

Drawing-Based Modelling in Science Education to Support Scientific Thinking

Research Project (45 ECTS) of Science Education and Communication

Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education, Utrecht University

19 February 2016

Author: J.H.Y. Schouten

Solis id: 3672387

Supervisor: prof. dr. W.R. van Joolingen

2nd supervisor: dr. D.J. Boerwinkel

Abstract

In science education students are expected to develop scientific thinking skills. They should be able to be creative, open-minded, critical and problem solving. The coordination of theory and evidence is central in the development of these skills and modelling-based learning may be an effective teaching and learning approach, since models play an important role in the formation of scientific knowledge. Especially drawing-based has many advantages to use in science education, because it enables students to revise their spontaneous thoughts into more scientific concepts. This design-based research aimed to implement drawing-based modelling in early science education in order to support scientific thinking. We designed a lesson series for biology education in the context of the evolution of the garden snail. The lesson series consisted of four lessons and seven third grade classes ($N = 204$) participated. The students worked in pairs. Students' level of the understanding of models and their use in science was measured by a pre- and post-test. On average, students obtained higher levels of model understanding on their post-test than they did on their pre-test ($p < .001$, $d = .62$). Besides, five conversations were video-recorded and three of the conversations were analysed on students' level of scientific reasoning. Furthermore, the drawings and exercises of these couples were used to support our findings. Drawing-based modelling may contribute to higher levels of scientific reasoning. It depends on certain factors, for instance the support of the teacher and degree of distraction. A higher understanding of models and a higher level of scientific reasoning may contribute to students' scientific thinking skills. We summarised the findings in a list of recommendations for teachers and educational developers. Finally, we discussed how the lesson series can be improved for further use in biology education.

Introduction

An important goal of science education is to acquaint students with the goals and methods of real science. According to Longbottom and Butler (1998) students must not only learn science, they also must learn *about* science. Students should adopt some scientific thinking characteristics such as open-minded and critical thinking in a way that real scientists do (Longbottom & Butler, 1998). Through scientific practices students can develop a scientific view on the world and they will get engaged in scientific thinking (Zimmerman, 2007). These scientific thinking skills, such as being creative and learning how to solve problems, are grounded in the coordination of theory and evidence (Kuhn & Pearsall, 2000). Students do not develop all of these skills routinely, some of these must be instructed by the teacher (Zimmerman, 2007).

Modelling-based learning (MbL) may be an effective way to teach scientific thinking skills. MbL is a learning approach by which students construct models of scientific phenomena (Louca & Zacharia, 2011). Models are representations of reality that are used by scientists as means to understand the phenomena they study. Coordination of theory and evidence is a significant aspect of modelling and it is a continuous process. Scientists change their models if there is new evidence found that indicates a mismatch between the model and the real situation (Duschl, 1990). From that point of view, models play an important role in the formation of scientific knowledge. Models give insight in the epistemological understanding of the nature of science and they are broadly used in science education (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991). Therefore, MbL can be very useful to aid students in learning complex scientific concepts (Dede, Salzman, Loftin, & Sprague, 1999). Further research is needed to investigate the learning processes that take place during modelling-based learning (Louca & Zacharia, 2011).

Drawing-based modelling (DbM) is learning approach whereby students draw models of scientific phenomena by themselves. Ainsworth, Prain, and Tytler (2011) describe five functions of drawing in education: drawing to enhance engagement, to learn to represent in science, to reason in science, as a learning strategy and to communicate. Learning to represent and reasoning in science are the most important two for scientific thinking and visualisations may help to reach these goals (Ainsworth et al., 2011). Furthermore, DbM is very useful for early science education because drawing enables children to revise their spontaneous thoughts into more scientific concepts (Brooks, 2009). In this study a developed lesson series is tested in early secondary education to investigate the effects of draw-based modelling on some scientific thinking skills of the students.

Naturalis, the centre for biodiversity in Leiden, wants to contribute in the process of students' scientific thinking (Ahrens, van der Brugge, & Matteman, 2014). In this study some experts from Naturalis helped to design a lesson series in which the students learn to model. The developed lesson series is based on the evolution of the snails *Cepaea nemoralis* and *Cepaea hortensis*. The shell colour and the banding patterns of these garden snails are polymorphic. The assumption is that the snails have adapted their shell colour and banding patterns to their environment over the last forty years (Ozgo & Schilthuizen, 2012). This adaptation may be caused by thrushes, who hunt the snails by distance and visibility. So the variation of the body colour of the snails is partly dominated by natural selection (Cain & Sheppard, 1952). This process is called microevolution and is well visible for the students, because snails are relatively easy to find. Moreover, the evolution of the snail is a suitable process for drawing-based modelling (Heijnes, 2015). The thrushes and the snails interact with each other as a predator-prey system and SimSketch is a suitable computer program to visualise the complex cause-effect relations of this system (Bollen & van Joolingen, 2013). In this study research to the microevolution of the snail provides the biological context for students to learn how to model.

In this design-based research drawing-based modelling will be integrated in science education. The analysis will lead to recommendations for future use of drawing-based modelling to support scientific thinking.

Theoretical framework

In search for a suitable design for the lesson series in order to let the students think scientifically by drawing-based modelling literature has been consulted. The most important findings are presented in the following section, ending with certain design criteria.

Scientific thinking

Professor of psychology and education Deanna Kuhn already wrote in 1988 about scientific thinking, because she investigated that people may confuse theory and evidence in science education. It is suggested that scientific thinking skills are required to evaluate new evidence that is based on a theory (Kuhn, Amsel, & O'Loughlin, 1988). Many studies on this subject followed. Zimmerman (2007, p. 173) reviews them and defines scientific thinking as...:

...the application of the methods or principles of scientific inquiry to reasoning or problem-solving situations, and involves the skills implicated in generating, testing and revising theories, and in the case of fully developed skills, to reflect on the process of knowledge acquisition and change.

As can be seen in this definition, the coordination of theory and evidence is important for scientific thinking. Different studies has shown that students need to exercise and practice to develop scientific thinking skills, because of all the cognitive and metacognitive skills that are involved (Zimmerman, 2007). In this study, modelling is used as an approach to teach and learn some of these skills.

Modelling

The construction of models is all about coordinating theory and evidence. Science is a complex and dynamic network of models, since they are used to justify scientific knowledge (Duschl, 1990). Models are used to test hypotheses and describe scientific phenomena. If modelling is used as a tool in science education, it is called modelling-based learning. Modelling can be a learning goal in itself and it also helps students to think and talk scientifically about phenomena. They learn to discuss and criticise their thoughts about the model they make and to reflect on their model (Louca, Zacharia, & Constantinou, 2011). Nowadays computational modelling is not common to use in science education, while models play an important role in science (Bollen & van Joolingen, 2013). If students learn to model in early grades, they can also adapt this way of thinking to more complicated scientific phenomena. Earlier research and reviews about modelling-based learning investigated two gaps which explain the lack of modelling-based learning in education: the lack of educational materials and practically no teacher experience with modelling-based learning (Louca et al., 2011; Louca & Zacharia, 2011). Besides, students should gain experience in using models as a tool to understand models and their use in science (Grosslight et al., 1991).

Drawing-based modelling

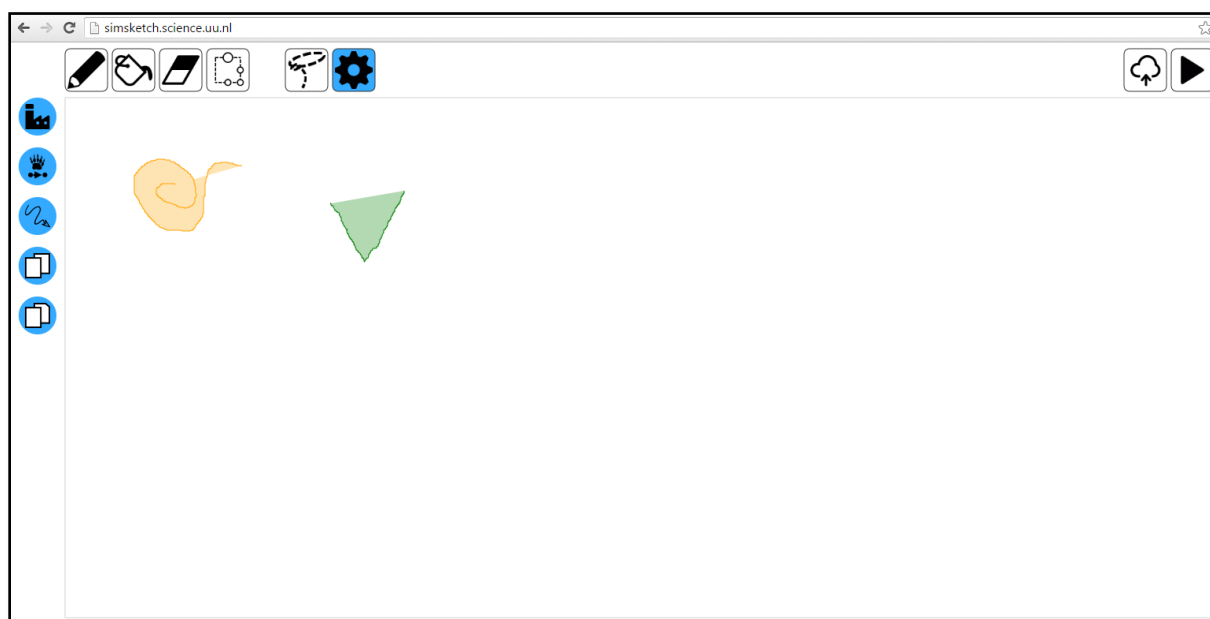
Drawing models has several advantages in the process of scientific thinking. In the first place the students learn to make their own representation of a scientific concept with the use of multiple literacies (Ainsworth et al., 2011). They have to find out which resources are relevant and reliable to use. That provides a critical attitude which is needed for scientific thinking. Furthermore, drawing helps the students to deal with different representations of the same scientific concept, which ensures creative reasoning (Ainsworth et al., 2011).

SimSketch is a drawing-based modelling tool. This is an integrated modelling and drawing tool, which provides a motivating learning environment (Bollen & van Joolingen, 2013). The students can make simulations based on sketches, which can be seen in Figure 1. The program is accessible for young learners, because it does not requires programming language. The three stages of modelling in SimSketch, which are constructing, evaluating and revising, are connected to scientific thinking: the students learn to test and revise theories. That way drawing-based modelling is a real scientific activity

that may contribute to scientific thinking. SimSketch is a quite new program, so the integration in education has yet to be tested. This research will provide more insight in the role and efficacy of the use of SimSketch in education in developing scientific thinking skills of young learners.

Figure 1

The Online Modelling and Drawing Tool SimSketch, with Drawn Examples of a Snail and Bird. Different Behaviours Can Be Given to the Objects



Understanding of models

Earlier research has found out that modelling can contribute to a better understanding of the nature of science (Louca et al., 2011; Sins, Savelsbergh, Van Joolingen, & Van Hout-Wolters, 2009). This in turn may lead to more proficient scientific thinking (Zimmerman, 2007), because modelling is an important part of scientists' work. If students learn more about modelling they gain also more insight in the approach that scientists use. In this study the level of understanding of models is used as an indicator for a shift in students' thoughts about the nature of science. Grünkorn, zu Belzen, and Krüger (2014) develop a framework to score students' understanding of scientific models. Five categories are described, by which the nature of models and multiple models are about the epistemological concepts of models, the purpose of models and testing models about reflecting the use of models in science and changing models about revising models because of new evidence. Next to the effect that modelling may have on scientific thinking, it is important to pay attention to the epistemological understanding because this influences students' cognitive processing on a modelling task (Sins et al., 2009). This means it will be beneficial for students' modelling task if they gain more insight in the role of models and modelling in science.

Scientific reasoning process

Although research is conducted to the contributions of modelling and the final results it might have, the learning process is just as important to report. It may be interesting to investigate to what extent modelling contributes to students' scientific reasoning process. Reasoning is an important aspect of scientific thinking: do the students think in a critical and logical way and do they associate evidence with their explanations? Therefore there must be the opportunity for students to discuss with each other, so they can clarify their thinking. Hogan, Nastasi, & Pressley (1999) developed a reasoning complexity rubric in which six important criteria of scientific reasoning during a discussion between students are mentioned. These criteria can be used to assess the level of students' reasoning.

Research question

The aim of this research is to gain insight in the opportunities of using drawing-based modelling in science education. We want to study to what level the modelling-based learning tasks we develop support scientific thinking. The modelling tool we use is SimSketch and this program is never used before in a real educational setting, as in this study. Therefore, the main research question is:

How can drawing-based modelling be used in science education to support scientific thinking?

We are interested in two specific aspects of scientific thinking, which are students' understanding of models and students' scientific reasoning processes. The main question is divided into two sub questions, which are:

1. *How does drawing-based modelling change students' understanding of models?*
2. *How does drawing-based modelling support students' scientific reasoning processes?*

Lesson series

In the current study we developed a lesson series with as topic the evolution of snails, based on drawing-based modelling. The target audience will be third grade of secondary school, because in that grade the students learn about evolution and it is an interesting target group to test drawing-based modelling. If these students learn to model they will probably be able to model more complicated scientific concepts which are discussed in higher secondary education. The lesson series must fit to core objectives for lower secondary education described for the subject human and nature. These objectives are described by Onderbouw-VO (2006, p. 13) and the most important goal for this study is:

...the student learn to work with theories and models by conducting research to physical phenomena.

In the lesson series the students conduct research to the evolution of the snail, which will be used as a context to learn the concept of modelling. So the lesson series will be based on the concept-context approach which is a point of attention in biology education nowadays (Boersma, Kamp, Oever, & Schalk, 2010). The evolution of the snail is a meaningful, real-world context for the students, because they can observe this process even in their own backyard. The use of a concept into a context will contribute in a positive way to students' motivation, because of a higher relevance for the students.

The Evolution MegaLab is an European citizen science project designed by the Open University in the United Kingdom in 2009 (Worthington et al., 2012). On the website of the Evolution Megalab the colour polymorphism of the snails is explained and old observations of the shell colour, banding and environment can be compared with new observations. Citizens can also conduct their own research and add their data to the database. In the lessons we develop the students will make exercises about the existed observations and they will conduct fieldwork by themselves. In this way the students get in touch with real science.

Furthermore, we will use inquiry-based learning as a strategy for the modelling lessons. The students are free to discover how they are going to draw a model of the evolution of the snail in SimSketch. This type of learning increases students' motivation and interest in science (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). The students are engaged in authentic scientific research and inquiry-based learning strengthens the effect modelling-based learning (Louca & Zacharia, 2011). The teacher must provide some instruction, because modelling is a new concept to learn for the students and active guiding is an important aspect of inquiry-based learning (Furtak et al., 2012). The combination of context-based and inquiry-based learning is also used in earlier research in which SimSketch was used to stimulate scientific reasoning, in order to let the students explore and experiment (Heijnes, 2015). This type of learning will probably lead to more scientific reasoning.

Besides the fact that the amount of instruction is determining for the effect of inquiry-based learning, it has also effect on the degree of understanding of the processes and relations of (in this case)the evolution of the snail. Earlier research investigated that students who got more aware of their drawing and students who got scripted in their process received a deeper understanding of the domain (Gijlers, Weinberger, van Dijk, Bollen, & van Joolingen, 2013).

We expect students to develop scientific thinking skills in the sense that they understand models and scientific reasoning by these teaching and learning methods.

Method

This design-based research consisted of three phases: the design, implementation and analysis phase. In the first phase we established suitable learning goals for the students. At the end of the designing phase a fully developed lesson series was ready to use, which can be found in Appendix I. In the second phase the lesson series was tested on a secondary school in Amersfoort. The last phase was an evaluation of the performed series of lessons. We conducted research to students' understanding of models and the learning process that led to a possible change. Moreover, three discussions in-between pairs were evaluated on scientific reasoning criteria.

Design

Domain

The central skill that is developed in the lesson series is modelling and student's knowledge about the use of models in science. The students learned to understand modelling in the context of the evolution of snails. During four lessons students worked on exercises about this subject. Evolution is standard curriculum content according to the guidelines for lower secondary education (Spek & Rodenboog, 2007). The participated students had prior knowledge about evolution, because the chapter of the biology method 'Biologie voor Jou' they worked on was about heredity and evolution. The developed lesson series was part of their regular classroom activities during this chapter. They supposed to have basic knowledge about key concepts as genotype, phenotype, reproduction, adaptation, mutation and natural selection.

Expert group

The lesson series was developed in cooperation with Naturalis Biodiversity Centre in Leiden. An expert group was formed to discuss the content of the lesson series. This expert group consisted of two experienced employees of Naturalis from the department 'Educational development', one professor from Utrecht University (expert in draw-based modelling) and the author of this thesis.

Learning goals

We established four covering learning goals. These learned goals should be attained at the end of the lesson series:

1. The students are able to relate a model to the real situation (contributes to understanding of models and scientific thinking).
2. The students are able to evaluate their own created model (contributes to scientific thinking).

3. The students are aware of the fact that a model is not a copy of the reality (contributes to understanding of models).
4. The students recognise similarities between their own working method and the way scientists use models during their work (contributes to understanding of models and scientific reasoning).

The lesson series consisted of four lessons and for each lesson separate learning goals were formulated, as can be seen in Appendix I. The general construction of the lesson series was:

- Lesson 1: introduction to modelling and practising with SimSketch
- Lesson 2: collecting data in the field about the evolution of the snail
- Lesson 3: modelling the evolution of the snail with SimSketch
- Lesson 4: reflection on model and connection to science

The lessons were adjusted to the test school, where each lesson takes 45 minutes.

Pilot

A pilot study was conducted after four months of designing. Two of the four lessons were given at a grade 3 class (VWO level) with 21 students. These two lessons were the first (practising with SimSketch) and the third lesson (modelling with SimSketch) of the developed lesson series. After the pilot the lesson series was adapted to the experiences of the students and the teacher.

Implementation

Participants

Seven grade 3 classes from one secondary school (four classes with a HAVO level, three classes with a VWO level) with a total of 204 students participated in this study. These classes were taught by three different teachers. An overview can be found in Table 1. Participation was obligatory for all students and they got graded for the exercises in their student manual. Every lesson the students worked in the same pairs. Some students did not complete the entire lesson series. At the end every pair had to hand in one student manual for a grade. None of the students had previous experience with drawing-based modelling.

Table 1

Overview of the Teachers, Classes, Number of Students, Complete Sets of Modelling Questions on Pre- and Post-Tests and the Video Recorded Couples

Teacher	Class	Number of students	Complete sets of modelling questions	Video recorded couples
1	H3A	32	20	A*
	H3B	32	25	D
2	H3X	29	10	B*
	H3Y	29	10	E
	V3A	28	17	C*
	V3Y	28	8	None
3	V3X	26	20	None
Total:	7 classes	204 students	110 sets	5 couples

*Note. 15 sets of modelling questions were deleted. * These couples are further analysed.*

We deleted pre- and post-tests of students that were obviously not finished, not filled in seriously or unreadable due to bad handwriting. Furthermore, we missed many pre-tests since this was a homework assignment and not all the students took that seriously.

Conditions

In all lessons students worked in pairs or triplets. It varied per class which electronic device they used, depending on the classroom they were located. Some of the students worked on laptops, some on computers and some others on smartphones or tablets. In a few classrooms there was no smartboard or beamer available for the teacher, which are devices useful for classroom moments. The students used a computer mouse if they worked on the computers or laptops and some students used an interactive pen-based input device on the laptops. The digital drawing tool they used was SimSketch.

The conditions of the field practicum differed between the classes. Five classes conducted the practicum in a week with cold nights. Two classes went to the field a week later, as it was more moist and warm outside and there were probably more snails. All the students used standard results to continue their exercises.

In the last lesson a Skype session with a scientist from Naturalis was planned in order to make the connection between models and their use in science. Four classes actually performed this session. The students of the other three classes were able to ask their questions to the designer of the lesson series, who was present at every lesson.

Data analysis

Change in understanding of models

We examined the effect of the lesson series on students' understanding of models. The students had to fill in a pre-test and a post-test. The tests can be found in Appendix II. Eight open questions on these tests examined the understanding of models. These questions were used in a questionnaire of a previous study about the relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task (Sins et al., 2009). There were two questions in the category of the nature of models, two questions in the category of multiple models, two questions in the category of the purpose of models and two questions in the category of testing models. The following questions were asked, translated to English (Sins et al., 2009, p. 1225):

- Nature of models: "How do you define a model? Try to mention everything you can think of when you hear the words *model* and *modelling*. Use whole sentences in your answer." And "Only a small part of reality can be described by models: Agree/disagree, because:"
- Multiple models: "It is impossible to decide which model is the best. Agree/disagree, because:" And "A scientist thinks there is no way to decide which model can describe the given data the best. Agree/disagree, because:"
- Purpose of models: "Why are models used in science?" And "Models are useful in order to better understand physical and biological phenomena. Agree/disagree, because:"
- Testing models: "How do you decide if a model is correct?" And "Scientists should test their models. Agree/disagree, because:"

We developed a scoring system for these eight questions based on the revised framework for students' understanding of models and their use in science, including levels of complexity and their categories (Grünkorn et al., 2014), the scoring system Sins and his colleagues (2009) maintained in their study and an impression of students' answers on the pre- and post-test in our study. The scoring system can be found in Appendix III. In general, a level 1 understanding implies that the students see models as simple copies of reality. At level 2 students realise that there are specific choices made to come to a suitable scientific model and that a model is a possible variant of reality. At level 3 students understand that models can be used to test hypotheses and that the modeller has an active role in the modelling process (Grosslight et al., 1991; Grünkorn et al., 2014; Sins et al., 2009). We examined whether there was a shift in students' understanding or not.

Scientific reasoning process

After we investigated how the lesson series (with the focus on drawing-based modelling) changed students' understanding of models (sub question 1), we were also interested in the learning process of the students that took place. We investigated this learning process by three different sources. We video recorded in total five pairs during the first and third lesson. Useful statements the students made in their discussion are evaluated by using the scientific reasoning complexity rubric (Hogan et al., 1999). According to this rubric some criteria are important to evaluate a discussion on scientific reasoning complexity, which are the number of subtopics within a discussion; the amount of detail that is given; the amount of evidence-based support that students give to their idea(s); the mechanisms which the students use to explain a phenomena; the reliability of the explanations and justifications and the way the students deal with unresolved questions. By evaluating the statements the students made on these criteria we determined whether their discussion led to a low, middle or high level of scientific reasoning.

Drawings in SimSketch

Most of students' drawings in SimSketch are saved by logfiles and can be replayed in a SimSketch replayer. We used examples of these drawings to support our findings during the evaluation of students' scientific reasoning processes.

Answers on exercises

The students made exercises in their student manual. After the lesson series they had to hand in one student manual per pair and they got graded for it. The answers on the insight required questions gave us insight in their learning process.

Results

In this section we combine quantitative data of the pre- and post-tests with a qualitative analysis of the statements students made, their answers on exercises and the models they drew.

Understanding of models

A change in students' understanding of models is tested by a statistical analysis of the pre- and post-tests the students ($N = 110$) had to fill in. Descriptive statistics of the test scores of all students are found in Table 2, such as the test scores of subgroups consisting of havo students and vwo students.

Table 2

Means, Standard Deviations and Confidence Intervals on the Total Test Score of All Students Together, the Havo Students and the Vwo Students

Test	Students	n	Total test score	
			M (SD)	95 % CI
Pre	All	110	6.92 (2.15)	[6.51, 7.32]
Post	All	110	8.32 (2.38)	[7.87, 8.77]
Pre	Havo	65	6.56 (2.34)	[5.85, 7.26]
Post	Havo	65	7.53 (2.32)	[6.84, 8.23]
Pre	Vwo	45	7.47 (1.77)	[6.94, 8.00]
Post	Vwo	45	9.42 (2.20)	[8.76, 10.08]

Note. The maximum score of a test is 24.

Progress of all students

Because the data of the test scores of all students is not normally distributed, a Wilcoxon Signed-Ranks Test was used. The output indicates that the median post-test scores ($Mdn = 7.00$) are statistically significantly higher than the median pre-test scores ($Mdn = 8.50$), $Z = 5.43$, $p < .001$. So students scored higher on the post-test than on the pre-test. Cohen's effect size value ($d = .62$) suggests a medium effect.

Difference between havo and vwo students

To investigate whether there is a difference in the test scores of the havo and vwo students, a Mann Whitney U test has run because the data is not normally distributed. This test indicates that the pre-test scores are greater for vwo students ($Mdn = 8.00$) than for havo students ($Mdn = 6.00$), $U = 1022.00$, $p = .007$. So vwo students scored higher on the pre-test than havo students. However, the effect size ($d = .45$) suggests a small effect. A same test indicates that the post-test scores are greater for vwo students ($Mdn = 9.00$) than for havo students ($Mdn = 8.00$), $U = 797.50$, $p < .001$. This means that vwo students also scored higher on the post-test than havo students. The effect size ($d = .83$) suggests a large effect.

Progress in-between havo and vwo groups

To study the difference between the pre- and posttest in the subgroup of the havo students, a Wilcoxon Signed-Ranks Test was used. The outcome indicates that the median post-test scores ($Mdn = 8.00$) are statistically significantly higher than the median pre-test scores ($Mdn = 6.00$), $Z = 3.16$, $p = .002$. However, Cohen's effect size value ($d = .44$) suggests a small effect. Another Wilcoxon Signed-Ranks Test was conducted to investigate the difference between the pre- and post-test in the group of vwo students. The output shows that the median post-test scores ($Mdn = 9.00$) are significantly higher than

the median pre-test scores ($Mdn = 8.00$), $Z = 4.55$, $p < .001$. This means that both the havo students as the vwo students scored higher on their post-test than on their pre-test. The effect size ($d = .99$) suggests a large effect.

Progress per modelling-related category

The questions of the pre- and post-test are categorised in four levels of understanding: the nature of models, the purpose of models, testing models and multiple models. The pre- and post-test consists eight of the same questions and each category encloses two questions. Descriptive statistics of the test scores per category can be found in Table 3.

Table 3

Means, Standard Deviations and Confidence Intervals of the Test Scores per Level of Understanding Category

Level of understanding	Test	n	Test score	
			M (SD)	95% CI
Nature	Pre	110	1.96 (1.07)	[1.76, 2.17]
	Post	110	2.80 (1.20)	[2.57, 3.03]
Multiple	Pre	110	1.22 (1.04)	[1.02, 1.42]
	Post	110	1.53 (1.14)	[1.31, 1.74]
Testing	Pre	110	1.99 (.97)	[1.81, 2.17]
	Post	110	2.09 (.91)	[1.92, 2.26]
Purpose	Pre	110	1.75 (.80)	[1.60, 1.90]
	Post	110	1.90 (.87)	[1.74, 2.06]

Note. The maximum score of a category is 4.

Data of the test scores is skewed, so a Wilcoxon Signed-Ranks Test was conducted for each category. As can be seen in Table 4, students scored significantly higher on questions on the post-test in the nature and multiple category than they did on the pre-test. Although the effect size of the nature category is higher ($d = .74$) than the multiple category ($d = .28$). No difference was found on the purpose and testing related questions.

Table 4

Medians of the Test Scores in the Different Levels of Understanding and Output of the Wilcoxon Signed-Ranks Test

Level of understanding	<i>n</i>	<i>Mdn pre-test</i>	<i>Mdn post-test</i>	Wilcoxon Signed-Ranks Test	
				<i>Z</i>	<i>p</i>
Nature	110	2.00	3.00	5.47	< .001
Multiple	110	1.00	2.00	2.28	.023
Testing	110	2.00	2.00	.88	.380
Purpose	110	2.00	2.00	1.76	.079

Scientific reasoning process

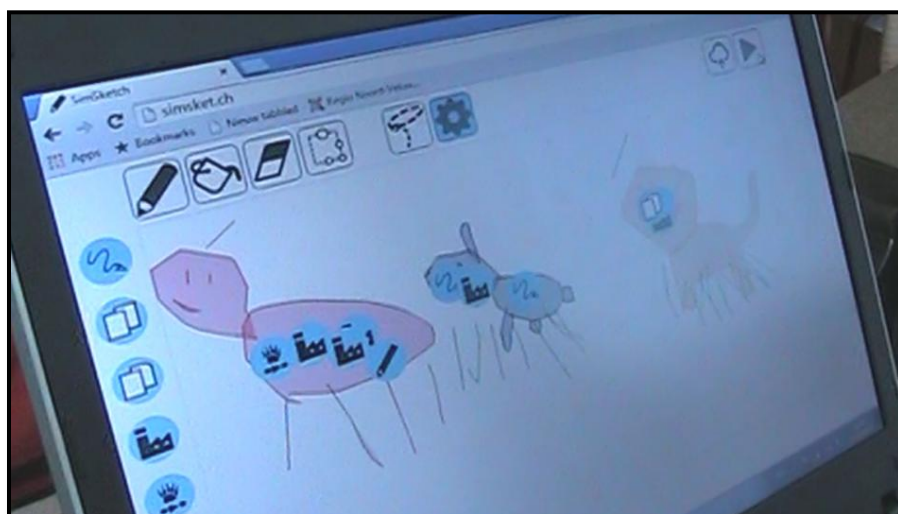
Five couples were video recorded during the first and the third lesson. During the first lesson we could see how they practiced with SimSketch and during the third lesson we could see what elements of the model they draw, how they discussed about the model and the amount of help they needed. In this section we analyse the statements, drawings and exercises of three couples on different degrees of scientific reasoning.

Couple A – class H3A

In the first lesson this couple tried all the buttons of SimSketch. They drew for example a rabbit and a lion and gave it all kind of behaviours (Figure 2).

Figure 2

Drawings in SimSketch of Couple A During the Practicing Lesson



In the third lesson student 1 of this couple took the lead and a few sentences of their discussion can be read below. Student 2 did not response often and was most of the time distracted. All quotes are translated from Dutch to English. Also the moment in the video is mentioned.

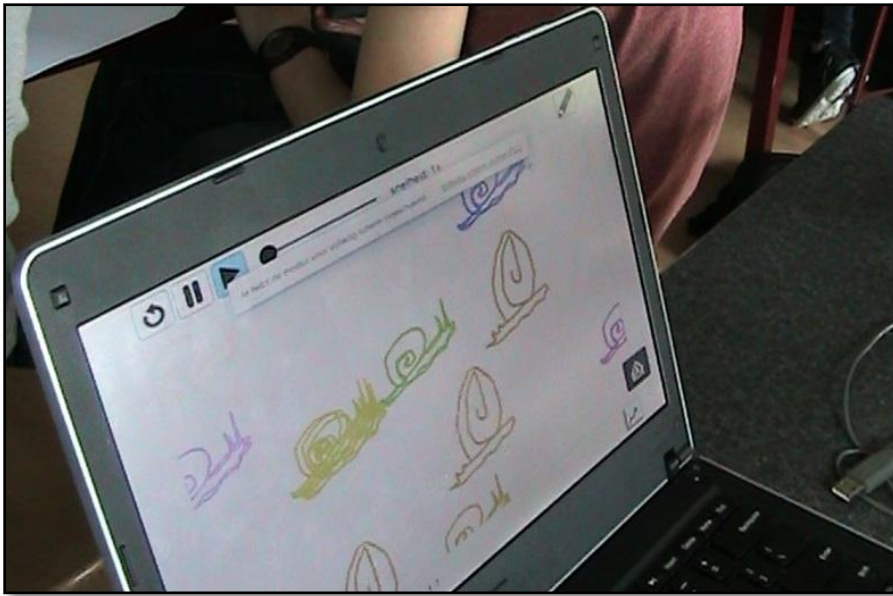
- Student 1: *"How can the snails suddenly have other colours?"* (1.26 min.)
- Student 1: *"All kind of new species originate."*(2.12 min.)
- Student 1: *"They adapt to their environment, I like that."* (3.35 min.)
- Student 1: *"Miss, what should we do now?"* (5.44 min.)
- Teacher: *"You need to make a background, like a big coloured surface, which is the forest."*
- Student 1: *"We need to draw a yellow and a brown or pink snail."* (8.38 min.)
- Student 1: *"Wow! New species originate."* (13.26 min.)
- Teacher: *"It looks good, but what lacks in your drawing?"* (14.50 min.)
- Student 1: *"A background and a bird."*

If we analyse their discussion from the point of view of the reasoning complexity rubric, the discussion consisted of four subtopics. Student 1 made two observations and had one own idea. They did not elaborate their observations. Student 1 said that the snails adapt to their environment, even though the couple did not draw an environment yet. Furthermore, there was a misconception about the emergence of new species by student 1. Help from the teacher was needed to let the students think about other possible objects in their model, such as a background and a thrush. No further explanations or logical connections were made by this couple. From this point of view, the students did not engage in higher levels of scientific reasoning.

As can be seen in Figure 3 the students drew a yellow and a brown snail and they gave order to the snails to move and split and mutata colour. A background (the surrounding) and the bird lacked in their drawing. In the preparatory scheme on worksheet 3 they filled in that there should be two different kind of backgrounds, so they understood all the aspects they should draw. This exercise was meant to let the students first think about possible elements and behaviours in their model. Probably they added some answers to this scheme later on.

Figure 3

Drawings in SimSketch of Couple A During the Modelling Lesson



Couple B – class H3X

This couple practiced with SimSketch by drawing a rabbit and giving it all kind of possible orders to see what happens. After some confusion about the exercises in the third lesson they focused on modelling the evolution of the snail.

- Student 1: *“You can see that green conceals better on green than green on orange.”* (21.42 min.)
- Student 2: *“We have to make it complete.”* (26.35 min.)
- Student 1: *“In fact a snail cannot really evolve.”* (29.29 min.)
- Student 1: *“Now we are going to make a background.”* (30.34 min.)
- Student 1: *“It must be a very simple model.”* (31.05 min.)
- Student 1: *“The snail does not need to split right?”* (33.00 min.)
- Teacher: *“Splitting, or in this case reproduction, seems to be useful for natural selection. You need to make a background in which the bird sees the snail or not. The snail with the best camouflage colour stays alive and can reproduce himself.”*
- Student 1: *“We need to make the background green, in order that the green snail can conceal better than the red snail.”* (36.10 min.)

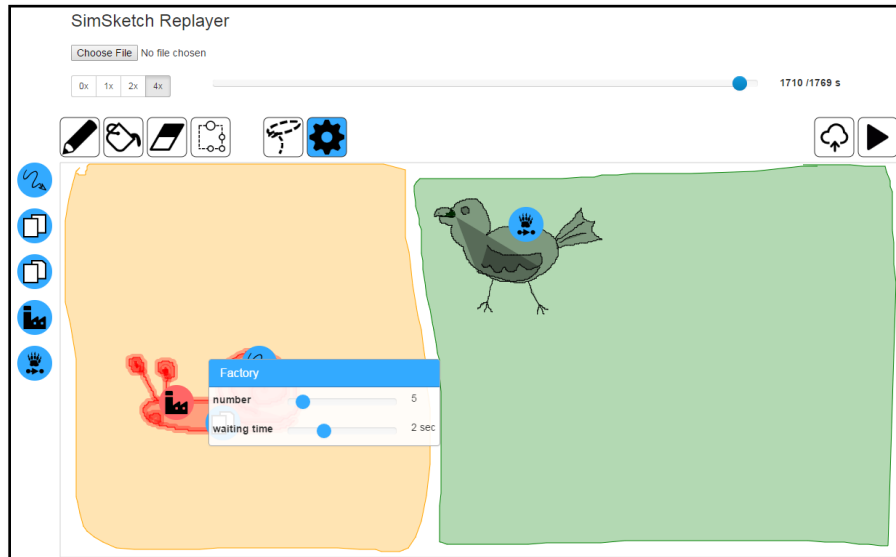
- Student 1: *"The bird eats the red snail and the green snail can split now."* (41.25 min.)
- Student 2: *"Actually the bird must split and eats snails. But the birds die eventually because there are no snails anymore."*
- Student 1: *"They now adapt to the background."*

These students had some ideas about modelling, such as keeping it simple and make it as complete as possible. Especially student 1 elaborated his thoughts about the evolution of the snail. The statement of student 1 about that a snail cannot really evolve came out of the blue. Furthermore, they had some troubles with the behaviours they should use in SimSketch, like splitting. The students thought about the environment they wanted to draw, but again help from the teacher was needed to really draw the background in SimSketch. Compared with the first couple this couple engaged in higher levels of scientific reasoning, especially because they justified their ideas at the end of the lesson.

The drawing can be seen in Figure 4. The students drew all the elements which are needed to simulate the evolution of the snail. The teacher helped them in order to come to this model.

Figure 4

Drawings in SimSketch of Couple B During the Modelling Lesson



If we evaluate the exercises they filled in on their worksheet we can conclude that they gain a deeper understanding of modelling the evolution of the snail. This can be seen in Figure 5. The students explained what kind of changes they made in their model to come to a more realistic view. They understood that the snail who adapts itself to the environment has more change to survive and reproduce. This will lead to more adapted snails.

Figure 5

The Answers of Couple B on Exercise 2 on Worksheet 3 in the Students Guide

Simulation round	Changes I made	Effects of the changes
2	Addition of a background	The snail is better camouflaged
3	Let the bird hunt	The bird eats the most least camouflaged snail
4	The snail adapts	The bird does not see the snail anymore
5	Camouflaged snail reproduces	More camouflaged snails appear
6	The snail mutates	More adapted snails appear and they are quite safe for the birds

The simulation scheme helped students to think about adaptations they had to make in their model.

Couple C – class V3A

This couple practiced with SimSketch by drawing a rabbit and giving it all kind of behaviours. In the third lesson this couple started modelling with drawing two different backgrounds. However, this was explained by the teacher beforehand. They also drew two green snails, two brown snails and a thrush.

- Student 1: *“The snails move randomly.”* (9.25 min.)
- Student 2: *“And a large angle of rotation, in order that they stay in their own area.”*
- Student 2: *“The thrush needs to hunt.”* (10.41 min.)
- Student 2: *“The thrush must be very fast, he must not rest too much and after 10 seconds he starves. And he splits.”*
- Student 2: *“New snails arrive quite fast and the snails don’t stay in their own area. If they leave their area, they will die. The thrush must be split up less.”* (11.47 min.)
- Student 1: *“We must ensure that the snails stay in their own area.”*
- Teacher: *“What do you think the snails do, in order that the thrushes will not eat them?”* With the intention that the students will use the split and mutate button. (14.27 min.)
- Student 1: *“If the snails evolve the thrushes will find them less rapidly. The thrushes will starve.”* (15.30 min.)
- Student 2: *“Eventually only the green snails will survive I think. They will be more and more and the thrushes won’t find them anymore. And then the thrushes will die.”*
- Student 1: *“What kind of adaptations in the model have we made?”* (17.14 min.)

Teacher: *“There must be a biological balance. The two populations should be able to keep each other alive.” (25.25 min.)*

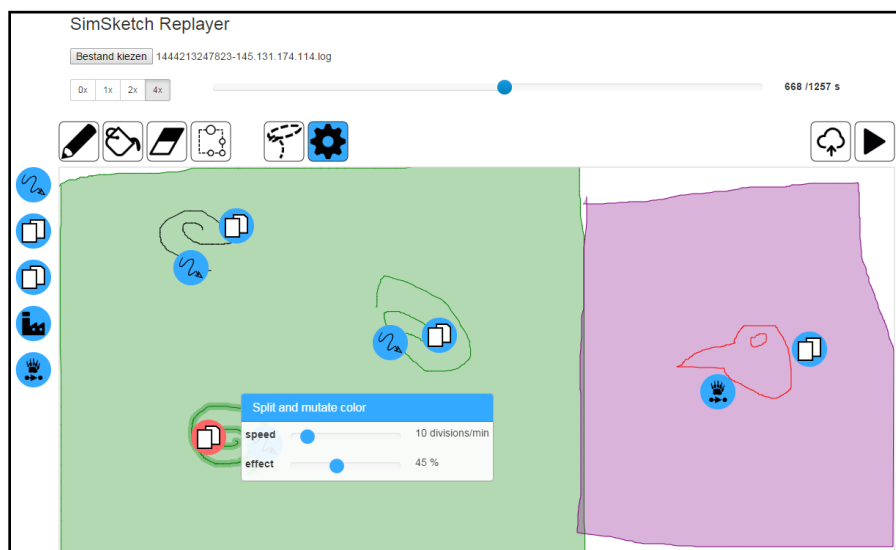
Student 1: *“How can we ensure that we have a biological balance?”*

Student 2: *“We are just going to make small adaptations.”*

This couple had a lot of discussion during their modelling task. They worked quite fast and were focused, which resulted in a deeper understanding than most students had. They brought in own ideas and elaborated them. Together they came to decisions which led to a realistic model, which can be seen in Figure 6. They needed some support of the teacher to think in the right direction, for instance to use the button of split and mutate colour instead of giving the snails different kind of colours. The couple discussed about the different behaviours of the snails and bird. They made many adaptations to see the consequences in their simulation, which led to connections between their thoughts and their drawing. These students engaged in higher levels of scientific reasoning.

Figure 6

Drawings in SimSketch of Couple C During the Modelling Lesson



Conclusion

The aim of the present study was to gain insight in the role of drawing-based modelling in supporting scientific thinking. This is done by investigating the effects of the developed lesson series on students' understanding of models and their scientific reasoning processes. This leads to a list with recommendations about the use of drawing-based modelling.

Understanding of models and their role in science

The lesson series contributes to a higher understanding of models. On average the students scored significantly higher on their post-test than they did on their pre-test, which means they display a better epistemological understanding of models and of modelling processes after the lesson series. This higher understanding has two advantages. In the first place it may contribute to scientific thinking, because students are more involved in the nature of science. Secondly, paying attention to the epistemological aspects of models and modelling during the lesson series may lead to more engagement in deep processing during their modelling task (Sins et al., 2009). This in turn may contribute to higher levels of scientific reasoning.

The students scored specifically higher on the nature of models and multiple models related questions on the tests. This can be explained by the fact that these topics have been addressed more than the other two topics, testing of models or the purpose of models. For instance, it was not clear for most students if scientists need to test their models and how they do that. In the developing phase the four modelling related categories were not especially taken into account. This may be a point of attention for continuation of this research.

There is a clear difference between scores of the havo group and the vwo group. The students in the vwo group scored significantly higher on both the pre- and post-test than the havo students did. Especially on the post-test the vwo students scored higher, which is confirmed by the large effect size. This is an expected conclusion, because a deeper understanding is expected from vwo students. Furthermore, drawings and discussions of vwo students were on average of higher quality. In general they drew more elements in their models of the evolution of the snail and they made more adaptations in their models. Despite these findings, it is important to point out that the havo students also made a significant shift from their pre- to post-test although the scores were lower than the vwo students. Although the effect size of the havo group shows a small effect, drawing-based modelling might be an useful learning method for havo students as well. There was no difference between the havo or vwo group in the to be learning concept or exercises they had to make. Further research is needed to find out whether more-guided lessons lead to higher understanding of models in the havo group.

Level of scientific reasoning

The use of drawing-based modelling in a lesson series may lead to students reasoning scientifically at a higher level. However, this depends on certain factors. In the first place, the support of the teacher has influence on the modelling task and the scientific reasoning processes of the students. The students really needed help to reach higher levels of scientific reasoning, as can be seen at the video-recorded couples.

The teacher had to guide the students in the adaptations they had to make in their model. Besides, many couples did not understand how to draw a background, so the teacher lost time by explaining this to the students. This is a point of improvement for further development of the lesson series.

Scaffolding is an important aspect of inquiry-based learning, the learning strategy that was maintained in these lessons. Moreover, it is the role of the teacher to make the students aware of their drawings and script them in their process (Gijlers et al., 2013). This way of scaffolding should lead to a deeper understanding and thereby more scientific reasoning. In practice this was harder to achieve than expected. During most lessons the teacher and developer of the lessons were there to offer the students help. The amount of support that was offered was obviously not enough for a class of 30 students, because students had questions during the whole modelling lesson and the teacher was not able to answer them all.

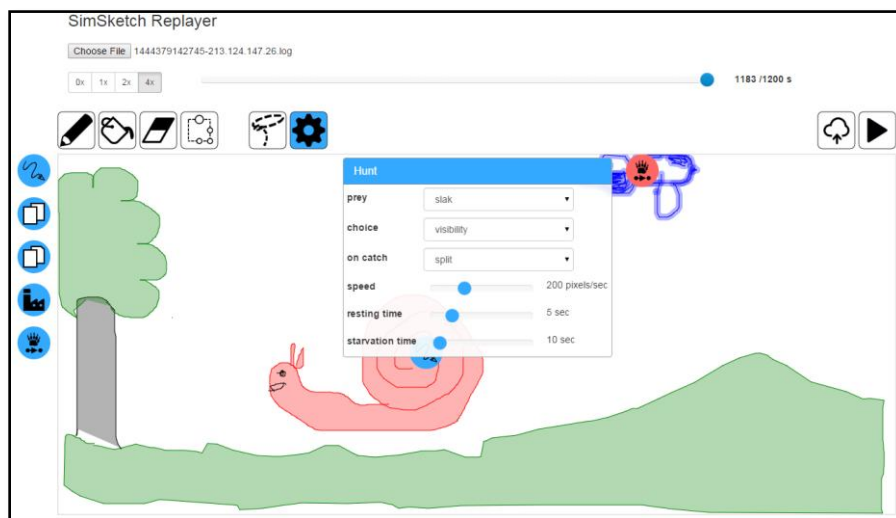
Preparatory and reflective assignments may be supporting for scientific reasoning in drawing-based modelling. The schemes the students had to fill in on worksheet 3 helped them to think about their model. Especially the scheme of exercise 2 about the adaptations they made during the simulations was useful for students' scientific reasoning processes. Couple C used this scheme as guidance for their modelling task and they achieved high levels of scientific reasoning. The problem was that most students completed this scheme at home instead of during the modelling lesson.

Drawing-based modelling is a difficult task for the students, especially when they work with it for the first time. The students who got distracted a lot did not reach higher levels of scientific reasoning. In couple A one student was distracted most of the time which resulted in an incomplete model and hardly any scientific reasoning.

Furthermore, the amount of time plays a role. Although the students practiced with SimSketch for at least 20 minutes in the first lesson, it took a while before they understood the principle of modelling in the third lesson. This principle implies that students first draw a model with some basic elements and behaviours. After each simulation they need to change the behaviours or drawings in order to match their model with their own-drawn conclusions. Many students did not go beyond just drawing some elements. If the students had more time to model they would probably express more ideas, explanations, justifications and elaborations in their scientific reasoning process. Another significant factor is the precision of the students. An example of a detailed drawing can be seen in Figure 7. In many cases the students were too focused on the drawing process instead of the modelling process, even though the teacher pointed out that they should keep the drawing as simple as possible.

Figure 7

Example of a Detailed Drawing Made During the Modelling Lesson



Lastly, the level of scientific reasoning may depend on the courage of the students to try out SimSketch. In the first lesson the students practiced with SimSketch. There may be a relation between the courage to try out SimSketch and the level of scientific reasoning the students reach, although we did not prove this statistically. This could be an interesting topic for further research. The logfiles of the students of the practicing lesson and the modelling lesson can be coupled to see if there is a relationship. This can give insight in the role of the practicing lesson. In general, the teachers and designer observed that the students who were not afraid to use all the buttons were able to come to a deeper understanding in their modelling task, even though this was not the case in the three couples we pointed out in the results section.

Besides these conclusions based on our observations and data analysis, the teachers were enthusiastic about the lesson series because it was really about insight acquisition instead of knowledge acquisition. Next to that, the students were amazed about SimSketch when they started their simulation.

Recommendations

We summarised our findings in a list with recommendations as an answer to the main question: ***How can drawing-based modelling be used in science education to support scientific thinking?*** This can be seen in Table 5. We divided the question into two subjects, which are the use of DBM to support scientific thinking and the use of DBM in science education. The last mentioned is more focused on the practical aspects in the classroom. These recommendations can be used by teachers or educational developers who want to implement drawing-based modelling.

Table 5

Recommendations for the Use of Drawing-Based Modelling in Science Education to Support Scientific Thinking

Support scientific thinking	The use in science education
Let students practice with modelling	Keep the modelling task simple
Let students reflect on their model	Offer personal support to students
Let students discover all the aspects of modelling (nature, multiple, purpose, testing)	Use classroom moments during the modelling task
Stimulate students to try their own ideas	Give enough time for the modelling task
Stimulate discussions between students	Use modelling tasks in different contexts

Most recommendations are elaborated in the above-mentioned conclusions. The aspects mentioned in the left column of the table will probably lead to higher understanding of models and higher levels of scientific reasoning. In the right column advices are given about the use of DBM in science education. These advices are based on the made observations and future expectations. We expect that if the students learn scientific concepts more often via drawing-based modelling they will become more familiar with this learning method.

It was the first time that SimSketch was used in a real educational setting. Before this study, SimSketch was tested in small groups of students and they were supported by a SimSketch expert. The setting of this study has yielded some new insights, because the teacher can give less personal support or help to the students and the amount of time plays a role due to the scheduled teaching hours. Therefore, the modelling task must be simple otherwise the students will not come to a final model. It can be very helpful to use classroom moments, because modelling may lead to different working speed between students. This is also an observation we made during this study. Finally, it remains important to use modelling tasks in different contexts, in order that the students learn to separate the scientific concept from the modelling task and vice versa.

Discussion

Next to the data we collected we conducted some supporting research to find out whether there were more factors which might influence drawing-based modelling.

Cause of effects

Some nuances can be made to the conclusions. The first relevant question is whether the effects are caused by the provided education. All students filled in the same pre- as post-test, so there could have been already a learning effect after the pre-test. There was no control group, so the observed effects are discussable. The effect sizes are calculated based on a pre- and post-test, so this size highly depends on

the scores on the pre-test. For further research it will be interesting to compare the learning effects with a control group. In addition, two have groups filled in the post-tests two weeks after the last lesson instead of directly after the last lesson. That could have influenced the data.

We were also interested in whether the learning effects of the students were correlated with their motivation of nature of science or not. On their pre-test they filled in a short questionnaire with seven questions about the nature of science. The answers were scored and at first sight we discovered no correlation between the shift in students' understanding of models and their motivation of nature of science ($N = 110$, $r = .10$).

Supporting lessons

In this study we paid attention to the practising first lesson and the modelling third lesson of the lesson series, because we wanted to focus on the role of drawing-based modelling. In the first lesson also an introduction about models and modelling was given, in the second lesson the students conducted field work and in the last lesson they reflected on their model by talking with a real scientist from Naturalis. We did not conduct research to the role of these supporting lessons. We expect these lessons helped the students in their scientific reasoning process, because they got in touch with real science. It may be interesting to investigate how drawing-based modelling comes into its own and how it leads best to scientific thinking.

Students' final understanding

We were also interested in the supporting role of modelling in understanding the evolution of the snail. The lesson series might be helpful to learn the students how to model, but in the context of biology education it is important that they also learned about evolution. A open question was added to the post-test and although students interpreted this question in two ways the answers were quite informative. The following question was added: *How do you understand the evolution of the garden snail by the model you made? Explain this as well as possible in your own words.* 180 students answered this question. There are some misconceptions found in the answers about the emergence of new species. Furthermore, some students made wrong conclusions about the relationship between snails and thrushes. The largest part of the students made some good connections between the components of their model, but most of them did not use biological terms to explain that. Only a few students wrote down a well-underpinned sentence about their model of the evolution of the snail. The word natural selection was only used in one answer. Paying more attention to jargon and misconceptions will be a good point of attention for further development of the lesson series.

To conclude, there are indications that drawing-based modelling may contribute to scientific thinking. By this study, a first step is made to implement drawing-based modelling in the classroom. The recommendations will lead to higher levels of students' model understanding and scientific reasoning, which in turn will lead to scientific thinking.

Acknowledgements

There were many people involved in this research and we want to thank them for their effort. First of all Yuri Matteman and Jeroen van der Brugge from the Centre for Biodiversity Naturalis in Leiden, who gave the opportunity to develop this lesson series in cooperation with them. Secondly, special thanks goes to the biology teachers from 't Hooghe Landt College in Amersfoort, which are Petra van Loon, Karin Klarenbeek and Wytske van Huizen. They had the courage to try out this lesson series and implement it in their regular lesson program. Most of the students got the opportunity to do a Skype-session with Bart de Jong, who conducts research to the garden snail at Naturalis. This was an enrichment for the lesson series and we want to thank him for that. Furthermore, we want to thank Frank Leenaars for his expertise of SimSketch.

Literature

- Ahrens, H., van der Brugge, J., & Matteman, Y. (2014). *De Big Five van educatie: Leren bij Naturalis Biodiversity Center*.
- Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science (New York, N.Y.)*, 333, 1096–1097. doi:10.1126/science.1204153
- Boersma, K. T., Kamp, M. J. A., Oever, L. van den, & Schalk, H. H. (2010). *Naar actueel, relevant en samenhangend biologieonderwijs*. CVBO: Utrecht.
- Bollen, L., & van Joolingen, W. R. (2013). SimSketch: Multi-agent simulations based on learner-created sketches for early science education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*.
- Brooks, M. (2009). Drawing, visualisation and young children's exploration of "Big Ideas." *International Journal of Science Education*, 31(3), 319–341. doi:10.1080/09500690802595771
- Cain, A. J., & Sheppard, P. M. (1952). The effects of natural selection on body colour in the land snail *Cepaea nemoralis*. *Heredity*, 6, 217–231. doi:10.1038/hdy.1952.22
- Dede, C., Salzman, M., Loftin, R., & Sprague, D. (1999). Multisensory immersion as a modeling environment for learning complex scientific concepts. *Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education*, 282–319. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-1414-4_12
- Duschl, R. A. (1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York, NY: Teachers College Press.
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329. doi:10.3102/0034654312457206
- Gijlers, H., Weinberger, A., van Dijk, A. M., Bollen, L., & van Joolingen, W. (2013). Collaborative drawing on a shared digital canvas in elementary science education: The effects of script and task awareness support. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 8, 427–453. doi:10.1007/s11412-013-9180-5
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822. doi:10.1002/tea.3660280907
- Grünkorn, J., zu Belzen, A. U., & Krüger, D. (2014). Assessing students' understandings of biological models and their use in science to evaluate a theoretical framework. *International Journal of Science Education*, 36(0), 1651–1684. doi:10.1080/09500693.2013.873155
- Heijnes, D. (2015). *Stimulating scientific reasoning with drawing-based modeling*. Utrecht University.
- Hogan, K., Nastasi, B. K., & Pressley, M. (1999). Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4), 379–432.

- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. Orlando: FL: Academic Press.
- Kuhn, D., & Pearsall, S. (2000). Developmental origins of scientific thinking. *Journal of Cognition and Development, 1*, 113–129. doi:10.1207/S15327647JCD0101N_11
- Longbottom, J. E., & Butler, P. H. (1998). Why teach science? Setting rational goals for science education. *Science Education, 473–492*. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199907)83:4<473::AID-SCE5>3.0.CO;2-Z
- Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2011). Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review, 64*(December 2011), 471–492. doi:10.1080/00131911.2011.628748
- Louca, L. T., Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2011). In quest of productive modeling-based learning discourse in elementary school science. *Journal of Research in Science Teaching, 48*(8), 919–951. doi:10.1002/tea.20435
- Onderbouw-VO. (2006). *Karakteristieken en kerndoelen voor de onderbouw*. Zwolle.
- Ozgo, M., & Schilthuizen, M. (2012). Evolutionary change in *Cepaea nemoralis* shell colour over 43 years. *Global Change Biology, 18*, 74–81. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02514.x
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., Van Joolingen, W. R., & Van Hout-Wolters, B. (2009). The relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task. *International Journal of Science Education, 31*(9), 1205–1229. doi:10.1080/09500690802192181
- Spek, W., & Rodenboog, M. (2007). *Concretisering van de kerndoelen mens en natuur*. Enschede.
- Worthington, J. P., Silvertown, J., Cook, L., Cameron, R., Dodd, M., Greenwood, R. M., McConway, K., & Skelton, P. (2012). Evolution MegaLab: A case study in citizen science methods. *Methods in Ecology and Evolution, 3*, 303–309. doi:10.1111/j.2041-210X.2011.00164.x
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review, 27*, 172–223. doi:10.1016/j.dr.2006.12.001

Appendix Ia. Student Guide of the Developed Lesson Series

Projectonderwijs biologie 3 havo/vwo

Modelleren

Een model bouwen van de
evolutie van de tuinslak



Leerlingenhandleiding

Naam:

Klas:



Universiteit Utrecht

Jij gaat meehelpen aan wetenschappelijk onderzoek!

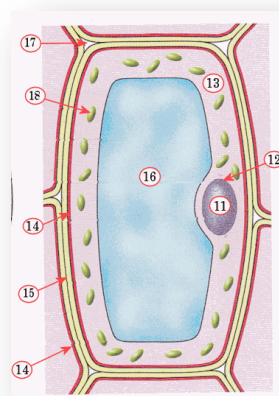
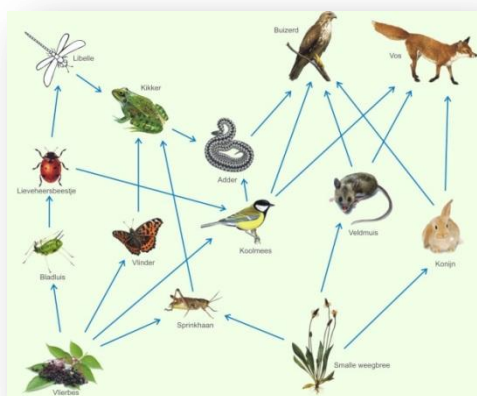
Waarom is er zo'n verscheidenheid aan dieren op aarde? Dat is iets wat biologen zich vaak afvragen. Denk maar eens aan alle verschillende dieren die in een bos leven, van een mier tot een vos. Of wat te denken van alle diverse dieren die in en rond de zee leven, zoals vissen, zeezoogdieren, reptielen en zeevogels. Deze dieren weten zich aan te passen aan hun omgeving, zodat ze in leven kunnen blijven. Ook wetenschappers zijn erg geïnteresseerd in de diversiteit aan dieren.

Dit is Prof. Dr. Menno Schilthuizen. Hij werkt bij het centrum voor biodiversiteit Naturalis in Leiden en is geïnteresseerd in de verscheidenheid aan slakken op de wereld. Hij reist de hele wereld af om onderzoek te doen naar deze dieren. Menno Schilthuizen begeleidt ook een masterstudent, genaamd Bart de Jong. Bart doet onderzoek naar de evolutie van de tuinslak in Rotterdam. Later in deze lessen zullen jullie ook kennis maken met Bart.



Professor Menno Schilthuizen bij zijn collectie aan slakken (bron: Naturalis)

Zodra Menno of Bart bepaalde ideeën hebben over een evolutieproces en hier ook gegevens voor hebben verzameld, kunnen ze een model maken. Een model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Dit kan bijvoorbeeld een tekening zijn, een schema of een driedimensionale nabootsing.



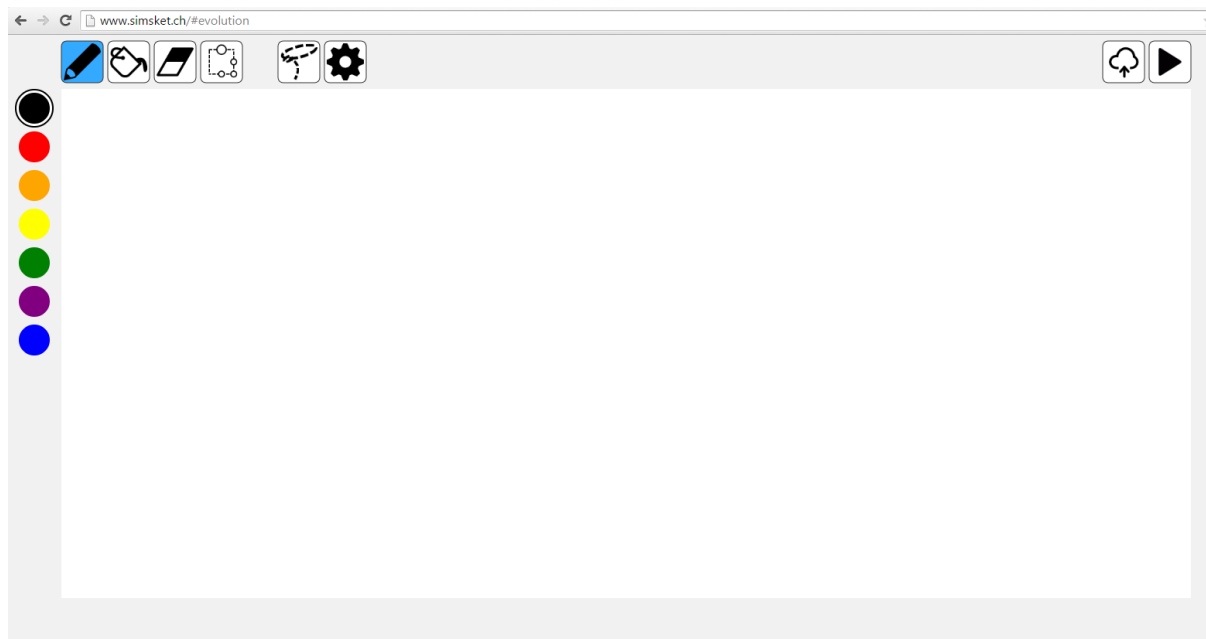
De werkelijkheid kan op verschillende manieren worden nagebootst (bron: Biologiepagina)






Ook computerprogramma's worden vaak gebruikt om een model te maken. Het voordeel is dat het snel werkt en je gemakkelijk wijzigingen kan aanbrengen. Jullie gaan tijdens deze lessen aan de slag met het programma SimSketch. Eerst leren jullie hoe dit programma werkt en wat je er allemaal mee kunt. Vervolgens gaan jullie meewerken aan een Europees onderzoek over de tuinslak. Hiervoor moeten jullie gegevens verzamelen in het veld, zoals Bart dat ook doet. Deze gegevens hebben jullie nodig, zodat jullie een goed model kunnen maken van het evolutieproces dat plaatsvindt bij de tuinslak. Tot slot gaan jullie samen met Bart kijken naar het model dat jullie gemaakt hebben. Wat heeft een onderzoeker nou aan zo'n model en hoe verschilt het met de werkelijkheid? Want bedenk wel: een model is nooit exact hetzelfde als de werkelijkheid.

Werkblad 1: werken met SimSketch

SimSketch is een programma op de computer waarbij je zelf modellen kunt tekenen. Loop in tweetallen alle stappen door, zodat je het programma goed onder de knie krijgt. Het gaat er niet om hoe netjes je kunt tekenen, maar om hoe het model eruit komt te zien. Beantwoord tussendoor de vragen die gesteld worden. Je mag in tweetallen werken.

Ga naar www.simsket.ch/#evolution. Dit is het programma waar je mee aan de slag gaat.



-  Met het potlood kun je dingen tekenen. Probeer maar eens een konijn te tekenen.
-  Met de lasso kan je van de losse lijnen één object maken.
-  Met deze knop kan je het getekende selecteren en het vervolgens vergroten of verkleinen.
-  Met het tandwiel kan je ervoor zorgen dat het konijn niet meer in de categorie 'ding' valt, maar het een 'konijn' wordt.
-  Als je op het tandwiel hebt geklikt, zie je tevens links het menu veranderen. Zo kan je het konijn bijvoorbeeld laten bewegen, met de snelheid en draaihoek die je zelf maar wilt. Als je rechtsboven op play drukt begint je zelfgemaakte simulatie. Wissel de snelheid en draaihoek een aantal keer af en kijk wat er gebeurt.

Vraag 1: Wat gebeurt er als je de snelheid verandert?

Vraag 2: Wat gebeurt er als je de draaihoek verandert?



Zoek uit wat er gebeurt als je de fabriek op het konijn zet.

Vraag 3: Wat gebeurt er als je het aantal van de fabriek verandert?

Vraag 4: Wat gebeurt er als je de wachttijd van de fabriek verandert?



Zoek uit wat er gebeurt als je een konijn laat splitsen.

Vraag 5: Wat gebeurt er als je de snelheid van het splitsen verandert?



Deze knop ziet er net iets anders uit dan de vorige. Zoek uit wat er gebeurt als je deze knop op een konijn zet in plaats van de vorige.

Vraag 6: Wat is het verschil tussen deze manier van splitsen en de vorige?

Met het potlood kun je ook ingekleurde ondergronden tekenen en daar een betekenis aan geven door middel van het tandwiel, zoals bos of gras. Probeer dat eens uit.



Er is nog één knop die je niet gebruikt hebt. Klik er eens op.

Vraag 7: Waar zou deze knop voor gebruikt kunnen worden?

Als je deze vragen gemaakt hebt, kun je lekker verder oefenen met het programma. Probeer maar uit!

Evolutie in je eigen achtertuin

Evolutie is een traag proces en speelt zich vaak af over duizenden jaren, zoals de ontwikkeling van de aap tot mens. Het leven op aarde ontstond drieënhalf miljard jaar geleden, en dankzij een opeenstapeling van hele kleine veranderingen over een hele lange tijd ziet het leven eruit zoals we het kennen. Maar wist je dat evolutie ook voor ons zichtbaar is? Bijvoorbeeld bij de tuinslak in onze eigen achtertuin.

Wetenschappers hebben ontdekt dat de donkere kleurvormen van de huisjes meer voorkomen in bos, waar de omgevingskleur bruin is, terwijl de slakken in grasland meestal lichter gekleurd zijn: geel en vaak zwart gestreept. Er wordt vermoed dat dit een aanpassing is, vanwege de camouflage die de kleurvormen bieden. Op www.evolutionmegalab.org (ook op Nederlands in te stellen) vind je meer informatie over dit onderzoek en ook de waarnemingen van over heel Europa. De eerste gegevens zijn al van meer dan 30 jaar geleden!



De gewone tuinslak (bron: Wikipedia)

Jullie gaan op een veldje in de buurt van school tuinslakken zoeken. Ter voorbereiding op het veldpracticum bekijk je onderstaande documenten. Hierop is te hoe je een tuinslak kunt herkennen. Wees op tijd aanwezig als het practicum begint, want je kunt de tijd goed gebruiken.



Verschillende typen huisjes (bron: Evolution MegaLab)

Zoekkaart tuinslakken - goed

Gewone tuinslak (*Cepaea nemoralis*)



Gewone tuinslakken herken je aan de donkere lip

Witgerande tuinslak (*Cepaea hortensis*)



Witgerande tuinslakken herken je aan de witte lip

Zoekkaart veldpracticum

Zoekkaart tuinslakken - fout

Deze slakken doen niet mee:



Heesterslak
(*Arianta arbustorum*)

Segrijnslak
(*Cornu aspersum*)

Zandslak
(*Theba pisana*)



Struikslak
(*Fruticicola fruticum*)

Wijngaardslak
(*Helix pomiana*)

Juvenile vormen
van *Cepaea*



Jonge, kleine slak met
dunne, breekbare,
ribbelige lip

Mogelijk
gemaakt door:

. naturalis

Evolution
MegaLab
O.org







Meer info:

www.naturalis.nl/megalab
www.evolutionmegalab.org

© nibi 2009

Gegevensvel veldpracticum

Gewone tuinslak (*Cepaea nemoralis*):

	Geel	Roze	Bruin
Geen banden			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aantal	<input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>
1 band			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aantal	<input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>
Meer dan 1 band			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aantal	<input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>

Witgerande tuinslak (*Cepaea hortensis*):

	Geel	Roze	Bruin
Geen banden			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aantal	<input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>
1 band			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aantal	<input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>
Meer dan 1 band			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aantal	<input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>	Aantal <input type="text"/>

Onderzoeker(s):

Datum en tijdstip:

Locatie:

Habitat: (bos of struikgewas/heggen of hoge kruidvegetatie/grasland/duinen)

Werkblad 2: Verwerk je gegevens

Tijdens het veldpracticum heb je gegevens verzameld over de kleuren en banderingen van tuinslakhuisjes. De volgende les ga je zelf een model maken van de evolutie van tuinslakken. Ter voorbereiding maak je deze opdracht. Hiervoor gebruik je de totaalgegevens van de hele klas.

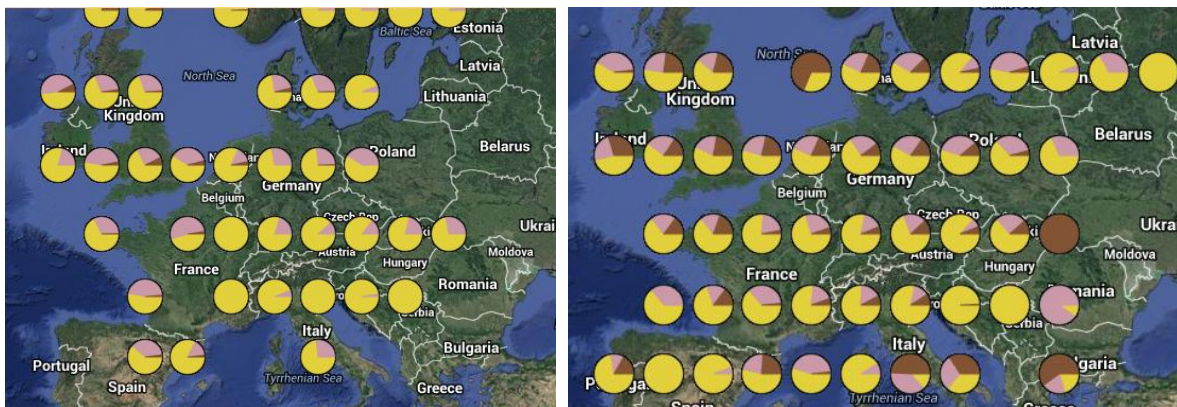
Vraag 1: Vul onderstaande tabel in en markeer de gebieden waar de verschillende huisjes het meeste in voorkomen.

	Bos of struikgewas	Heggen of hoge kruidvegetatie	Grasland
Geel z. banden			
Geel 1 band			
Geel >1 band			
Roze/bruin z. banden			
Roze/bruin 1 band			
Roze/bruin >1 band			

Vraag 2: Wat kunnen mogelijke oorzaken zijn van de verschillen in de kleuren van de slakkenhuisjes tussen de gebieden?

Kijk eens op de website www.evolutionmegalab.org (ook in te stellen in het Nederlands). Hier zijn de waarnemingen te vinden die de afgelopen jaren gedaan zijn in heel Europa. Je kunt meestal zien in welk type gebied (begroeid of gras/kruidrijk) de slakken zijn gevonden.

Bekijk de oude en recente waarnemingen en zoom wat meer in op Nederland. In de taartdiagrammen zie je of er in een bepaald gebied veel gele, roze of bruine slakken gevonden zijn.



Vraag 3: Vul onderstaande tabel in.

	Meest voorkomende kleur huisje
Oude waarnemingen	
Recente waarnemingen	

De lijster is een vogel die graag op tuinslakken jaagt. Dit is een belangrijk gegeven.

Vraag 4: Wat zou na verloop van tijd gebeuren met de kleur van de slakkenhuisjes bij de volgende generaties slakken als er veel lijsters in een leefgebied aanwezig zijn?



Vraag 5: Wat zou na verloop van tijd gebeuren met de kleur van de slakkenhuisjes bij de volgende generaties als er weinig lijsters in een leefgebied aanwezig zijn?

Werkblad 3: Aan de slag met het model

Tijdens de voorbereidende opdracht heb je conclusies getrokken aan de hand van de gegevens die je verzameld hebt. Nu kan je in SimSketch een model gaan maken van het evolutieproces van de tuinslak.

Vraag 1: Wat ga je allemaal tekenen in het model en welke opdrachten geef je het mee?

Objecten die ik ga tekenen	Opdrachten die ik meegeef

Nadat je de tabel hebt ingevuld ga je overleggen met andere tweetallen: wat komt wel of niet overeen?

Je gaat nu het model maken in SimSketch (www.simsket.ch/#evolution). Begin met het tekenen van de ondergronden en ga daarna verder met het tekenen van de slakken en vogels. Als je denkt dat jouw model zo compleet mogelijk is, laat je het simuleren. Je mag in tweetallen werken.

Vraag 2: Vul het onderstaande schema zo compleet mogelijk in.

Simulatieronde	Veranderingen die ik heb aangebracht	Gevolgen van de veranderingen
2		
3		
4		
5		
6		

KLASSIKALE BESPREKING: wees voorbereid, de docent kan jullie tweetal kiezen om het model te presenteren aan de klas.

Ga nu verder met het aanpassen van je model en het invullen van de tabel.

Werkblad 4: Overleg met de onderzoekers

Bij het maken van een model probeer je de werkelijke situatie zo goed mogelijk na te bootsen. Toch zijn er altijd verschillen met de werkelijkheid.

Wetenschapper Bart gebruikt ook regelmatig modellen om theorie te visualiseren. Modellen worden dan ook vaak gebruikt in onderzoek.

Vraag 1: Welke vragen zou je aan een wetenschapper willen stellen die modellen gebruikt voor onderzoek? Bedenk er tenminste vier.

Vraag 2: Wat kwam er overeen tussen jouw model en de werkelijke situatie?

Vraag 3: Welke elementen ontbraken er nog in je model die in de werkelijkheid wel een rol zouden kunnen spelen? Benoem er zo veel mogelijk.

Een model is niet hetzelfde als de werkelijkheid, het is een vereenvoudigde weergave.

Vraag 4: Welke beperkingen brengt een model met zich mee?

Vierdelige lessenserie biologie: Modelleren

In de context van de evolutie van slakken

In samenwerking met Naturalis Leiden

Docentenhandleiding

Door: Juliëtte Schouten (j.h.y.schouten@students.uu.nl)

Dit lesvoorstel sluit aan bij het thema 'Evolutie'. Het is met name geschikt voor leerlingen in de derde klas van de havo of het vwo. De vaardigheid modelleren staat centraal en leerlingen worden zich bewust van de relatie tussen een model en de werkelijkheid. Deze vaardigheid leren ze aan in de context van de evolutie van tuinslakken. Dit onderwerp leent zich goed om mee te modelleren. Deze lessenserie is ontworpen in samenwerking met het Naturalis Biodiversity Center te Leiden. Wetenschapper Menno Schilthuizen is werkzaam bij Naturalis en doet onderzoek naar slakken. Het werk dat de leerlingen gaan verrichten in deze lessen wordt gekoppeld aan echt wetenschappelijk onderzoek naar de tuinslak. In deze docentenhandleiding worden de verschillende leselementen uitgebreid toegelicht, zodat u als docent deze 4 x 45-minuten durende lessen zo goed mogelijk kunt voeren. Er is een aparte leerlingenhandleiding. Ideaal gezien krijgt iedere leerling hier een uitgeprinte versie van.

Inhoud	blz.
Lesvoorstel	2
De context	2
SimSketch	3
Doelgroep en curriculum	3
Overkoepelende leerdoelen	4
Begeleiding	4
Alternatieve les 2	4
Evolution MegaLab	4
Praktische zaken	4
Leeractiviteiten	
- Les 1	5
- Les 2	6
- Les 3	7
- Les 4	8
Benodigheden docent	
- Handout Powerpoint Modellen	10
- Antwoordmodel werkblad 1	15
- Antwoordmodel werkblad 2	17
- Antwoordmodel werkblad 3	19
- Antwoordmodel werkblad 4	21



Lesvoorstel

In deze vierdelige lessenserie staat de vaardigheid modelleren centraal. Dit is een vaardigheid die steeds belangrijker wordt voor leerlingen om onder de knie te hebben. In de 'Kennisbasis natuurwetenschappen en technologie voor de onderbouw vo' van het nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling (SLO) uit 2014 staat modelontwikkeling- en gebruik genoemd als een karakteristieke werkwijze die leerlingen onder de knie moeten hebben. De verschillende werkwijzen die ze in dit leerplankader noemen vormen de basis van de manier waarop technici, wetenschappers en ingenieurs werken.

De lessenserie is ontstaan uit een samenwerking tussen Naturalis Biodiversity Center Leiden en de Universiteit Utrecht. In het kader van 'wetenschapswijs' worden wil Naturalis graag in hun educatieve materiaal een aantal vaardigheden aan leerlingen aanbieden. Een van deze vaardigheden is het ontwikkelen en gebruiken van modellen. Onderzoekers bewegen zich vaak heen en weer tussen de echte wereld en de wereld van ideeën, theorieën en modellen. In deze lessenserie leren de leerlingen zich ook van de ene naar de andere wereld te bewegen en kritisch naar iedere stap te kijken, zoals dat in de echte wetenschap ook gebeurt.

Prof. Dr. Menno Schilthuizen is onderzoeker bij Naturalis en doet onder andere onderzoek naar de evolutie van tuinslakken. Dit evolutieproces is zeer geschikt om een model van te maken, en dat is wat de leerlingen gaan doen. Het modelleren in deze lessen gebeurt via het programma SimSketch. Dit is een programma waarmee getekend en gesimuleerd kan worden, zonder dat er enige programmeertaal aan te pas komt.

De algemene opbouw van de lessenserie is als volgt:

1. Introductie op het modelleren
2. Gegevens verzamelen uit de praktijk
3. Een model maken
4. Reflecteren op model en koppeling wetenschap

De context

De micro-evolutie van de tuinslak (gewone tuinslak: *Cepeae Nemoralis* en witgerande tuinslak: *Cepeae Hortensis*) wordt tijdens deze lessenserie als context gebruikt. Deze slak komt in verschillende habitats voor. De populaties zijn klein, omdat de slak zich niet meer dan 30 meter per jaar verplaatst. Tuinslakken zijn het lievelingsvoer van de zanglijster en de verschillende kleuren en banderingspatronen van hun huisjes zorgen ervoor dat ze tegen verschillende achtergronden goed gecamoufleerd zijn. Wetenschappers bestuderen deze tuinslak al vele jaren en hebben ontdekt dat de donkere kleurvormen meer voorkomen in het bos, waar de omgevingskleur bruin is. Terwijl slakken in grasland meestal lichter gekleurd zijn: geel en vaak zwart gestreept. Er wordt vermoed dat dit een aanpassing is, vanwege de camouflage die de kleurvormen bieden.

Om de invloed van verschillende factoren op het huisje van de tuinslak te onderzoeken is er een Europees onderzoek opgezet. Gegevens van dit onderzoek zijn te vinden op www.evolutionmegalab.org. Deze website biedt ook achtergrondinformatie en zal veel gebruikt worden tijdens de lessen. Tijdens deze lessenserie wordt er op het niveau van adaptatie (fenotype) en natuurlijke selectie gewerkt, er zal niet verder ingegaan worden op het genotype en de overervingspatronen. Het is echter wel belangrijk dat de leerlingen in zien welke factoren ze buiten

beschouwing hebben gelaten tijdens het modelleren. Het onderzoek van Menno Schilthuisen zal als rode draad door de lessen heen lopen.

SimSketch

Het computerprogramma SimSketch is een nieuw ontwikkelde software waarbij tekenen, modelleren en simuleren wordt gecombineerd. Op basis van een simpele tekening kunnen leerlingen zelf een wetenschappelijk model maken. SimSketch is nog in ontwikkeling en wordt geregeld aangepast. Op www.modeldrawing.eu is meer achtergrondinformatie te vinden over dit programma en de auteurs ervan. Het programma zelf is te vinden via www.simsket.ch/#evolution. Dit is de versie die speciaal voor het simuleren van evolutieprocessen is ontworpen. Het is aan te raden om dit programma uit te proberen voordat de lessenserie gegeven wordt aan de leerlingen. Om door het programma heen te werken kan ook werkblad 1 gebruikt worden.

Doelgroep en curriculum

Deze lessenserie is geschikt voor de 3^e klas van de havo of het vwo. Het sluit aan op het onderwerp evolutie, al is deze voorkennis niet vereist om de lessenserie te kunnen volgen. Termen die aan bod *kunnen* komen zijn: adaptatie, mutatie, (natuurlijke) selectie, roofdier-prooi model, leefgebied, populatie en migratie. Als deze kort uitgelegd worden is dat genoeg, het modelleren staat centraal en de evolutie van slakken is de biologische context die gebruikt wordt.

Als het wel tijdens het onderwerp evolutie aan bod komt, sluit het ook aan op kerndoelen van het curriculum van de onderbouw:

- De leerling leert kennis te verwerven over en inzicht te verkrijgen in sleutelbegrippen uit het gebied van de levende en niet-levende natuur, en leert deze sleutelbegrippen te verbinden met situaties in het dagelijks leven.
- De leerling leert o.a. door praktisch werk kennis te verwerven over en inzicht te verkrijgen in processen uit de levende en niet-levende natuur en hun relatie met omgeving en milieu.
- De leerling leert te werken met theorieën en modellen door onderzoek te doen naar natuurkundige en scheikundige verschijnselen als elektriciteit, geluid, licht, beweging, energie en materie.

Tevens sluit het aan op enkele vaardigheden voor de onderbouw die door het SLO genoemd worden:

- Onderzoeken (subdomein A5): De kandidaat kan in contexten instructies voor onderzoek op basis van vraagstellingen uitvoeren en conclusies trekken uit de onderzoeksresultaten. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.”
- Modelvorming (subdomein A7): De kandidaat kan in contexten een probleem analyseren, een adequaat model selecteren, en modeluitkomsten genereren en interpreteren. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.
- Redeneervaardigheden

Overkoepelende leerdoelen

In deze lessenserie staat modelleren als vaardigheid van de leerlingen centraal. De overkoepelende leerdoelen hierbij zijn:

- De leerlingen kunnen schakelen tussen een model en de werkelijke situatie.
- De leerlingen kunnen met een kritische blik kijken naar hun eigen model.
- De leerlingen zien in dat een model niet hetzelfde is als de werkelijkheid.
- De leerlingen zien de overeenkomsten tussen hun eigen werkwijze en de manier waarop wetenschappers modellen gebruiken.

Deze leerdoelen hebben ze aan het eind van de lessenserie onder de knie. Bij iedere les staan er leerdoelen omschreven die zullen bijdragen aan deze overkoepelende leerdoelen.

Begeleiding

Tijdens het modelleren op de computer is het de bedoeling dat de docent rondloopt en sturing geeft aan de leerlingen. Sommige leerlingen zullen het programma sneller onder de knie hebben dan andere. Tussendoor kunnen er naar eigen inzicht klassikale besprekingen plaatsvinden, met behulp van de beamer of het smartboard waar SimSketch dan ook op aanstaat. Bij veel opdrachten mogen de leerlingen in tweetallen werken, zodat ze kunnen overleggen. Het is belangrijk dat ze beiden hun werkbladen invullen, zodat ze beiden de denkstappen blijven volgen.

Alternatieve les 2

Het kan zijn dat er vanwege de tijd van het jaar of vanwege droogte geen veldpracticum kan plaatsvinden. Tuinslakken zijn over het algemeen tussen april en oktober te vinden, al hangt dit wel van de weersomstandigheden af. Er is een alternatieve les 2 gemaakt, zodat de lessenserie toch het gehele jaar gegeven kan worden. Deze wordt dus gegeven in plaats van het veldpracticum.

Evolution MegaLab

De gegevens die de leerlingen hebben verzameld kunnen ook daadwerkelijk worden ingevoerd op de site van het Evolution MegaLab. Daarvoor moet wel een gebruikersnaam en wachtwoord worden aangemaakt. De docent kan dit doen voor de gehele klas of de keuze aan de leerlingen geven om dit vrijwillig voor hun eigen verkregen data te doen.

Praktische zaken

Les	Benodigheden
1	<ul style="list-style-type: none">- Leerlingenhandleidingen- Laptops (met muis) / computers / tablets Met Google Chrome- Een smartboard of beamer
2	<ul style="list-style-type: none">- Een stukje veld van ongeveer 50 x 50 m. dicht bij school- Alternatieve les: laptops/computers
3	<ul style="list-style-type: none">- Laptops (met muis) / computers / tablets Met internet Met Google Chrome- Een smartboard of beamer
4	<ul style="list-style-type: none">- Een smartboard of beamer met Skypeverbinding voor videoconferentie

Les 1: Introductie op het modelleren – 45 minuten

In deze les maken de leerlingen kennis met modellen en leren ze te werken met het programma SimSketch. Dit is nodig om in de 3^e les direct aan de slag te kunnen met het model voor de evolutie van slakken.

Het is raadzaam om de leerlingenhandleiding de voorafgaand aan deze lessenserie uit te delen (bijvoorbeeld een les ervoor). Zo kunnen de leerlingen vast de introducerende tekst doornemen.

Leerdoelen:

- De leerlingen weten wat een model is.
- De leerlingen raken bekend met het modelleerprogramma SimSketch.
- Leerlingen zien in dat modelleren ons makkelijker in staat stelt om voorspellingen te maken.
- De leerlingen bereiden zich voor op het veldpracticum.

Element 1: Introductie op onderzoek en modellen - 10 minuten

De les wordt gestart met een introductie van de term 'model' en de functie die het heeft. Een model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Er is een PowerPoint beschikbaar met plaatjes van modellen en de bijbehorende realistische situaties. Op die manier wordt dit een interactief element tussen leraar en leerlingen. Vervolgens wordt de koppeling gelegd met onderzoek.

Element 2: Oefenen met SimSketch en invullen werkblad 1 – 25 minuten

De leerlingen gaan aan de slag met werkblad 1. Ze werken hierbij in tweetallen en ieder tweetal heeft een laptop (met muis)/computer/tablet nodig. Stap voor stap leren de leerlingen om te gaan met alle knoppen in SimSketch die ze ook in les 3 nodig gaan hebben. Het gaat er vooral om dat de leerlingen durven te werken met SimSketch en achter de functies komen. De docent loopt hierbij rond en helpt de leerlingen op weg als dat nodig is.

Element 3: Introductie evolutie van slakken – 10 minuten

Het model dat de leerlingen zelf gemaakt hebben staat hier niet centraal, het gaat erom dat de leerlingen bekend zijn geraakt met het programma. Er wordt de leerlingen verteld dat ze zelf een realistische biologische situatie gaan modelleren, namelijk de evolutie van slakken. De PowerPoint kan weer gebruikt worden ter ondersteuning. Er wordt verteld over het Europees onderzoek en leerlingen kijken het filmpje van het Evolutie Megalab (3.34 min.):

https://www.youtube.com/watch?v=Hy_qtrCtwEk. Tijdens dit filmpje zien ze wetenschapper Menno Schilthuizen.

De leerlingen krijgen als huiswerk om de instructies voor het veldpracticum door te lezen. Tevens moeten ze de volgende les op tijd aanwezig zijn, omdat er anders niet genoeg tijd is voor het veldpracticum. De docent geeft aan waar ze verzamelen voordat ze naar het veldpracticum gaan.

Als hierna alternatieve les 2 gegeven gaat worden hebben de leerlingen geen huiswerk. De leerlingen gaan de volgende les dan ook géén veldpracticum doen.

Les 2: Veldpracticum tuinslak – 45 minuten

Deze les kan alleen als de tuinslakken volop aanwezig zijn (april-oktober). De slakken zijn het best te vinden als het vochtig buiten is. Het is raadzaam om van te voren te kijken of er slakken aanwezig zijn op het uitgekozen terrein. Als het geen slakkenseizoen is kan alternatieve les 2 gegeven worden.

Leerdoelen:

- De leerlingen kunnen gegevens verzamelen die nodig zijn om een model te maken.
- De leerlingen zien in dat ze nu zelf mee doen aan wetenschappelijk onderzoek.
- De leerlingen beseffen dat populaties lokaal kunnen verschillen door lokaal variërende selectiedrukken.

In deze les gaan de leerlingen één lesuur het veld in. Tuinslakken kunnen gevonden worden in bos, struikgewas, (stads)tuinen, in of onder heggen, in hoog gras en velden met brandnetels en bramen. Zoek hiervoor een bruikbaar gebied op en kijk van te voren of er slakken aanwezig zijn. Gezien de tijd is het handig om een veldje dichtbij school te zoeken. De leerlingen gaan in deze gebieden op zoek naar tuinslakken aan de hand van een zoekkaart.

- Alleen tuinslakken, dit is de slakkensoort *Cepaea*, doen mee. Zie de [zoekkaart](#) voor een uitgebreid overzicht welke slakken en varianten wel en niet meedoen.
- Zorg dat er gezocht wordt in een beperkt gebied zodat er sprake is van een populatie en dat niet meerdere populaties door elkaar worden gesampled. Een gebied van 50x50 meter is groot genoeg.
- Denk erom dat wegen en sloten al een barrière zijn dus dat wegen en sloten een scheiding vormen tussen populaties.
- Begin aan de ene kant van het door jou uitgekozen terreintje en zoek het systematisch helemaal af. Het makkelijkst is het om de vondst na afloop in de klas te sorteren op de 9 verschillende varianten.
- Probeer tenminste 50 volwassen *Cepaea*'s te vinden, maar zelfs als je maar een stuk of 5 exemplaren vindt, is dat al voldoende voor het MegaLab. (En als het te droog is om er veel te vinden, kun je altijd later terugkomen om het onderzoekje af te maken.)
- Zet de slakken terug op de plek waar je ze gevonden hebt.

Uit hun eigen gegevens en de al verzamelde gegevens kan naar voren komen dat de onderzochte populatie van uiterlijk is veranderd vergeleken met de data van 50 jaar geleden.

De leerlingen werken in tweetallen en vullen het gegevensvel in. Ze verspreiden zich over het gebied, zodat ze allemaal een ander stukje bekijken. De docent neemt de gegevens over van de leerlingen, zodat er een totaalstelling komt. De docent zorgt ervoor dat de leerlingen deze gegevens aan het eind van de dag ontvangen via de mail of ELO. Als huiswerk maken de leerlingen de voorbereidende vragen voor les 3.

Alternatieve les 2: Gegevens verzamelen tuinslak – 45 minuten

Er is een aparte leerlinghandleiding gemaakt waar de alternatieve les in verwerkt is. De leerlingen gaan op de website van het Evolutie MegaLab aan de slag om gegevens te verzamelen. Tevens gaat deze les iets meer op de inhoud van de evolutie in.

Leerdoelen:

- De leerlingen kunnen gegevens verzamelen die nodig zijn om een model te maken.
- De leerlingen beseffen dat populaties lokaal kunnen verschillen door lokaal variërende selectiedrukken.

Element 1: Instructie docent – 10 minuten

De docent vertelt dat ze anders het veldpracticum hadden gedaan en wat daar bedoeling van zou zijn geweest. Om de leerlingen toch het gevoel te geven dat ze met echte slakken in aanraking zijn geweest, laat de docent een aantal tuinslakken zien (mits dit mogelijk is, de docent moet deze dan zelf van te voren gevangen hebben, bijvoorbeeld uit eigen tuin).

Element 2: Invullen werkblad 2- 35 minuten

Leerlingen vullen werkblad 2 in. Hierbij gaan ze gegevens verzamelen op www.evolutionmegalab.nl. Tevens komen er wat meer biologische termen aan bod. Tussendoor kan de docent klassikaal bespreken.

Les 3: Modelleren evolutie van de slak – 45 minuten

In deze les gaan leerlingen zelf een model maken van de gegevens die ze hebben verzameld over de evolutie van slakken.

Leerdoelen:

- Leerlingen kunnen de eigen verkregen data te analyseren en modelleren.
- Leerlingen kunnen kritisch naar iedere stap kijken die ze hebben gemaakt om tot het model te komen.

Element 1: Bespreking werkblad 2 – 10 min.

De docent bespreekt samen met de leerlingen werkblad 2. De docent kan, naar eigen inzicht, wat extra toelichting geven over adaptatie en selectie bijvoorbeeld.

Element 2: Modelleren in SimSketch en bespreking werkblad 3 – 35 min.

Leerlingen gaan hun gegevens per tweetal in SimSketch zetten en passen het model steeds zo aan, dat het steeds meer op de werkelijke situatie begint te lijken. Er moet een balans komen tussen de hoeveelheid slakken en lijsters. Werkblad 3 helpt de leerlingen het model te maken. Na vraag 1 vindt er een klassikaal moment plaats. Het gaat er bij vraag 1 om dat de leerlingen eerst nadenken voordat ze direct aan de slag gaan met SimSketch. Als de leerlingen een aantal keer hun model hebben aangepast en de tabel van vraag 2 een aantal keer hebben ingevuld, vindt er een korte klassikale discussie plaats. De docent pikt een tweetal uit de klas en zij maken hun model op het smartboard (of op de computer met de beamer). De docent gaat in overleg met de klas over welke elementen al goed verlopen in het model en welke nog niet.

Verder is er naar eigen inzicht ruimte voor klassikale momenten. De leerlingen hebben tot en met het einde van de les om hun model zo goed mogelijk in balans te krijgen. Deze tijd zullen ze ook nodig hebben.

Les 4: Koppeling met de wetenschap – 45 minuten

Tijdens deze les gaan de leerlingen bekijken waar ze tegen aan zijn gelopen tijdens het maken van een model en wat de verschillen en overeenkomsten zijn tussen hun model en de werkelijke situatie.

Leerdoelen:

- Leerlingen beseffen dat modellen een voorspellende waarde hebben over de werkelijkheid, maar dat het niet hetzelfde is.
- Leerlingen zien in dat ze hebben meegewerkt aan wetenschappelijk onderzoek.

Element 1: Vragen voor wetenschapper – 10 minuten

De leerlingen bedenken in groepjes van vier een aantal vragen die ze aan een wetenschapper kunnen stellen die ook met modellen werkt. Ze gebruiken hiervoor werkblad 4.

Element 2: Videoconferentie wetenschapper – 20 minuten

Een student van prof. Dr. Menno Schilthuis doet onderzoek naar de tuinslak in Rotterdam. Hij zal via een skypeverbinding aanwezig zijn in de klas. Hij zal eerst wat over zichzelf vertellen en daarna kunnen de leerlingen vragen stellen. De docent leidt dit gesprek.

N.B. Als er geen videoconferentie mogelijk is deze les, kunnen de leerlingen direct verder met het invullen van werkblad 4. De docent kan hier nog op terugblikken. Vervolgens kunnen de leerlingen bijvoorbeeld zelf verder werken aan het hoofdstuk. Dit is naar eigen inzicht van de docent.

Element 3: Verder invullen werkblad 4 – 10 minuten

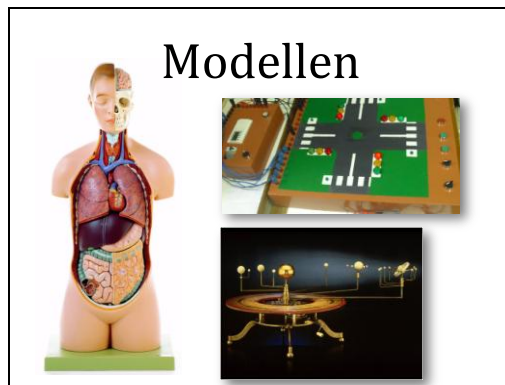
De leerlingen gaan in tweetallen verder werken aan werkblad 4. Hierbij gaan ze reflecteren op hun eigen model en de verschillen met de werkelijkheid bekijken.

Element 4: Eventuele nabespreking – 5 minuten

Als hier nog tijd voor is kan de docent kort het werkblad 4 nabespreken.

Handout Powerpoint introductie modellen

Dia 1



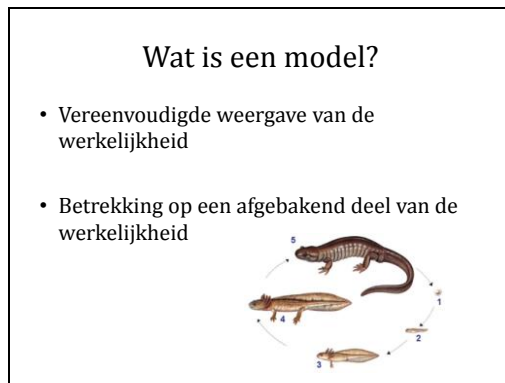
In de powerpoint zitten animaties verwerkt. Bij deze dia komen om de beurt modellen naar voren. Aan de leerlingen is het de vraag of dit een model is en zo ja, wat de functie er van is.

Model 1: torso

Model 2: verkeerskruispunt

Model 3: zonnestelsel

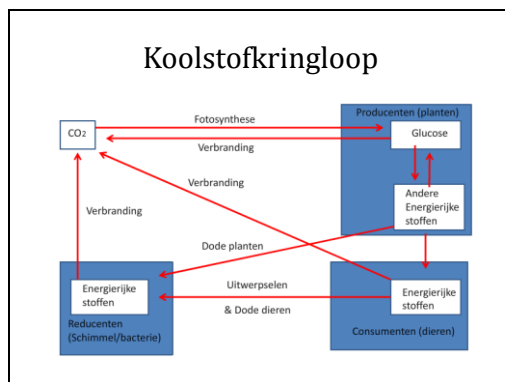
Dia 2



Beginnen met de vraag waar de afbeelding een model van is (levenscyclus salamander).

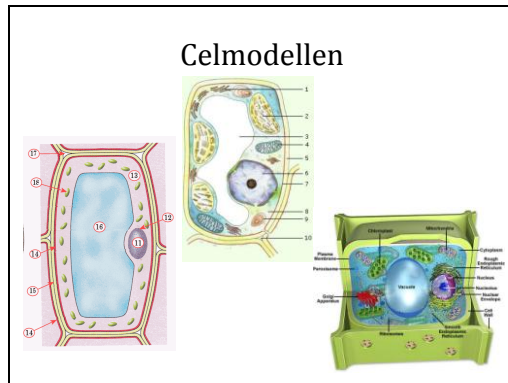
Kort de tekst toelichten.

Dia 3



Is dit ook een model? Weet iemand waarvan? (koolstifkringloop)

Dia 4



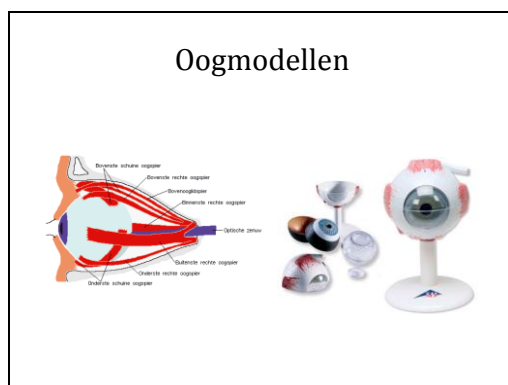
Weet iemand wat voor cel dit is? (een plantencel).

Volgende plaatje: ook een plantencel

Volgende plaatje: ook een plantencel (3D)

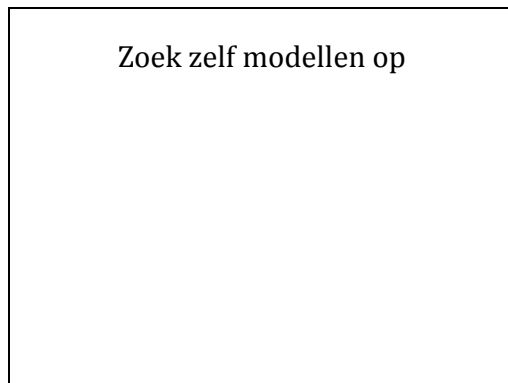
Er zijn dus meerdere representaties/modellen nodig om een volledig beeld te krijgen.

Dia 5



Een fysiologisch model van een oog (spieren/bloedvaten) versus een anatomisch model.

Dia 6



Geef de leerlingen 1 minuut om zelf in hun boek zoveel mogelijk modellen op te zoeken. Daarna even kort een aantal leerlingen de beurt geven om hun opgezochte model te laten zien.

Dia 7

Een model representeert de werkelijkheid, maar is niet de werkelijkheid!



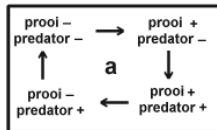
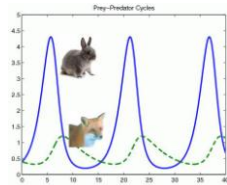
Waarom zouden we dan modellen ergens van maken? Als het niet de werkelijkheid is...

Koppeling leggen met onderzoek: namelijk om theorieën te testen kunnen modellen een erg goed middel zijn.

Dia 8

Modellen in onderzoek

- Roofdier-prooi model



Dit is een voorbeeld van twee modellen uit onderzoek: het roofdier-prooi model op twee verschillende manieren weergegeven.

Dia 9

Modellen in onderzoek

- Menno Schilthuizen
- Bioloog
- Onderzoeker bij Naturalis



Dit is professor Menno Schilthuizen. Hij is bioloog en doet onderzoek naar de tuinslak. Hij en zijn team gebruiken ook vaak modellen om theorieën te testen. Later in de lessen maken jullie kennis met een andere onderzoeker uit het team van Menno, namelijk Bart.

Dia 10

De komende lessen

1. Zelf oefenen met modellen
2. Gegevens verzamelen
3. Een model bouwen
4. Overleggen met de wetenschapper

Korte uitleg komende lessen.

Dia 11

Aan de slag!

- In tweetallen achter één computer
- Maak werkblad 1
- 25 minuten



Werkblad 1 maken in tweetallen. Het hoeven geen prachtige kunstwerken te worden, het gaat erom dat ze het programma SimSketch uitproberen.

Na deze dia gaan de leerlingen aan de slag. Op de beamer kan dan ook SimSketch worden gebruikt.

Dia 12

Evolutie MegaLab

- Evolutie van tuinslakken
 - Model van maken: dus eerst gegevens verzamelen!
- Europees onderzoek
- http://www.evolutionmegalab.org/nl_NL/information/viewHomePage



Toelichting op het Evolutie MegaLab. Kort even de website laten zien. De leerlingen gaan dus meewerken aan Europees onderzoek.

Dia 13

Filmpje

- https://www.youtube.com/watch?v=Hy_qtrCt_wEk

Het instructiefilmpje op het veldpracticum laten zien.

Dia 14

Huiswerk

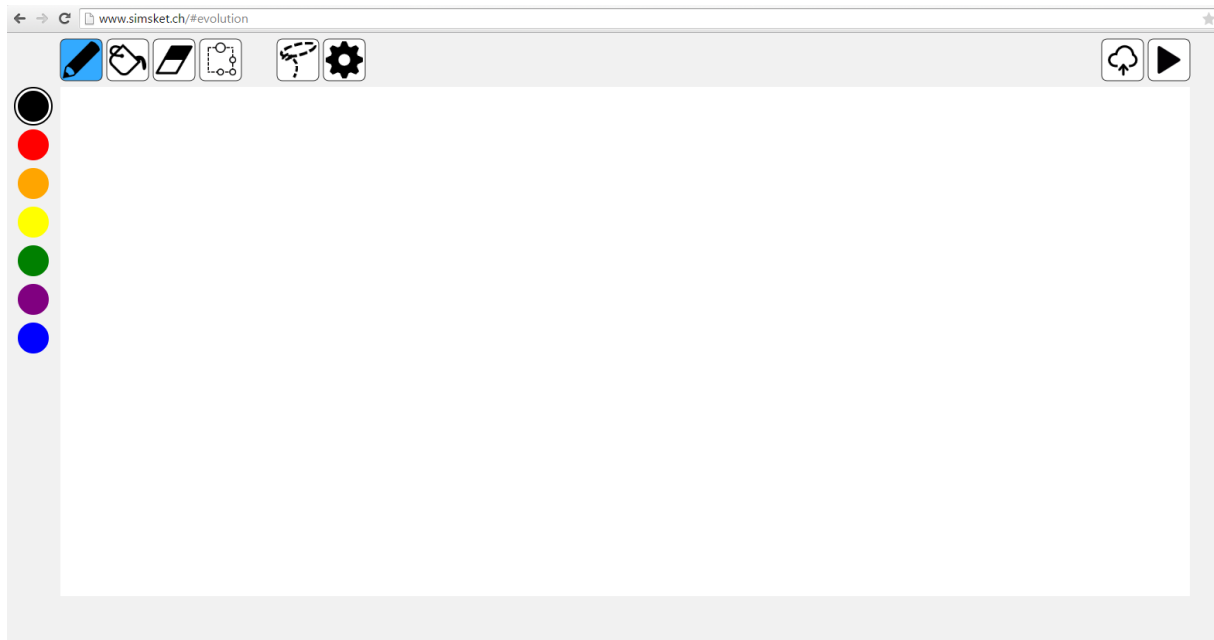
- Instructies doorlezen veldpracticum
- Op tijd verzamelen bij het lokaal!!

De leerlingen moeten de zoekkaart vast bestuderen voor het veldpracticum (staat in leerlingenhandleiding). Er kan afgesproken worden waar de volgende les verzameld wordt, bijvoorbeeld bij de uitgang van de school, zodat er zo snel mogelijk aan het veldpracticum kan worden begonnen.

Antwoordmodel Werkblad 1: werken met SimSketch

SimSketch is een programma op de computer waarbij je zelf modellen kunt tekenen. Loop in tweetallen alle stappen door, zodat je het programma goed onder de knie krijgt. Het gaat er niet om hoe netjes je kunt tekenen, maar om hoe het model eruit komt te zien. Beantwoord tussendoor de vragen die gesteld worden. Je mag in tweetallen werken.

Ga naar www.simsket.ch/#evolution. Dit is het programma waar je mee aan de slag gaat.



Met het potlood kun je dingen tekenen. Probeer maar eens een konijn te tekenen.



Met de lasso kan je van de losse lijnen één object maken.



Met deze knop kan je het getekende selecteren en het vervolgens vergroten of verkleinen.



Met het tandwiel kan je ervoor zorgen dat het konijn niet meer in de categorie 'ding' valt, maar het een 'konijn' wordt.



Als je op het tandwiel hebt geklikt, zie je tevens links het menu veranderen. Zo kan je het konijn bijvoorbeeld laten bewegen, met de snelheid en draaihoek die je zelf maar wilt. Als je rechtsboven



op play drukt begint je zelfgemaakte simulatie. Wissel de snelheid en draaihoek een aantal keer af en kijk wat er gebeurt.

Vraag 1: Wat gebeurt er als je de snelheid verandert?

Het konijn gaat harder of zachter rondbewegen.

Vraag 2: Wat gebeurt er als je de draaihoek verandert?

Als de draaihoek groter wordt, blijft het konijn dichterbij het startpunt.



Zoek uit wat er gebeurt als je de fabriek op het konijn zet.

Vraag 3: Wat gebeurt er als je het aantal van de fabriek verandert?

Groter: meer konijnen. De fabriek kan als een soort startpunt gebruikt worden.

Vraag 4: Wat gebeurt er als je de wachttijd van de fabriek verandert?

Het gaat sneller of duurt langer voordat er konijnen bijkomen.



Zoek uit wat er gebeurt als je een konijn laat splitsen.

Vraag 5: Wat gebeurt er als je de snelheid van het splitsen verandert?

Sneller, dan splitsen alle konijnen zich eerder



Deze knop ziet er net iets anders uit dan de vorige. Zoek uit wat er gebeurt als je deze knop op een konijn zet in plaats van de vorige.

Vraag 6: Wat is het verschil tussen deze manier van splitsen en de vorige?

Bij deze knop heeft er bij de volgende generatie een mutatie in de kleur opgetreden. Het effect bepaald de mate van kleursverandering.

Met het potlood kun je ook ingekleurde ondergronden tekenen en daar een betekenis aan geven door middel van het tandwiel, zoals bos of gras. Probeer dat eens uit.



Er is nog één knop die je niet gebruikt hebt. Klik er eens op.

Vraag 7: Waar zou deze knop voor gebruikt kunnen worden?

Voor een roofdier-prooi model

Als je deze vragen gemaakt hebt, kun je lekker verder oefenen met het programma. Probeer maar uit!

Antwoordmodel Werkblad 2: Verwerk je gegevens

Tijdens het veldpracticum heb je gegevens verzameld over de kleuren en banderingen van tuinslakhuisjes. De volgende les ga je zelf een model maken van de evolutie van tuinslakken. Ter voorbereiding maak je deze opdracht. Hiervoor gebruik je de totaalgegevens van de hele klas.

Vraag 1: Vul onderstaande tabel in en markeer de gebieden waar de verschillende huisjes het meeste in voorkomen.

	Bos of struikgewas	Heggen of hoge kruidvegetatie	Grasland
Geel z. banden			
Geel 1 band			
Geel >1 band			
Roze/bruin z. banden			
Roze/bruin 1 band			
Roze/bruin >1 band			

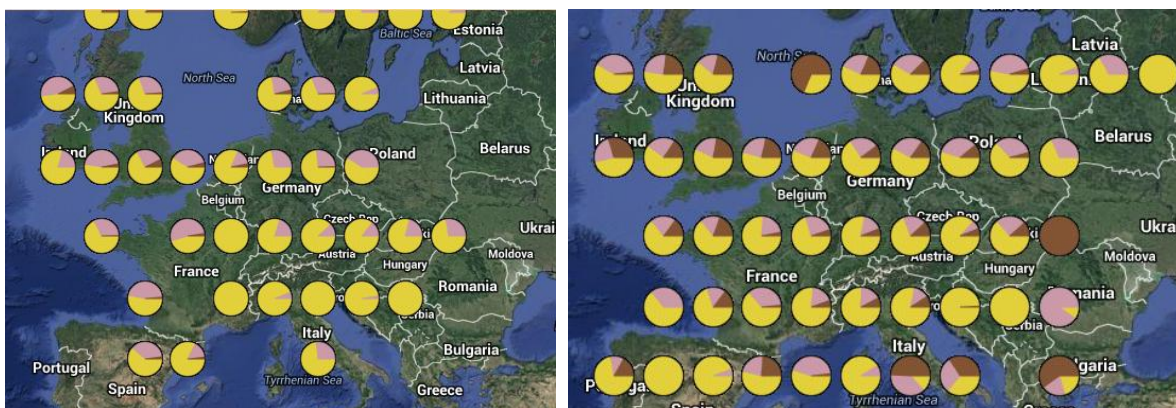
De verwachting is dat gele huisjes meer voorkomen in grasland of hoge kruidvegetatie. Roze/bruine huisjes (moeilijk van elkaar te onderscheiden) komen meer in bossen of struikgewas voor, met banden.

Vraag 2: Wat kunnen mogelijke oorzaken zijn van de verschillen in de kleuren van de slakkenhuisjes tussen de gebieden?

Camouflage voor roofdieren, zonlicht, temperatuur

Kijk eens op de website www.evolutionmegalab.org (ook in te stellen in het Nederlands). Hier zijn de waarnemingen te vinden die de afgelopen jaren gedaan zijn in heel Europa. Je kunt meestal zien in welk type gebied (begroeid of gras/kruidrijk) de slakken zijn gevonden.

Bekijk de oude en recente waarnemingen en zoom wat meer in op Nederland. In de taartdiagrammen zie je of er in een bepaald gebied veel gele, roze of bruine slakken gevonden zijn.



Vraag 3: Vul onderstaande tabel in.

	Meest voorkomende kleur huisje
Oude waarnemingen	Geel
Recente waarnemingen	Bruin/roze

De lijster is een vogel die graag op tuinslakken jaagt. Dit is een belangrijk gegeven.

Vraag 4: Wat zou na verloop van tijd gebeuren met de kleur van de slakkenhuisjes bij de volgende generaties slakken als er veel lijsters in een leefgebied aanwezig zijn?



Een zanglijster (bron: Vogelvisie)

Meer aanpassing van de kleur aan de omgeving

Vraag 5: Wat zou na verloop van tijd gebeuren met de kleur van de slakkenhuisjes bij de volgende generaties als er weinig lijsters in een leefgebied aanwezig zijn?

Minder aanpassing van de kleur aan de omgeving

Werkblad 3: Aan de slag met het model

Tijdens de voorbereidende opdracht heb je conclusies getrokken aan de hand van de gegevens die je verzameld hebt. Nu kan je in SimSketch een model gaan maken van het evolutieproces van de tuinslak.

Vraag 1: Wat ga je allemaal tekenen in het model en welke opdrachten geef je het mee?

Objecten die ik ga tekenen	Opdrachten die ik meegeef
Donkere ondergrond (bos)	
Lichte ondergrond (gras)	
Slak	Rustig bewegen Fabriek (slakkenpopulatie) Muteren op kleur
Vogel	Slak vangen op zichtbaarheid en afstand

Nadat je de tabel hebt ingevuld ga je overleggen met andere tweetallen: wat komt wel of niet overeen?

Je gaat nu het model maken in SimSketch (www.simsket.ch/#evolution). Begin met het tekenen van de ondergronden en ga daarna verder met het tekenen van de slakken en vogels. Als je denkt dat jouw model zo compleet mogelijk is, laat je het simuleren. Je mag in tweetallen werken.

Vraag 2: Vul het onderstaande schema zo compleet mogelijk in.

Schema verschilt per leerling. Ze kunnen veranderingen aanbrengen in de opdrachten die ze meegeven.

Simulatieronde	Veranderingen die ik heb aangebracht	Gevolgen van de veranderingen
2		
3		
4		
5		
6		

KLASSIKALE BESPREKING: wees voorbereid, de docent kan jullie tweetal kiezen om het model te presenteren aan de klas.

Ga nu verder met het aanpassen van je model en het invullen van de tabel.

Antwoordmodel Werkblad 4: Overleg met de onderzoekers

Bij het maken van een model probeer je de werkelijke situatie zo goed mogelijk na te bootsen. Toch zijn er altijd verschillen met de werkelijkheid.

Wetenschapper Bart gebruikt ook regelmatig modellen om theorie te visualiseren. Modellen worden dan ook vaak gebruikt in onderzoek.

Vraag 1: Welke vragen zou je aan een wetenschapper willen stellen die modellen gebruikt voor onderzoek? Bedenk er tenminste vier.

Vraag 2: Wat kwam er overeen tussen jouw model en de werkelijke situatie?

Vraag 3: Welke elementen ontbraken er nog in je model die in de werkelijkheid wel een rol zouden kunnen spelen? Benoem er zo veel mogelijk.

Zonlicht als invloed op de kleur van de huisjes, de hoeveelheid beschutting in een gebied: in een bos zijn bijvoorbeeld bomen waardoor vogels ze moeilijker kunnen zien. De draagkracht van een gebied: in een gebied kunnen maar een bepaald aantal slakken leven. Nu vond er ongeslachtelijke voortplanting plaats, ze kloonden zich eigenlijk. Er kan in het echt ook geslachtelijke voortplanting voorkomen (een slak is een hermafrodiet).

Een model is niet hetzelfde als de werkelijkheid, het is een vereenvoudigde weergave.

Vraag 4: Welke beperkingen brengt een model met zich mee?

Niet alle factoren van de werkelijkheid meenemen: het gaat dus over een beperkt deel.

Appendix IIa. Pre-Test

Naam:

Klas:

1. Wat is volgens jou een model? Probeer zoveel mogelijk te noemen, alles wat in je opkomt bij de woorden *model* en *modelleren*. Probeer te antwoorden in hele zinnen.

2. Waarom worden modellen in de wetenschap gebruikt?

3. Slechts een klein deel van de werkelijkheid kan met modellen worden beschreven.

Waar Niet waar

Toelichting:

4. Hoe bepaal je of een model correct is?

5. Wetenschappers moeten hun modellen testen?

Waar Niet waar

Toelichting:

6. Het is onmogelijk om te bepalen welk model het beste is.

Waar Niet waar

Toelichting:

7. Een wetenschapper, Dr. Schintaler, denkt dat er geen manier is om te bepalen welk model bepaalde gegevens het best beschrijft. Wat denk jij?

Waar Niet waar

Toelichting:

8. Modellen zijn bruikbaar om bepaalde natuurkundige en biologische verschijnselen beter te begrijpen.

Waar Niet waar

Toelichting:

1. Ik vind het leuk om nieuwe ideeën te bedenken

- Helemaal niet mee eens Niet mee eens Mee eens Helemaal mee eens

2. Ik vind het niet leuk om over nieuwe onderwerpen te leren

- Helemaal niet mee eens Niet mee eens Mee eens Helemaal mee eens

3. Ik vind het leuk om naar een televisieprogramma te kijken zoals het Klokhuis

- Helemaal niet mee eens Niet mee eens Mee eens Helemaal mee eens

4. Ik wil graag weten wat de oorzaak van een probleem is (bijv. hoe wind ontstaat)

- Helemaal niet mee eens Niet mee eens Mee eens Helemaal mee eens

5. Ik vind het saai om te weten hoe speelgoed werkt (bijv. een spelcomputer)

- Helemaal niet mee eens Niet mee eens Mee eens Helemaal mee eens

6. Ik vind het leuk om oplossingen te bedenken

- Helemaal niet mee eens Niet mee eens Mee eens Helemaal mee eens

7. Ik vind het niet leuk om iets onder een vergrootglas te houden

- Helemaal niet mee eens Niet mee eens Mee eens Helemaal mee eens

Appendix IIb. Post-Test

Naam:

1. Hoe begrijp je nu met het door jou gemaakte model de evolutie van de tuinslak? Leg dit zo goed mogelijk in je eigen woorden uit.

2. Wat is volgens jou een model? Probeer zoveel mogelijk te noemen, alles wat in je opkomt bij de woorden *model* en *modelleren*. Probeer te antwoorden in hele zinnen.

3. Waarom worden modellen in de wetenschap gebruikt?

4. Slechts een klein deel van de werkelijkheid kan met modellen worden beschreven.

Waar Niet waar

Toelichting:

5. Hoe bepaal je of een model correct is?

6. Wetenschappers moeten hun modellen testen?

Waar Niet waar

Toelichting:

7. Het is onmogelijk om te bepalen welk model het beste is.

Waar Niet waar

Toelichting:

8. Een wetenschapper, Dr. Schintaler, denkt dat er geen manier is om te bepalen welk model bepaalde gegevens het best beschrijft. Wat denk jij?

Waar Niet waar

Toelichting:

9. Modellen zijn bruikbaar om bepaalde natuurkundige en biologische verschijnselen beter te begrijpen.

Waar Niet waar

Toelichting:

Heb je wel eens eerder een computerprogramma gebruikt om mee te leren?

Ja Nee

Geef in de volgende tabel aan hoe sterk je het met de uitspraken eens bent. Helemaal mee oneens (links), helemaal mee eens (rechts) of ergens er tussenin.

	Helemaal mee oneens				Helemaal mee eens
	1	2	3	4	5
Ik zou nog een keer met SimSketch willen werken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Met SimSketch werken is saai.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ik wil SimSketch aanraden aan een vriend(in).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ik wil thuis graag met SimSketch werken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ik werk liever met SimSketch dan met normaal lesmateriaal (bijvoorbeeld een boek).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SimSketch is makkelijk te leren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Het is moeilijk om te onthouden hoe SimSketch werkt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SimSketch maakt leren makkelijker en helpt problemen te begrijpen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SimSketch zorgt ervoor dat ik langzamer ben als ik een probleem probeer te begrijpen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Appendix III. Scoring System for Students' Answers on the Understanding of Models Related Questions on the Pre- and Post-Test, With Scores from Zero to Four

Type of question	Questions on pre-test	Questions on post-test	Scores
Nature of models	1; 3	2; 4	<p>0: non or nonsensical answer / someone on a catwalk</p> <p>1: model as a copy / similar to the reality / everything can be described in a model / a figure, model or graphic with processed information</p> <p>2: simplified representation of the reality / a possible variant of the reality / not everything of the reality can be described by a model / processing the results of a study</p> <p>3: a hypothetical representation of the reality / there are more factors in reality</p>
Purpose of models	2; 8	3; 9	<p>0: non or nonsensical answer</p> <p>1: for showing facts or data / to create an overview / to simplify the reality</p> <p>2: to describe or explain relationships</p> <p>3: to test abstract or concrete ideas</p>
Testing models	4; 5	5; 6	<p>0: non or nonsensical answer / no testing is needed</p> <p>1: test the facts or data / controlling is needed / compare it with your study / study the facts</p> <p>2: compare with the reality</p> <p>3: testing of hypotheses, assumptions or theories</p>
Multiple models	6; 7	7; 8	<p>0: non or nonsensical answers / all models are the same / there is only one correct model</p> <p>1: models with different characteristics / it differs per person whether the model works / compare the models: which describes the reality the best</p> <p>2: different models focus on different aspects</p> <p>3: different model because of different assumptions / different expectations / different applications</p>