameter Niederschlag, aktuelle Evapotranspiration, Sickerwasser und Bodenwasservorratsänderung sowie Messungen der Wasserbewegungen in der ungesättigten Zone und die Ermittlung der Grundwasserneubildung. Durch zeitlich und räumlich hoch auflösende Messungen eignen sich Lysimeter vorzüglich für die Modellkalibrierung bzw. -validierung.

Im Herbst/Winter 2008 wurde in Zürich-Reckenholz eine neue Lysimeteranlage mit 72 Lysimetern gebaut, die grösste und modernste Anlage dieser Art in Europa. Die 72 Lysimeter haben eine Oberfläche von 1 m² und eine Tiefe von 1.50 m. 12 Lysimeter sind wägbar, 60 Lysimeter sind nicht wägbar. Bei letzteren wird nur die Sickerwassermenge erfasst. Drei verschiedene, typische Ackerböden der Schweiz wurden monolithisch entnommen: 48-mal Braunerde (Boden A, Kt. BE), 12-mal pseudovergleyte Braunerde (Boden B, Kt. ZH) und 12-mal Parabraunerde (Boden C, Kt. AG). Die Sickerwassermenge wird über Kippwaagen mit 100 ml (= 0.1 mm) Fassungsvermögen automatisch erfasst. Die Wägegenauigkeit der rund 3.3 t schweren Lysimeter beträgt 10 g (= 0.01 mm), wird alle 5 min aufgezeichnet und ist damit extrem präzise. Dadurch lässt sich sogar Tau- und Nebelniederschlag, der z.B. bei Mais durchaus 0.5 mm in einer Nacht betragen kann, exakt erfassen. In vier verschiedenen Tiefen (10, 30, 60, 90 cm) sind vier verschiedene Messsonden (Bodentemperatur, FDR-Wassergehaltssonden, Tensiometer, keramische Saugkerzen) in zweifacher Wiederholung in die 12 wägbaren Lysimeter eingebaut, also insgesamt 384 Sonden, die im 5-Minutenintervall Daten aufzeichnen.

Die Lysimeter werden seit Frühjahr 2009 mit verschiedenen Ackerkulturen bewirtschaftet. Die landwirtschaftlichen Versuchsfragen orientieren sich primär an praxisrelevanten Problemen bezüglich Wasserhaushalt und Nitratauswaschung. 16 Verfahren zu fünf verschiedenen Hauptfragestellungen wurden in dreifacher Wiederholung auf Boden A angelegt. Vier dieser Verfahren werden zusätzlich auf den Böden B und C durchgeführt. Alle Versuche sind als Fruchtfolgeversuche über mehrere Jahre konzipiert.

Es werden Beispiele zur aktuellen Evapotranspiration verschiedener Ackerkulturen, zum Tau- und Nebelniederschlag, zur Sickerwassermenge verschiedener Ackerkulturen, zum Einfluss von Böden und Messjahren sowie Möglichkeiten der Lysimeterdatennutzung zur inversen Modellierung der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone und der Grundwasserneubildung gezeigt.

Hochwasserwarnung in der Steiermark

Christophe Ruch², Robert Schatzl¹

¹Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 14, ²JOANNEUM RESEARCH Institute of Water, Energy and Sustainability

Die Steiermark ist auf Grund seiner Vielfalt an geographischen Subregionen und der starken Heterogenität der meteorologischen Zonen immer wieder von großteils kleinräumigen Hochwassereignissen betroffen, wobei aber in den letzten Jahren auch großräumige Hochwasser vor allem an Mur und Enns zu beobachten waren. Aus diesem Grund wurden seitens des hydrographischen Dienstes Steiermark seit dem Jahr 2004 zahlreiche Maßnahmen in Richtung effizienter Hochwasserprognose gesetzt:

- Entwicklung von Hochwasserprognosemodellen für die Hauptflüsse (Mur, Enns und Raab) der Steiermark im Rahmen von nationalen und internationalen Kooperationen
- Entwicklung eines Hochwasserwarnsystems für kleine Einzugsgebiete (Untergrenze ca. 100 km²) (Entwicklungsarbeiten derzeit im Laufen)

Im Rahmen der Entwicklung der Prognosesysteme wurden auch zahlreiche zusätzliche Tools geschaffen bzw. Verbesserungen am bestehenden System durchgeführt:

- Datenbank mit historischen Hochwasserereignissen
- Georeferenzierte Datenbank mit Ergebnissen der 1-D und 2-D Abflussuntersuchungen mit Schwerpunkt auf der Geomorphologie der Gerinne und der Vorländer
- Georeferenzierte Datenbank mit hochwassergefährdeten Punkten bzw. Zonen
- Datenbank mit r\u00e4umlichen Niederschlagsprognosen mit einer zeitliche Aufl\u00f6sung von einer Stunde und eine r\u00e4umlichen Aufl\u00f6sung von 1*1km\u00e2
- Verbesserung und weitere Automation des hydrometeorologischen Messnetzes

Somit wurde in der Steiermark die Basis geschaffen, eine effiziente Hochwasserprognose auch im Sinne der Vorgaben durch die Wasserrahmen- bzw. die Hochwasserrichtlinie gewährleisten zu können, um für die Herausforderungen sich ändernder anthropogener sowie klimatologischer Rahmenbedingungen vorbereitet zu sein.

Integrierte Modellierung von aquatischen Ökosystemen in China: Ökohydrologie und Arealbestimmung von Makrozoobenthos auf Einzugsgebietsebene

Britta Schmalz¹, Mathias Kuemmerlen², Sonja Jähnig², Nicola Fohrer¹

¹Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, Institut für Natur- und Ressourcenschutz,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,

²Senckenberg, Abteilung für Fließgewässerökologie und Naturschutzforschung;
LOEWE Biodiversität und Klima Forschungszentrum (BiK-F)

Einzugsgebietseigenschaften und das Vorkommen von aquatischen Organismen sind eng verknüpft. Ein integrierter Modellansatz zur Darstellung der Auswirkung von Umweltänderungen auf aquatische Ökosysteme wurde entwickelt und getestet. Als Testgebiet dient das Einzugsgebiet des Changjiang im Poyang-Gebiet in China.

Es wurden zwei Mess- und Probenahmekampagnen im Oktober 2010 und Februar/März 2011 von Hydrologen und Hydrobiologen gemeinsam geplant und durchgeführt. An 50 Probenahmepunkten wurden benthische Makroinvertebraten nach der Multihabitat Sampling-Methode erfasst. Mit SWAT wurde der Wasser- und Sedimenthaushalt des gesamten Einzugsgebietes abgebildet. Die SWAT-Ergebnisse wie Abfluss- und Sedimentzeitreihen an jedem der 50 Beprobungspunkt wurden an das Arealmodell BIOMOD übergeben, mit dessen Hilfe das Vorkommen eines Taxons (benthische Makroinvertebraten) mit Umweltvariablen an dessen Fundpunkten verknüpft und extrapolierte Vorkommenswahrscheinlichkeiten für das Untersuchungsgebiet berechnet wurden. Die Ergebnisse zeigen Artenverbreitungen von benthischen Makroinvertebraten in Abhängigkeit von verschiedenen hydrologischen, klimatischen und topographischen Variablen. Variablen, die mit der Hydrologie verbunden sind, bestimmen einen hohen Anteil des modellierten Vorkommens ausgewählter Taxa.

Dieser Ansatz kann auch bei veränderten hydrologischen und hydraulischen Rahmenbedingungen genutzt werden, um die Auswirkung von Umweltveränderungen auf aquatische Ökosysteme darzustellen. Es wurden verschiedene Landnutzungsszenarien entwickelt. Die daraus resultierenden hydrologischen Veränderungen auf die Verbreitung von benthischen Makroinvertebraten können ebenfalls abgebildet werden. Es werden mögliche Verschiebungen der Verbreitungsgebiete der benthischen Makroinvertebraten modelliert.

Regulierung des Thunersees auf Grundlage hydrologischer Daten

Peter Schmocker¹, Bernhard Wehren²

¹bhc Projektplanung, Mühlematteweg 7, CH – 3752 Wimmis, ²Amt für Wasser und Abfall, Seenregulierung, Reiterstrasse 11, CH – 3011 Bern

Seit 1869 überschritt der Pegel des Thunersees in nicht weniger als 41 Jahren die heute gültige Hochwassergrenze, deren Kote auf 558.30 m ü.M. festgelegt ist.

Mit der Einleitung der Kander in den See vor dreihundert Jahren wurde das Einzugsgebiet des Sees nahezu verdoppelt; der See weist heute im schweizweiten Vergleich den kleinsten Flächenanteil am entsprechenden Einzugsgebiet auf. Gleichzeitig ist am Thunersee die Differenz zwischen dem mittleren Sommerwasserstand und der Hochwassergrenze mit 50 cm sehr gering. Der See kann deshalb die zufliessenden Hochwasser nur beschränkt abdämpfen; es ist möglich, dass innert wenigen Stunden die Hochwassergrenze erreicht wird. Einzige Abhilfe kann hier eine Erhöhung der Abflusskapazität aus dem See bringen, was in den Jahren 2007 bis 2009 durch den Bau eines Hochwasserentlastungsstollens umgesetzt wurde. Dieser Stollen ermöglicht es, den Abfluss aus dem See praktisch unabhängig vom jeweiligen Pegelstand um ca. 100 m³/s zu steigern.

Die Grundsätze der Hochwasserschutzplanung verlangen jedoch, dass eine solche Abflusssteigerung nicht zu einer zusätzlichen Gefährdung der Unterlieger führen darf. Mit dem Stollen muss also der maximale Seepegel bei einem Hochwasser soweit reduziert werden, dass beim reduzierten Pegelmaximum der gleiche Abfluss entsteht, wie beim Pegelmaximum ohne Einsatz des Entlastungsstollens. Dies kann nur erreicht werden, wenn der Stollen rechtzeitig vor einem Hochwasser eingesetzt und dadurch zusätzliches Retentionsvolumen geschaffen wird.

Wie jedoch lassen sich Hochwasser frühzeitig erkennen? Welche Parameter sind von Bedeutung? Ausgangspunkt zur Beantwortung dieser Fragen bildeten historische Daten zu Niederschlag, Pegelstand, Zu- und Abfluss sowie zum Wassergehalt des Schnees. Anhand dieser Grundlagen wurde ein neues Regulierkonzept entwickelt, um mögliche Hochwassersituationen frühzeitig zu erkennen, in Gefahrenstufen zu bewerten und schliesslich mit entsprechenden Reguliervorgaben in der täglichen Praxis in einer weitgehend automatisierten Steuerung umsetzen zu können. Je nach Konstellation wird die Gefahrenstufe von Grün über Orange auf Rot erhöht und der See auf vorgegebene Bereithaltekoten vorsorglich abgesenkt.

In gewissen Phasen wird es allerdings nicht möglich sein, ständig die volle Kapazität des Entlastungstollens auszunutzen. Sobald auch aus den unterhalb Thun gelegenen Einzugsgebieten der Zulg, der Rotache, der Chise und der Gürbe besonders viel Wasser der Aare zuströmt, besteht die Gefahr, dass die maximal zulässige Abflussmenge der Aare in Bern überschritten wird. In solchen Fällen wird der Durchfluss durch den Entlastungsstollen automatisch gedrosselt, bis die Hochwasserspitze im Zwischeneinzugsgebiet abgeklungen und in Bern wieder die nötige Abflusskapazität verfügbar ist.

Das neue Regulierkonzept wird seit knapp drei Jahren umgesetzt und anhand der gemachten Erfahrungen laufend optimiert.

Sensorbasierte Steuerung von automatischen Probenahmegeräten in drahtlosen Sensornetzwerken

Philipp Schneider¹, Andreas Wombacher², Daniel Burgener³, Jan Beutel³, Jan Seibert¹

¹Hydrologie & Klima, Geographisches Institut der Universität Zürich, ²Data Base Group, University of Twente, The Netherlands, ³Computer Engineering and Network Laboratory, ETH Zürich

Wireless sensor networks (WSN) have started to change environmental monitoring, and as such, real-time sensor data are available in high temporal and spatial resolution. However, sampling of water bodies and the analysis of these samples in the lab will continue to be an essential part of environmental monitoring, as many parameters can only be analyzed with accurate precision in the lab. In a joint project of computer sciences, network engineering and environmental research we integrated an automated water sampler (ISCO 6712) as an actuator into a WSN. Based on the online interpretation of sensor data an actuation schedule for the sampling of water is generated. This actuation schedule is transferred to the water sampling unit for remote execution. Electric conductivity (EC) was chosen as a proxy parameter for water origin (e.g. groundwater or river water in alluvial systems) and thus for changes in stable isotopes and water quality. The onset of river water infiltrating the observed section of the aguifer is detected by EC sampled at several locations and high temporal resolution (2min) using a stream based filtering technique rather than a simple signal threshold. The EC signal is continuously analyzed by the streaming filter defining a sampling event when the EC signal clearly leaves the boundaries of daily oscillation over given a time window. To cope with noise in the EC data, we implemented and evaluated different outlier detection algorithms and plausibility checks to actuate the automated water sampler at the onset of an event and then applying a static sampling scheme. As a next step, we are working on dynamic sampling schemes, by applying stream processing algorithms predicting the peak and duration of EC events based on deconvolution and geo-statistics (Cirpka 2007).

Forschung in kleinen hydrologischen Einzugsgebieten – der digitale, internetbasierte Bestandskatalog

Sybille Schumann¹, Ulrich Schröder², Andreas Herrmann³, Andrea Wessler²

¹Bernardstrasse 96, D-63067 Offenbach, ²IHP/HWRP-Sekretariat, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, D-56068 Koblenz, ³Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und Extraterrestrische Physik, Mendelssohnstr. 3, D-38106 Braunschweig

Seit von der UNESCO die Internationale Hydrologischen Dekade (1965–1974) ausgerufen wurde, sind besonders in Europa viele kleine hydrologische Forschungsgebiete eingerichtet worden. Die in diesen Einzugsgebieten erfassten hydro- und meteorologischen Daten weisen meist eine herausragende Datenqualität bei einer sehr hohen zeitlichen Auflösung auf. Sie umfassen sowohl sehr lange Zeitreihen grundlegender Daten als auch kürzere Zeitreihen spezieller hydrologischer Prozessstudien. Bedeutende tracer- und isotopenhydrologische Studien haben besonders in kleinen Einzugsgebieten einen Beitrag zum besseren Verständnis der Abflussbildungsprozesse beigetragen. Die zum Teil in kleinen Einzugsgebieten bis zu über 60-jährige Zeitreihen sind eine gute Datengrundlage, um Änderungen in der Wasserbilanz z.B. durch klimatische- oder Landnutzungs-Veränderungen oder Probleme der Instationarität von hydrologischen Prozessen zu studieren.

Um den Herausforderung des Wasserressourcenmanagements in einer sich verändernder Umwelt zu begegnen, sind vergleichende Studien unter gut kontrollierten, aber realen Bedingungen und mit einer sehr guten hochaufgelösten Datengrundlage notwendig. Hierzu sind zum einen Kenntnisse über die Existenz, die Charakteristika, die Messinstrumentierung, die erfassten Daten und genutzten Modelle in den kleinen Einzugsgebieten sowie Informationen zu Ansprechpartnern und Forschungsschwerpunkten notwendig. Zum anderen sind hierfür Vernetzungen von Forschern, Wasserbewirtschaftungsverbänden und staatlichen Stellen für den Datenaustausch und Zusammenarbeit eine wichtige Voraussetzung. Im Rahmen der Initiative des ERB (Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins) wird dies seit 1986 erfolgreich umgesetzt. Derzeit beteiligen sich daran aktiv ca. 20 europäische Länder. Im Rahmen des EURO-FRIEND Project 5 des IHP der UNESCO wurden in einem solchen Forschungszusammenschluss vor allen Dingen gemeinsame Forschungsergebnisse im Bereich der hydrologischen Prozessstudien erreicht.

Wurden in der Vergangenheit die Information zu kleinen Einzugsgebieten bisher in mehreren Ländern in gedruckten Gebietsinventaren zusammen gestellt, ist seit 2009 – auf Initiative der Autoren und im Rahmen des deutschen IHP/HWRP-Sekretariats und des Goslar-Hahnenklee Workshops – ein für alle offenes, digitales, internetbasiertes 'Basin Inventory' eingerichtet worden (http://www.euro-friend.de/servlet/is/17796/?lang=en). Dieses soll weiter ausgebaut werden. Das Poster informiert sowohl über den Informationsgehalt und die Entstehung des digitalen Bestandskatalogs als auch dessen Nutzen. Es sollen Betreiber kleiner hydrologischer Forschungsgebiete angeregt werden, sich mit ihrem Gebiet am Inventar zu beteiligen.

Vorhersagbarkeit hydrologischer Trockenheiten mit einem konzeptionellen Modell

Maria Staudinger, Jan Seibert

Geographisches Institut, Universität Zürich, 5087 Zürich, Schweiz

Seit dem Extremsommer 2003 wird Frühwarnung von Trockenheiten mehr und mehr auch in wasserreichen Ländern wie der Schweiz als wichtig erkannt. Im Frühling 2011 sahen wir ein weiteres Beispiel für Trockenheitsbedingungen und deren Auswirkungen in der Schweiz und derartig trockene Ereignisse werden vermehrt in der Zukunft erwartet. Bisher gibt es nicht viele Arbeiten zur Trockenheitsvorhersag in Europa. Eine grundlegende Frage diesbezüglich ist: Wielange bevor eine Trockenheit auftritt kann man sie vorhersagen? Daran anknüpfend, haben wir den relativen Einfluss von aktuellen hydrologischem Bedingungen und des Wetters während der Vorhersageperiode untersucht.

Ein konzeptionelles hydrologisches Einzugsgebietsmodell (HBV), wurde für 21 Schweizerische Einzugsgebiete kalibriert und für jedes Einzugsgebiet wurden zwei Simulationsexperimente durchgeführt: 1) Abfluss wurde mit derselben Startbedingung und unterschiedlichen beobachteten Zeitreihen von Niederschlag und Temperatur (d.h. von verschiedenen Jahren) simuliert um "Vorhersagen" zu erzeugen. 2) Abfluss wurde mit unterschiedlichen Startbedingungen aber nur mit den langjährigen Tagesmitteln von Niedrschlag und Temperatur simuliert. Beide Experimente wurden viermal wiederholt, wobei der Simulationsstart jedesmal in eine andere Jahreszeit verschoben wurde. Der relative Einfluss von hydrologischen Anfangsbedingungen und Wetter während der Vorhersageperiode wurde dann über Persistenzabschätzungen bewertet. Um weiter zwischen Effekten von Wetter und Einzugsgebietseigenschaften zu unterscheiden, wurden die resultierenden Persistenzen auf ihre Sensitivität hinsichtlich Änderungen im Niederschlagsvolumen und in der Lufttemperatur getestet.

Die Persistenz der untersuchten Einzugsgebiete variierte mehr wegen der unterschiedlichen Einzugsgebietscharakteristika als wegen des saisonalen Simulationsstarts. Trockenere Anfangsbedingungen der Bodenfeuchte und des tieferen Grundwasserspeichers ergaben für die meisten Einzugsgebiete längere Persistenzschätzungen, während die Effekte der Anfangsbedingungen von Schneeakkumulation und oberem Grundwasserspeicher auf die Persistenz nicht klar erkennbar waren. Die ersten Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigten keine Sensitivität zum Niederschlagsvolumen.

Einfluss der räumlichen Auflösung der GIS-Eingangsdaten und der zeitlichen Auflösung der Niederschlagsdaten auf das kalibrationsfreie N-A-Modell DROGen

Andreas Steinbrich, Markus Weiler

Institut für Hydrologie, Universität Freiburg

Die Gefahr durch Hochwasser entlang von Gewässern ist schon lange Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Lange Messreihen in Einzugsgebieten mit Abflusspegeln erlauben statistische Analysen und die Kalibrierung von Niederschlags-Abfluss-Modellen. Für Gewässer ohne oder mit kurzen Abflusszeitreihen kommen häufig Regionalisierungsansätze zur Abschätzung zu erwartender Hochwasserscheitel zum Einsatz, die jedoch oft mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind. Die Gefahr von Hochwasser an Hängen und in der Fläche durch so genanntes wild abfließendes Wasser ist dagegen wesentlich schwerer zu fassen. Solche Ereignisse werden durch extreme Starkniederschläge verursacht, die meist nur von kurzer Dauer und räumlich begrenzt sind. Die Schäden, die solche Ereignisse verursachen liegen in der Summe jedoch im selben Bereich wie durch Hochwasser an den Gewässern. Die prognostizierte Klimaentwicklung mit einer Zunahme von extremen Starkniederschlägen dürfte die Gefahr durch wild abfließendes Wasser noch verschärfen. Einerseits könne konvektive Starkniederschläge was ihr zeitliches und räumliches Auftreten betrifft nur sehr unsicher und kurzfristig vorhergesagt werden. Andrerseits können zur Modellierung der Abflussbildung und -konzentration keine Modelle kalibriert werden, da keine Messungen der Abflussmengen zur Verfügung stehen. Kalibrationsfreie Modelle, die in der Lage sind die hydrologischen Prozesse aufgrund von verfügbaren räumlichen Daten und Prozesswissen abzubilden bieten hier eine Alternative. Das Modell DROGen (Distributed RunOff GENeration) wurde für den Raum Baden-Württemberg entwickelt und in der Mesoskale validiert. Die Validierung erfolgte für unterschiedliche Niederschlagsereignistypen in unterschiedlichen Naturräumen mit einer räumlichen Auflösung von 1*1 m² unter Nutzung von RADOLAN-Daten des DWD, die in einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde vorliegen. Das Modell konnte in den Validierungsläufen insbesondere die Abflussdynamik sehr gut abbilden, was auf die korrekte Wiedergabe der Abflussbildung in der Fläche sowie der Abflusskonzentration schließen lässt. Die hier vorgestellten weitergehenden Untersuchungen zum Modell DROGen befassen sich mit dem Einfluss der räumlichen Auflösung der GIS- Eingangsdaten auf das Modellergebnis sowie mit Möglichkeiten inhärente zeitliche Informationen aus den 1-Stunden RADOLAN-Daten abzuleiten, die es ermöglichen, auch die zeitliche Dynamik kurzer Starkniederschlagsereignisse (1-2 h) adäquat abzubilden. Es wurde untersucht wie sich die so gewonnene höhere zeitliche Auflösung auf die Wiedergabe der Abflussbildungsprozesse durch das Modell auswirkt und welcher räumliche Modellierungsgrad notwendig ist Abflussprozesse auf der Einzugsgebietsskale realistisch wiederzugeben.

Vergleichende Analysen der Einflussfaktoren für die Ausprägung von Niedrigwasserabflüssen kleiner Tieflandeinzugsgebiete Nordostdeutschlands

Björn Thomas^{1,2}, Jörg Steidl¹, Gunnar Lischeid^{1,2}, Ottfried Dietrich¹

¹Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Institut für Landschaftswasserhaushalt,
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg,

²Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften

Die derzeitigen Trends in Abflusszeitreihen und Projektionen der zukünftigen Abflüsse lassen eine Zunahme von Niedrigwassersituationen im Nordostdeutschen Tiefland erwarten. Die hydrologischen Systeme kleiner Einzugsgebiete (< 500 km²) dieser Region wurden bisher aber nur in wenigen Studien vergleichend behandelt. Gerade die komplexe, pleistozän geprägte Geohydrologie, mit tiefgründigen Grundwasserleitern und fehlender Übereinstimmung von oberirdischen und unterirdischen Einzugsgebiet erschwert modellgetriebene Analysen solcher Systeme. Vorausgegangene eigene Analysen haben bereits gezeigt, dass es aufgrund klimatischer Unterschiede, aber auch aufgrund der Geohydrologie deutliche Unterschiede im Abflussverhalten kleiner Einzugsgebiete gibt. Analysen, die explizit auf Niedrigwasserabflüsse zielen, fehlen jedoch. Um effektive Anpassungsstrategien an den Klimawandel entwickeln zu können, ist das Wissen zu den relevanten Prozessen, die Niedrigwassersituationen verstärken können, unabdingbar. Das Ziel der Studie war es, über lineare und nichtlineare Beziehungen von Niederschlag und potentieller Verdunstung zum Niedrigwasserabfluss auf relevante Prozesse in den Einzugsgebieten zu schließen und die Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten herauszuarbeiten.

Für acht langjährige Abflusszeitreihen wurden jeweils die jährlichen Minima in den 30-Tagemittelwerten (NM30Q) als Zielvariable berechnet. Standardisierte Indizes des Niederschlags und der potentiellen Verdunstung mit einer zeitlich Aggregation von 1 bis 48 Monate, bzw. einer Aggregation nach vorhergegangenen Jahren, Halbjahren und Jahreszeiten, sowie weitere Einzugsgebietseigenschaften dienten als unabhängige Variablen. Im ersten Schritt wurde eine Support Vector Maschine (SVM) Regression verwendet, um im gesamten Datensatz Parameter mit der geringsten Erklärungskraft iterativ auszudünnen und eine optimale Anzahl an Parametern über eine Crossvalidierung zu finden. Die potentielle Verdunstung der vorhergegangenen 2, 12 und 48 Monate, der Niederschlag des vorhergegangenen Winters und der mittlere Grundwasserflurabstand konnten als am besten geeigneter Parametersatz identifiziert werden und erklären bei der Validierung im Mittel R2 = 0.58 der NM30Qs. Hohe Verdunstungsansprüche oder geringe Winterniederschläge ziehen niedrige NM30Qs nach sich. In einem zweiten Schritt wurden die mit der SVM identifizierten Parameter für jedes Einzugsgebiet separat mit Hilfe einer Partial Least Squares Regression (PLSR) ausgewertet. Die PLSR Analyse ermöglicht eine Differenzierung der Einflüsse von Verdunstung und Niederschlagsmengen auf die NM30Q-Werte zwischen den Gebieten. Hieraus entsteht die Hypothese, dass in den verdunstungsgetriebenen Gebieten mit einer stärkeren Reaktion auf den Klimawandel zu rechnen ist. Die Analyseergebnisse korrelieren mit weiteren Einzugsgebietseigenschaften und können damit für die Konzipierung von effektiven Anpassungsstrategien an den Klimawandel genutzt werden.

Identifizieren und Modellieren von Regen-auf-Schnee-Hochwasser an der Lütschine mit WaSiM hinsichtlich des Extremereignisses vom 10. Oktober 2011

Samuel Zahner

Oeschger Zentrum für Klimaforschung, Gruppe für Hydrologie, Geographisches Institut, Universität Bern

Am Montag 10. Oktober 2011 kam es in mehreren Einzugsgebieten entlang des zentralen Alpenhauptkamms zu einem aussergewöhnlichen Hochwasserereignis. Aussergewöhnlich war das Ereignis gemäss den Abflussmessungen des BAFU in den Einzugsgebieten der Lonza (Lötschental), Kander, Lütschine und Simme erstens hinsichtlich dessen Abflussspitze. Für die Messstation Lütschine-Gsteig ordnet das BAFU das Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von ungefähr 120 Jahren ein. Zweitens ist der Prozesstyp dieses extremen Hochwassers für die Jahreszeit ungewöhnlich. Dem Hochwasser sind erhebliche Neuschneemengen und anschliessend Warmfrontniederschläge vorausgegangen. Regen-auf-Schnee-Prozesse führten zu einer besonders steil ansteigenden und konzentrierten Abflusspitze. Das Ereignis überraschte sowohl hinsichtlich des Zeitpunktes des Auftretens als auch hinsichtlich der abgelaufenen Prozesse.

Im ersten Teil der Arbeit werden aufgrund von gemessenen Daten Regen-auf-Schneeprozesse zwischen 1990 bis 2012 an der Lütschine identifiziert. Gemäss Diezig (2006: 70) machen Regen-auf-Schneehochwasser an der Weissen Lütschine nur 20 Prozent der Jahreshochwasser aus. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass Regen-auf-Schnee-Prozesse an der Lütschine sehr häufig auftreten. Allerdings können Regen-auf-Schnee-Prozesse sowohl abflussfördernd wie auch abflusshemmend wirken. Die identifizierten Regen-auf-Schnee Ereignisse wurden statistisch ausgewertet und verschiedenen Typen zugewiesen. Es zeigt sich, dass an der Lütschine bei vielen Ereignissen der Schnee eine abflusshemmende Rolle spielt. Nur bei einzelnen Ereignissen ist dem Schnee eine abflussfördernde Rolle zuzuweisen. Jedoch sind genau diese wenigen Ereignisse hinsichtlich der Hochwassermodellierung von besonderem Interesse. Weiter wurde versucht, aus Messwerten der Temperatur, Niederschlag und Schneehöhe kritische Schwellenwerte hinsichtlich von Hochwasserabflüssen festzulegen.

Der Fokus der Arbeit liegt auf dem Entwickeln einer Modellversion des hydrologischen Modells WaSiM, welche in der Lage ist, Regen-auf-Schnee-Prozesse abzubilden. Für die Kalibrierung werden unterschiedliche Zeiträume verwendet, in welchen Regen-auf-Schnee-Prozesse aufgetreten sind, sowohl abflusshemmende als auch abflussfördernde. Die Zeiträume werden bei der Kalibration zudem unterschiedlich gewichtet. Zudem werden für die verschiedenen Schneemodule von WaSiM separate Kalibrierungen durchgeführt. Damit wird getestet, für welches Schneemodul bei Hochwasserpeaks die besten Resultate erzielt werden können. Die verschiedenen Modellversionen werden für den Zeitraum 1990–2011 validiert. Daraus können die besten Modellversionen ausgewählt werden. In der vorliegenden Arbeit wird schliesslich mit entwickelten Modellversionen die Sensitivität des Abflusses bezüglich der Schneedecke getestet. Dadurch kann sowohl die abflussfördernde als auch die abflusshemmende Wirkung der Schneedecke genauer untersucht werden.

Landnutzung und Klima in ihrer Wirkung auf den langjährigen Abfluss in einem kleinen Einzugsgebiet im Lössplateau, NW China

Lulu Zhang, Karl-Heinz Feger, Kai Schwärzel

Institut für Bodenkunde und Standortslehre, TU Dresden, 01737 Tharandt, Germany

In NW China sind Wirtschaftswachstum, Ernährungssicherheit, Schutz der Umwelt, und sozialer Frieden infolge von Übernutzung der Wasserressourcen und Bodendegradation zunehmend gefährdet. Verschärfend wirkt der bereits spürbare Klimawandel. Um eine nachhaltige Entwicklung der Region zu sichern, kommt daher einer wassersparenden Optimierung der Landbewirtschaftung eine besondere Bedeutung zu. Grundlage für eine erfolgreiche Planung und Umsetzung solcher Maßnahmen ist es, den jeweiligen Einfluss von Landnutzung und Klima auf den Abfluss zu separieren. Für ein kleines Einzugsgebiet im SW des Lössplateaus (Zhifanggou, Provinz Gansu) liegen für den Zeitraum 1954-2004 Messungen zu Abfluss, Niederschlag und potenzieller Verdunstung sowie detaillierte Informationen zu Landnutzungsänderungen im Gebiet vor. Trends in den Daten wurden durch Anwendung des Mann-Kendall-Tests untersucht. Die Wirkung von Landnutzungs- und Klimaänderungen auf den Abfluss wurde mittels regressionsbasierter Ansätze separiert. Zudem wurde der Abfluss-Koeffizient für jede Landnutzungsart abgeschätzt. Ein signifikant negativer Trend im Abfluss (-1.14 mm a⁻¹) wurde gefunden. Zudem entdeckten wir eine abrupte Änderung im Abfluss zu Beginn der 1980er Jahre. Wahrscheinlichste Ursache hierfür ist die Anlage von Terrassen und Dämmen. Bemerkenswerte 74 % der Minderung im mittleren jährlichen Abfluss sind zurückzuführen auf im Einzugsgebiet implementierten Maßnahmen zum Erosionsschutz. Eine Meta-Analyse zum Abfluss verschiedener Einzugsgebiete des Lössplateaus verdeutlicht, dass sich die Wirkung von Landnutzungsänderungen auf den jährlichen Abfluss mit zunehmender Größe der Einzugsgebiete abschwächt. Dies bedeutet, dass zumindest auf lokaler Ebene eine wassersparende Optimierung der Landnutzung möglich ist.

Session 3: Wasserkreislauf und Klimaänderung

Referate

Kann interne Klimavariabilität die systematischen Fehler in regionalen Klimasimulationen erklären?

Nans Addor, Jan Seibert

Gruppe Hydrologie und Klima (H2K), Geographisches Institut, Universität Zürich, Schweiz

Biases in regional climate model (RCM) simulations under present climate have been widely reported, correction methods have been suggested and the robustness of these methods questioned. In parallel, recent studies showed that the importance of internal climate variability has often been underestimated when interpreting climate projections, and that climate change (signal) needs to be differentiated from natural climate fluctuations (noise). This study combines both perspectives and explores whether the differences between meteorological observations and climate simulations can be attributed to climate variability. If the observation and simulation time series actually are two realisations from the same climate system, we consider that the difference between the two is only a random component, whose correction is not possible.

To investigate the importance of climate variability, we adopted a hydrological perspective and considered numerous catchments characteristic of the hydrological regimes in Switzerland. Here the emphasis is on two representative basins: one located in the Alps (183 km², mean altitude of 2227 masl) and one on the Swiss plateau (231 km², 700 masl). For both of them we compiled precipitation and temperature time series from station measurements and from the climate models HadCM3Q0-CLM from the ENSEMBLES project for the period 1980–2009. Annual cycles were obtained by spectral smoothing and used for comparing the datasets.

For the alpine catchment, precipitation overestimation by the RCM in winter leads to an inversion of the annual cycle (winter becomes the wettest season instead of summer) and typical precipitation amounts simulated in winter are higher than the observed values of all individual winters of the period 1980–2009. As a consequence, the typical discharge induced by snow-melt, simulated with the conceptual, semi-distributed, hydrological model HBV, is associated with a return period of more than 30 years. Comparison of simulated values with homogenized time series for 1900–2010 confirms that the difference in winter precipitation is too high to be explained by internal variability only. Although the other characteristics of the temperature and precipitation cycles are better resolved, the discharge cycle is distorted by the mismatch between observed and modelled winter precipitation. In contrast, for the low altitude catchment, differences for precipitation and temperature are mostly within the internal variability range and so are the differences for discharge. Although no perfect match between observed and simulated values is obtained, this questions whether bias-correction should be applied here.

Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz (CCHydro)

David Volken

Abteilung Hydrologie, BAFU, 3003 Bern, Schweiz

Im Rahmen des Projekts "Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz" (CCHydro) hat das Bundesamt für Umwelt BAFU ab 2009 verschiedene Forschungsinstitute zur Untersuchung des Wasserhaushalts in der Schweiz, der Häufigkeit von Hoch- und Niedrigwasser sowie der Wassertemperatur bis zum Ende des laufenden Jahrhunderts beauftragt.

Bis in die nahe Zukunft (2035) wird sich das jährliche Wasserdargebot der Schweiz, mit Ausnahme vorübergehender Zunahmen der Abflüsse in stark vergletscherten Gebieten, nur wenig verändern. Langfristig (bis 2085) werden die verfügbaren Wasserressourcen leicht abnehmen, vor allem im Einzugsgebiet des Lago Maggiore. Die jahreszeitlichen Verteilungen der Abflüsse (Abflussregimes) hingegen werden sich beinahe in der ganzen Schweiz verschieben. Dies ist auf die temperaturbedingten Speicheränderungen (Schnee, Eis) sowie auf eine erwartete saisonale Umverteilung der Niederschläge zurückzuführen: Im Winter mehr Niederschlag in Form von Regen, im Sommer deutlich weniger Niederschlag und reduzierte Schmelzwassermengen. Glazial und nival geprägte Einzugsgebiete werden gegen Ende dieses Jahrhunderts nur noch vereinzelt zu finden sein. Im Winter wird in vielen Gebieten deutlich mehr Abfluss, im Sommer jedoch weniger – ausser in den noch vergletscherten Gebieten – erwartet. Deshalb wird sich im grössten Teil des Mittellandes die potenzielle Hochwasserzeit vom Frühsommer in das Winterhalbjahr verschieben und teilweise auch verlängern. Die Häufigkeit von mittleren (in den Voralpen und Alpen) bzw. grossen (im Mittelland und Jura) Hochwasserereignissen dürfte zudem in vielen Gebieten steigen. Auch die grossen Flüsse, welche aus zahlreichen kleineren Einzugsgebieten gespeist werden, werden sich entsprechend verändern. Bis Ende des Jahrhunderts wird der Sommerniederschlag beidseits der Alpen sehr stark zurückgehen (um 20%). Trockenperioden dürften damit häufiger auftreten und länger anhalten. Niedrigwasserereignisse werden sich in den Fliessgewässern der Voralpen und der Alpen vom Winter in den Spätsommer verschieben und dann weniger ausgeprägt sein. In den Gebieten des Mittellandes werden die Niedrigwasserabflüsse deutlich abnehmen und die Niedrigwasserperioden länger werden.

Im Vergleich zur Referenzperiode (1980–2009) wird die erwartete Temperaturzunahme in der Schweiz bis zum Jahr 2085 3 °C ±1 °C betragen. Dies wird nicht ohne Auswirkungen auf die saisonalen hydrologischen Speicher in der Schweiz bleiben: Parallel zur Temperaturerhöhung findet ein Anstieg der Schneefallgrenze statt. Die im Mittel von Schnee bedeckte Fläche nimmt stetig ab, gleichzeitig vermindern sich die Mächtigkeit und die Dauer der Schneedecke. Schliesslich sind weniger Schneereserven vorhanden, welche geschmolzen werden können. Rund 40 % des Abflusses aus der Schweiz in der Periode 1980–2009 resultierte aus der Schneeschmelze. Dieser Anteil wird bis 2085 auf etwa 25 % sinken

Auswirkungen der CH2014 Klimaszenarien auf die Wasserressourcen – eine Abschätzung für die Schweiz

Luzi Bernhard¹, Christoph Pflugshaupt¹, Sven Kotlarski², Massimiliano Zappa¹

¹Hydrologische Vorhersagen, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 8903 Birmensdorf, Schweiz, ²Institut für Atmosphäre und Klima IAC/ETHZ, 8092 Zürich, Schweiz

Die prognostizierte Klimaänderung wird einen bedeutenden Einfluss auf Schneedecke und Gletscher und somit auf die Wasserressourcen im gesamten Alpenraum haben. Im Rahmen der Studie CCHydro des BAFU wurden für die verschiedenen Klimaregionen und Höhenstufen der Schweiz zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Szenarien des Wasserkreislaufes und der Abflüsse für das 21. Jahrhundert bereitgestellt. Für die Zeiträume 2021–2050 und 2070–2099 wurden die lokalen meteorologischen Veränderungen und die daraus resultierenden Änderungen in der Vergletscherung, der Schneedecke sowie im Abfluss gegenüber der Kontrollperiode 1980–2009 simuliert. Um die erwarteten lokalen Klimaänderungen für die Grosseinzugsgebiete abzubilden, wurden die Klimaszenarien des ENSEMBLES-Projektes mittels der Delta-Change-Methode auf Tagesbasis berechnet, welche auf dem A1B-Emissionsszenario für Temperatur und Niederschlag beruhen.

Diese Untersuchungen wurden durch die Verwendung der Klimaszenarien CH2014 der Meteo-Schweiz erweitert. Diese neuen Szenarien basieren auf einer probabilistischen Methode, welche durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung ("lower", "medium" und "upper" Band) Auskünfte über die Modellunsicherheit und die dekadale Variabilität zulassen. Im Gegensatz zum Delta-Change-Ansatz liegen die prognostizierten Klimadaten nicht auf Stationsbasis, sondern für fünf Regionen der Schweiz vor. Zusätzlich werden neben dem Emissionsszenario A1B zwei weitere bereitgestellt: Das moderate RCP3PD-Szenario sowie das "worst case"-Szenario A2. Der Vergleich dieser Ergebnisse mit den Erkenntnissen aus der CCHydro-Studie bilden den Fokus unseres Beitrages für die Skala der hydrologischen Schweiz.

Betrachtet man die zu erwartenden Änderungen, fällt primär die prozentuale Veränderung des stark abnehmenden (-22%) Gletscheranteils am Gesamtabfluss in der ersten Hälfte des laufenden Jahrhunderts auf, welcher sich in der fernen Zukunft einpendeln dürfte. Hingegen wird der Schneeschmelzanteil am gesamten Abfluss in der ersten Hälfte des laufenden Jahrhunderts um ca. 15% und in der zweiten Periode um bis zu 40% abnehmen. Die Änderungen der gesamten Abflussmengen sowie der Verdunstung fallen als Jahresmittelwerte betrachtet klein aus. Deutlicher zeigen sich jedoch die entsprechenden saisonalen und regionalen Folgen der Klimasignale auf den Wasserhaushalt. Vergleicht man nun die auf A1B basierten CCHydro-Ergebnisse mit dem optimistischen Emissionsszenario RCP3PD, kann eindeutig aufgezeigt werden, dass sich eine Reduktion von Treibhausgasen v.a. bis zum Ende des Jahrhunderts positiv auswirken dürfte: Alle Varianten der probabilistischen Methode weisen für den Gesamtabfluss leichte Verschiebungen zur Kontrollperiode auf, welche sich jedoch innerhalb der natürlichen Variabilität bewegen. Die Resultate von A2 sind im Gegensatz mit den A1B-Werten vergleichbar, die Veränderungen sind einfach noch offensichtlicher und weichen erst in der fernen Zukunft signifikant vom A1B-Szenario ab.

Modellierung des Wasserkreislaufes in zwei stark vergletscherten Einzugsgebieten im Himalaya mit dem physikalisch-orientierten glazio-hydrologischen Modell TOPKAPI-ETH

Silvan Ragettli, Francesca Pellicciotti, Lene Petersen

Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich

Neueste Studien über den Stand der Gletscher im Himalaya sprechen von einem Massenverlust der Gletscher über grosse Teile des Gebiets hinweg, ähnlich dem beobachteten Gletscherrückgang in anderen Teilen der Welt. Eine Ausnahme bilden dabei jedoch Teile des zentralen Karakorum Gebirges, im westlichen Teil des Himalayas: Hier gibt es Anzeichen für eine stabile bis positive Massenbilanz der Gletscher. Für eine Analyse der Entwicklung des Wasserverfügbarkeit in der Region ist von zentraler Bedeutung, diese unterschiedliche Reaktion der Gletscher auf Klimaänderungen zu verstehen und den Beitrag der Gletscher an gegenwärtig und zukünftig verfügbaren Wasserressourcen abzuschätzen.

Die Untersuchung des Wasserkreislaufes im Himalaya wird erschwert durch die komplexe Topographie sowie substantielle logistische, finanzielle, politische und teilweise sogar militärische Hindernisse bei der Beschaffung von repräsentativen Daten. Indes werden für das Verständnis der Reaktion komplexer Umweltsysteme im Hochgebirge auf Klimaänderungen Modelle benötigt, welche die relevanten physikalischen Prozesse korrekt wiedergeben können. In dieser Studie wird das physikalisch-orientierte glazio-hydrologische Modell TOPKAPI-ETH benutzt, um den Wasserkreislauf von zwei stark vergletscherten Einzugsgebieten im Himalaya zu modellieren: Das Hunza Basin, Karakorum, Pakistan sowie das Langtang Basin, zentraler Himalaya, Nepal. Dabei werden die verfügbaren Angaben aus der Literatur sowie Messreihen von kürzlich durchgeführten saisonalen Messkampagnen benutzt, um die Werte von den wichtigsten Modellparametern abzuschätzen. Für Prozesse wie die Dynamik der Gletscher oder die gravitationelle Verteilung von Schnee, deren Verständnis für die Modellierung der Gletschermassenbilanzen von zentraler Bedeutung ist, werden Fernerkundungsdaten genutzt um innovative konzeptionelle Modellkomponenten zu kalibrieren und zu testen. Für das Langtang Basin stehen zudem punktuelle Messreihen bezüglich über Schnee- und Gletscherschmelze zur Verfügung, welche in einem mehrstufigen, multivariablen Ansatz für die Modellkalibrierung genutzt werden.

Durch die Berücksichtigung der einzelnen internen Prozesse sowie dem Vergleich mit Abflussdaten kann abgeschätzt werden, ob das Modell in der Lage ist, den Wasserkreislauf in den beiden Einzugsgebieten korrekt wiederzugeben. Eine Sensitivitätsanalyse erlaubt zudem eine Aussage darüber, für welche Modellkomponenten noch detailliertere Daten benötigt werden, um das Modell vollständig zu validieren. Die iterative Folge der beschriebenen Arbeitsschritte – Durchführung von Messkampagnen, multivariable Modellkalibrierung sowie Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalyse – erlaubt das Erstellen einer Modellkonfiguration welche dazu geeignet ist, den vollständigen Wasserkreislauf der Gegenwart und der Zukunft zu analysieren und detaillierte Angaben über zukünftig verfügbare Wasserressourcen in der Region machen zu können.

Abschätzung möglicher Folgen des Klimawandels auf die regionalen Wasserressourcen der Lausitz

Ina Pohle¹, Anne Gädeke¹, Hagen Koch², Uwe Grünewald¹

¹LS Hydrologie und Wasserressourcenbewirtschaftung, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 03046 Cottbus, Deutschland,

²FB II Klimawirkung und Vulnerabilität, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, 14412 Potsdam, Deutschland

Die Lausitz zählt zu den trockensten Regionen Deutschlands: Bereits unter aktuellen Bedingungen ist die klimatische Wasserbilanz negativ. Aufgrund des Braunkohleabbaus ist der Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten von Spree, Schwarzer Elster und Lausitzer Neiße gestört. Geänderte zukünftige klimatische Bedingungen haben Auswirkungen auf das natürliche Abflussgeschehen, die Wasserbewirtschaftung und die Wasserqualität.

Die Abschätzung möglicher Folgen des Klimawandels auf die regionalen Wasserressourcen erfolgt im Teilprojekt 21 "Instrumentarien für die nachhaltige regionale wasserwirtschaftliche Planung und Entwicklung – Beispiel Lausitz" des BMBF-Projektes INKA BB mittels integrierter Betrachtung von Wassermenge und -beschaffenheit als Voraussetzung der Entwicklung von Maßnahmen zur Klimaanpassung. Dabei stehen die Unsicherheiten in der Modellkette: Globales Klimamodell (GCM) – Regionales Klimamodell (RCM) – Hydrologisches Modell – Wasserbewirtschaftungsmodell – Wassergütemodell im Vordergrund.

Die Abschätzung der potenziellen zukünftigen natürlichen Abflüsse mittels Szenarienrechnungen für Teilgebiete ohne Einfluss von Braunkohletagebau und Wasserbewirtschaftungen mit den RCMs REMO, CLM, STAR und WETTREG als Antrieb der hydrologischen Modelle WaSim-ETH, HBV-light und SWIM zeigen deutliche Unterschiede der Abflussentwicklung basierend auf dem gewählten RCM. Die Unterschiede zwischen den Simulationsergebnissen der hydrologischen Modelle bei Verwendung des gleichen RCM sind gering.

Für die Betrachtung der Gesamteinzugsgebiete ist der klassische Ansatz der Kalibrierung hydrologischer Modellen an den Endpegeln von Spree, Schwarzer Elster und Lausitzer Neiße aufgrund der starken Beeinflussung durch Braunkohleförderung nicht möglich. Der Ansatz für diese Gebiete ist daher, das ökohydrologische Modell SWIM für Teileinzugsgebiete zu kalibrieren und zu validieren und die im Untersuchungsgebiet sensitivsten Modellparameter (Korrekturfaktoren für gesättigte hydraulische Leitfähigkeit und potenzielle Verdunstung sowie Grundwasserretentionsraten) teilgebietsdifferenziert zu regionalisieren. Eine Validierung dieser Methode erfolgte unter Berücksichtigung langjähriger natürlicher Abflüsse.

Die Simulationsergebnisse unter Antrieb durch die RCMs für das Gesamtgebiet fokussieren neben der Betrachtung der Abflussentwicklung an den Endpegeln auch auf der zeitlich und räumlich diskretisierten Analyse der potenziellen und tatsächlichen Verdunstung, des Abflusses und der Grundwasserneubildung. Die unter Antrieb durch RCM mit SWIM ermittelten potenziellen zukünftigen quasi-natürlichen Abflüsse von Teileinzugsgebieten dienen als Eingangsdaten des Langfristbewirtschaftungsmodells WBalMo. Mit diesem werden unter Berücksichtigung von Nutzeransprüchen und wasserwirtschaftlicher Steuerung die Wasserverfügbarkeit für Wassernutzer und bewirtschaftete Abflüsse simuliert. Im Laufe des Projektes sollen bei der Bewirtschaftung auch Güteaspekte berücksichtigt werden.

Abschätzung der Einflüsse des Klimawandels auf mediterrane Einzugsgebiete mit geringer Datenverfügbarkeit

Swen Meyer, Ralf Ludwig

Department für Geographie - Physische Geographie und Umweltmodellierung, Ludwig-Maximilian Universität München, Luisenstrasse 37, 80333 München

Ausgehend von aktuellen Klimaprojektionen besteht für den Mittelmeerraum eine erhöhte Gefährdungen hin zu extremen Änderungen der hydrologischen Kreisläufe und vorhandenen Wasserressourcen. Während wissenschaftlicher Konsens besteht, dass Änderungen der hydrologischen Regime bereits heute stattfinden und sich in der Zukunft verstärken, gibt es nur ungenügende Quantifizierungen der zu erwartenden Änderungen. Dieses kann zurück geführt werden auf das Fehlen kosteneffektiver hydrologischer Modellierungen und Messnetze.

Das Europäische FP-7 Projekt CLIMB versucht in 7 Einzugsgebieten, in 6 Mittelmeerländern die, durch Klimaprojektionen vorhergesagten Änderungen der hydrologischen Kreisläufe zu quantifizieren. CLIMB setzt hierbei auf den kombinierten Einsatz neuer Messtechniken hin zu einer integrierten hydrologischen Modellierung um das Verständnis und die Prozessbeschreibung zu verbessern und bestehende Unsicherheiten zu reduzieren.

Ein Untersuchungsgebiet des Projektes ist das Rio Mannu Basin auf Sardinen; Italien. Es besitzt: Eine Fläche von 472 km², eine Jahresmitteltemperatur von 16 °C und eine Niederschlagssumme von 700 mm. Der jährliche Abfluss beträgt in etwa 200 mm. Das physikalisch basierte Wasserhaushaltsmodell WaSiM Vers. 2 (Schulla & Jasper (1999)) wurde für das Untersuchungsgebiet zur Modellierung aktueller und zukünftiger hydrologischer Verhältnisse eingesetzt. Die Verfügbarkeit gemessener meteorologischer und hydrologischer Daten ist wie in vielen mediterranen Einzugsgebieten sehr gering. Das Fehlen dieser Daten reduziert die Möglichkeit einer adäquaten Kalibrierung und Validierung des Modells und der Modellergebnisse.

Aktuelle Fernerkundungsmethoden und Feldmessungen wurden eingesetzt um eine Verbesserung der hydrologischen Modellparametrisierung zu erreichen. In zwei Feldkampagnen wurden 250 Bodenproben erhoben und laboranalytisch ausgewertet. Verschiedene geostatistische Regionalisierungsmethoden wurden zu Verbesserung der Modellparametrisierung getestet. Die erhobenen Daten wurden freiverfügbaren Bodendaten gegenübergestellt, mit dem Ergebnis einer deutlichen Verbesserung der modellierten Bodenfeuchtewerte.

Zur Validierung der modellierten Evapotranspiration (ETR) wurden mit Hilfe von Landsat TM Daten monatliche Mittelwerte der ETR quantifiziert. Diese zeigen eine gute Übereinstimmung zu den modellierten ETR Mustern besonders in der landwirtschaftlichen Anbauphase. Als meteorologische Eingangsdaten wurden 4 Klimaprojektionen des ENSEMBLES-Projektes für eine Referenz-(1971–2000) und eine Zukunftsperiode (2041–2070) verwendet. Klimabedingte Änderungen wurden anhand hydrologischer Indikatoren untersucht. Während die Klimaprojektionen eine zukünftige Erhöhung der Niederschläge im Frühling aufweisen zeigen die ersten Modellergebnisse eine Verstärkung und ein früheres Einsetzten der sommerlichen Dürreperiode. Hieraus werden ein erhöhter Bewässerungsbedarf und eine Gefährdung der landwirtschaftlichen Produktion abgeleitet.

Optimierung der landwirtschaftlichen Praxis unter Klimawandel – Eine Modellstudie im Einzugsgebiet der Broye

Annelie Holzkämper, Tommy Klein, Jürg Fuhrer

Agroscope Reckenholz-Tänikon

Klimaänderungen stellen die Schweizer Landwirtschaft vor Herausforderungen. In Teilen der Schweiz ist die Agrarproduktion bereits heute von der Bewässerung abhängig und mit fortschreitender Klimaerwärmung ist in Zukunft häufiger mit Beeinträchtigungen durch Wassermangel zu rechnen. Wenn Gebietsabflüsse abnehmen und im Sommer, wenn das Wasser für das Pflanzenwachstum am nötigsten gebraucht wird, Wasserknappheit auftritt, kann die Agrarproduktion aber allein durch Bewässerung nicht genügend gesichert werden. Andere Anpassungsmassnahmen, wie z.B. Änderungen in der Wahl der angebauten Kulturen, in der Landnutzung oder im Betriebsmanagement müssen in Erwägung gezogen werden, um die Effizienz der Wassernutzung in der Landwirtschaft zu verbessern.

Im Einzugsgebiet der Broye in der Westschweiz untersuchen wir modellgestützt, wie sich zukünftige Klimaänderungen auf die Agrarproduktivität auswirken könnten, und welche Möglichkeiten es für die Anpassung gibt. Dabei berücksichtigen wir, dass die Landwirtschaft neben der Produktionsfunktion auch eine wichtige Rolle als "Ökosystemdienstleister" spielen soll, indem sie zum Beispiel zur Reinhaltung der Gewässer oder zum Bodenschutz beiträgt.

Es zeigt sich, dass bei gleichbleibender Praxis bis 2050 gegenüber heute (1981–2010) in dieser Region mit einer Abnahme der Produktivität zu rechnen ist, während Umweltauswirkungen, speziell Bodenerosion und Nährstoffauswaschung, gleichzeitig zunehmen. Mit einem multikriteriellen Optimierungsansatz werden räumlich explizite Anpassungsmöglichkeiten zur Erhaltung der Produktivität bzw. zur Reduktion der Umweltauswirkungen erarbeitet und für verschiedene Gewichtungen der einzelnen Funktionen Konflikte zwischen Produktion und Umweltwirkungen identifiziert. Es wird eine Kompromisslösung aufgezeigt, mit der die Agrarproduktion auch unter Klimawandel gewährleistet bleibt, und die gleichzeitig umwelt- und wasserschonend ist.

Die Entwicklung küstennaher Landschaften unter Klimawandel und sich ändernder hydrologischer Prozesses, eine Fallstudie in Ostfriesland

Thomas Gräff, Gabriele Baroni, Axel Bronstert, Clemens Brunk, Isabel Martínez, Sascha Oswald

Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam

Küstenregionen sind besonders stark durch die Folgen des Klimawandels betroffen. Die Erhöhung des Meeresspiegels führt einerseits zu erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeiten von Sturmfluten. Zusätzlich werden erhöhte Niederschlagsmengen im Winter erwartet. Das Wassermanagement des Hinterlandes wird durch diese Faktoren stark eingeschränkt sein und muss zusätzlich mit vermehrter Deichüberströmung arbeiten können. Für die Sommerperioden werden deutlich trockenere Zustände vorhergesagt. Die zu erwartenden Folgen sind ein Zustrom salzigen Grundwassers in das Hinterland.

In der hier vorgestellten Studie wird die Region Krummhörn in Ostfriesland an der Deutschen Nordseeküste betrachtet. Mehr als 30 % der Region liegen unter dem Meeresniveau. Um Vorhersagen für diese Region unter zukünftigen Klimabedingungen durchzuführen wurden zwei verschiedene Modellansätze in der Region entwickelt. Mit einem physikalisch basierten hydrologischen Modell werden Grundwasserintrusionen und Salzwassertransport durch potentielle Störungen in der geologischen Tondeckschicht an die Oberfläche, als auch Deichüberströmung und die Aussüßung des Hinterlandes im 2D Schnitt untersucht. Durch Lysimeterexperimente und Farbtraceranalysen im Feld wurden bodenphysikalische Kennwerte und präferentielle Fliesspfade ermittelt. Mit einem konzeptionellen Modellansatz wird das gesamte Einzugsgebiet des lokalen Entwässerungsverbandes modelliert, um Überstau im Winter und Trockenheit im Sommer bei verschiedenen Landnutzungsszenarien zu quantifizieren.

Mit der gegenwärtigen Landnutzung und den vorhandenen meteorologischen Zeitreihen werden die Modelle kalibriert und validiert. Klimasimulationen basierend auf RCM-Analysen des GCM Echam5 Modelllauf werden für die Prognosen zukünftige Zeiträume genutzt unter Verwendung von vier unterschiedlichen Landnutzungsszenarien. Dabei wurden die folgenden Szenarien aufgestellt: Neben der unveränderten aktuellen Landnutzung, Ausbau des Küstenschutzes, Extensivierung der Landnutzung und eine Kombination aus beiden.

Die Modellergebnisse werden die Grundlage für ökologische und ökonomische Studien darstellen um Prognosen über Vegetationsentwicklung und wirtschaftliche Entwicklungen in den Küstengebieten durchzuführen.

Einfluss prognostizierter Klimaveränderungen auf die Grundwasserneubildung in einem wasserwirtschaftlich sensiblen Teileinzugsgebiet der Elbe

Gundula Paul¹, Ralph Meißner², Gregor Ollesch³

¹Department Bodenphysik, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, 39114 Magdeburg, Deutschland,
²Department Bodenphysik, Lysimeterstation, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ,
39615 Falkenberg, Deutschland,

Die sich zukünftig ändernden klimatischen Bedingungen werden im Fläming, einem Teileinzugsgebiet der Elbe, zu einer Verschärfung von bestehenden Interessenkonflikten um die Ressource Wasser zwischen Wasserversorgern, Land- und Forstwirten führen. Da bereits heute das Elbeeinzugsgebiet mit mittleren jährlichen Abflussspenden von 5.4 l/s/km² zu den europaweit abflussärmsten großen Flussgebieten gehört, werden Fragen des Wassermanagements zukünftig noch bedeutsamer werden.

Um eine nachhaltige land- und wasserwirtschaftliche Bewirtschaftung dieser für die Trinkwasserversorgung sensiblen Region zu gewährleisten, sind Kenntnisse und Prognosen über die Entwicklung der jährlichen Sickerwasserraten unter den Bedingungen des klimatischen Wandels dringend notwendig. Die Sickerwasserbildung wird neben den klimatischen Verhältnissen wesentlich von der Landnutzungsart, den Bodeneigenschaften und dem Grundwasserflurabstand beeinflusst. Basierend auf dem TUB-BGR-Verfahren wird anhand von Beispielen gezeigt, wie sich Sickerwasserraten unter dem Einfluss von aktuellen und zukünftigen Klimabedingungen verändern werden und welchen Einfluss die Landnutzung darauf ausübt. Für die Fläming-Region wurden die jährlichen Sickerwasserraten für die Jahre 1990 bis 2070 berechnet. Während für die ersten 20 Jahre gemessene Klimadaten genutzt wurden, basieren die zukünftigen Prognosen über die Entwicklung der Grundwasserneubildung auf Daten aus dem neuen IPCC-Klimaszenario RCP 8.5 (Representative Concentration Pathway Scenario 8.5).

Basierend auf den vorliegenden Ergebnissen werden Probleme bezüglich der zukünftigen Sicherheit der Wasserversorgung diskutiert und Lösungsansätze für ein nachhaltiges Landmanagement in dieser Region vorgestellt.

³Flussgebietsgemeinschaft Elbe, Geschäftsstelle, 39104 Magdeburg, Deutschland

Grundwasserdatierung und Klimarekonstruktion

Roland Purtschert⁴, Rolf Kipfer², Z-T. Lu⁴, Neil Sturchio³

¹Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz,
²Department of Earth and Environmental Sciences, University of Illinois at Chicago,
³Physics Division, Argonne National Laboratory,
⁴Klima und Umweltpysik, Universität Bern

In den letzten 10–20 Jahren wurden Grundwasserleiter zunehmend als Klimaarchive in mittleren Breiten herangezogen und ergänzen somit die klassischen Klimaproxies in Eisbohrkernen, Seesedimenten oder Höhlenablagerungen. Die wichtigsten Instrumente sind hierbei das sogenannte Edelgasthermometer in Kombination mit quantitativer Grundwasserdatierung. Radioaktive Edelgasisotope spielen hierbei eine herausragende Rolle, weil sie chemisch inert sind und daher einfacher zu interpretieren sind im Sinne von Grundwasserverweilzeiten. Im Gegenzug sind sie aber sehr schwierig zu messen. So war die Messung mittels der Zähltechnik ("low-level-counting") bisher die einzige Methode für den Nachweis von radioaktivem Argon-39 und Krypton-85 auf atmosphärischem Level.

Seit neuster Zeit stehen aber hochmoderne Lasermethoden zur Verfügung, die die Grundwasserdatierung über Zeitskalen von Jahrzehnten bis Jahrmillionen ermöglichen. Im Vortrag werden Technik und Anwendung dieser Datierungsmethoden im Zusammenhang mit Klimarekonstruktionen diskutiert.

Session 3: Wasserkreislauf und Klimaänderung

Poster

Modellierung der Auswirkungen der Land- und Klimaänderungen auf die Hydrologie des Urserntals (Schweiz)

Abdallah Alaoui, Guido Felder, Elias Willimann, Rolf Weingartner

Oeschger Zentrum für Klimaforschung, Gruppe für Hydrologie, Geographisches Institut, Universität Bern

Obwohl viele Studien zur Untersuchung der Auswirkungen der Klimaänderung auf die Hydrologie in gebirgigen Einzugsgebieten durchgeführt wurden, bestehen immer noch grosse Unbekannten hinsichtlich der Interaktion zwischen den Landnutzungsänderungen und den Klimakomponenten und deren Auswirkungen auf die Hydrologie der alpinen Regionen.

Um geeignete Strategien zur Entwicklung dieser Regionen entwerfen zu können, müssen die hydrologischen Komponenten besonders berücksichtigt werden. Infolgedessen bezweckt diese Studie, durch Modelsimulationen herauszufinden, welche Auswirkungen die Ausbreitung von Buschlandschaft (zukünftiges Szenario) auf die Hydrologie haben wird und die Ergebnisse mit denen der Auswirkung der verschwindenden Graslandschaften (vergangenes Szenario) zu vergleichen. Um dies zu erreichen wurden an dem zentralalpinen Einzugsgebiet von Urserntal (191 km²) zwei verschiedene räumlich verteilte Einzugsgebietsmodelle über die Periode von 1983 bis 2005 angewandt. Die diesbezüglich verwendeten Modelle waren das physikalisch basierende WaSiM-ETH Modell und das konzeptionell strukturierte PREVAH Modell basierend auf hydrologischen Resonanzeinheiten. Beide Simulationsresultatmodelle zeigten, dass Landnutzungsveränderungen eine geringfügige Auswirkung auf die Hydrologie der Region haben. Und dies, obwohl es in den Simulationsmodellen einen signifikanten Unterschied der Böden, der Hauptvegetation und der daraus folgenden Bodenstruktur gibt. Diese Resultate können auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass Böden sehr untief und eine minimale Wassereinlagerungskapazität über einen grösseren Zeitrahmen haben. Ausserdem verfügen beide Vegetationstypen über verschiedene Evapotranspiration, welche wiederum auf wichtigen Faktoren, wie der Schneeschmelze und dem Gletscherabfluss, basieren. Die signifikante Abnahme des Sommerabflusses während der Monate Juli, August und September verdeutlicht eine Veränderung von dem b-glazio-nivalen Regime zu einem nivoglazialen Regime. Diese Veränderungen lassen sich dadurch erklären, dass die Schnee- und Gletscherschmelze heute früher im Jahr einsetzen.

CCLM-Daten in Wasserhaushaltsmodellen: Auswirkungen der Bias-Korrektur und des Skaleneffekts auf die Simulationsgüte

Markus C. Casper¹, Oliver Gronz¹, Oliver Gutjahr², Günther Heinemann², Rita Ley¹, Marlen Wittig¹

¹Abt. Physische Geographie, Universität Trier, 54286 Trier, Deutschland, ²Abt. Umweltmeteorologie, Universität Trier, 54286 Trier, Deutschland

Die Planung wasserwirtschaftlicher Anlagen oder die Bemessung des Hochwasserschutzes kann heute nicht mehr auf Basis gemessener Zeitreihen erfolgen. Die Annahme einer Stationarität wird durch den Klimawandel verletzt. Daher müssen geeignete Projektionen des zukünftigen Klimas zur Verfügung stehen. Um valide Aussagen für mesoskalige Einzugsgebiete im Mittelgebirge zu treffen, sind Simulationsläufe mit Regionalmodellen möglichst in stündlicher Auflösung notwendig. Nur diese können den Einfluss der Topographie auf Niederschlag und Temperatur ausreichend berücksichtigen. Außerdem sind nur Regionalmodelle auf der < 3 km-Skala in der Lage, konvektive Ereignisse explizit abzubilden, wohingegen diese auf den gröberen Skalen parametrisiert werden müssen. Deshalb sind nur solch extrem hochaufgelöste Modelle geeignet, Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität konvektiver Niederschlagsereignisse (räumlich) korrekt abzubilden. Allerdings weisen die Datenfelder von allen Klimamodellen oft einen nicht unerheblichen Bias auf, weshalb sie vor ihrer Verwendung als Antrieb für hydrologische Modelle korrigiert werden müssen.

In dieser Studie sollten daher zwei zentrale Fragen beantwortet werden:

- 1. Wie groß ist der Skaleneinfluss auf die Abflusssimulation in mesoskaligen Einzugsgebieten?
- 2. Wie stark wird die Bias-Korrektur durch Fehler unterschiedlicher räumlicher Interpolationen der Messdaten aus der Referenzperiode beeinflusst?

Dazu quantifizieren wir den Effekt der unterschiedlichen Eingangsdaten auf Ergebnisse hydrologischer Simulationen mithilfe geeigneter Indikatoren zur Beschreibung des Abflussverhaltens. Es stehen uns Temperatur- und Niederschlagszeitreihen von hochaufgelösten COSMO-CLM-Läufen für mehrere mesoskalige Pegeleinzugsgebiete im Einzugsgebiet der Nahe in Rheinland-Pfalz zur Verfügung: Ein Referenzlauf (1991–2000) und ein Lauf zum Szenario A1B (2091–2100), jeweils in den räumlichen Auflösungen 1.3 x 1.3 km² und 4.5 x 4.5 km², die zeitliche Auflösung beider Datensätze beträgt 1 Stunde. Die Rohdaten wurden mithilfe eines parametrischen Bias-Korrekturverfahrens auf der Basis zweier deutlich verschiedener Messdatensätze (REGNIE des DWD und INTERMET des LUWG/Mainz) modifiziert.

Es kann gezeigt werden, dass sowohl die räumliche Auflösung als auch die räumliche Interpolationsmethode der Messdaten der Klimastationen einen sehr großen Einfluss auf die hydrologische Modellierung hat. Der Fehler steigt in Abhängigkeit von der Topographie bzw. der zu erwartenden Niederschlagsvariabilität.

Zehn Jahre qualitätsgeprüfter und angeeichter Radardaten für die Wasserverbände in NRW – Methodik und Anwendungen

Thomas Einfalt¹, Adrian Treis², Inga Frerk¹, Angela Pfister², Markus Jessen¹

¹hydro & meteo GmbH & Co. KG, Breite Str. 6-8, 23552 Lübeck, ²Emschergenossenschaft, Kronprinzenstraße 24, 45128 Essen

Zehn Wasserverbände in Nordrhein-Westfalen haben im Jahr 2007 unter der Federführung von Emschergenossenschaft und Lippeverband eine Kooperationsvereinbarung mit dem Deutschen Wetterdienst geschlossen, in deren Rahmen seither ein umfangreicher Daten- und Leistungsaustausch stattfindet sowie gemeinsame Projekte durchgeführt werden. In dieser sogenannten Radarkooperation wurden zehn Jahre qualitätsgeprüfter und angeeichter Radarniederschlagsdaten aufbereitet.

Die Daten haben eine räumliche Auflösung von etwa 1 km² und einen Zeitschritt von 5 Minuten. Diese Grundlagendaten, Radar gemessene Niederschlagswerte als DX-Produkt des Deutschen Wetterdienstes mit den Radarstandorten Essen, Neuheilenbach und Flechtdorf und terrestrische Niederschlagsdaten aus Regenschreibern von mehr als 500 Stationen der Wasserverbände und des Landes NRW wurden intensiv qualitätsgeprüft und korrigiert. Die erstellten Daten werden insbesondere bei der Niederschlag-Abfluss-Simulation eingesetzt. Ferner werden sie zur Einschätzung des Hochwasserrisikos herangezogen. Besonders Ereignisse, die zu Hochwasser geführt haben, ohne dass benachbarte Niederschlagsstationen ungewöhnliche Regenhöhen gemessen haben, können jetzt besser untersucht und erklärt werden. In diesem Beitrag werden Anwendungsbeispiele vorgestellt, Schlussfolgerungen gezogen und es wird ein Ausblick auf weitere Entwicklungen gegeben.

Evaluierung des SWAT-Modells im Kontext von Klimaveränderungen für das Einzugsgebiet der Treene / Schleswig-Holstein

Björn Guse, Matthias Pfannerstill, Nicola Fohrer

Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Deutschland

Die Modellierung von Klimaszenarien mit Hilfe von hydrologischen Modellen ist eine wichtige Komponente zur Abschätzung zukünftiger hydrologischer Entwicklungen. Die Anwendung von hydrologischen Modellen für langjährige Klimaszenarien basiert hierbei darauf, dass die zukünftige hydrologische Situation durch ein an rezente Daten kalibriertes hydrologisches Modell repräsentiert werden kann.

Die Gültigkeit der Annahme einer Eignung eines hydrologischen Modells für Zukunftsszenarien lässt sich einerseits durch einen Vergleich der gemessenen rezenten mit den prognostizierten Klimagrößen abschätzen. Andererseits können die Phasen des größten Einflusses durch Klimaveränderungen mit der zeitlichen Variation der Modellgüte verglichen werden. Dieser Vergleich zeigt, für welche Phasen der Abflusszeitreihen und Modellkomponenten eine Verbesserung des Modells notwendig ist, um die Adaption an zukünftige Gegebenheiten zu erhöhen.

Hierzu wird das ökohydrologische Modell SWAT für das Treene-Einzugsgebiet unter der Verwendung von sechs Abflusspegeln kalibriert. Die Mehrpegelkalibrierung führt insgesamt zu einer guten Übereinstimmung von gemessener und modellierter Abflusszeitreihe. Dies zeigt sich sowohl visuell als auch in vier verschiedenen Güteparametern. Durch die Analyse der Abflusszeitreihe und von monatlichen Abflussdauerlinien zeigt sich, dass die größten Abweichungen zwischen modellierten und gemessenen Abflüssen in Herbstmonaten nach trockenen Sommern auftreten.

Das kalibrierte SWAT-Modell wird in einem zweiten Schritt für Klimaszenarien verwendet. Hierbei werden zwei unterschiedliche Szenarien des STAR-Modells mit linearen Temperaturanstiegen von 0 K bzw. 3 K bis 2060 miteinander verglichen und vier Zeiträumen mit zehnjähriger Länge unterschieden. Die wesentliche Änderung ist ein niedrigerer Abfluss im 3K-Szenario von August bis November. Zudem nehmen die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien zum Ende der Modellierungsperiode hin zu.

Der Vergleich des Klimaszenarios mit der Modellkalibrierung für die jetzigen Bedingungen zeigt, dass die Monate der größten Änderung im Abfluss mit der Phase der größten Abweichungen des Modells von der Realität übereinstimmen. Diese Übereinstimmung wird mit der Struktur des Modells verglichen und im Kontext der dominanten hydrologischen Prozessen und Modellparameter diskutiert. Hieraus ergibt sich ein steigender Bedarf für eine Änderung des Grundwassermoduls in SWAT, um die Modellierung von Niedrigwasserphasen zu verbessern.

Interaktion von Seen mit lokalen Grundwasserleitern – Umweltisotope als Unterstützung für Wasserbilanzuntersuchungen

Till Harum, Albrecht Leis, Christian Reszler

Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH

Anhand von zwei kleinen alpinen Seen mit gänzlich unterschiedlichen hydrogeologischen Rahmenbedingungen (Karst- und Porengrundwasser) und Zirkulationsverhalten wird dargestellt, dass die stabilen Umweltisotope Sauerstoff-18 und Deuterium relevante Informationen über Verdunstungsprozesse, Zu- und Abstrom von Grundwasser sowie das Zirkulationsverhalten in Seen liefern. Weiters ermöglichen Untersuchungen des radioaktiven Isotops Tritium und dessen Zerfallsprodukts Helium Aussagen über mittlere Verweilzeiten in den tieferen Seenbereichen. Umfangreiche Isotopenmessprogramme wurden erstellt. Aus den Messreihen lassen sich sowohl Verbindungen zwischen Seen und Quellen nachweisen und die Seewasseranteile in Quellen quantifizieren als auch Grundwasserzutritte in den Seen detektieren. Diese wichtigen Informationen finden Eingang in die Wasserhaushaltsberechnungen, in welchen die Gesamtzu- und -abflüsse auch anhand eines hydrologischen Modells ermittelt werden. Mit Hilfe des verifizierten hydrologischen Modells werden sowohl vergangene Entwicklungen der Wasserbilanzparameter als auch Zukunftsszenarios mit veränderten klimatischen Bedingungen abgeschätzt. Die Kombination von Isotopenuntersuchungen und hydrologischer Wasserbilanzmodellierung liefert wichtige Parameter für die limnologische Bewertung von Seen und deren mögliche klimabedingte Veränderungen.

Koinzidente Beobachtung von Wolkenwasser, Wasserdampf und Aerosol Optische Dicke

Klemens Hocke^{1,3}, Niklaus Kämpfer^{1,3}, Oliver Stähli¹, Michael Riffler^{2,3}, Stefan Wunderle^{2,3}, Christian Mätzler^{1,3}

¹Institut für Angewandte Physik, Universität Bern, 3012 Bern, Schweiz,
 ²Geographisches Institut, Universität Bern, 3012 Bern, Schweiz,
 ³Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern, 3012 Bern, Schweiz

Die kombinierte Auswertung der Langzeitreihen von Wolkenwasser und Wasserdampf über Bern (bodengestützte Mikrowellenradiometrie) und der Langzeitreihe der Aerosol Optischen Dicke über Bern (Satellitendaten) verspricht Fortschritte in der Wolkenerkennung in Messdaten. Eine zuverlässige Erkennung von Wolken ist wichtig für die Trendanalyse von Spurengaskonzentrationen, die z.B. mit Differentieller Optischer Absorptionsspektroskopie (DOAS) gemessen werden. Weiterhin ist die Wolkenerkennung auch Basis für die Trendbestimmung von Wolkenwasser, das schwer zu messen ist. Es gibt fast keine gesicherten Beobachtungen von Wolkenwasser, obwohl es eine Schlüsselrolle in den Klimamodellen und Klimaprojektionen spielt. Das Institut für Angwandte Physik misst Wolkenwasser mit einem Drei-Kanal-Mikrowellenradiometer seit 1994. Im Rahmen des Oeschger-Zentrum ist eine Zusammenarbeit von GIUB und IAP entstanden, um mit Satelliten- und bodengestützter Fernerkundung die Rolle von Wolken im Klimasystem zu bestimmen.

Ermittlung der Klimasignale für Baden-Württemberg anhand der Analyse von Kennzahlen aus einem Klimaprojektions-Ensemble

Kai-Achim Höpker¹, Kai Gerlinger², Andreas Wagner²

¹Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Griesbachstr. 1, 76185 Karlsruhe, ²HYDRON – Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH, Haid-und-Neu-Straße 7, 76131 Karlsruhe

Für die Ableitung zukünftiger klimatischer Rahmenbedingungen für Baden-Württemberg wurden die Ergebnisse regionaler Klimaprojektionen ausgewertet. Um die Zuverlässigkeit der Aussagen zu erhöhen, wurden dabei die Ergebnisse eines Ensembles aus 29 verschiedenen Klimaprojektionen analysiert. Die Klimaprojektionen wurden für den Ist-Zustand (1971–2000), für die nahe Zukunft (2021–2050) und für die ferne Zukunft (2071–2100) gemeinsam ausgewertet.

Aus den 29 Klimaprojektionen wurden zunächst fünf Klimaprojektionen ausgeschlossen, die für Baden-Württemberg aufgrund von deutlich unrealistischen Ergebnissen für die Simulation des derzeitigen Klimas ungeeignet erscheinen. Somit standen 24 Klimaprojektionen für die Auswertung der nahen Zukunft zur Verfügung. Für die ferne Zukunft sind generell weniger Klimaprojektionen verfügbar, hier wurden 15 Klimaprojektionen ausgewertet. Aus den vier Klimaparametern Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit wurden 28 Kennzahlen (wie z.B. Niederschlag im Winterhalbjahr, Tage mit Starkniederschlag) abgeleitet und für die Landesfläche von Baden-Württemberg bezogen auf ein 25 x 25 km²-Raster analysiert. Aus der Änderung der Werte für beide Zeiträume in der Zukunft zum Ist-Zustand ergeben sich die flächendifferenzierten Klimasignale für jede Kennzahl.

Durch die Auswertungen der verschiedenen Klimaprojektionen war es möglich, die zu erwartenden zukünftigen Entwicklungen aufzuzeigen:

- Für alle Kennzahlen der Temperatur ergibt sich eine deutliche Veränderung der Werte in der Zukunft zum Ist-Zustand und somit ein starkes Klimasignal mit hoher Richtungssicherheit. Es kann von einer Temperaturzunahme in der Zukunft ausgegangen werden.
- Der Klimaparameter Niederschlag ist schwieriger zu simulieren als die Temperatur. Entsprechend sind die Streuungen der Klimaprojektionen in der Regel höher als bei der Temperatur. Die Stärke des Klimasignals ist je nach Kennzahl unterschiedlich und die Richtungssicherheit ist weniger deutlich als bei den Kennzahlen der Temperatur.
- Die Kennzahlen der Globalstrahlung sind geprägt von hohen Streuungen. Die Änderungen zur Zukunft hin sind im Mittel sehr klein.
- Für die Kennzahlen der Windgeschwindigkeit sind kaum Änderungen zur Zukunft hin zu erwarten. Die Stärke des Klimasignals ist gering.

Mit Hilfe einer statistischen Auswertung wurde die Bandbreite der Klimaprojektionen analysiert und Werte für die Kennzahlen als "klimatische Leitplanken" angegeben (Box-Whisker-Plots, Perzentildarstellungen). Diese Werte können für Vulnerabilitätsanalysen oder die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen herangezogen werden. Durch die durchgeführte Bewertung mit Angabe der Streuungen und der Richtungssicherheit kann die Zuverlässigkeit und Belastbarkeit der Anhaltswerte für die jeweilige Kennzahl eingeschätzt werden. Damit lassen sich basierend auf den derzeitig verfügbaren Klimaprojektionen qualitative als auch quantitative Aussagen zum Klimawandel in Baden-Württemberg treffen.

Das Jahr 2011: Ein Jahr hydrologischer Extreme in Deutschland?

Irene Kohn¹, Daphné Freudiger¹, Klemens Rosin¹, Kerstin Stahl¹, Markus Weiler¹, Jörg Uwe Belz²

¹Institut für Hydrologie, Univ. Freiburg, ²Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

In weiten Teilen Deutschlands begann das Jahr 2011 im Januar mit einem Hochwasserereignis, wodurch es insbesondere an Elbe und Oder zu Überschwemmungen und langanhaltenden Vernässungsproblemen kam. Der weitere Verlauf des Jahres wurde geprägt von zwei Niedrigwasserereignissen, eines im späten Frühjahr und nochmals eines im späten Herbst, die u.a. zu Einschränkungen in der Schifffahrt führten. Wie extrem waren diese Ereignisse statistisch gesehen? Der Beitrag stellt die Ergebnisse einer Dokumentation des Abflussverhaltens 2011 an über 300 Pegeln in Deutschland vor. Die Studie ordnet die Ereignisse insbesondere in das Langfristverhalten seit 1944 sowie die langjährigen saisonalen hydrometerologischen und hydrologischen Bedingungen ein. Zudem wurden die Grundwasserverhältnisse an über 300 Grundwasserstands- und Quellschüttungsmessstellen ausgewertet.

Die Jährlichkeiten des Januarhochwassers fielen stark unterschiedlich aus. Die genauere Betrachtung der meteorologischen und hydrologischen Entstehung zeigte, dass hohe Jährlichkeiten stark mit den Vorbedingungen dieses Regen-auf-Schnee Ereignisses zusammenhingen. Bei den Niedrigwasserereignissen waren insbesondere das saisonale Auftreten (v.a. das Frühjahrsniedrigwasser) und die Andauer als extrem zu bezeichnen. Obwohl der Sommer feuchter als im langjährigen Mittel ausfiel und es regional sogar erneut zu bedeutenden Hochwasserereignissen kam, ergab sich insbesondere an den großen deutschen Flüssen insgesamt für das Jahr 2011 ein erhebliches Abflüssdefizit, wenngleich dies selten in absolut extrem niedrige Abflüsse resultierte.

Insgesamt kann das Jahr 2011 weniger wegen seiner Einzelereignisse, sondern hauptsächlich wegen des Auftretens mehrerer Extremphasen innerhalb eines Jahres als besonders angesehen werden. Somit hatten die Ereignisse an sich auch keinen Einfluss auf langjährige Hoch und Niedrigwasser Trends. Die extreme Spannbreite der Abflüsse 2011 und der sehr ungewöhnlichen jahreszeitlichen Verlauf weisen darauf hin, dass Klimaänderungsstudien verstärkt auch solche Charakteristika betrachten sollten. Dies unterstreicht auch die Erfahrung, dass sich die festgestellten regionalen Unterschiede hinsichtlich des Ausmaßes der Ereignisse 2011 eher durch unterschiedliche hydrologische Vorgeschichten und Ausgangsbedingungen als durch markante Unterschiede der direkten hydrometeorlogischen Randbedingungen erklären lassen.

SeCom 2.0 – Serious Community 2.0 prevent Flooding

Jürgen Komma¹, Hanni Sewilam², Roman Breuer², Francesca Concia³, Bruno Aliprandi³

¹Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Österreich,

²Department of Engineering Hydrology, RWTH Aachen, Deutschland,

³METID Centre, Polytechnic University of Milan, Italien,

⁴Hochwasser Kompetenz Centrum, Köln, Deutschland,

⁵Zone 2 Connect, Meerbusch, Deutschland

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung und Erstellung eines innovativen und dynamischen Plattform für die Aus- und Weiterbildung von Studenten und Professionisten aus dem Wassersektor. Um die Umsetzung und Implementierung der EU Hochwasserrichtlinie fachgerecht und kompetent zu realisieren besteht ein hoher Bedarf an qualifizierten Fachpersonal. Das Ziel des hier beschriebenen Aus- und Weiterbildungsprogramms ist das Training und die generelle die Weiterbildung von a) Studenten und b) Professionisten die thematisch mit dem Hochwasserriskomanagement verknüpft sind. Ein weiterer Aspekt bei der Entwicklung dieser Lernplattform ist die möglichst enge Vernetzung von Universitäten mit den Hochwasserdiensten und Ingenieurbüros. Das webbasierte Lernsystem beinhaltet dabei Online-Bewertungen des aktuellen Wissenstandes, Informationen und Lernunterlagen sowie ein Online-Spiel zur Bewältigung von spezifischen Aufgaben des Hochwasserrisikomanagements.

Trendanalysen von hydroklimatischen Stationsdaten aus Tirol in täglicher Auflösung

Christoph Kormann, Till Francke, Axel Bronstert

Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, 14476 Potsdam, Deutschland

Im letzten Jahrhundert stiegen die Temperaturen in der Alpenregion, verglichen mit dem globalen Mittelwert, etwa doppelt so stark an. Aus diesem Grund werden in den Alpen stärkere Auswirkungen des Klimawandels auf die lokale Hydrologie und Klimatologie als im umliegenden Flachland erwartet. Trotzdem konnten bisherige Trendstudien von hydroklimatischen Stationsdaten, außer natürlich bei Untersuchungen der Temperaturdaten, nur unzureichende und wenig eindeutige Ergebnisse liefern. Diese Analysen basierten jedoch auf der Berechnung von Trends von gemittelten Daten, wie z.B. jährliche, saisonale oder monatliche Mittel, und konnten deshalb höchstwahrscheinlich nicht die Dynamiken auf kleinerer zeitlicher Skala erfassen. In der vorliegenden Studie wurde ein Verfahren verwendet, das tägliche Trends basierend auf 30-Tages-Mittelwerten nutzt. Damit können Trendzeitpunkt und -magnitude auf den Tag genau bestimmt werden. Ähnlich der Anwendung eines gleitenden Mittels wird ein Datensatz in eine Sequenz von 30-Tages-Mittelwerten aufgeteilt und auf Trends an allen 365 Tagen des Jahres getestet. Die Ergebnisse wurden für unterschiedliche Zeiträume bestimmt und miteinander verglichen. Es wurden Tagesmittel bzw. -summen von Temperatur, Niederschlag, Schneefall, Schneehöhe und Abfluß in der inneralpinen Trockenregion nördlich des Alpenhauptkamms in Tirol untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die große Mehrheit der Veränderungen zwischen Frühling und Sommer stattgefunden hat, vermutlich ausgelöst durch den starken Temperaturanstieg in diesem Zeitraum. Temperatur-, Abfluß- und Schneetrends zeigen eine Verstärkung in den letzten Dekaden. Außerdem wird deutlich, dass konventionelle Trendanalysen, bei denen alpine Flüsse unterschiedlicher Regimetypen untersucht werden, oft fälschlich interpretiert werden. Die Ergebnisse sind konsistent über das gesamte Untersuchungsgebiet und die unterschiedlichen Untersuchungszeiträume. Die vorgeschlagene Methode stellt eine einfache und doch leistungsfähige Alternative zu konventionellen Trendanalysen dar.

Hydrometeorologische Grundlagen für die Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf die Naturgefahrensituation im Pereiglazialraum

Peter Mani¹, Daniel Tobler², Serena Liener¹, Nils Hählen³

¹geo7 AG, geowissenschaftliches Büro, 3012 Bern, ²Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen, ³Oberingenieurkreis I, Schlossberg 20, 3601 Thun

Die durch den Klimawandel verursachten Veränderungen im Wasserkreislauf haben gravierende Auswirkungen auf die Naturgefahrensituation. Dies gilt insbesondere für die Gefahrenprozesse aus dem Periglazialraum. Hier sind in den nächsten Jahrzehnten wesentliche Veränderungen zu erwarten. Der Kanton Bern hat deshalb entschieden, die durch den Klimawandel bedingten Veränderungen bei den Naturgefahren und deren Auswirkungen auf Siedlungen und Infrastrukturen untersuchen zu lassen.

In einem ersten Perimeter, der Grimselpassstrasse zwischen Innertkirchen und Passhöhe wird untersucht, wie sich die Gefahrensituation bis ins Jahr 2060 bezüglich der räumlichen Verbreitung, der Ereignisgrösse und der Ereignishäufigkeit verändern wird. Grundlage dazu bilden hydrometeorologische Szenarien für zwei Zeiträume, 2035 und 2060. Für die Herleitung der Szenarien werden drei Ansätze verwendet:

- Auswertung der Klimaszenarien CH2011: Aus den Ensemble-Daten werden für das Grimselgebiet saisonale Szenarien für die Temperatur und den Niederschlag hergeleitet. Neben den Mittelwerten sind auch Veränderungen bei der Variabilität und den Extremwerten von Interesse, wobei hier die für die Berechnung der CH2011-Szenarien eingesetzte Delta-Change Methode Limiten setzt.
- 2. Analyse von Niederschlagsmessreihen: Da in den Klimaszenarien der Niederschlag mit grossen Unsicherheiten behaftet ist, wird zusätzlich untersucht, ob die Niederschlagsmessreihen Hinweise auf mögliche Veränderungen geben. Dazu wird einerseits eine zeitlich gleitende extremwertstatistische Analyse durchgeführt, andererseits wird die Abhängigkeit von kurzzeitigen Starkregen von der Temperatur untersucht.
- 3. Analyse von Wetterlagen: In einem ersten Schritt wird analysiert, welche Wetterlagen mit grossen Ein- und Mehrtagesniederschlägen in Zusammenhang stehen. Anschliessend wird überprüft, ob sich bei diesen relevanten Wetterlagen die Häufigkeit des Auftretens verändert hat.

Die für das Grimselgebiet hergeleiteten Szenarien bilden die Grundlage für die Definition der Gletscherrückzugsszenarien und die Abschätzung der Veränderungen von Ereignisgrösse und -häufigkeit von Murgängen, Felsstürzen und Rutschungen. Vorgestellt werden die Methoden für die Herleitung der hydrometeorologischen Szenarien und die Resultate für das Untersuchungsgebiet entlang der Grimselpassstrasse.

Der Einfluss der Lufttemperatur auf Starkniederschläge

Peter Molnar, Claudio Berger

Inst. Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich, 8093 Zürich, Schweiz

Es wird gemeinhin angenommen, dass beobachtete und zukünftige Niederschlags-Extreme von der Menge an niederschlagbarem Wasser in der Atmosphäre limitiert werden. Wenn die relative Luftfeuchtigkeit im Durchschnitt konstant bleibt, dann ist die Menge an niederschlagbarem Wasser eine Funktion der Menge an gesättigtem Wasserdampf welche wiederum temperaturabhängig ist. Diese Abhängigkeit wird von der Clausius-Clapeyron (CC) Beziehung beschrieben – einen Anstieg des gesättigten Wasserdampfes von 7% pro Grad Anstieg der Lufttemperatur. Mehrere Studien haben gezeigt, dass hohe Niederschlagsintensitäten einen Anstieg zeigen, welcher den 7% der CC-Beziehung folgt. Gleichzeitig zeigen die Studien einen höheren Anstieg bei höheren Temperaturen.

In dieser Studie soll anhand langjähriger Beobachtungsreihen von cca 50 SwissMetNet Messstationen die CC-Beziehung von Niederschlagsextremen und Lufttemperatur bestätigt werden. Hauptsächlich werden Niederschlagsdaten in stündlicher Auflösung analysiert. Der Anstiegsgradient von verschiedenen Perzentilen der Niederschlagsintensitäten in Abhängigkeit der Temperatur wird für das kalte und das warme Halbjahr separat abgeschätzt. Im warmen Halbjahr wird die CC-Beziehung zusätzlich auf der Basis von einzelnen Niederschlagsereignissen analysiert, wobei eine neue Methode angewandt wird um die Ereignisse objektiv in Luftmassen- und Frontgewitter zu unterteilen. Die Ziele dieser Studie sind es erstens, die zeitliche und räumliche Variabilität des Gradienten der Niederschlagsintensität Temperatur Beziehung aufgrund von langjährigen Beobachtungen in der Schweiz aufzuzeigen und zweitens, erste Erkenntnisse über die Rolle die der Niederschlagstyp in dieser Beziehung spielen könnte. Die Studie soll eine solide Datengrundlage bieten, um Fragen wie die Intensivierung des hydrologischen Zyklus in der Zukunft diskutieren zu können.

Einfluss von Trockenstress und Buchdruckerbefall auf den Bodenwasserhaushalt und das Baumwachstum von Fichten

Yvonne Morgenstern¹, Sonia Ortiz²

¹Abt. Boden und Umwelt, Forstlich Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 79100 Freiburg, Deutschland, ²Abt. Biometrie, Forstlich Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 79100 Freiburg, Deutschland

Durch den prognostizierten Klimawandel in Mitteleuropa ist mit einem häufigeren Auftreten von extremen Wetterereignissen (Stürme und lange Trockenwetterperioden) zu rechnen. Die Folgen wären ein erhöhtes Auftreten von Käferkalamitäten und ein geringeres Baumwachstum. Um diese These zu untersuchen, wurde im Jahr 2009 ein Feldversuch auf einer 10 ha großen Versuchsfläche bei Biberach in Baden-Württemberg durchgeführt. Auf dieser wurde Wasserstress und Buchdruckerbefall experimentell verursacht. Die Feldversuche dienten vorrangig als Referenzdaten zur Entwicklung eines satellitengestützen Waldmonitoringsystems mit TerraSAR-X und RapidEye Bildern. Des Weiteren wurden die Daten des Experiments genutzt, um Wasserhaushaltsberechnungen durchzuführen, kritische Trockenstressphasen zu bestimmen und mit Jahrringanalysen zu vergleichen.

Innerhalb der Versuchsfläche wurden sechs Fichtengruppen von jeweils acht Bäumen ausgesucht. Die Fläche A1 wurde als Nullfläche ohne Behandlung definiert. An drei Fichtengruppen (A2, B2, W2) wurden Lockstoffe (Pheromondispenser) befestigt. Des Weiteren wurde durch Wurzelkappung an zwei Fichtengruppen (W1, W2) und durch Errichtung von Trockendächern an zwei weiteren Gruppen (B1, B2) Wasserstress an den Bäumen verursacht.

Auf allen Plots wurde die Bodenfeuchte in drei Bodentiefen 0, 30 und 60 cm im 14-tägigen Abstand gemessen. Diese Daten dienten zur Kalibrierung des 1D-Wasserhaushaltsmodells LWF-Brook90. Aufgrund der geringen Datenmenge und des großen Bandbreite an Modellparametern wurde zunächst eine Sensitivitätsanalyse (Monte-Carlo Ansatz) und anschließend eine Parameteroptimierung mit dem SCEM-UA Algorithmus pro Plot durchgeführt. Anhand der Modellierungsergebnisse konnte die zeitliche Entwicklung der Bodenwassermenge und der Transpirationsraten pro Tag dargestellt werden. Für jeden Plot wurde eine kritische Trockenstressgrenze bestimmt, ab der Wachstumseinschränkungen auftreten könnten. Diese stellt sich bei Fichte bei einem Matrixpotential von ca. -1100 hPa ein. Auf den Flächen B1 und B2 (mit Dach) wurde diese kritische Trockenstressgrenze nach 21 bzw. 33 Tagen unterschritten. Zur Überprüfung der Modellergebnisse wurden an jeder Baumgruppe je drei Bohrkerne entnommen und Jahrringbreiten für die Jahre 2008 bis 2010 bestimmt. Im Gegensatz zur Modellierung reagierten alle behandelten Baumgruppen mit Wachstumseinschränkungen im Vergleich zur Nullfläche, die sogar ein deutlich stärkeres Wachstum im Jahr 2009 aufwies. Die wöchentlichen Beobachtungen der Bäume bzgl. Harzaustritt, Bohrmehl, Nadelverlust, Rindenverlust oder Tod der Bäume konnten ebenfalls zur Validierung der Modellergebnisse herangezogen werden.

Mit Hilfe der Feldversuche konnte gezeigt werden, dass durch Trockenstress die Anfälligkeit der Bäume auf Buchdruckerbefall verstärkt wird und es zu Baumwachstumseinschränkungen kommt. Die Unterschiede zwischen gesunden und gestressten Bäumen waren auch in den Satellitendaten wiederzufinden.

Hochwasserhäufigkeiten an der unteren und mittleren Elbe – Wie beeinflussen Extremereignisse der letzten Jahre die wasserwirtschaftliche Bemessungspraxis?

Christoph Mudersbach, Jens Bender, Arne Arns, Jürgen Jensen

Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, Universität Siegen, 57076 Siegen, Deutschland

In den vergangenen Jahrzehnten sind verschiedene Extremereignisse an unterschiedlichen Flüssen in Deutschland aufgetreten. Insbesondere die Extremereignisse an der Elbe in den Jahren 2002, 2006 und 2011 führen in der öffentlichen Wahrnehmung zu der Annahme, dass es eine Häufung derartiger Ereignisse gibt. Da die wasserwirtschaftliche Bemessungspraxis in der Regel auf einer Häufigkeitsanalyse (Extremwertanalyse) von Abflüssen bzw. Wasserständen basiert, kann ein vermehrtes Auftreten von Extremereignissen zu geänderten Bemessungswerten, wie z.B. HQ100, führen.

In der vorliegenden Studie wurde das Abflussverhalten und die Häufigkeitsverteilung von Hochwasserabflüssen am Pegel Neu Darchau (Elbe) anhand eines aktuellen und verbesserten Datensatzes analysiert. Als Datengrundlage standen die Tagesmittelwerte des Abflusses vom 01.11.1874 bis zum 31.10.2011 zur Verfügung. Das in den Daten größte vorhandene Ereignis vom 25.03.1888 (4400 m³/s, Eishochwasser) wurde aufgrund neuerer Erkenntnisse (WSA Lauenburg) auf einen Wert von 2310 m³/s reduziert. Der Pegel Neu Darchau ist der letzte stromabwärts gelegene Abflusspegel und kann somit als Proxy für den Gesamtabfluss der Elbe angesehen werden und hat für wasserwirtschaftliche Bemessungsaufgaben im Bereich der unteren Mittelelbe und der Unterelbe eine besondere Bedeutung, solange nicht die Tide das dominierende Wasserstandssignal darstellt.

In einem ersten Schritt wurde eine eingehende Analyse der inter- und intra-annualen Abflussvariabilität durchgeführt. Es zeigt sich unter anderem, dass der saisonale Zyklus eine hohe inter-annuale Variabilität aufweist, die einen Anteil von etwa 24% an der Gesamtvariabilität der Abflusszeitreihe hat. In einem zweiten Schritt wurden die Hochwasserhäufigkeiten anhand von 9 Hochwasserindikatoren untersucht. Die Hochwasserindikatoren wurden sowohl über die Blockmaxima- (r-largest approach) als auch die Schwellenwertmethode (peak over threshold) ermittelt. Dabei wurden häufig verwendete Parameter, wie jährliche oder saisonale Maxima, ebenso generiert, wie über verschiedene geeignete Schwellenwerte erzeugte Serien. Mittels einem quasi-instationären extremwertstatistischen Ansatz, basierend jeweils auf der Allgemeinen Extremwert- und Paretoverteilung, wurde die Häufigkeitsverteilung der Hochwasserindikatoren über die Zeit analysiert. Die Wirkung einzelner Extremereignisse auf die Wiederkehrintervalle verschiedener Abflussniveaus kann somit detailliert nachgewiesen werden.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die Extremereignisse der Jahre 2002, 2006 und 2011 bemessungsrelevante Parameter, z.B. HQ100, nicht signifikant beeinflusst haben und somit die untere und teilweise mittlere Elbe über die letzten Jahrzehnte ein robustes Abflussverhalten in Bezug auf die Hochwasserhäufigkeiten aufweist. Eine Übertragung dieser Ergebnisse auf stromaufwärts gelegene Lokationen ist nur bedingt möglich. Entsprechende Vergleichsbetrachtungen am Pegel Dresden zeigen mitunter gegenteilige Ergebnisse.

Herausragende Klimaperioden in Niederösterreich 1896 – 2012

Friedrich Salzer, Maximilian Heilig

Abt. Hydrologie und Geoinformation, Amt der NÖ Landesregierung, 3109 St. Pölten, Österreich

Das Klima Niederösterreichs ist durch seine Übergangslage zwischen atlantischen, mediterranen und kontinentalen Klimaeinflüssen und durch die reichhaltige Orographie des Landes von großen räumlichen und zeitlichen Unterschieden geprägt. Derartige Übergangsklimate sind generell besonders sensibel gegenüber Klimaänderungen, die grundlegende Änderungen im Wasserkreislauf nach sich ziehen.

Im Rahmen des Projektes "Regionale Klimadiagnose Niederösterreich" wurden von 2005–2010:

- analoge Altdatenbestände mit täglichen Niederschlags-, Schneehöhen und Temperaturdaten von 90 Stationen digitalisiert
- digitale Daten durch Raum-Zeitvergleiche (1400 Monatstabellen und 40000 Tageskarten) überprüft und korrigiert
- aus der Literatur die wichtigsten natürlichen und anthropogenen Klimafaktoren für Niederösterreich rekonstruiert

Auf der Grundlage dieser Informationen und weiteren homogenen Langzeitreihen aus dem ZAMG HISTALP Projekt erfolgte die Analyse der Klimaentwicklung unter Verwendung von multivariaten statistischen Verfahren. Ein Schwerpunkt lag dabei in der Herausarbeitung regionaler Unterschiede des Landes. Neben der räumlichen Differenzierung des klimatisch sehr heterogenen Bundeslandes war die Ausweisung herausragender Klimaperioden zur Kennzeichnung der klimatischen Variabilität und klimatischen Änderungen ein Hauptziel des Projektes. Die Untersuchungen ergaben eine außerordentliche große zeitliche und räumliche Variabilität der Klimaverhältnisse in Niederösterreich und signifikante, davor nicht feststellbare Änderungen in den letzten Dekaden.

Die von geringer Sonnenstrahlung und Einflüssen großer Vulkanausbrüche geprägten Klimaperioden um 1900 und 1914 sind durch tiefere Temperaturen mit einigen "Jahren ohne Sommer" (1913), aber auch einer Häufung großer Hochwässer gekennzeichnet (1897, 1899, 1903). Die Klimaperiode der frühen vierziger Jahre des 20. Jahrhunderts war durch eine Serie extrem kalter Winter und teilweise sehr niederschlagsreicher Jahre mit sehr unbeständigen und kühlen Sommer geprägt. Um 1950 stellte sich eine Phase sommerwarmer Jahre mit sonnig-warmer Witterung im April ein, in den sechziger Jahren kühlere, niederschlags- aber auch sonnenscheinärmere Witterung (global diming). In den letzten Dekaden wechselten bei signifikant angestiegenen Temperaturen feuchtere und trockenere Jahre ab (Treibhausphase), wobei zuletzt um 2010 in einem Minimum der Sonnenaktivität bei sehr hohen Niederschlägen ein weiterer Temperaturanstieg im Sommerhalbjahr und viel Sonnenschein auftrat. In den Bergen nahmen dabei im Winter die Schneemengen zu, im Flachland ab und es gelangten vermehrt kontinentale Kälteschübe nach Niederösterreich.

Diese klimatischen Änderungen hatten Konsequenzen für den Hydrographischen Dienst des Landes Niederösterreich:

- Ausbau und Verbesserung der Erfassung, Kontrolle und Korrektur hydrologischer Daten
- Ausbau der Hochwasservorhersage und des Wasserstandsnachrichtendienstes
- Einrichtung eines eigenen Lawinenwarndienstes für Niederösterreich

Auswirkungen von veränderter Gletscherausdehnung auf das Abflussverhalten hochalpiner Einzugsgebiete

Paul Schattan¹, Johannes Schöber¹, Matthias Huttenlau¹, Stefan Achleitner², Katrin Schneider¹

¹alpS Centre for Climate Change Adaptation Technologies, ²Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck

Die beobachteten sowie die im Zuge des Klimawandels zu erwartende Veränderungen der Gletscherflächen haben einen großen Einfluss auf die Hydrologie hochalpiner Einzugsgebiete. Die räumliche Ausdehnung von Schnee- und Gletscherflächen reagiert sehr sensitiv auf Temperaturund Niederschlagsänderungen. Das Abflussverhalten hochalpiner Einzugsgebiete wird wesentlich von der Schnee- und Gletscherdynamik geprägt.

In der Vergangenheit wurde das schneehydrologische Modell SES (Asztalos 2004) erfolgreich zur Modellierung hochalpiner Einzugsgebiete eingesetzt. SES ist ein räumlich verteiltes, physikalisch basiertes Modell zur Simulation des Auf- und Abbaus der Schneedecke in Abhängigkeit vom Energiehaushalt. Die Eisschmelze schneefreier Gletscherflächen wird analog zur Schneeschmelze berechnet. Ein Abflussmodul konzentriert den daraus resultierenden Abfluss zeitverzögert mithilfe von Nashkaskaden und gibt den Gebietsabfluss aus. Bei gleichbleibendem Klima-Input werden der Energiehaushalt und das daraus resultierende Abflussverhalten des Modells wesentlich von der Topographie und der Albedo der Teilflächen bestimmt.

Die aktuell genutzten Datengrundlagen zur Topographie und der Ausdehnung der Gletscherflächen für die Modellierung hochalpiner Einzugsgebiete in den Ötztaler Alpen mit SES basieren auf aus den 1990er Jahren stammenden digitalen Höhenmodellen und Orthofotos. In den letzten Jahren durchgeführte Laserscan-Befliegungen ermöglichen eine Aktualisierung sowie eine deutliche Verbesserung und Präzisierung der relevanten Geländedaten. Anhand dieser Geländemodelle werden die Randbedingungen zur Modellierung mit SES neu abgeleitet. Die daraus resultierenden Änderungen des Modellverhaltens werden zur Analyse der Sensitivität bezüglich Topographie und Gletscherflächen genutzt. Die Einzugsgebiete werden auf Grundlage des aktuellen hydrologischen Messnetzes ebenfalls neu abgeleitet. Dadurch wird die Möglichkeit zur Kalibrierung der Einzugsgebiete anhand gemessener Abflusswerte verbessert.

Zur Berechnung mittel- und langfristiger Szenarien der verfügbaren Wasserressourcen und des Abflussverhaltens hochalpiner Einzugsgebiete ist eine qualifizierte Schätzung der zukünftigen Gletscherflächen unabdingbar. Zur Berechnung von Gletscherflächenszenarien wird das bereits in der Schweiz für eine große Anzahl an Gletschern erfolgreich angewandte Schrumpfungsmodell von Paul et al. (2007) genutzt und in SES implementiert. Dadurch können auf regionaler Skala Aussagen zur wahrscheinlichen Ausdehnung von Gletscherflächen und die daraus folgenden Auswirkungen auf die Gebirgshydrologie getroffen werden.

Literatur:

ASZTALOS, Judit (2004): Ein Schnee- und Eisschmelzmodell für vergletscherte Einzugsgebiete. Diplomarbeit. Technische Universität, Wien. Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie.

PAUL, F.; MAISCH, M., ROTHENBÜHLER, C., HOELZLE, M. & W. HAEBERLI (2007): Calculation and visualisation of future glacier extent in the Swiss Alps by means of hypsographic modelling. In: Global and Planetary Change 55 (4), S. 343–357.

Untersuchung des Wasser- und Nährstoffhaushalts auf Einzugsgebietsskala für nachhaltige Anpassungsstrategien von Landnutzungssystemen an Klimawandelbedingungen in Westsibirien

Britta Schmalz, Olga Kolychalow, Antje Dietrich, Nicola Fohrer

Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Um ungesteuerten Landschaftsveränderungen und zukünftigen Herausforderungen in der Westsibirischen Tiefebene zu begegnen, zielt das interdisziplinäre, internationale Verbundprojekt SASCHA (Sustainable Land Management and Adaptation Strategies to Climate CHAnge for the Western Siberian Cornbelt; BMBF) auf die Bereitstellung von Basisinformationen, Managementwerkzeugen und Anpassungsstrategien. Zentraler Gegenstand der Untersuchungen sind die wechselseitigen Effekte des Klima- und Landnutzungswandels auf Naturressourcen und Ökosystemfunktionen in der Region Tyumen.

Der mit dem Klima- und Landnutzungswandel erwartete Verlust an landwirtschaftlichem Ertrag und potentiell einhergehende Inkulturnahme von Moor- und Brachflächen können zu einer Ausweitung der landwirtschaftlichen Anbauflächen nach Norden und einem Umbruch organischer Böden führen. Um diesen negativen ökologischen Folgen entgegenzuwirken, wird zunächst der Ist-Zustand im Untersuchungsgebiet analysiert, um anschließend nachhaltige Strategien als Anpassung an den erwarteten Klima- und Landnutzungswandel in Szenarienrechnungen zu entwickeln. Das Ziel des Teilprojektes 'Hydrologie' ist die Etablierung von nachhaltigen integrativen Flussgebietsmanagementstrategien.

Das Konzept, Methoden und erste Ergebnisse der Analysen des regionalen Wasser- und Stoffhaushaltes im Westsibirischen Getreidegürtel werden präsentiert. Auf der Einzugsgebietsskala liegt der Fokus auf dem Abflussverhalten und der Nährstoffdynamik in ausgewählten Einzugsgebieten. Versalzung führt zu hohen Salzkonzentrationen in Böden und Gewässern. Ökohydrologische Modelle wurden aufgesetzt, um den Wasser- und Nährstoffhaushalt abzubilden. Als Eingangsgröße dienten auch Informationen über den Bodenwasserhaushalt, der auf Feldskala für verschiedene Landnutzungsintensitäten abgebildet wird. Die Auswertung hydrologischer Daten zeigt, dass der Abfluss saisonal stark durch die Schneeschmelze geprägt ist. Auch wurde während der ersten Feldkampagne die Fließgewässerqualität räumlich differenziert analysiert und ein räumlich differenziertes Muster für die Nährstoffkonzentrationen festgestellt.

121

Hydrologische Trends in kleinen voralpinen Einzugsgebieten

Manfred Stähli¹, Matthias Ritter²

¹Gebirgshydrologie und Massenbewegungen, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 8903 Birmensdorf, Schweiz,

²Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 79098 Freiburg, Deutschland

Hydrologische Kenngrössen, wie z.B. Niederschlag, Abfluss und elektrische Leitfähigkeit sind in kleinen (~1 km²) voralpinen Einzugsgebieten von hoher Variabilität. Umso schwieriger ist es, klare Aussagen zu langjährigen Trends solcher Kenngrössen zu machen. Dies auch darum, weil langjährige, zeitlich hochaufgelöste hydrologische Messungen in kleinen Einzugsgebieten – im Vergleich zu grossen und mesoskaligen Fliessgewässern – selten sind. Beispiel solcher langzeitlichen Untersuchungen sind drei Kleineinzugsgebiete im Alptal (Zentralschweiz, 1100–1500 m ü.M., Waldanteil: 20–60%), in welchen die Eidg. Forschungsanstalt WSL seit über vierzig Jahren Forschung zur Hochwasserbildung, Wasserqualität und Schneedecke betreibt. Hier zeigen wir erstmals umfassende Trendanalysen der zeitlich hochaufgelösten hydrologischen Kenngrössen der letzten 30–40 Jahre.

Alle hydrologischen und meteorologischen Zeitreihen wurden hinsichtlich Datenlücken korrigiert und auf Monats- und Jahreswerte aggregiert. Zur Abschätzung der Trendrichtungen und -steigungen diente die Sen's slope Methode, die Signifikanz der Trends wurde nach Mann-Kendall bestimmt. Hierbei wurden alle möglichen Start- und Endjahre der Zeitreihen mit einer Mindestlänge von 10 Jahren kombiniert.

Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen nur wenige signifikante (p<0.05) Trends auf, welche in allen drei Einzugsgebieten gleichermassen zum Ausdruck kommen. Eindeutig ist eine Abnahme des Abflusses im Monat Mai seit den 1970-er Jahren, welcher der immer früheren und mengenmässig geringeren Schneeschmelze zuzuschreiben ist. Weniger deutlich, aber dennoch signifikant in allen drei Gebieten, hat der Abfluss im Monat September in der Zeit von 1985–2005 zugenommen, verbunden mit einer ebenfalls signifikanten Zunahme des Niederschlags in dieser Zeit. Für Jahresabfluss und -niederschlagsmengen sind die Trends nicht einheitlich oder wenig signifikant. Was die Wassertemperatur betrifft, fällt die in allen Gebieten übereinstimmende Zunahme im Frühsommer besonders ins Auge. Diese kann wiederum mit der früheren Ausaperung der Schneedecke und der damit verbundenen Abnahme des Abflusses im Mai erklärt werden. Trends der elektrischen Leitfähigkeit im Abfluss zeigen ein komplexes Muster. Dabei ist besonders wiederum im Frühsommer ein genereller Anstieg auffallend.

Alles in allem bestätigen die Messdaten aus dem Alptal, dass (längerfristige) Änderungen im Klima durchaus in den hydrologischen Kenngrössen kleiner voralpiner Einzugsgebiete zum Ausdruck kommen. Betrachtet man den gesamten Zeitraum 1970 bis heute, in welchem die laufende Diskussion des Klimawandels entstanden ist, muss trotzdem festgehalten werden, dass die hydrologischen Änderungen in dieser Höhenzone noch wenig ausgeprägt sind. Jedoch sind insbesondere bei kürzeren Zeitreihenlängen (< 20 a) sowie für bestimmte Monate durchaus signifikante Änderungen des Wasserhaushalts, insbesondere der Schneeschmelze, zu beobachten.

Auswirkungen des Klimawandels auf die Hochwassersaisonalität in Norwegen

Klaus Vormoor¹, Deborah Lawrence², Axel Bronstert¹

¹Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, Karl-Liebknecht-Str. 24-25, 14476 Potsdam, ²Norwegens Wasserressourcen- und Energiedirektorat (NVE),Middelthunsgate 29, Postbox 5091 Majorstua, 0301 Oslo

Die Auswirkungen des Klimawandels auf das Hochwassergeschehen in Norwegen wurden mittels Szenarioanlaysen unter Verwendung eines Ensemble-Modellierungsansatzes in 115 Einzugsgebieten untersucht (LAWRENCE & HISDAL 2011). Die Berechnung der Änderungen der Hochwasserjährlichkeit in diesen Einzugsgebieten beruht auf 13 verschiedenen GCM/RCM-Kombinationen, zwei statistischen Downscalingmethoden sowie Niederschlag-Abflussmodellierung mit dem HBV Modell unter Berücksichtung von 15 unterschiedlichen Parametersätzen. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Szenarien sind beträchtlich. Dennoch ergeben sich robuste räumliche Muster hinsichtlich der Änderungen der Jährlichkeit. Da die Größe eines Hochwassers durch das Zusammenspiel der Saisonalität der Niederschläge, der Schneeschmelze sowie der Abflussbereitschaft eines Einzugsgebiets bestimmt wird, erlauben Änderungen in der Jährlichkeit Rückschlüsse auf die dominierenden, Hochwasser auslösenden Prozesse.

Derzeit lassen sich zwei unterschiedliche Hochwasserregime in Norwegen regional unterscheiden. Im Inland sowie in Nord-Norwegen lassen sich die größten Ereignisse auf die frühjährliche und frühsommerliche Schneeschmelze, oft in Kombination mit Regen, zurückführen. Im Westen Norwegens und entlang der Küste dominieren dagegen herbstliche pluviale Hochwasser. Wärmere Winter, geringerer Schneespeicher und frühere Schneeschmelze führen zu einer verringerten Hochwasserjährlichkeit im Inland und Nord-Norwegen. Im Westen und entlang der Küste steigt die Wahrscheinlichkeit großer Hochwasser aufgrund der dort projizierten Intensivierung der Niederschlagssaisonalität. Darüber hinaus werden einige Gebiete Norwegens, die sich derzeit noch durch ein einfaches Regime auszeichnen, in ein komplexes Regime übergehen.

In einer repräsentativen Auswahl der genannten 115 Einzugsgebiete soll mit Hilfe eines Ensembleansatzes der Einfluss der Saisonalität auf die Hochwasserwahrscheinlichkeit in Norwegen näher untersucht werden. Vergleichende statistische Analysen bieten Einblick in die dominierenden Prozesse unter einem sich wandelnden Klima. Die Analyse von Änderungen der saisonalen Jährlichkeiten wird mit Hilfe eines Peak Over Threshold-Ansatzes (POT) durchgeführt. Um die Hochwasserabflüsse besser zu simulieren, wurde das HBV Modell neu kalibriert und mehrere Parametersätze werden herangezogen, um die Parameterunsicherheiten des Modells zu berücksichtigen. Die Unsicherheiten, die aus der Unterschiedlichkeit der Szenarien resultieren werden durch den Ensembleansatz eingebunden.

Literatur:

LAWRENCE, D. & H. HISDAL (2011): Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. NVE report No. 5-2011.

Fallstudie Allgäu – Auswirkungen des Klimawandels auf den Grundwasserhaushalt und die Wasserversorgung

Sybille Wendel¹, Jörg Neumann¹, Kai Gerlinger²

¹Bayerisches Landesamt für Umwelt, ²HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH

Im Bereich des süddeutschen Moränenlands fehlen im Allgäu großräumig zusammenhängende Grundwasservorkommen, so dass sich die lokale Wasserversorgung primär auf die Nutzung von Quellwasser stützt. Für die Wasserwirtschaft ist die zukünftige Entwicklung der Quellschüttungen vor dem Hintergrund des Klimawandels von entscheidender Bedeutung. Daher wurde im Rahmen des Projekts KLIWA (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, www.kliwa. de) mit Hilfe des Wasserhaushaltsmodells LARSIM die gegenwärtige Situation der Quellschüttungen analysiert und Szenariosimulationen zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung durchgeführt.

Für das Gebiet zwischen Iller und Lech (südlich der Linie Memmingen/Buchloe sowie nördlich der würmzeitlichen Moränenablagerungen) wurden mit LARSIM vier gekoppelte Teilgebietsmodelle für die Einzugsgebiete der Günz, Mindel, Flossach und Wertach aufgestellt. Die Fläche des Gesamtmodells beträgt 830 km², die mittlere Modellflächengröße 1.5 bis 2.1 km². Bei der Ermittlung der Modellteilflächen wurden die Lage und der Aufbau der Quellgebiete in der Moränenlandschaft berücksichtigt. Um das Schüttungsverhalten der Quellen abbilden zu können, wurden gezielt die Niedrigwasserabflüsse der quellnahen Oberläufe ausgewertet. Daher wurde bei der Kalibrierung des Modells auf eine gute Abbildung der Niedrigwasserabflüsse und der flächenhaften Wasserhaushaltsgrößen geachtet. Zur Beschreibung der zukünftigen klimatischen Entwicklung wurden die WETTREG-Klimaszenarien 2006 und 2010 (ECHAM5-A1B) verwendet. Das Wasserhaushaltsmodell bildet den Gebietswasserhaushalt in der Fläche und die Abflussverhältnisse in den Oberläufen plausibel ab.

Das Szenario WETTREG2006 für die Zukunft beschreibt eine innerjährliche Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter. Das Szenario WETTREG2010 projiziert sowohl für die Sommer- als auch für die Wintermonate abnehmende Niederschläge für die Zukunft, die sich besonders auf die sommerlichen Schüttungen bzw. Abflüsse auswirken. In Verbindung mit einem geänderten Schneedeckenverhalten muss in Zukunft unter beiden Szenarien mit länger andauernden Niedrigwasserperioden gerechnet werden. Für die jährliche Grundwasserneubildung ergeben sich aus den Szenariosimulationen für die Periode 2021–2050 geringe Änderungen. Für die Wasserversorgung sind jedoch primär die Änderungen im Jahresgang maßgeblich, insbesondere wenn der projizierte Rückgang der Abflüsse bzw. Quellschüttungen in den Sommermonaten mit den Spitzenbedarfszeiten und der Hauptvegetationsperiode zusammenfällt. Diese sommerlichen Defizitphasen können in Zukunft häufiger zu Engpässen in der Trinkwasserversorgung wie bereits im Jahr 2003 führen.

Die Ergebnisse der Untersuchung finden Eingang in das Projekt "Erhebung und Bewertung der öffentlichen Wasserversorgung" und dienen dort als Grundlage zur Ableitung von Handlungsempfehlungen/Anpassungsmaßnahmen für die Wasserversorgung. Unter Berücksichtigung des regionalen Wasserhaushalts sollen die im Projektgebiet gewonnen Erkenntnisse anschließend auf vergleichbare Gebiete im Voralpenraum übertragen werden.

Entwicklung einer Modellkopplung zwischen dem Grundwasserströmungsmodell MODFLOW und dem Bodenwasserhaushaltsmodell ArcEGMO

Dieter Wenske¹, Gerd Knab¹, Andreas Rost¹, Bernd Pfützner², Christiane Uhlig³

¹IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH, ²Büro für angewandte Hydrologie, ³Lausitzer und Mitteldeutsche Braunkohlenverwaltungsgesellschaft

Für die Prognose des Grundwasserwiederanstiegs in Bergbaufolgelandschaften, verbunden mit der Füllung der Tagebaurestlöcher und der Entstehung von Seen sowie deren weitere hydrologische Entwicklung, ist die möglichst genaue Kenntnis des Wasserhaushalts erforderlich. Insbesondere im Bereich des Mitteldeutschen Trockengebietes sind exakte, möglichst langfristige Vorhersagen zu den Wasserhaushaltsbilanzen eine entscheidende Grundlage für die erforderlichen Entscheidungen zur Nutzung und Bewirtschaftung der neu entstandenen Gewässer. Es handelt sich dabei um Seen mit Flächengrößen von mehreren km².

Mathematische Modelle der Grundwasserströmung stellen zwar schon seit weit über zehn Jahren ein bewährtes Instrument zur Simulation dieser Vorgänge dar, die Wirkung der zeitabhängigen Grundwasserneubildung wird in den Standardmodellen aber nur sehr unscharf abgebildet. Die Grundwasserneubildung ist als wesentliche Komponente der Wasserhaushaltsbilanz nur über Verfahren, die langjährige Mittelwerte liefern, erfasst.

Eine völlig neue Qualität der Modellsimulation wird durch eine gekoppelte Modellierung des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserströmung erreicht. Für das sehr bekannte und weltweit am häufigsten eingesetzte Programmsystem zur Grundwassermodellierung MODFLOW (U.S.G.S) wurde eine Kopplung mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell ArcEGMO (Büro für angewandte Hydrologie, Berlin) realisiert. In diesem Rahmen wurden eine Reihe weitreichender Veränderungen im Programmsystem MODFLOW eingeführt, die unter anderem die zeitverzögerte Wirkung der Niederschlagsversickerung auf das Grundwasser beschreiben.

Das Programmsystem wurde an Standorten des Mitteldeutschen Braunkohlenreviers erfolgreich eingesetzt. Auf Basis der umfangreichen hydrologischen Messergebnisse zur zeitlichen Entwicklung der Restlochwasserstände und der Grundwasserstände in den angrenzenden Grundwasserleitern konnte eine sehr gute Kalibrierung des Modells erreicht werden. Auf Basis des kalibrierten Modells war es wiederum möglich langfristige, qualitativ hochwertige Prognosen zur Entwicklung der See- und Grundwasserstände sowie zu den resultierenden Abflüsse der Fließgewässer zu erstellen. Diese stellen die Basis für die Planung der erforderlichen Maßnahmen zur Bewirtschaftung der Seen (Ableitungen, Stützungsmaßnahmen, u. a.) dar.

Veränderung des Abflussregimes an Hand von langjährigen Datenreihen: Analyse der Urbanisierung und der Klimaänderung

Paul Wermter, Markus Maaßen, Alexander Mack

FiW Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., Kackertstraße 15 -17, 52074 Aachen, Deutschland

Hintergrund

Ein Arbeitsbereich innerhalb des BMBF-Forschungsverbundvorhabens "dynaklim – Dynamische Anpassung an die Auswirkungen der Klimaänderung in der Emscher-Lippe-Region (Ruhrgebiet)", befasst sich an Hand von langjährigen Datenreihen mit der Analyse zukünftiger Veränderungen im Abflussregime von stark urban überprägten Fließgewässern. Als Untersuchungsgewässer dienen der Roßbach und seine Nebengewässer im Westen Dortmunds, an denen die Auswirkung der Urbanisierung und ebenso die Auswirkung der Klimaänderung modellgestützt im Vergleich zu einem potentiell natürlichem Zustand dargestellt werden.

Methodik

Um Referenzwerte zu generieren, wird mit dem hydrologischen Gebietsmodell STORM der Prof. Sieker Ingenieurgesellschaft mbH (Hoppegarten) das Roßbacheinzugsgebiet (ca. 31 km²) am Oberlauf der Emscher, als hydrologisch potentiell natürliches Einzugsgebiet modelliert. An definierten Abflussknotenpunkten werden hierzu die morphologischen Fließgewässerleitbilder und die potentiell natürliche Vegetation berücksichtigt, um Gewässerstruktur und Gebietsparameter entsprechend anzupassen (LUA NRW 1999 & 2002). Ergebnis ist ein hypothetisches "Hydrotyp"-Szenario. Der aktuelle Gebiets- und Fließgewässerzustand mit einem Versiegelungsgrad von 22 % und repräsentativen V-Profilen wird als "IST"-Szenario definiert.

Um verschiedene Klima-Szenarien zu simulieren, werden downgescalte Klimadaten des regionalen Klimamodells CLM 1 mit räumlich hochaufgelösten Niederschlagsreihen unter der Berücksichtigung einer Bias-Korrektur für die Emscher-Lippe-Region nach Quirmbach et al. (2012) für die Zeiträume 1961–1990 (Referenzzeitraum), 2021–2050 (nahe Zukunft) und 2072–2100 (ferne Zukunft) verwendet.

Für die Vorgehensweise werden folgende Szenarien verglichen:

- Für die Auswirkung der Urbanisierung: Vergleich "Hydrotyp"-Szenario mit "IST"-Szenario (Referenzzeitraum)
- Für die Auswirkung der Klimaänderung: Vergleich "IST"-Szenario im Referenzzeitraum mit
 - a) naher Zukunft
 - b) ferner Zukunft

Die Analysen des Abflussgeschehens auf Basis der IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) nach Richtet et al. (1996) und der RVA-Methode (Range of Variability Approach) nach Richter et al. (1997) dienen der Beschreibung der Auswirkungen.

Ergebnisse

Die Auswertung mit den IHA-Parametern und der RVA-Methode zeigt, dass die Urbanisierung im Roßbacheinzugsgebiet einen erheblichen Einfluss auf die Fließgewässerdynamik hat und hinzu einen Anstieg der Hochwasserspitzen bewirkt.

Die Klimaänderung hat ebenfalls eine signifikante Veränderung des Abflussregimes zur Folge: Niedrigwasserabflüsse verringern sich und Hochwasserabflüsse erhöhen sich.

Session 4: Hydrologie und Wasserkraftnutzung

Referate

Die Auswirkung möglicher Klimawandelszenarien auf das Erzeugungspotenzial von Wasserkraftwerken

Simon Frey^{1,2}, Robert Goler^{2,3}, Herbert Formayer³, Hubert Holzmann¹

¹Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstr. Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien, ²AlpS – Centre for Climate Change Adaptation Technologies, Innsbruck, ³Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur, Wien

Die Wasserkraft stellt in alpinen Räumen eine der wichtigsten Quellen von erneuerbaren Energien dar. Mögliche Veränderungen der Verfügbarkeit von Wasserressourcen aufgrund von Klimaänderungen stehen damit in direkter Verbindung zu veränderten Bedingungen für die Energiegewinnung. Diese Einflüsse sind komplex und nicht linear. So hat die Aussage, dass mehr Wasser automatisch zu einer größeren Leistung führt, nur bedingt Gültigkeit.

Ziel des Projektes "MUSICALS", eine Kooperation zwischen dem Energieversorger VERBUND, der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) sowie dem AlpS – Centre for Climate Change Adaption Technologies, ist es die Auswirkungen möglicher Klimawandelszenarien auf die Wasserkraft in Österreich und dem bayrischen Voralpenland abzuschätzen.

Dazu werden an der BOKU die regionalen Klimamodelle Aladin (getrieben vom Globalmodell Arpege), sowie Remo und RegCM3 (jeweils vom Globalmodell ECHAM5 getrieben) verwendet. Als Emissionsszenario dient das IPCC-Szenario A1B. Die Modelle werden mittels der EOBS- Temperatur- und ETH-Zürich Niederschlagsdaten Bias korrigiert und unter Verwendung des INCA-Datensatzes der ZAMG auf eine Auflösung von 1x1km lokalisiert.

Die hydrologische Modellierung erfolgt mit einem tageswertbasierten konzeptionellen hydrologischen Modell, welches die Prozesse Schnee- und Gletscherschmelze, Oberflächen- und Zwischenabfluss sowie Basisabfluss und Evapotranspiration erfasst. Die Verdunstung wird mittels eines vereinfachten Ansatzes von Turc, ohne Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit und Luftfeuchte gerechnet. Schnee- und Gletscherschmelze werden durch das Temperatur-Index-Verfahren abgebildet. Die Berechnung der Temperatur erfolgt auf 100 m Höhenbändern. Dabei ist das Modell in der Lage Inversionswetterlagen zu berücksichtigen. Die Kalibrierung des Modells erfolgte im Zeitraum von 1996 bis 2005, validiert wurde direkt im Anschluss von 2006 bis 2010. Zur Kalibrierung wurden neben dem Abfluss auch Informationen zur Schneebedeckung von MODIS verwendet. Das Modell weist gute Übereinstimmungen mit Messwerten auf (Nash-Sutcliffe-Werte zwischen 0.31 und 0.81).

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse und Unterschiede von vier Einzugsgebieten mit verschiedenen Charakteristika vorgestellt: Saalach (alpin, unvergletschert), Obere Salzach (alpin, vergletschert), Ybbs (mittlere Höhenlage, Alpennordseite) sowie Gurk (mittlere Höhenlage, Alpensüdseite).

Zusammenhang zwischen Photovoltaik- und Windstromeinspeisung, Kühlwasserbedarf und Wasserkraftnutzung am Neckar

Margret Johst¹, Sebastian Raiber², Henriette Kammer², Benno Rothstein¹

¹Hochschule Konstanz, ²Hochschule Rottenburg

Im Projekt "Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLIMOPASS)" werden unter Berücksichtigung der Energiewende die Folgen des Klimawandels für die Energiewirtschaft in Baden-Württemberg analysiert. Vor dem Hintergrund des hohen Kühlwasserbedarfs thermischer Kraftwerke und des relativ großen Anteils der Wasserkraftwerke an der regenerativen Stromerzeugung sollen potenziell auftretende Wassernutzungskonkurrenzen für das Neckar-Einzugsgebiet untersucht werden.

Der Neckar ist einer der am intensivsten genutzten Flüsse Europas: 27 Staustufen gewährleisten die Schiffbarkeit und ermöglichen die Wasserkraftnutzung. Der Niedrigwasserabfluss besteht zu etwa einem Drittel aus Abwasser, das dem Neckar-Einzugsgebiet über Fernleitungen aus dem Bodensee und der Donau zugeführt wird. Große Wassermengen werden zur Kühlung der thermischen Kraftwerke entnommen, wobei bei Kühlturmbetrieb Wasser in Form von Wasserdampf verloren geht.

Bis zum Jahr 2020 soll in Baden-Württemberg der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung von aktuell etwa 20% auf 38% erhöht werden, wobei das Ausbaupotenzial für Windkraft und Photovoltaik am größten ist. Den Zusammenhang zwischen der Photovoltaik- bzw. Wind-Stromerzeugung und dem Kühlwasserbedarf thermischer Kraftwerke haben wir beispielhaft für Juli – Dezember 2011 untersucht. Hierzu wurden Daten der Photovoltaik- bzw. Wind-Stromeinspeisung und der Netzlast aufbereitet. Die Steuerung der Neckar-Kraftwerke wurde mithilfe zweier Modellansätze simuliert, die sich hinsichtlich der Fahrweise der einzelnen Kraftwerke bzw. der Hinzunahme von Spitzenlastkraftwerken unterschieden. Den Simulationsergebnissen zufolge lag die Kühlwassereinsparung thermischer Kraftwerke im Sommer im Mittel bei 12% und für einen Einzeltag bei maximal 41%. Insbesondere die hohe Photovoltaik-Stromeinspeisung während der strombedarfsintensiven Mittagsstunden wirkte sich positiv auf die Wasserverfügbarkeit aus.

In diesem Beitrag wird einführend die Wassernutzungssituation am Neckar inklusive ausgewählter Zukunftsperspektiven vorgestellt. Anschließend wird der Zusammenhang zwischen der Photovoltaik-/Wind-Stromeinspeisung einerseits und der damit verbundenen Drosselung der Stromerzeugung thermischer Kraftwerke entlang des Neckars andererseits dargelegt. Da die Stromerzeugung thermischer Kraftwerke oftmals mit einem Kühlwasserverbrauch einhergeht, resultiert aus einer Kraftwerksdrosselung eine Kühlwassereinsparung, die ihrerseits wiederum einen erhöhten Neckarabfluss nach sich zieht. Dieser (geringfügig) erhöhte Abfluss ist mit einer leicht erhöhten Stromerzeugung durch Wasserkraft verbunden. Die beschriebenen Zusammenhänge sollen in dem vorliegenden Beitrag vorgestellt und deren Relevanz diskutiert werden.

Modellgestützte Analyse von Wasserbilanzen auf der Skala von großen Einzugsgebieten: wie menschliche Eingriffe die Abflüsse am Nil beeinflussen

Paolo Reggiani^{1,2}, W.N.M van der Krogt¹, H.J.M. Ogink¹

¹Deltares, P.O. Box 770, 2600MH Delft, Niederlande, ²Physische Geographie und Klimatologie, RWTH Aachen, Aachen, Deutschland

Der Hauptanteil des Nil Abflusses, der durch den Sudan den Assuan Stausee in Ägypten erreicht, findet seinen Ursprung im Hochland Äthiopiens, wo ungefähr 50% der Wasserbilanz des Nils flussabwärts von Khartum durch Niederschläge erzeugt wird. Der Weiße Nil entspringt aus den afrikanischen Äquatorialseen, verliert aber einen erheblichen Anteil seines Wassers durch Verdunstung in den Ghazar, Sudd und Machar Sümpfen im südlichen Sudan, die eine stark regulierende Wirkung auf den Abfluss ausüben.

Der Blaue Nil mündet bei Khartum in den Weißen Nil, der nach dem Zusammenfluss mit dem Atbara Fluss (Schwarzer Nil) als "Nil" in den Assuan Stausee strömt. Gegenwärtig wird am Blauen Nil auf äthiopischem Gebiet nahe der Grenze zum Sudan der erste und bisher größte Stausee in der Nilschlucht errichtet. Der Stausee, welcher bei maximalem Wasserpegel ein Fassungsvermögen von 63 Mio. km³ haben wird, dient der Energieerzeugung, führt aber gleichzeitig zu einer starken Regulierung der bisher natürlichen Abflüsse, welche dem Sudan eine viel regelmäßigere Zufuhr von sedimentarmen Wasser bescheren wird. Nebenwirkungen sind eine Abnahme der Schlammablagerung im unteren Flussbereich und eine erhöhte Verdunstung von Wasser von der Oberfläche des Stausees. Die Regulierung des Blauen Nils wird außerdem das Bewässerungspotential erhöhen, was zu einer intensiveren Bewirtschaftung von bestehenden und zukünftigen Anbauflächen mit sich bringt. Treibende Kraft ist das Bevölkerungswachstum und die damit zusammenhängende steigende Nachfrage von Agrarprodukten im Sudan. Die Erzeugung von Energie durch Wasserkraft am Stausee erschließt die Möglichkeit eines wirtschaftlichen Aufschwungs in der Region, was wiederum den lokalen Wasserverbrauch ankurbelt. Durch eine Studie mit dem Wasserbilanzmodell RIBASIM werden verschiedene Szenarien von zukünftigem Wasserverbrauch und der Wasserverteilung am Hauptarm des Nils simuliert und zusammen mit den entsprechenden Auswirkungen analysiert.

131

Auswirkungen der Wasserkraftentwicklung auf die Hydrologie und Wassernutzung im Vu Gia Thu Bon Einzugsgebiet, Vietnam

Lars Ribbe¹, Alexandra Nauditt¹, ABM Firoz¹, Manfred Fink²

¹Institut für Technologie- und Ressourcenmanagement in den Tropen und Subropen, Fachhochschule Köln,
²Institut für Geoinformatik, Friedrich Schiller Universität Jena

Die Entwicklung der Wasserkraft wird in Vietnam – wie in vielen Ländern, die über die entsprechenden topographischen und hydrologischen Rahmenbedingungen verfügen – als vertretbare Option erachtet, um dem stetig steigenden Energiebedarf gerecht zu werden. Auf Einzugsgebietsebene hat der Bau von Reservoirs oft schwerwiegende Konsequenzen für andere wasserbezogene Aktivitäten wie Bewässerung, Wasserversorgung sowie Hochwasserschutz und Dürrerisikenmanagement.

Im 10350 km² großen Vu Gia Thu Bon Einzugsgebiet in Zentralvietnam sind zwölf größere Staudämme mit einer Gesamtkapazität von 2.7 * 109 m³ kürzlich fertiggestellt, in Bau bzw. in Planung. Diese Staudämme erfüllen allein den Zweck der Energieversorgung (Gesamtenergiepotential: 1.3 GW) und werden daher entsprechend des Energiebedarfs gesteuert, was zu Änderungen des Hydrographen flussabwärts führt. Daher führt der Staudammbau zwar zu einer Erhöhung der Energieversorgungssicherheit auf nationaler Ebene aber möglicherweise auf Kosten der Wasserverfügbarkeit für die Bewässerung oder Siedlungen.

Auf der Grundlage einer distribuierten hydrologischen Modellierung und einer auf Mike Basin basierten Wasserbilanz werden die Auswirkungen der Staudämme auf die Wassernutzungen sowie auf das Hochwasser- und Dürrerisiko flussabwärts ermittelt. Somit ist die Quantifizierung des intraannualen Wasserbedarfs in den verschiedenen Sektoren bei variabler Wasserverfügbarkeit in Abhängigkeit von Klima möglich, um Zielkonflikte zwischen Wasser-, Energie- und Ernährungssicherung besser abschätzen zu können. Die gewonnenen Ergebnisse sollen zukünftig für die Modellierung der Reservoir-Optimierung genutzt werden, um Empfehlungen für einen koordinierten Betrieb der Staudämme abzuleiten.

Das Modul Hydrologie (HYDMOD) zur Beurteilung des Natürlichkeitsgrades des Abflussregimes: Methode, Hilfsmittel, hydrologische sowie wasserwirtschaftliche Grundlagen

Martin Pfaundler

Bundesamt für Umwelt, Abteilung Wasser, 3003 Bern

Das Modul Hydrologie ist eine Methode zur Beschreibung, Beurteilung und Klassierung von wasserwirtschaftlichen Eingriffen (in der Schweiz sind das im wesentlichen Massnahmen aus der Wasserkraft und der Siedlungswasserwirtschaft) auf das Abflussregime.

HYDMOD ist ein Modul des sogenannten Modul-Stufen-Konzeptes (MSK): dies ist ein konzeptioneller Rahmen für die Beurteilung des ökologischen Zustandes der Oberflächengewässer (http://www.modul-stufen-konzept.ch/e/index-e.htm). Das MSK wird von Bund, Kantonen und Forschung mit dem Ziel getragen, die Kantone bei der Umsetzung der Schweizer Gewässerschutzgesetzgebung zu unterstützen. Im Rahmen des MSK werden Schweizweit standardisierte Methoden (die Module) entwickelt, welche die Bereiche Hydromorphologie, Biologie und Chemie sowie ökotoxikologische Aspekte abdecken.

Im Zentrum von HYDMOD steht das Abflussregime und ist an der Schnittstelle zwischen Hydrologie und aquatischer Ökologie angesiedelt. Ausgangspunkt der Methode ist die Identifizierung menschlicher Eingriffe, welche das Abflussregime zu verändern vermögen. Für das untersuchte Einzugsgebiet wird ein Inventar solcher Eingriffe erstellt. Zu diesem Zweck steht eine Eingriffstypisierung zur Verfügung. Diese beinhaltet auch Signifikanzkriterien, um geringfügige Eingriffe, die vermutlich keine wesentliche Änderung des Abflussregimes bewirken, auszuklammern.

Die Auswirkungen der Eingriffe, d.h. die Veränderungen des Abflussregimes werden anhand von neun Indikatoren beurteilt. Diese decken die hydro-ökologisch relevanten Aspekte des Niederwasser-, Mittelwasser- und Hochwasserregimes ab und beinhalten auch die Phänomene Schwall-Sunk und Spülungen. Auf diesen Indikatoren basierend werden die Veränderungen des Abflussregimes quantifiziert und in ein fünf-klassiges Bewertungsschema übersetzt. Hydro-ökologische Überlegungen waren ausschlaggebend für die Wahl der Indikatoren als auch für die Definition der Klassierungsgrenzen.

Nach einer Erprobungsphase an mehreren Testgebieten wurde die Methode 2011 publiziert und steht unter http://www.modul-stufen-konzept.ch/d/hydro_startseite_d.htm zur Verfügung.

Neben der eigentlichen Methode wurden zur Erleichterung der Anwendung eine Reihe von Hilfsmitteln und Grundlagen entwickelt. Das beinhaltet ein elektronisches Hilfsprogramm, Methoden zur Grobabschätzung der benötigten hydrologischen Kenngrössen, Schweizweite Datensätze zu hydrologischen Kenngrössen sowie ein Webbasiertes Tool zur Bestimmung von Einzugsgebieten und deren Charakterisierung (als Funktionalitätserweiterung des Gewässerinformationssystems der Schweiz GEWISS http://gewiss.admin.ch/).

Ökologie und Wasserkraftnutzung – Monitoring von Renaturierungsmaßnahmen zwischen zwei Staustufen

Peter Fischer, Bernd Cyffka

Angewandte Physische Geographie/Aueninstitut Neuburg, Kath. Universität Eichstätt-Ingolstadt, 85072 Eichstätt, Deutschland

Flussbegradigungen, Eindeichung und Staustufenbau veränderten die Gestalt der Flüsse stark und prägen ihren Charakter bis heute. Durch diese Korrekturmaßnahmen wurden die Flüsse von ihren Auen getrennt, mit weitreichenden Folgen. Heute wird mit kostenintensiven Renaturierungs-, Revitalisierungs- oder Redynamisierungsvorhaben versucht, dies zumindest teilweise wieder rückgängig zu machen oder wenigstens die Auen wieder in einen naturnäheren Zustand zurückzuführen. Im Rahmen des E+E-Begleitvorhabens "Monitoring auenökologischer Prozesse und Steuerung von Dynamisierungsmaßnahmen" arbeiten seit 2009 acht Arbeitsgruppen aus unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen, die den Erfolg eines solchen Projektes messen.

In dem präsentierten Beitrag werden ausgewählte Zwischenergebnisse aus dem Teilprojekt "Fluviale Morphodynamik, Bodenfeuchte und Grundwasser", insbesondere die Steuerung der hydrologischen Einflussgrößen und deren Auswirkungen für den Lebensraum Aue vorgestellt. Durch verschiedene Maßnahmen (Umgehungsgewässer, ökologische Flutungen und Grundwassermanagement) werden die Abflüsse und Wasserstände entlang der Donau zwischen zwei Staustufen dynamisiert.

Alle Steuerungsmaßnahmen sind aber an verschiedene Rahmenbedingungen geknüpft, die sich durch unterschiedliche Nutzungsformen, wie Energieerzeugung durch Wasserkraft und Forstwirtschaft, ergeben und als limitierende Faktoren angesehen werden können. Um trotzdem eine größtmögliche Wirkung zu erzielen, bedarf es einer angepassten Steuerung.

Das Umgehungsgewässer ist als Wanderweg und Habitat für Wasserlebewesen sowie zur lateralen Vernetzung von Fluss und Aue von Bedeutung. Bei den ökologischen Flutungen steht eine naturnahe Steuerung der Ausleitungsmengen im Vordergrund, da sich ein zu schnelles Ansteigen und Absinken der Wasserstände negativ auf die Lebensgemeinschaften im Auenökosystem auswirken kann. Das Problem des Schwall und Sunk ist bei Wasserkraftanlagen hinlänglich bekannt und soll hier vermieden werden. Die Schwierigkeit bei der Implementierung eines Grundwassermanagements (Absenkung des Grundwasserspiegels) liegt in der zeitlichen Dauer der Maßnahme, damit die auentypische Flora gefördert werden kann, ohne dabei die aquatische Fauna zu schädigen. Vor diesem Hintergrund muss die Ermittlung einer im Fließgewässer verbleibenden ökologisch begründeten Mindestwassermenge erfolgen.

Ohne ausreichende Dynamik des Gewässer- und Geschiebehaushalts können keine neuen Standorte gebildet werden. Deshalb ist auch die Untersuchung des Geschieberegimes, in dem vom Hauptstrom entkoppelten, neu angelegten Bachsystem im Untersuchungsprogramm enthalten.

Ein breites Spektrum an angewendeten Methoden und Messtechniken soll helfen die Wechselbeziehungen zwischen Fluss und Aue herauszufinden, um eine optimale Anpassung der auszuleitenden Wassermenge, die für die Steuerung der dynamischen Prozesse entscheidend ist, erarbeiten zu können. Dies soll ohne Beeinflussung der großen Wasserkraftanlagen geschehen.

Verlandung von Stauhaltungen – Ein Ansatz für Flusseinzugsgebiete

Peter Rutschmann, Mohamed Eizeldin Elsayed, Minh-Duc Bui

Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München, Arcisstr. 21, D-80333 München

Stauhaltungen unterliegen naturgemäß der Problematik der Verlandung. Während die Baukosten für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Stauanlagen immer beachtet werden, so werden die Lebensdauer- und Funktionsreduktion eines Speichers infolge von Verlandungen sehr oft viel zu wenig beachtet. Zahlreiche Beispiele haben allerdings gezeigt, wie ein übermäßiger Feststoffeintrag den Speicherraum in kurzer Zeit drastisch reduzieren kann. Mit einer gezielten Prognose der Verlandung, einem adäquaten Anlagenentwurf und einem sinnvollen Geschiebemanagement kann die Gefahr der Verlandung korrekt geschätzt und die Anlagen-Lebensdauer beträchtlich verlängert werden.

Am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München wurden umfangreiche Untersuchungen zur Speicherverlandung von zwei großen Wasserkraftanlagen am Sudanesischen Nil durchgeführt. Neben physikalischen Modellversuchen, wo vorwiegend die Sedimentation im Nahbereich der Kraftwerkseinläufe untersucht wurde, diente eine komplexe Numerik mit 1D, 2D und 3D Werkzeugen der genaueren Untersuchung von Sedimentation und Erosion im Fernfeld der Einlaufbauwerke. Verschiedene Management Szenarien für den Betrieb der Anlagen in den hochwasserreichen Monaten wurden miteinander verglichen und optimiert. Die Untersuchungen wurden ergänzt durch Naturmessungen an zwei weiteren Nil-Stauanlagen und führten schlussendlich zu einem Ansatz, der es erlaubt, die Verlandung von Speichern und deren zeitlichen Verlauf im Nil-Einzugsgebiet abzuschätzen.

Für Verlandungen in Flusseinzugsgebieten hat Brune (1953) eine Beziehung vorgeschlagen, welche den Anteil von Feststoffablagerungen in einer Stauhaltung als Funktion des Verhältnisses von Jahreswasserfracht zu Speichervolumen darstellt. Die Beziehung basiert auf der Untersuchung von 44 Anlagen in den Vereinigten Staaten. Siyam (2000) schlug zur Annäherung an die Thematik eine alternative Beziehung in exponentieller Form vor, welche auch mit den Daten von Brune verifiziert wurde. Unsere Untersuchungen im Nil-Einzugsgebiet haben aufgezeigt, dass der Ansatz von Siyam die Daten sehr viel besser annähert, als der Vorschlag von Brune. Mithilfe der errechneten bzw. gemessenen Daten an den Anlagen Merowe, Shereik, Kajbar und Roseires konnte gezeigt werden, dass eine Modifikation des Ansatzes von Siyam zu sehr guten Vorhersagewerten des zeitlichen Ablaufs der Verlandung der Stauhaltungen führt. Der Ansatz kann auf andere Flusseinzugsgebiete übertragen werden, sofern im betreffenden Einzugsgebiet zumindest an einem Speicher Messungen oder detaillierte numerische Abschätzungen der Verlandung vorliegen.

Session 4: Hydrologie und Wasserkraftnutzung

Poster

KonSed – Kontinuierliche Sedimentverlagerung zur Wiederherstellung eines natürlichen Sedimenttransports

Catrina Cofalla¹, Michael Detering², Roy Frings¹, Sebastian Henkel¹, Sebastian Hudjetz³, Franziska Ribbe¹, Henner Hollert³, Holger Schüttrumpf¹

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen, 52056 Aachen, Deutschland, DB-Sediments GmbH, 47057 Duisburg, Deutschland, Institut für Umweltforschung Lehr- und Forschungsgebiet Ökosystemanalyse, RWTH Aachen, 52074 Aachen, Deutschland

Durch Stauhaltungen wird die Fließgewässerdynamik nachhaltig beeinflusst. Unterstrom von Querbauwerken kommt es zu erhöhten Erosionsraten. In den Stauräumen setzen sich durch reduzierte Fließgeschwindigkeiten hingegen vermehrt Sedimente ab, die zu schwerwiegenden Verlandungsproblemen führen können. Besonders hohe Verlandungsraten ergeben sich in ariden und semiariden Gebieten sowie bei Stauhaltungen in alpinen Regionen. Doch auch in Deutschland ist die Unterbrechung der natürlichen Sedimentprozesse von großer Bedeutung, bspw. für die Staustufen am Rhein, Talsperren der Eifel sowie der Kette der Ruhrstauseen. Dabei kommt es zu betrieblichen Problemen von geringerem Hochwasserschutz, mittel- bis langfristigem Trink- und Brauchwassermangel, der Zusetzung von Betriebsauslässen bis hin zu geringeren Energieerträgen durch Wasserkraftwerke. Allgemein wird weltweit von einer jährlichen Verlandung von durchschnittlich 0.5 bis 1% der verfügbaren Stauraumvolumina pro Jahr ausgegangen. Dies bedeutet, dass viele der weltweit mehr als 200000 Stauseen und Talsperren zu Ende dieses Jahrhunderts verlandet sein werden.

Oft angewendete Verfahren zur Stauraumentlandung wie Spülungen und Baggerungen sind meist von kurzer Wirkungsdauer, ökonomisch unrentabel und ökologisch mit teils schwerwiegenden Folgen für unterstromige Fließgewässerabschnitte verbunden. Deshalb wurde ein innovatives Verfahren zur Reduktion von Stauraumverlandungen konzipiert, patentiert und in der Praxis getestet. Das Verfahren ermöglicht eine kontinuierliche Sedimentweiterleitung aus Stauräumen und ist in der Lage, die natürliche Sedimentdurchgängigkeit von Fließgewässern wieder herzustellen. Dabei stehen nicht nur wirtschaftliche Vorteile wie geringe Investitionskosten, keine Unterbrechung des Stauanlagenbetriebes, keine zusätzlichen Sediment-Deponierungskosten und geringere Zugabemengen von Sedimenten unterstrom von Stauhaltungen im Vordergrund. Ebenso werden vertretbare Umsetzungsmöglichkeiten der EU WRRL erfüllt.

Im ersten Teil des Projektverlaufs wurde ein Prototyp entwickelt. Untersucht wurde in einem physikalischen Modell die beste Methode die angesaugten Sedimente durch den Bereich der Wasserkraftanlage zu transportieren, ohne dass sich diese dort oder direkt hinter der Anlage absetzen. Weiterhin wurden hydrotoxische Suspensionsversuche im Kreisgerinne mit zehn exponierten Regenbogenforellen durchgeführt und durch eine Einschätzung von ökotoxikologischen Auswirkungen ergänzt. Daraus konnte abgeleitet werden, wie vor allem aquatische Organismen auf die kontinuierliche Sedimentweiterleitung, teilweise mit Schadstoffen belastet, reagieren. Die Einschätzung der morphologischen Auswirkungen sowie die Ergebnisse eines eigens entwickelten Monitoringprogramms zeigten Grenzen und Randbedingungen der SediMover-Anwendung auf. Die Pilotanwendung ermöglichte die Durchführung einer kontinuierlich arbeitenden Sedimenttransfereinrichtung zur naturnahen Lösung von Sedimentationsproblemen.

Chinas Hydroenergieausbau im globalen Wandel – Yunnan als zukünftig weltweit bedeutendster Wasserkrafterzeuger Aktuelle Dynamik, Geo- und energiepolitischer Rahmen, hydroökologische Implikationen und die Rolle des CDM

Thomas Hennig

Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg, Deutschhausstr. 10, 35037 Marburg, Germany

Um Chinas beeindruckendes Wirtschaftswachstum langfristig zu sichern baut das Land den Energiesektor in starkem Maße aus und besitzt weltweit den mit Abstand schnellst wachsenden Markt zur Erzeugung elektrischer Energie. China setzt dabei zunehmend auf regenerative Energien, wobei Hydroenergie an vorderster Stelle agiert. Allein Chinas installierte Kapazität aus Wasserkraft ist deutlich größer als die gesamte installierte Kapazität Deutschlands, Österreichs und der Schweiz zusammen.

In diesen Planungen spielt die südwestliche Provinz Yunnan, die bezüglich ihrer Bio-, Geo- als auch ethnischen Diversität innerhalb Chinas eine herausragende Stelle einnimmt, eine Schlüsselrolle. Bedingt durch das naturräumlich hohe Potential und die günstige geostrategische Lage wird Yunnan in wenigen Jahren mehr Wasserkraft installiert haben, als Länder wie die USA oder Kanada.

Der Ausbau erfolgt primär durch prestigeträchtige und meist umstrittene Großstaudämme. Andererseits basiert diese Entwicklung auch auf einer enormen Anzahl von Kleinkraftwerken (in China < 50 MW), wodurch Yunnan zu den weltweit progressivsten Regionen im Ausbau von Kleinwasserkraftanlagen zählt. Diese Entwicklung macht Yunnan zukünftig zu einem der wichtigsten Stromerzeuger Chinas, wobei die Hauptliefergebiete die ökonomischen Zentren der Küstenprovinzen in Süd- und Ostchina sind als auch Südostasien (z.B. Thailand, Vietnam).

Der Vortrag gibt im ersten Teil einen Überblick zum aktuellen Stand des Hydroenergieausbaus in China und in der Provinz Yunnan. Er zeigt v.a. die rasante Dynamik der vergangenen 10 Jahre und ordnet diese energie- und geopolitisch ein (u.a. transnationale Einzugsgebiete, Strukturen im chines. Energiesektor, etc.). Im zweiten Teil werden dann hydroökologische und sozio-ökonomische Implikationen des massiven Ausbaus von Kleinwasserkraftanlagen im chinesischen Irrawaddy-Einzugsgebiet nahe der burmesischen Grenze vorgestellt. Die Entwicklungen werden ebenfalls in den transnationalen Kontext eingeordnet sowie im Kontext des CDM (clean development mechanism) analysiert.

Hintergrund der Studie ist auch, dass es trotz der großen Relevanz des Themas zwar einige Überblicksartikel zum Hydroenergieausbau in China gibt, aber kaum regionale Studien (auf Provinzund Einzugsgebietsebene). Außerdem gibt es bisher, keine Visualisierungen des hochdynamischen Wasserkraftausbaus sowie keine empirischen Studien zu den Implikationen des Kleinwasserkraftausbaus, v.a. im Kontext des Energietransfers.